www.wphat.com

เหมาะสำหรับนิสิต นักศึกษาทั้งระดับปริญญาตรี
และปริญญาโท และนักวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ

สถิติทาง วิทยาศาสตร์สุขภาพ เพื่อการวิจัย

Statistics for Health Science Research

รองศาสตราจารย์อรุณ จิรวัฒน์กุล

- ให้ความรู้หลักสถิติที่ใช้ในงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ
- เนื้อหาครอบคลุมสถิติขั้นพื้นฐานและการประยุกต์สถิติในงานวิจัย

• ความรู้พื้นฐานด้านสถิติ • การเก็บข้อมูล • การพรรณนาลักษณะตัวอย่าง
• การประมาณค่าและการทดสอบสมมติฐาน • การคำนวณขนาดตัวอย่าง
• การหาความสัมพันธ์และปัจจัยเสี่ยง • การวิเคราะห์พหุคูณของตัวแปรตามประเภทต่างๆ
• การเลือกใช้สถิติในงานวิจัย • การวางแผนประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล • เนื้อหาของสถิติในโครงร่างงานวิจัย

- อธิบายอย่างละเอียด พร้อมตัวอย่างในงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ และภาพประกอบจำนวนมาก เพื่อให้เข้าใจง่าย เนื้อหาเชื่อมโยงเข้ากับแบบงานวิจัยและการแปลผลที่สอดคล้องกับการนำไปใช้ในชีวิตจริง
- สามารถใช้ได้กับวิชา สถิติพื้นฐาน, สถิติสำหรับวิทยาศาสตร์สุขภาพ, ชีวสถิติ, สถิติสำหรับงานวิจัย, ชีวสถิติในงานวิจัยคลินิก, สถิติทางการแพทย์, สถิติประยุกต์ในงานวิจัย, สถิติในงานวิจัยการพยาบาล, วิธีวิทยาการวิจัย, ระเบียบวิธีวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ, ระเบียบวิธีวิจัยทางการพยาบาล ฯลฯ
- เป็นประโยชน์สำหรับการอ่านบทความวิจัย ช่วยให้เข้าใจการใช้สถิติ การแปลผล และประเมินความถูกต้องของการใช้สถิติในการสรุปผลงานวิจัย

สถิติทาง วิทยาศาสตร์สุขภาพ เพื่อการวิจัย

Statistics for Health Science Research

รองศาสตราจารย์อรุณ จิรวัฒน์กุล

สถิติทางวิทยาศาสตร์สุขภาพเพื่อการวิจัย

รองศาสตราจารย์อรุณ จิรวัฒน์กุล

ฉบับพิมพ์ที่ 1 พิมพ์ครั้งแรก สิงหาคม 2552
พิมพ์ซ้ำครั้งที่ 4 เมษายน 2558

จัดทำรูปเล่ม จัดพิมพ์ และจำหน่ายโดย

บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด
52/103–104 บางกะปิสแควร์ ถนนรามคำแหง
เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
โทรศัพท์ 02 3749915 (หลายคู่สาย)
โทรสาร 02 3746495
ที่อยู่อีเมล contact@wphat.com

พิมพ์ที่ บริษัท ส. เอเซียเพรส (1989) จำกัด
143, 145 ซอยรามคำแหง 42 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

ราคา 230 บาท

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ
อรุณ จิรวัฒน์กุล.
สถิติทางวิทยาศาสตร์สุขภาพเพื่อการวิจัย.--กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์, 2558.
312 หน้า.
1. วิทยาศาสตร์--วิจัย. I. ชื่อเรื่อง.
507.2

ISBN 978-616-7136-02-8

คำนำ

การแก้ไขปัญหาด้านการแพทย์และสาธารณสุข ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นแพทย์ พยาบาล ทันตแพทย์ เภสัชกร นักเทคนิคการแพทย์ นักวิชาการสาธารณสุข และผู้ปฏิบัติงานในวิชาชีพอื่นๆ ต้องใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ (evidence-based) เป็นเครื่องมือสำคัญในการเลือกวิธีสำหรับการแก้ไขปัญหา หลักฐานเชิงประจักษ์ที่ใช้จะต้องมาจากงานวิจัยที่เชื่อถือได้ ความรู้ด้านสถิติที่ดีช่วยให้ผู้ทำวิจัยสรุปข้อมูลได้ถูกต้อง และช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานเลือกงานวิจัยที่มีคุณภาพไปใช้ในการตัดสินใจแก้ปัญหาได้

นักวิจัยนอกจากสามารถคำนวณค่าสถิติและสรุปผลการวิเคราะห์ได้แล้ว ยังจำเป็นต้องมีความรู้ทั้งทางด้านสถิติและวิจัยที่เพียงพอต่อการเลือกใช้สถิติให้เหมาะสมกับคำถามและแบบงานวิจัย ตำราเล่มนี้ได้อธิบายและยกตัวอย่างวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ การสรุปผลข้อมูล และการพิจารณาความหมายของผลวิจัยที่สรุปได้จากค่าสถิติว่ามีประโยชน์ต่อการใช้งานมากน้อยเพียงใด

วิชาสถิติเป็นวิชาหนึ่งที่นักศึกษามีทัศนคติว่าเป็นวิชาคำนวณที่เรียนยาก ทำให้ผู้เรียนส่วนใหญ่กลัวว่าจะเรียนไม่รู้เรื่องตั้งแต่ก่อนเริ่มเรียน หรือนักวิจัยเมื่อได้รับคำวิจารณ์เกี่ยวกับการใช้สถิติและไม่รู้ว่าจะแก้ไขอย่างไรให้ถูกต้องก็รู้สึกขาดความมั่นใจในการใช้สถิติ ผู้เขียนจึงได้ประมวลและสังเคราะห์ประสบการณ์จากการเป็นนักชีวสถิติ นักวิจัย ที่ปรึกษาโครงการวิจัย และอาจารย์สอนวิชาชีวสถิติมากว่า 20 ปี เขียนตำราเล่มนี้ขึ้นเพื่อเป็นตำราพื้นฐานของการใช้สถิติในงานวิจัย ช่วยอธิบายวิธีการใช้และการแปลผลอย่างถูกต้องเหมาะสมกับงานวิจัย โดยใช้วิธีการอธิบายหลักการและแนวคิดแทนการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ที่มีพื้นฐานทางคณิตศาสตร์น้อยสามารถเข้าใจวิธีการทางสถิติและการสรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติได้ ในการอธิบายจะใช้ตัวอย่างจริงที่พบในงานด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพเป็นตัวอย่างประกอบ ซึ่งจะช่วยให้ผู้อ่านนำสถิติไปใช้ในงานวิจัยได้อย่างมั่นใจ

เนื้อหาในตำราเล่มนี้มี 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ได้แก่ บทที่ 1–10 และบทที่ 20 คือสถิติที่ใช้บ่อยในงานวิจัย ส่วนที่ 2 ได้แก่ บทที่ 11–12 และบทที่ 19 เป็นการเลือกใช้สถิติ การประมวลผลและแผนวิเคราะห์ข้อมูลในโครงร่าง/รายงานวิจัย ส่วนที่ 3 ได้แก่ บทที่ 13–18 เป็นสถิติที่ไม่ได้ใช้บ่อยที่อาจพบในรายงานวิจัย โดยผู้เขียนอธิบายวิธีการคำนวณ การใช้สถิติ และการแปลผลเบื้องต้นเพื่อช่วยในการอ่านผลงานวิจัยที่ใช้สถิติดังกล่าว

ผู้เขียนได้เรียนรู้อย่างมากจากการสอนนักศึกษา การเป็นวิทยากร และการให้คำปรึกษาแก่นักวิจัย จึงใคร่ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงาน นักวิจัยที่ขอรับคำปรึกษา และลูกศิษย์ที่ทำให้ตำรามีเนื้อหาที่เป็นประโยชน์ต่อการใช้งานอย่างแท้จริง ขอบคุณภรรยาและบุตรที่ให้กำลังใจและสร้างความมุ่งมั่นที่จะเขียนตำราเล่มนี้

คุณประโยชน์ของตำราเล่มนี้ผู้เขียนขอน้อมคารวะแด่บุพการีและบูรพาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้เขียน

(รองศาสตราจารย์อรุณ จิรวัฒน์กุล)

สารบัญ

บทที่ 1	**สถิติในงานวิจัย**	**9**
1.1	วิธีวิทยาการวิจัยและสถิติที่ใช้หาความจริงเพื่อตอบคำถามงานวิจัย	9
1.2	การใช้สถิติกับการสรุปผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษา	11
1.3	การใช้สถิติประเมินคุณภาพงานวิจัย	12
1.4	แบบงานวิจัย คำถามงานวิจัย และสถิติที่ใช้สรุปผล	12
1.5	การใช้ความรู้ทางสถิติกับโปรแกรมสถิติ	13
✏	สรุป	14
บทที่ 2	**การพรรณนาลักษณะตัวอย่างในงานวิจัย**	**15**
2.1	ตัวแปรและข้อมูล	16
2.2	รูปแบบการพรรณนาลักษณะตัวอย่าง	20
✏	สรุป	42
บทที่ 3	**การขยายผลจากตัวอย่างสู่ประชากร: ความน่าจะเป็น และช่วงความเชื่อมั่น**	**44**
3.1	หลักการอนุมานค่าพารามิเตอร์	45
3.2	การแจกแจงความน่าจะเป็น	45
3.3	การประมาณค่าพารามิเตอร์	56
✏	สรุป	62
บทที่ 4	**การทดสอบความแตกต่าง**	**64**
4.1	แนวคิดการทดสอบสมมติฐาน	64
4.2	การตั้งสมมติฐานทางสถิติ	68
4.3	ความผิดพลาดในการตัดสินใจและอำนาจการทดสอบ	71
4.4	ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน	76
4.5	ข้อตกลงเบื้องต้นในการเลือกใช้ค่าสถิติกับความถูกต้องในการสรุปผล	79
4.6	การตัดสินใจทางสถิติและการนำผลสรุปไปใช้สรุปผลงานวิจัย	79
4.7	การใช้ช่วงความเชื่อมั่นบอกผลการทดสอบสมมติฐาน	81
✏	สรุป	82

บทที่ 5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เป็นข้อมูลต่อเนื่อง 84

5.1 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียว 85
5.2 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่ม 87
5.3 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันและมีค่าความแปรปรวนของประชากรทั้งสองเท่ากัน 89
5.4 การเปรียบเทียบความแปรปรวนระหว่างประชากร 2 กลุ่ม 91
5.5 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันโดยมีค่าความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 กลุ่มไม่เท่ากัน 94
5.6 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน 97
✏ สรุป 100

บทที่ 6 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เป็นข้อมูลกลุ่ม 101

6.1 ค่าสัดส่วนและการแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าสัดส่วนของตัวอย่าง 101
6.2 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบสัดส่วนของประชากรกลุ่มเดียว 102
6.3 การปรับแก้ความต่อเนื่อง 104
6.4 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบสัดส่วนของประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน 106
6.5 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบสัดส่วนของประชากร 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน 109
✏ สรุป 113

บทที่ 7 การหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่ม 114

7.1 การหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่ม 115
7.2 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่ม 120
7.3 การประมาณค่าขนาดของความสัมพันธ์ 130
✏ สรุป 135

บทที่ 8 ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เป็นข้อมูลต่อเนื่องและตัวแบบทำนายผล 136

8.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 137
8.2 ตัวแบบการถดถอย 146
✏ สรุป 157

บทที่ 9 การคำนวณขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ 158

9.1	พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณขนาดตัวอย่าง	159
9.2	การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อประมาณค่าสัดส่วนของประชากร	160
9.3	การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร	163
9.4	การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ระหว่างประชากร 2 กลุ่ม	165
9.5	การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบสัดส่วน ระหว่างประชากร 2 กลุ่ม	166
9.6	อำนาจการทดสอบ	168
9.7	การใช้โค้งกำลังช่วยพิจารณาขนาดตัวอย่าง	170
9.8	การปรับขนาดตัวอย่างในกรณีมีผู้ตกสำรวจหรือสูญหายจากการติดตาม	172
✏	สรุป	173

บทที่ 10 วิธีคำนวณขนาดตัวอย่างในการศึกษาแบบต่างๆ 174

10.1	การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อหาความไวและความเฉพาะ ของการวินิจฉัยโรค	174
10.2	การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่าง ประชากร 2 กลุ่มที่ตัวอย่างในแต่ละกลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน	176
10.3	การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อการเปรียบเทียบสัดส่วน ระหว่างประชากร 2 กลุ่มที่ตัวอย่างในแต่ละกลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน	177
10.4	การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อหาปัจจัยเสี่ยง	179
10.5	การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อหาปัจจัยเสี่ยง กรณีการศึกษาแบบกลุ่มผู้ป่วย–ไม่ป่วยแบบจับคู่	180
10.6	การคำนวณขนาดตัวอย่างในการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	181
10.7	การคำนวณขนาดตัวอย่างในกรณีเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมากกว่า 2 กลุ่ม	182
10.8	การคำนวณขนาดตัวอย่างในการเปรียบเทียบการรอดชีพ	184
10.9	การคำนวณขนาดตัวอย่างในกรณีการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม	185
✏	สรุป	188

บทที่ 11 วิธีเลือกใช้สถิติสำหรับแบบงานวิจัย 189

11.1	ข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกสถิติ	189
11.2	การเลือกใช้สถิติสำหรับงานวิจัยเชิงพรรณนา	191
11.3	การเลือกใช้สถิติสำหรับงานวิจัยเชิงวิเคราะห์	191
11.4	การเลือกใช้สถิติสำหรับงานวิจัยเชิงทดลอง	193
✏	สรุป	195

บทที่ 12	**แผนการวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในโครงร่างงานวิจัยและรายงานวิจัย**	**196**
12.1	สถิติที่ควรมีในการแสดงรายละเอียดในโครงร่างงานวิจัย	196
12.2	การนำเสนอสถิติในรายงานวิจัย	198
✏	สรุป	200
บทที่ 13	**การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว**	**201**
13.1	แนวคิดในการวิเคราะห์ความแปรปรวน	202
13.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว	206
13.3	การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่	210
✏	สรุป	212
บทที่ 14	**การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดซ้ำ**	**213**
14.1	แนวคิดในการทดสอบแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวกรณีการวัดซ้ำ	213
14.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวกรณีการวัดซ้ำ	215
✏	สรุป	217
บทที่ 15	**การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ**	**218**
15.1	วิธีการคำนวณและข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ	219
15.2	การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย	220
15.3	อำนาจการทำนายของตัวแบบ	221
15.4	การเลือกตัวแปรอิสระของตัวแบบ	222
✏	สรุป	224
บทที่ 16	**ตัวแบบลอจิสติก**	**225**
16.1	ตัวแบบลอจิสติก	227
16.2	การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β)	228
16.3	การประเมินสมรรถนะของตัวแบบ	229
16.4	ค่าสัมประสิทธิ์ b กับ odds ratio	231
16.5	ตัวแบบลอจิสติกพหุคูณ	232
✏	สรุป	232

บทที่ 17 การวิเคราะห์ระยะเวลาการรอดชีพ 233

17.1	เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ระยะเวลาการรอดชีพ	233
17.2	ตัวประมาณค่าผลคูณจำกัดแคปแลน–มีเยอร์	235
17.3	การเปรียบเทียบระยะเวลาการรอดชีพด้วย log rank test	238
17.4	อัตราการเสี่ยงภยันตรายและตัวแบบสัดส่วนการเสี่ยงภยันตรายของคอกซ์	240
✏	สรุป	241

บทที่ 18 สถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ 242

18.1	การทดสอบผลรวมลำดับที่วิลคอกซัน	242
18.2	การทดสอบเครื่องหมายแบบวิลคอกซัน	250
18.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวครัสคาล–วอลลิส	252
18.4	สหสัมพันธ์ลำดับที่สเปียร์แมน	255
✏	สรุป	257

บทที่ 19 การวางแผนประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล 258

19.1	การออกแบบรหัส	258
19.2	การนำเข้าข้อมูลและการตรวจสอบความถูกต้อง	265
19.3	การวางแผนวิเคราะห์ข้อมูล	266
19.4	การขอบริการทางด้านการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล	270
✏	สรุป	270

บทที่ 20 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นและการแปลงค่าข้อมูล 271

20.1	การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติพรรณนา	271
20.2	การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงของข้อมูล	274
20.3	การแปลงค่าเพื่อปรับข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติ	275
✏	สรุป	278

ภาคผนวก 279

บรรณานุกรม 300

บทที่ 1

สถิติในงานวิจัย

การใช้สถิติในงานวิจัยได้อย่างเหมาะสมถูกต้อง นอกจากความรู้ด้านสถิติแล้ว นักวิจัยจำเป็นจะต้องรู้เรื่องของวิธีวิทยาการวิจัยและเนื้อหาของเรื่องที่จะทำวิจัยเป็นอย่างดี เพื่อจะช่วยให้สามารถได้ความจริงมาตอบคำถามงานวิจัยและสามารถแปลผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อให้ข้อเสนอแนะต่อการนำไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง ในบทนี้จะอธิบายว่าความรู้ทั้ง 3 ส่วนนี้มีผลต่อคำตอบของงานวิจัยได้อย่างไร ความรู้ทางสถิตินอกจากใช้ในการทำวิจัยแล้วยังสามารถช่วยในการอ่านบทความวิจัยได้อีกด้วย สถิติที่ใช้สรุปผลงานวิจัยจะแตกต่างไปตามแบบงานวิจัย จึงได้อธิบายแบบงานวิจัยที่ใช้ตอบคำถามงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ เพื่อจะได้เชื่อมโยงถึงการเลือกใช้สถิติอย่างถูกต้อง

1.1 วิธีวิทยาการวิจัยและสถิติที่ใช้หาความจริงเพื่อตอบคำถามงานวิจัย

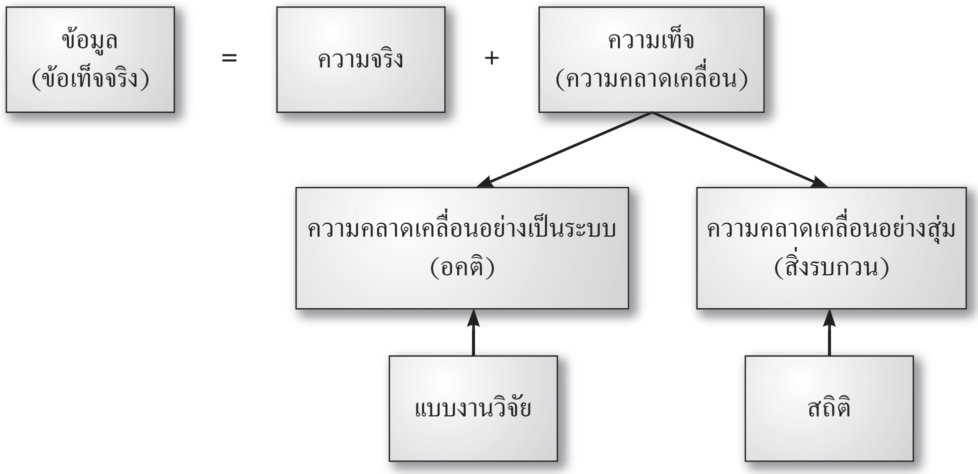
นักวิจัยต้องการศึกษาน้ำหนักเด็กที่เพิ่มขึ้นจากการได้รับอาหารเสริม น้ำหนักเด็กที่ชั่งได้จากตัวอย่างที่ศึกษาเรียกว่าข้อมูลหรือข้อเท็จจริงที่พบ ข้อมูลแต่ละค่าจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นความจริง (truth) และส่วนที่เป็นความคลาดเคลื่อน (error) รวมอยู่ด้วยกัน ส่วนที่เป็นความคลาดเคลื่อนมีสาเหตุมาจากการวัด (measurement error) และการสุ่มตัวอย่าง (sampling error) ความคลาดเคลื่อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1) **อคติ** (bias) **หรือความคลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบ** (systematic error) ในการวัดอาจเกิดจากวิธีการชั่งไม่ถูกต้อง เครื่องชั่งไม่เที่ยงตรง ผู้ชั่งมีอคติ หรือไม่ได้ชั่งตามวิธีการที่กำหนด ในการสุ่มตัวอย่างอาจเกิดจากอคติในการเลือกตัวอย่าง วิธีการสุ่มไม่เหมาะสม เป็นต้น ความคลาดเคลื่อนแบบนี้เกิดขึ้นกับทุกหน่วยศึกษาไม่เท่ากัน

2) **สิ่งรบกวนหรือความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม** (random error) เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอย่างสุ่มในขั้นตอนของการวัดและการสุ่ม ความคลาดเคลื่อนนี้ทำให้น้อยลงได้แต่ไม่สามารถแก้ไขให้หมดไปได้ ความคลาดเคลื่อนประเภทนี้เกิดขึ้นอย่างสุ่มกับทุกหน่วยศึกษาในขนาดที่ใกล้เคียงกัน

การสรุปผลจากข้อมูลเพื่อตอบคำถามงานวิจัยให้ได้คำตอบที่ถูกต้องที่สุดจึงต้องพยายามให้ข้อมูลที่วัดได้มีความจริงมากที่สุด โดยจะต้องลดความคลาดเคลื่อนลงให้เหลือน้อยที่สุด การออกแบบงานวิจัยที่ดีจะสามารถช่วยลดหรือป้องกันไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่มีสาเหตุมาจากอคติ ส่วนความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่มจะใช้วิธีการทางสถิติช่วยในการสรุปความจริงออกจากความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม

ข้อมูล (ข้อเท็จจริง) ที่เก็บมาตอบคำถามงานวิจัย



ภาพ 1.1 การใช้สถิติสรุปความจริงเพื่อตอบคำถามงานวิจัย

จากภาพ 1.1 นักวิจัยที่ต้องการได้ความจริงไปตอบคำถามงานวิจัย นอกจากความรู้เรื่องระเบียบวิธีวิทยาการวิจัยเพื่อจะได้ออกแบบงานวิจัยที่ลดอคติในข้อมูลแล้ว นักวิจัยจำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านสถิติที่เพียงพอที่จะใช้สรุปความจริงออกจากความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่มที่ติดมากับข้อมูลที่ศึกษาได้

สถิติถูกนำไปใช้งานกับศาสตร์สาขาต่างๆ ในแต่ละสาขาก็มีลักษณะงานและลักษณะข้อมูลที่แตกต่างกัน สถิติที่ใช้ทางด้านการแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพเป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต (bio) จึงเรียกสถิติสาขานี้ว่า **ชีวสถิติ** (biostatistics)

1.2 การใช้สถิติกับการสรุปผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษา

สถิติถูกนำไปใช้สรุปข้อมูลเพื่อการตัดสินใจในการดำเนินงานต่างๆ ตรรกะที่ใช้สรุปผลมีทั้งแบบนิรนัยและอุปนัย เช่น กรณีการวางแผนเพื่อกำหนดกิจกรรมป้องกันการระบาดของโรคไข้เลือดออก เจ้าหน้าที่ผู้ดำเนินการจะต้องรวบรวมข้อมูลผลการดำเนินงานที่ผ่านมา ความสามารถของเจ้าหน้าที่ ลักษณะภูมิประเทศ และสิ่งแวดล้อมของพื้นที่เป้าหมาย นอกจากนี้ ยังต้องอาศัยความรู้จากการเรียน การอบรม ประสบการณ์การทำงาน และผลการศึกษาวิจัย แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาสรุปด้วยวิธีการทางสถิติโดยใช้เหตุผลเชิงนิรนัย (deductive reasoning) คือการสรุปจากทฤษฎีและหลักการไปสู่การกำหนดกิจกรรมเฉพาะพื้นที่

การสรุปโดยใช้เหตุผลเชิงอุปนัย (inductive reasoning) คือการสรุปข้อเท็จจริงบางส่วนไปสู่ภาพรวมใหญ่และใช้กับงานวิจัยเชิงปริมาณ เช่น การรักษาผู้ป่วยโรคไขมันในเลือดสูง แพทย์พบว่าผู้ป่วยที่ดื่มชาดอกคำฝอยเป็นประจำสามารถลดระดับไขมันในเลือดให้กลับสู่ภาวะปกติได้ ถ้าต้องการทราบว่าชาดอกคำฝอยสามารถลดระดับไขมันในเลือดของผู้ป่วยโรคดังกล่าวกับผู้ป่วยรายอื่นๆได้หรือไม่ จึงต้องดำเนินการทดลอง เก็บข้อมูล ตั้งสมมติฐาน วิเคราะห์ และสรุปผลจากตัวอย่างที่ศึกษาไปใช้กับผู้ป่วยด้วยโรคดังกล่าวทั้งหมด

การสรุปผลการวิจัยจากตัวอย่างไปสู่ประชากรโดยวิธีการทางสถิติ การที่นักวิจัยจะเลือกใช้สถิติได้ถูกต้องจำเป็นจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับวิธีการวิจัยเพื่อจะได้เข้าใจว่าตัวแปรแต่ละตัวมีลักษณะอย่างไร มีวิธีการวัดค่าและการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างไร แบบงานวิจัยทำให้ข้อมูลที่เก็บได้มีความเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ เป็นต้น นอกจากความรู้ทางสถิติแล้วนักวิจัยจำเป็นต้องมีความเข้าใจในเนื้อหาเพื่อจะช่วยให้สามารถสรุปผลได้ตรงกับการใช้งาน เช่น ตัวอย่างรายงานวิจัยเรื่องการสวมหมวกนิรภัยในการขับขี่รถจักรยานยนต์ของนักศึกษา ที่มีการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างนักศึกษามหาวิทยาลัยจำนวน 8,470 คน พบว่ามีอัตราการสวมหมวกนิรภัยร้อยละ 24.0 นักศึกษาอาชีวศึกษาจำนวน 8,500 คน อัตราการสวมหมวกนิรภัยร้อยละ 22.5 ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่านักศึกษามหาวิทยาลัยมีอัตราการสวมหมวกนิรภัยมากกว่านักศึกษาอาชีวศึกษา (P value = 0.0207) ผู้วิจัยสรุปว่าระดับการศึกษาเป็นปัจจัยที่มีผลทำให้มีอัตราการสวมหมวกนิรภัยแตกต่างกัน และได้เสนอแนะให้มีมาตรการส่งเสริมการสวมหมวกนิรภัยแยกตามระดับการศึกษา จากข้อเสนอแนะดังกล่าวเมื่อพิจารณาจากขนาดความแตกต่างจะพบว่าทั้ง 2 กลุ่มต่างกันเพียงร้อยละ 1.5 ซึ่งถือว่าต่างกันน้อยมาก ไม่มีผลทำให้ต้องใช้มาตรการส่งเสริมการสวมหมวกนิรภัยที่ต่างกัน

การเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้สถิติพิจารณาเฉพาะความแตกต่างของข้อมูลที่ศึกษาเท่านั้น ในกรณีที่ค่าสถิติที่จะเปรียบเทียบแตกต่างกันมากข้อมูลจากตัวอย่างขนาดเล็กก็สามารถระบุความแตกต่างได้ ในกรณีที่ศึกษาด้วยตัวอย่างขนาดใหญ่ถึงแม้ว่าความแตกต่างมีขนาดเล็กก็สามารถระบุความแตกต่างทางสถิติได้ ดังนั้นในการที่จะสรุปผลงานวิจัยได้อย่างถูกต้อง และแปลความหมาย

ให้เหมาะสมกับการใช้งาน นักวิจัยต้องใช้ความรู้ทั้งทางสถิติและความรู้ของเนื้อหาที่ทำวิจัย เพื่อสรุปว่าความแตกต่างที่พบในตัวอย่างเป็นความแตกต่างจริงในประชากร และขนาดความแตกต่างที่พบมีประโยชน์ต่อการใช้งานหรือไม่

1.3 การใช้สถิติประเมินคุณภาพงานวิจัย

แพทย์และบุคลากรทางวิทยาศาสตร์สุขภาพอาศัยข้อมูลจากวารสารที่ตีพิมพ์ผลงานวิจัยเป็นแหล่งเพิ่มพูนความรู้ในการทำงาน โดยผู้อ่านส่วนใหญ่จะเชื่อข้อมูลที่ตีพิมพ์อยู่ในวารสาร ในปี ค.ศ. 1986 วิลเลียมสัน (Williamson) และคณะประเมินคุณภาพงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารโดยประเมินทั้งวิธีการวิจัยและการใช้สถิติ พบว่างานวิจัยทางคลินิกที่ตีพิมพ์ในวารสารชั้นนำ 30 ชื่อ จำนวน 4,235 บทความ มีเพียงร้อยละ 20 ที่ผ่านการประเมินคุณภาพทุกด้าน และแกลนตซ์ (Glantz) สรุปผลการประเมินความเหมาะสมของการใช้สถิติในงานวิจัยจากรายงานวิจัยในวารสารชั้นนำ 4 ชื่อ ระหว่างปี ค.ศ. 1950–1976 พบว่ามีการใช้สถิติไม่ถูกต้องประมาณร้อยละ 50

งานวิจัยที่มีการใช้สถิติที่ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสมอาจทำให้ผลสรุปที่ได้ผิดพลาด ถึงแม้ปัจจุบันวารสารชั้นนำจะมีระบบการประเมินคุณภาพทั้งวิธีการวิจัยและการใช้สถิติก่อนรับลงตีพิมพ์ แต่ยังมีวารสารอีกจำนวนมากโดยเฉพาะวารสารภายในประเทศที่ระบบการประเมินไม่ดีพอ ดังนั้นถ้าผู้อ่านวารสารไม่มีความรู้ทางสถิติที่เหมาะสม จะทำให้ไม่สามารถประเมินความน่าเชื่อถือของงานวิจัยได้

1.4 แบบงานวิจัย คำถามงานวิจัย และสถิติที่ใช้สรุปผล

แบบงานวิจัยที่เหมาะสมกับคำถามงานวิจัยทางการแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ แบ่งตามวิธีการวิจัยทางด้านระบาดวิทยาได้ 3 แบบ คือ

1) **การวิจัยเชิงพรรณนา** (descriptive study) แบบงานวิจัยนี้ใช้สำหรับตอบคำถามว่าพบหรือมีเหตุการณ์ที่สนใจเกิดขึ้นเท่าไร เช่น ความชุกเท่าไร มีน้ำหนักเฉลี่ยเท่าไร มีความครอบคลุมของการได้รับภูมิคุ้มกันเท่าไร
2) **การวิจัยเชิงวิเคราะห์** (analytical study) แบบงานวิจัยนี้ใช้หาคำตอบเรื่องสาเหตุและหาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดโรคกับปัจจัยเสี่ยง ซึ่งแบ่งออกเป็น
    2.1) การวิจัยเชิงวิเคราะห์ภาคตัดขวาง (cross-sectional analytical study) เป็นการหาปัจจัยเสี่ยงโดยการเก็บข้อมูลจากประชากรที่ศึกษาแล้วมาแบ่งเป็นกลุ่มที่เป็นโรคและกลุ่มที่ไม่เป็นโรค แล้วนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดโรคกับปัจจัยเสี่ยง

2.2) การวิจัยแบบกลุ่มผู้ป่วย–ไม่ป่วย (case–control study) นักวิจัยมีข้อมูลกลุ่มที่เป็นโรคอยู่แล้ว จึงสุ่มกลุ่มประชากรที่ไม่เป็นโรคมาเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดโรคกับปัจจัยเสี่ยง

2.3) การวิจัยแบบกลุ่มติดตามผล (cohort study) เริ่มเก็บข้อมูลจากประชากรกลุ่มที่มีปัจจัยเสี่ยงและกลุ่มที่ไม่มีปัจจัยเสี่ยง แล้วติดตามการเกิดโรคของตัวอย่าง 2 กลุ่มนี้จนครบตามเวลาที่กำหนด นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อสรุปหาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดโรคกับปัจจัยเสี่ยง

ทั้งการวิจัยเชิงพรรณนาและการวิจัยเชิงวิเคราะห์รวมกันเรียกว่าการวิจัยเชิงสังเกต (observational study) ซึ่งเป็นการศึกษาโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นโดยไม่มีการกระทำใดๆ (แทรกแซง) จากนักวิจัย

3) **การวิจัยเชิงทดลอง** (experimental study) แบบงานวิจัยนี้ใช้ตอบคำถามเรื่องสาเหตุ เช่น การมีความรู้เพิ่มขึ้นจะทำให้เป็นโรคลดลงหรือไม่ ก็จะมีการทดลองโดยให้ความรู้แก่กลุ่มตัวอย่างแล้ววัดผลการเป็นโรค ในการวิจัยเชิงทดลองยังมีแบบงานวิจัยย่อยอีกหลายแบบ เช่น แบบงานวิจัยกึ่งทดลอง (quasi–experiment) แบบแผนตัดสลับกัน (crossover design) และการทดลองโดยลำดับ (sequential trial) เป็นต้น

แบบงานวิจัยแต่ละแบบจะมีรายละเอียดต่างๆของการออกแบบที่แตกต่างกัน เช่น อาจจะมีการจับคู่ (matching) เพื่อลดการแปรผัน (variation) ระหว่างกลุ่ม หรือการควบคุมตัวแปรกวน ซึ่งรายละเอียดของวิธีการจะมีผลต่อความเป็นอิสระของข้อมูล ส่งผลให้ต้องใช้การวิเคราะห์ทางสถิติที่ต่างกัน หรือแม้แต่วิธีการเก็บข้อมูลเป็นแบบย้อนหลัง (retrospective) ไปข้างหน้า (prospective) หรือแบบภาคตัดขวาง (cross–sectional) ก็เป็นอีกหนึ่งเงื่อนไขในการใช้สถิติในการสรุปปัจจัยเสี่ยงที่แตกต่างกัน

นอกจากแบบงานวิจัยและวิธีเก็บข้อมูลแล้ว การใช้สถิติยังแตกต่างกันไปตามลักษณะของตัวแปรผล เช่น ตัวแปรต่อเนื่อง ตัวแปรกลุ่ม ตัวแปรลำดับ หรือวัดเป็นเวลาของการปลอดเหตุการณ์ (time to event) รายละเอียดในส่วนนี้สรุปอยู่ในบทที่ 10

1.5 การใช้ความรู้ทางสถิติกับโปรแกรมสถิติ

แม้ปัจจุบันจะมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณค่าสถิติและช่วยในการประมวลผล แต่ความรู้ทางสถิติยังคงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องเรียนรู้ เพราะโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้ช่วยในการคำนวณค่าสถิติให้ได้ถูกต้องและรวดเร็วเท่านั้น แต่ถ้าข้อมูลที่ป้อนเข้าไปมีความคลาดเคลื่อนจากขั้นตอนต่างๆในการดำเนินงาน โปรแกรมสถิติจะไม่สามารถแก้ไขความคลาดเคลื่อนเหล่านี้เองได้ โปรแกรมสามารถคำนวณค่าสถิติได้ทุกชนิด แต่ถ้านักวิจัยไม่ทราบว่าจะใช้สถิติอะไรในการวิเคราะห์ก็จะไม่ทราบว่าจะสั่งให้โปรแกรมวิเคราะห์ด้วยสถิติอะไร มีบ่อยครั้งที่นักวิจัยได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่โปรแกรมพิมพ์

ออกมาแต่ไม่ทราบว่าจะแปลผลสถิตินั้นอย่างไร ดังนั้นผู้ที่จะทำวิจัยจึงจำเป็นต้องมีความรู้ทางสถิติพื้นฐานที่เพียงพอสำหรับการทำวิจัย และควรมีความรู้ในการใช้โปรแกรมสถิติด้วยเพราะจะช่วยให้สามารถคำนวณค่าสถิติจากข้อมูลได้ถูกต้อง

สรุป

การเรียนรู้วิชาสถิติเพื่อนำไปใช้ในการทำวิจัย นักวิจัยจำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านวิธีวิทยาการวิจัยและความรู้ในเนื้อหาที่จะทำวิจัยที่เพียงพอจึงจะสามารถนำความรู้ทางสถิติไปใช้ได้อย่างถูกต้อง ในตำราเล่มนี้จะอธิบายหลักการดำเนินงานทางสถิติที่เน้นการประยุกต์ในงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ จะนำเสนอสถิติที่ใช้สรุปผลในงานวิจัยแบบต่างๆ และการแปลผลที่สอดคล้องกับเนื้อหาที่สามารถนำผลไปใช้งานได้จริง

บทที่ 2

การพรรณนาลักษณะตัวอย่างในงานวิจัย

ในการทำวิจัยสุขภาพโดยทั่วไปพบว่าข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากตัวอย่างของคนแต่ละคนมีความแตกต่างกัน เช่น อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ความรู้ในการป้องกันโรค ลักษณะทางชีวเคมี และการตอบสนองต่อการรักษา หรือแม้เป็นตัวอย่างที่ได้จากการผลิตโดยเครื่องจักร เช่น ปริมาณตัวยาในแต่ละเม็ด ปริมาณผงชูรสในบะหมี่แต่ละซอง ยังพบว่ามีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ ข้อมูลของตัวแปรที่ศึกษาจะมีความแตกต่างกันมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวแปรนั้นๆ เช่น เพศมี 2 เพศ แต่อายุถ้ามีตัวอย่าง 100 คน อาจมีข้อมูลอายุที่แตกต่างกันเป็น 80 ค่า การที่ข้อมูลของตัวแปรแต่ละตัวที่เก็บมามีค่าแตกต่างกันทำให้ต้องมีวิธีการสรุปหรือบรรยายลักษณะข้อมูลทั้งชุด ดังนั้นการพรรณนาลักษณะตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาจึงมีความสำคัญในงานวิจัยทุกประเภท วิธีการทางสถิติที่ใช้บรรยายลักษณะตัวอย่าง คือ สถิติพรรณนา เป็นเครื่องมือช่วยนักวิจัยในการสรุปลักษณะข้อมูลของตัวอย่างทั้งชุดให้อยู่ในรูปของข้อมูลสรุป (ค่าสถิติ) หรือแผนภาพที่สามารถเข้าใจได้ง่าย และใช้ในการนำเสนอผลการศึกษา

การวิเคราะห์ด้วยสถิติพรรณนายังช่วยให้ทราบลักษณะของข้อมูลจากตัวอย่างที่ศึกษาว่ามีลักษณะเป็นไปตามทฤษฎีหรือองค์ความรู้ที่ทราบอยู่แล้วหรือไม่ เช่น เด็กที่ดื่มนมแม่ตั้งแต่แรกเกิดจนถึงอายุ 6 เดือนจะมีโอกาสเป็นโรคอุจจาระร่วงน้อยเพราะได้รับภูมิคุ้มกันจากการดื่มนมแม่ ถ้าพบว่าเด็กอายุ 0-6 เดือนที่ดื่มนมแม่อย่างเดียวมีอัตราการเป็นโรคอุจจาระร่วงมากแสดงว่าผลการศึกษาไม่เป็นไปตามองค์ความรู้ที่มีอยู่ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดในขั้นตอนการเก็บหรือการนำเข้าข้อมูล ควรมีการตรวจสอบความถูกต้องในขั้นตอนดังกล่าว ถ้าพบว่ามีความผิดพลาดจะได้แก้ไขให้ถูกต้อง ถ้าตรวจสอบแล้วไม่พบข้อผิดพลาดจากข้อมูล แสดงว่าการเกิดโรคอาจมีสาเหตุจากปัจจัยอื่นซึ่งนักวิจัยอาจจะต้องเข้าไปศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติม และควรเพิ่มความระมัดระวังในการแปลผลการศึกษาให้มากขึ้น

การวิเคราะห์สรุปผลการศึกษาโดยการใช้สถิติอนุมานสรุปข้อมูลสถิติจากตัวอย่างไปเป็นข้อสรุปของประชากรโดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นได้อย่างถูกต้องการแจกแจงข้อมูลจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ดังนั้นนักวิจัยต้องวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติพรรณนา เพื่อให้ทราบลักษณะข้อมูลของแต่ละตัวแปรที่ศึกษาโดยดูค่าสถิติ ลักษณะการแจกแจง ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดของชุดข้อมูล แล้วนำมาพิจารณาว่าเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้สถิติอนุมานสำหรับกรณีนั้นๆหรือไม่ เช่น ในกรณีที่นักวิจัยต้องการพิสูจน์ว่าปริมาณไขมันในเลือดของชายสูงกว่าหญิง ในการวิเคราะห์ด้วยสถิติพรรณนาจะคำนวณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของปริมาณไขมันในเลือดแยกตามเพศ ผลการวิเคราะห์จะทำให้เห็นว่าข้อมูลจากตัวอย่างที่ศึกษาค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันในเลือดของชายสูงกว่าหญิงมากน้อยเพียงใด จากแผนภาพบอกซ์และเส้นปลายรูปเหลี่ยม (box and whisker plots) จะทราบว่ามีข้อมูลที่มีค่าห่างผิดปกติจากกลุ่ม (outlier) หรือไม่ ถ้ามี จะต้องตรวจสอบว่าข้อมูลนั้นเกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งหรือไม่ ถ้าตรวจสอบแล้วพบว่าขั้นตอนต่างๆถูกต้อง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีค่าห่างผิดปกติจากกลุ่มรวมอยู่ด้วยต้องแปลผลอย่างระมัดระวัง นอกจากนี้ ข้อมูลในตารางแจกแจงความถี่จะใช้ช่วยในการพิจารณาเบื้องต้นว่าการแจกแจงของค่าสถิติเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการทดสอบหรือไม่

ในการที่จะพรรณนาลักษณะตัวอย่างได้ดีนักวิจัยต้องทำความเข้าใจข้อมูล มาตรวัดข้อมูล และวิธีการพรรณนาข้อมูลต่อไปนี้

2.1 ตัวแปรและข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการสรุปข้อมูลเพื่อตอบคำถามงานวิจัยจะแตกต่างกันตามประเภทข้อมูล ซึ่งแตกต่างไปตามประเภทตัวแปรและมาตรวัด โดยมีรายละเอียดของตัวแปร มาตรวัด และประเภทของข้อมูล ดังนี้

2.1.1 ตัวแปร

ตัวแปร (variable) เป็นคุณลักษณะด้านต่างๆของหน่วยศึกษาที่นักวิจัยกำหนดขึ้นในการศึกษา อาจแบ่งได้เป็นกลุ่มๆ เช่น ลักษณะทางประชากร สภาวะสุขภาพ หรือพฤติกรรมสุขภาพ เป็นต้น

การแบ่งประเภทตัวแปรเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ในงานวิจัยแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

2.1.1.1 ตัวแปรตาม

ตัวแปรตาม (dependent variable) เป็นตัวแปรที่แสดงผลการศึกษา (outcome variable) เช่น ในการทดลองรักษาผู้ป่วยเจ็บคอด้วยยาอมว่านหางจระเข้ อาการเจ็บคอ (หายหรือไม่หาย) เป็นตัวแปรที่ใช้แสดงผลการรักษา อาการเจ็บคอจะแปรตามการแสดงประสิทธิผลของยาที่ใช้ในการรักษา ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความครอบคลุมของการได้รับวัคซีน DPT/OPV ในเด็กอายุต่ำกว่า 1 ปี การได้รับวัคซีนเป็นตัวแปรตามที่ใช้แสดงผลการศึกษา การได้รับวัคซีนจะแปรตามการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเอาใจใส่ของพ่อแม่ ประสิทธิภาพของเจ้าหน้าที่ ฯลฯ

2.1.1.2 ตัวแปรอิสระ

ตัวแปรอิสระ (independent variable) เป็นตัวแปรที่กำหนดให้เกิดผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม เช่น จากตัวอย่างการรักษาอาการเจ็บคอด้วยยาอมว่านหางจระเข้ ประสิทธิผลของยาอมว่านหางจระเข้เป็นตัวแปรอิสระที่เป็นตัวกำหนดผลการรักษา ถ้ายามีประสิทธิผลในการรักษาผู้ป่วยที่ได้รับยาจะหายจากอาการเจ็บคอ ผู้ป่วยได้รับยาหลอกจะยังคงมีอาการเจ็บคออยู่ ในการศึกษามีการเก็บข้อมูลตัวแปรอื่นๆ เช่น อายุ เพศ ความหนักเบาของอาการ ตัวแปรเหล่านี้ใช้ในการบรรยายลักษณะตัวอย่างหรือสถานการณ์ที่อาจจะมีหรือไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ตัวแปรบางตัวอาจมีอิทธิพลต่อโรคหรือต่อประสิทธิผลของยาทั้งทางตรงและทางอ้อม ตัวแปรดังกล่าวจะถูกจัดให้เป็นตัวแปรอิสระทั้งหมด

2.1.2 มาตรวัดค่าตัวแปร

ตัวแปรที่ใช้แสดงลักษณะต่างๆทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจะถูกวัดออกมาเป็นค่า (value) ค่าแต่ละค่าที่วัดเรียกว่าข้อมูล การวัดค่าของตัวแปรจะมีมาตรวัด 4 มาตรา คือ มาตรานามบัญญัติ มาตราเรียงลำดับ มาตราอันตรภาค และมาตราอัตราส่วน

2.1.2.1 มาตรานามบัญญัติ

มาตรานามบัญญัติ (nominal scale) เป็นการวัดค่าตัวแปรโดยใช้ชื่อหรือคำจำกัดความที่บรรยายลักษณะของกลุ่มต่างๆภายในตัวแปร ค่าข้อมูลของแต่ละหน่วยตัวอย่างจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งได้เพียงกลุ่มเดียว โดยกลุ่มต่างๆที่

แบ่งด้วยชื่อนี้จะไม่สามารถจัดลำดับความสูงต่ำระหว่างกลุ่มได้ เช่น เพศ (ชาย, หญิง) ผลการรักษา (หาย, ไม่หาย) กลุ่มเลือด (A, B, O และ AB) เป็นต้น

2.1.2.2 มาตราเรียงลำดับ

มาตราเรียงลำดับ (ordinal scale) เป็นการวัดค่าตัวแปรโดยใช้ชื่อเช่นเดียวกับมาตรานามบัญญัติ แต่กลุ่มที่ได้จากการวัดจะสามารถระบุลำดับความสูงต่ำระหว่างกลุ่มได้ เช่น ตัวแปรความเจ็บป่วย แบ่งเป็น ไม่เจ็บ เจ็บน้อย เจ็บมาก ตัวแปรผลการทดสอบความรู้ แบ่งเป็น รู้ไม่เพียงพอ รู้เพียงพอ รู้ดีมาก ฯลฯ

2.1.2.3 มาตราอันตรภาค

มาตราอันตรภาค (interval scale) เป็นการวัดค่าตัวแปรเป็นตัวเลข โดยที่ตัวเลขแต่ละค่าจะมีช่วงห่างเท่าๆกัน และมีจุดศูนย์ที่ไม่แท้ เช่น อุณหภูมิ วัดเป็นองศาเซลเซียส (˚C) โดยอุณหภูมิ 5 ˚C ห่างจาก 6 ˚C เท่ากับ 6 ˚C ห่างจาก 7 ˚C และที่ 0 ˚C มิได้หมายความว่าไม่มีอุณหภูมิ (จุดศูนย์ไม่แท้) เพราะจะมีอุณหภูมิลบ (เช่น –4 ˚C) ต่อไปได้อีก

2.1.2.4 มาตราอัตราส่วน

มาตราอัตราส่วน (ratio scale) เป็นการวัดค่าตัวแปรเป็นตัวเลขเช่นเดียวกับมาตราอันตรภาคแต่มีจุดศูนย์ที่แท้จริง ไม่สามารถมีค่าลบต่อไปได้อีก เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง ความดันโลหิต จำนวนผู้ติดเชื้อ HIV

2.1.3 ประเภทของข้อมูล

เมื่อตัวแปรถูกวัดด้วยมาตรวัดอย่างใดอย่างหนึ่งออกมาเป็นค่า ค่าที่ได้จะเรียกว่าข้อมูล ข้อมูลที่ได้สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆดังนี้

2.1.3.1 ข้อมูลกลุ่ม

ข้อมูลกลุ่ม (categorical data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดตัวแปรด้วยมาตรานามบัญญัติหรือมาตราเรียงลำดับ ใช้แสดงตัวแปรลักษณะเชิงคุณภาพ (qualitative variable) เก็บข้อมูลโดยการแจงค่าที่วัดได้ออกเป็นกลุ่มๆ แล้วนับจำนวนข้อมูลที่มีอยู่ในแต่ละกลุ่ม เช่นข้อมูลในตารางต่อไปนี้

ตัวแปร	กลุ่ม (ชื่อ)	ข้อมูล
เพศ	ชาย หญิง	ชาย 30 คน หญิง 29 คน
สถานภาพสมรส	โสด สมรส	โสด 25 คน สมรส 30 คน
	หม้าย/หย่า	หม้าย/หย่า 4 คน
กลุ่มเลือด	กรุ๊ป A, B, O, AB	A 12 คน B 11 คน O 14 คน
		AB 12 คน
ผลการรักษา	หาย ไม่หาย	หาย 48 คน ไม่หาย 11 คน
การสูบบุหรี่	สูบ ไม่สูบ	สูบ 21 คน ไม่สูบ 38 คน
ความรุนแรงของโรค	น้อย ปานกลาง มาก	น้อย 32 คน ปานกลาง 18 คน
		มาก 9 คน

ข้อมูลกลุ่มที่มีกลุ่มภายในตัวแปร 2 กลุ่มเรียกว่าข้อมูลทวิวิภาค (dichotomous data) ข้อมูลที่วัดด้วยมาตราเรียงลำดับสามารถจัดลำดับความสูงต่ำระหว่างกลุ่มได้ เรียกว่าข้อมูลลำดับ (ordinal data)

2.1.3.2 ข้อมูลที่วัดค่าได้เป็นตัวเลข

ข้อมูลที่วัดค่าได้เป็นตัวเลข (numerical data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดตัวแปรด้วยมาตราอันตรภาคหรือมาตราอัตราส่วน ใช้แสดงตัวแปรลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative variable) แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

1) ข้อมูลไม่ต่อเนื่อง

ข้อมูลไม่ต่อเนื่อง (discrete data) ข้อมูลประเภทนี้จะได้จากการนับปริมาณของเหตุการณ์ต่างๆ เช่น จำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษา จำนวนอุบัติเหตุ จำนวนเด็กเกิดมีชีพ ค่าที่ได้เป็นเลขจำนวนเต็มและระยะระหว่างค่าข้อมูลไม่สามารถแบ่งย่อยได้ เช่น 1, 2, 3, ... คน ไม่สามารถแบ่งเป็น 1.5 คน

2) ข้อมูลต่อเนื่อง

ข้อมูลต่อเนื่อง (continuous data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือทำให้ค่าข้อมูลออกมาเป็นตัวเลข และระยะระหว่างค่าของข้อมูลสามารถแบ่งย่อยได้เรื่อยๆตามความละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้วัด เช่น น้ำหนัก ชั่งด้วยตาชั่งธรรมดาชั่งได้ 2.5 กรัม ถ้าต้องการความละเอียดเพิ่มขึ้นก็สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดสูงขึ้น น้ำหนักที่ได้อาจเป็น 2.53 กรัม หรือ 2.5312 กรัม

วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะมีความแตกต่างไปตามประเภทของข้อมูล โดยมีวิธีการสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล 3 ประเภท ดังนี้

1) ข้อมูลกลุ่ม
2) ข้อมูลลำดับ
3) ข้อมูลต่อเนื่อง

ข้อมูลไม่ต่อเนื่องที่วัดได้ส่วนใหญ่มีค่าข้อมูลหลายค่า จะใช้การวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับข้อมูลต่อเนื่อง ในกรณีที่มีค่าข้อมูลไม่กี่ค่า เช่น น้อยกว่า 5 ค่า นักวิจัยควรใช้วิธีการวิเคราะห์แบบข้อมูลลำดับ

2.1.4 การเปลี่ยนประเภทข้อมูล

การเปลี่ยนประเภทข้อมูลสามารถทำได้โดยเปลี่ยนจากข้อมูลที่วัดได้ละเอียดเป็นข้อมูลที่วัดได้อย่างหยาบๆ เช่น เปลี่ยนจากข้อมูลต่อเนื่องไปเป็นข้อมูลไม่ต่อเนื่อง หรือข้อมูลลำดับ หรือข้อมูลกลุ่ม ตัวอย่างเช่น

- เปลี่ยนข้อมูลต่อเนื่องอายุ 1, 2, 3, ..., 90 ปี ให้เป็นข้อมูลลำดับ กลุ่มอายุต่ำกว่า 1 ปี, 1–4 ปี, 5–9 ปี, ..., 90 ปีขึ้นไป
- เปลี่ยนข้อมูลต่อเนื่องความดันโลหิตซิสโตลิก (systolic) 90, 91, ..., 160 mmHg ไปเป็นข้อมูลกลุ่มความดันโลหิตปกติ (≤ 140 mmHg) และกลุ่มความดันโลหิตสูง (> 140 mmHg)
- เปลี่ยนข้อมูลลำดับการสูบบุหรี่ ไม่สูบ สูบ และสูบจัด ไปเป็นข้อมูลกลุ่มไม่สูบและกลุ่มสูบบุหรี่

การเปลี่ยนประเภทข้อมูลนี้จะทำให้สูญเสียรายละเอียดบางส่วนของข้อมูล ดังนั้น นักวิจัยควรพิจารณาผลที่จะเกิดขึ้นอย่างรอบคอบ ในการเก็บข้อมูลถ้าเป็นไปได้ควรเก็บในรูปค่าที่ละเอียด เช่น ความดันโลหิตให้เก็บเป็นค่าจริงที่วัดได้ ถ้าต้องการจัดเป็นกลุ่มก็สามารถทำได้ในภายหลัง ทำให้นักวิจัยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในรูปของข้อมูลละเอียดตามที่เก็บมาและนำมาจัดเป็นกลุ่มตามประโยชน์การใช้งานได้

2.2 รูปแบบการพรรณนาลักษณะตัวอย่าง

การวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยเริ่มต้นด้วยการสรุปลักษณะการแจกแจงของข้อมูลของแต่ละตัวแปรให้อยู่ในรูปที่เข้าใจได้ง่าย ข้อมูลของแต่ละตัวแปรอาจใช้รูปแบบการพรรณนาลักษณะข้อมูลของตัวอย่างที่ต่างกัน การจะใช้รูปแบบการพรรณนาแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับประเภทข้อมูลและจำนวนตัวแปรที่

พรรณนาร่วมกันว่าเป็นตัวแปรเดียว (univariate) 2 ตัวแปรร่วมกัน (bivariate) หรือตัวแปรหลายตัว (multivariate) การพรรณนาลักษณะข้อมูลของตัวอย่างนิยมนำเสนอใน 3 รูปแบบ คือ ตาราง แผนภูมิ และบรรยายด้วยค่าสถิติ

2.2.1 การพรรณนาในรูปแบบตารางแจกแจงความถี่

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ถ้านำมาเขียนรวมกันจะมีค่าปะปนกันไปหมด ไม่สามารถอธิบายลักษณะการแจกแจงของข้อมูลได้ เช่น ข้อมูลในตัวอย่างที่ 2.1

ตัวอย่างที่ 2.1 แสดงข้อมูลเพศและอายุของผู้ป่วยที่เข้ามารับการรักษาดังนี้

เพศ	ช	ญ	ช	ช	ญ	ญ	ญ	ช	ช	ช
	ญ	ญ	ช	ญ	ญ	ญ	ช	ญ	ช	ช
	ช	ญ	ญ	ญ	ช	ญ				
อายุ	16	37	92	25	61	21	51	51	07	38
	42	54	27	47	48	33	84	42	30	50
	38	13	09	16	36	31				

ดังนั้นการวิเคราะห์จึงต้องเริ่มด้วยการพยายามจัดข้อมูลเหล่านี้ให้อยู่เป็นกลุ่มๆหรือหมวดหมู่ จากตัวอย่างนำข้อมูลเพศมาจัดเป็นกลุ่มชายและหญิง นับจำนวนชายและหญิง นำค่าที่นับได้มาเขียนเป็นตาราง ตารางที่สร้างขึ้นนี้เรียกว่าตารางแจกแจงความถี่ ดังตาราง 2.1 (ก)

จากตาราง 2.1 (ก) นักวิจัยจะทราบว่าตัวอย่างที่สุ่มมาศึกษามีเพศชาย 12 คน เพศหญิง 14 คน ถ้านักวิจัยต้องการทราบว่าชายและหญิงมีจำนวนแตกต่างกันมากหรือไม่ การพิจารณาขนาดความแตกต่าง 2 คน จาก 26 คน จะระบุขนาดความแตกต่างได้ยาก ดังนั้นถ้ามีการเพิ่มค่าร้อยละของแต่ละเพศลงไปในตารางจะช่วยให้ระบุความต่างได้ง่ายขึ้น เช่น ตาราง 2.1 (ข) พบว่าชายมีจำนวนน้อยกว่าหญิงร้อยละ 7.6

ตาราง 2.1 (ก) แสดงจำนวนผู้ป่วยจำแนกตามเพศ

เพศ	จำนวน (คน)
ชาย	12
หญิง	14
รวม	**26**

ตาราง 2.1 (ข) แสดงจำนวนและร้อยละผู้ป่วยจำแนกตามเพศ

เพศ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ชาย	12	46.2
หญิง	14	53.8
รวม	**26**	**100**

การจัดลำดับก่อนหลังของกลุ่มข้อมูลภายในตารางจะทำให้ผู้อ่านเข้าใจลักษณะข้อมูลได้ง่ายขึ้น สำหรับตัวแปรแจงนับควรจัดเรียงลำดับก่อนหลังตามจำนวนความถี่จากมากไปน้อย เช่น ตาราง 2.2 สำหรับข้อมูลลำดับควรจัดเรียงตามลำดับธรรมชาติของข้อมูลนั้น เช่น ระดับความรุนแรงของโรคจากน้อยไปมาก กลุ่มอายุจากน้อยไปมาก เช่น ตาราง 2.3 และตาราง 2.5

ตาราง 2.2 แสดงเหตุผลหลักที่ผู้ป่วยระบุในการมารับบริการที่โรงพยาบาลชุมชน

เหตุผลหลัก	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ป่วยเฉียบพลัน	696,606	54.8
โรคเรื้อรัง	261,167	20.6
มารับบริการส่งเสริมสุขภาพ	115,899	9.1
มาตามนัด	99,712	7.8
บาดเจ็บถูกพิษ	82,071	6.5
ผู้ป่วยส่งต่อ	6,490	0.5
ไม่ได้ระบุ	8,456	0.7
รวม	**1,270,401**	**100**

ตาราง 2.3 แสดงระดับความเจ็บปวดก่อนได้รับยา

ความเจ็บปวด	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ไม่ปวด	7	16.3
ปวดน้อย	12	27.9
ปวดปานกลาง	9	20.9
ปวดมาก	15	34.9
รวม	**43**	**100**

สำหรับตารางแจกแจงความถี่ของข้อมูลต่อเนื่องซึ่งปกติค่าข้อมูลจะไม่ซ้ำกันเลยหรือซ้ำกันน้อยมาก เช่น ตัวอย่างในตาราง 2.4 ทำให้สรุปลักษณะข้อมูลได้ยาก อาจบรรยายได้แต่เพียงว่าอายุต่ำสุด 7 ปี และอายุสูงสุด 92 ปีเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มแต่ละกลุ่มมีช่วงค่าข้อมูลไม่ซ้ำกัน เช่น ในตาราง 2.5 แบ่งอายุออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 10 ปีเท่าๆกัน คำนวณค่าความถี่ ร้อยละ และร้อยละความถี่สะสมของแต่ละกลุ่ม จะช่วยให้นักวิจัยพรรณนาลักษณะของข้อมูลได้ดังนี้ ตัวอย่างที่ศึกษาอยู่ในกลุ่มอายุ 30-39 ปีมากที่สุดร้อยละ 26.9 มีเด็กอายุต่ำกว่า 10 ปีร้อยละ 7.7 ผู้ที่มีอายุมากกว่า 60 ปีขึ้นไปมีร้อยละ 11.5 เป็นต้น

ตาราง 2.4 แสดงจำนวนผู้ป่วย จำแนกตามอายุ

อายุ (ปี)	จำนวน (คน)	ร้อยละ
7	1	3.8
9	1	3.8
13	1	3.8
16	2	7.7
21	1	3.8
25	1	3.8
27	1	3.8
30	1	3.8
31	1	3.8
33	1	3.8
36	1	3.8
37	1	3.8
38	2	7.7
42	2	7.7
47	1	3.8
48	1	3.8
50	1	3.8
51	2	7.7
54	1	3.8
61	1	3.8
84	1	3.8
92	1	3.8
รวม	**26**	**100**

ตาราง 2.5 แสดงจำนวนผู้ป่วย จำแนกตามกลุ่มอายุ

กลุ่มอายุ (ปี)	จำนวน (คน)	ร้อยละ	ร้อยละความถี่สะสม
ต่ำกว่า 10	2	7.7	7.7
10–19	3	11.5	19.2
20–29	3	11.5	30.8
30–39	7	26.9	57.7
40–49	4	15.4	73.1
50–59	4	15.4	88.5
60–69	1	3.8	92.3
70–79	0	0	92.3
80 ขึ้นไป	2	7.7	100
รวม	**26**	**100**	

ตาราง 2.6 แสดงจำนวนประชากรตัวอย่าง จำแนกตามกลุ่มอายุเป้าหมายบริการสาธารณสุข

อายุ (ปี)	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ต่ำกว่า 1 ปี	40	2.6
ก่อนวัยเรียน	125	8.2
วัยเรียน	256	16.8
วัยรุ่น	117	7.7
วัยผู้ใหญ่	858	56.2
วัยชรา	130	8.5
รวม	**1,526**	**100**

ในกรณีที่ตัวแปรที่ศึกษามีเกณฑ์การกำหนดช่วงค่าปกติ นักวิจัยควรแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นช่วงตามเกณฑ์นั้นๆ เช่น ระดับความดันโลหิตซิสโตลิก (SBP) มีการกำหนดว่าความดันโลหิตของคนปกติ SBP < 160 mmHg, ความดันโลหิตปกติกำลังจะสูง SBP 120–139 mmHg, ความดันโลหิตสูงขั้นที่ 1 SBP 140–159 mmHg และความดันโลหิตสูงขั้นที่ 2 SBP > 160 mmHg อีกตัวอย่างหนึ่ง คือ การกำหนดกลุ่มอายุผู้ที่เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็ง มีการกำหนดกลุ่มอายุตามกลุ่มอายุประชากรมาตรฐาน (World Standard Population (Doll et al. 1966)) ที่ใช้ปรับค่าการเสียชีวิตมาตรฐานเดียวกันทุกประเทศ

ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ไม่มีเกณฑ์ในการกำหนดค่า ถ้านักวิจัยต้องการนำผลการศึกษาไปเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยหรือรายงานอื่น ก็สามารถจัดกลุ่มข้อมูลให้เหมือนกันกับในรายงานวิจัยที่ต้องการเปรียบเทียบ

ในบางครั้งตัวแปร 1 ตัว สามารถจัดกลุ่มข้อมูลได้มากกว่า 1 แบบ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานของตาราง เช่น ตัวแปรอายุ ถ้าต้องการดูลักษณะการแจกแจงจะแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วงเท่าๆกัน เช่น ตาราง 2.5 แบ่งอายุออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 10 ปีเท่าๆกัน ถ้าในการสำรวจประชากรเพื่อจัดบริการสาธารณสุข การพรรณนาอายุจะแบ่งตามกลุ่มเป้าหมายของการให้บริการสาธารณสุข เช่น ในตาราง 2.6 ทำให้นักวิจัยทราบจำนวนผู้รับบริการในแต่ละกลุ่มเป้าหมาย

ตารางแจกแจงความถี่สร้างขึ้นเพื่อการวิเคราะห์เบื้องต้น จะครอบคลุมตัวแปรที่ศึกษาทุกตัว ในการศึกษาหนึ่งๆการวิเคราะห์เบื้องต้นจะประกอบด้วยตารางจำนวนมาก และจากตารางทั้งหมดนี้มีตารางจำนวนหนึ่งที่ถูกเลือกไปใช้ในการรายงานผลและนำเสนอผลงานวิจัย

ข้อแนะนำในการสร้างตารางแจกแจงความถี่

1) ในตารางวิเคราะห์เบื้องต้นและตารางนำเสนอข้อมูลแจงนับและข้อมูลลำดับที่มีจำนวนกลุ่มไม่มาก ควรมีรายการชื่อกลุ่มครอบคลุมทุกกลุ่มถึงแม้บางกลุ่มจะไม่มีข้อมูล เพราะจะช่วยให้เข้าใจการแจกแจงได้ง่าย
2) ข้อมูลแจงนับที่มีกลุ่มจำนวนมาก เช่น จำนวนผู้ป่วยด้วยโรคต่างๆ มีโรคเป็นร้อยกลุ่มโรค ในกรณีนี้ควรทำการเรียงลำดับกลุ่มตามจำนวนความถี่จากมากไปน้อย และตัดกลุ่มที่ไม่มีความถี่ออกจากตาราง ถ้ายังคงมีกลุ่มจำนวนมากในตาราง ในการนำเสนออาจนำเสนอเฉพาะ 10 หรือ 20 โรคแรกที่มีผู้ป่วยมากที่สุด
3) จำนวนกลุ่ม (ชั้น) ของข้อมูลต่อเนื่องถ้าต้องการดูลักษณะการแจกแจงควรจัดให้มีความกว้างของชั้นเท่าๆกัน จำนวนชั้นควรอยู่ระหว่าง 6–15 ชั้น ขึ้นอยู่กับช่วงห่างของค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด
4) การแบ่งกลุ่มข้อมูลต่อเนื่องนอกเหนือจากการดูลักษณะการแจกแจง ควรทบทวนวรรณกรรมดูด้วยว่ามีเกณฑ์การแบ่งกลุ่มอยู่หรือไม่ หรือในรายงานวิจัยที่ผ่านมามี

การแบ่งกลุ่มตัวแปรนั้นๆอย่างไร เพราะถ้าเราต้องการวิจารณ์เปรียบเทียบกับผลการศึกษาอื่นจะได้จัดกลุ่มให้เหมือนกัน

5) ตารางที่สร้างขึ้นเพื่อนำเสนอควรมีเป้าหมายในการนำเสนอเพียงหนึ่งหรือสองประเด็น ไม่ควรสร้างตารางที่ซับซ้อนหรือบรรจุหลายๆเรื่องลงในตารางเดียว ตารางต้องสามารถอ่านเข้าใจง่าย มีคำอธิบายภายในตารางให้ชัดเจน ในกรณีที่มีข้อมูลสูญหายหรือมีผู้ไม่ตอบในบางคำถามทำให้ผลรวมของตัวแปรต่างๆไม่เท่ากัน นักวิจัยควรเพิ่มรายการข้อมูลสูญหาย หรือไม่ตอบ หรือไม่เข้าข่าย (ข้ามข้อนี้) ลงในตาราง
6) ตารางนำเสนอควรมีรูปแบบของตารางให้สอดคล้องกับรูปแบบที่กำหนดโดยวารสารที่จะส่งไปตีพิมพ์ หรือตามรูปแบบในคู่มือการเขียนรายงานหรือวิทยานิพนธ์

2.2.2 แผนภูมิ

แผนภูมิ (chart) เป็นการพรรณนาข้อมูลโดยใช้ภาพแสดงจำนวนความถี่หรือแสดงลักษณะการแจกแจงของข้อมูล รวมทั้งคุณสมบัติต่างๆ เช่น ลักษณะการกระจาย แผนภูมิจะช่วยให้นักวิจัยสามารถทำความเข้าใจลักษณะและคุณสมบัติต่างๆของข้อมูลได้ง่ายกว่าตารางแจกแจงความถี่ แผนภูมิใช้ได้ทั้งการวิเคราะห์เบื้องต้นและการนำเสนอผล ในตำราเล่มนี้จะแสดงการใช้แผนภูมิสำหรับการวิเคราะห์เบื้องต้นและการนำเสนอผลที่พบบ่อย ถ้านักวิจัยต้องการใช้แผนภูมิเพื่อการนำเสนอที่มีการตกแต่งเพิ่มเติมให้สวยงามและกระตุ้นความสนใจในการนำเสนอ สามารถหาอ่านเพิ่มเติมได้จากหนังสือการนำเสนอข้อมูล (presenting result หรือ presenting statistics) ซึ่งจะมีแผนภูมิในการนำเสนอให้เลือกจำนวนมาก

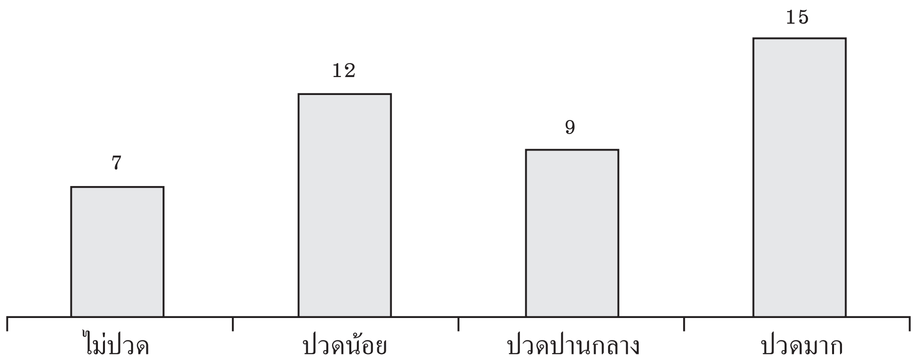
การพรรณนาข้อมูลโดยใช้แผนภูมิมีหลายแบบ ถ้าเลือกใช้แผนภูมิที่ไม่เหมาะสมจะทำให้สื่อลักษณะข้อมูลผิดพลาด การเลือกแผนภูมิแบบใดนั้นจะต้องคำนึงถึงประเภทข้อมูล จำนวนตัวแปรที่จะพรรณนาร่วมกัน ขนาดตัวอย่างที่ศึกษามีขนาดใหญ่หรือเล็ก และวัตถุประสงค์ของการพรรณนา

ในตำราเล่มนี้จะอธิบายหลักการสร้างและเลือกใช้แผนภูมิที่พบบ่อยในงานวิจัยทางด้านการแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ โดยไม่อธิบายรายละเอียดของวิธีการสร้างแผนภูมิ เพราะมีโปรแกรมสร้างกราฟหรือโปรแกรมสถิติที่ช่วยนักวิจัยสร้างแผนภูมิจากข้อมูลดิบอยู่แล้ว ถ้านักวิจัยต้องการทราบวิธีการสร้างโดยละเอียดให้หาอ่านได้จากหนังสือชีวสถิติหรือสถิติเบื้องต้นทั่วไป

รูปแบบการพรรณนาด้วยแผนภูมิที่นิยมใช้กันมากในงานวิจัย ได้แก่

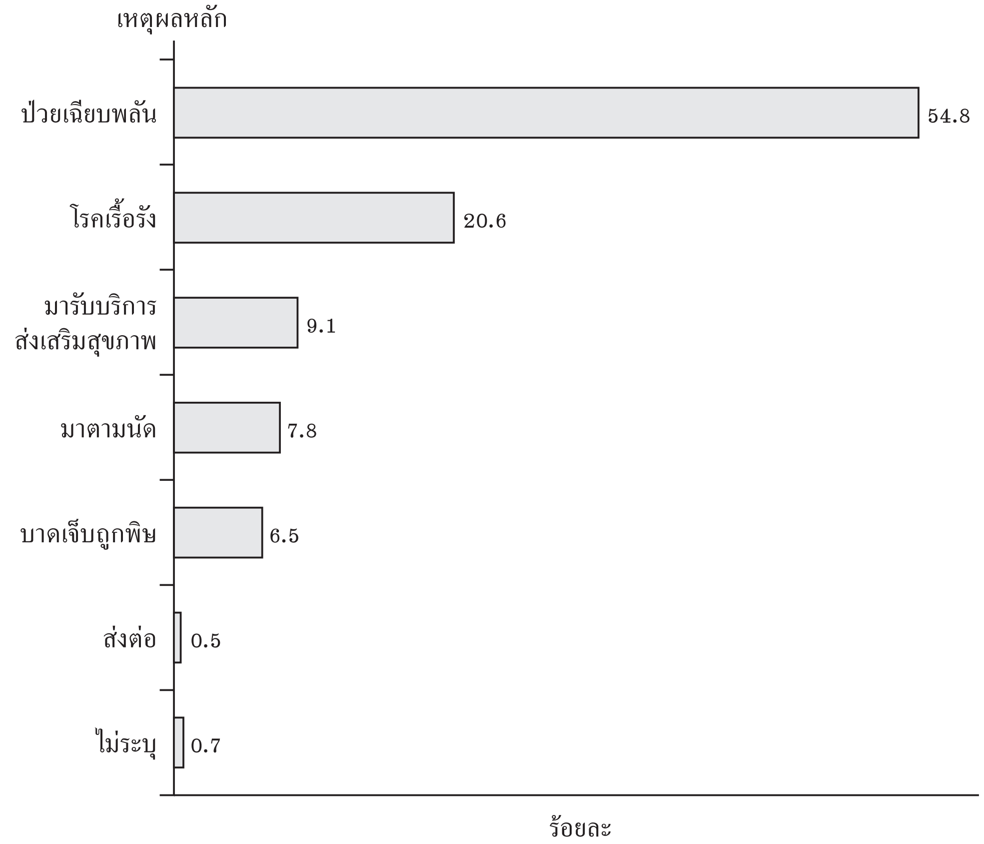
2.2.2.1 แผนภูมิแท่ง

แผนภูมิแท่ง (bar chart) ใช้สำหรับแสดงการแจกแจงข้อมูลของข้อมูลกลุ่ม โดยจะใช้ความยาวหรือความสูงของแท่งเป็นสัดส่วนกับจำนวนความถี่ข้อมูลของแต่ละกลุ่ม เช่น ภาพ 2.1



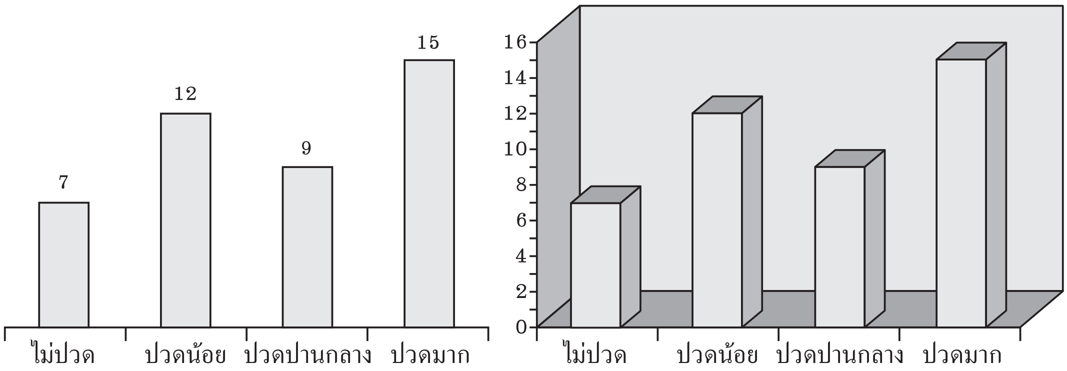
ภาพ 2.1 แสดงจำนวนผู้ป่วยจำแนกตามระดับความเจ็บปวดก่อนได้รับยา

ความสูงของแท่งจะแสดงความถี่ของความเจ็บปวดในแต่ละระดับ การเรียงลำดับแท่งของแผนภูมิควรเรียงตามลักษณะธรรมชาติของข้อมูล เช่น จากไม่ปวดไปจนถึงปวดมาก แต่ถ้าเป็นข้อมูลกลุ่มที่วัดด้วยมาตรานามบัญญัติควรเรียงตามจำนวนความถี่ของข้อมูลจากมากไปน้อยหรือน้อยไปมาก โดยมีตัวเลขความถี่กำกับบนแท่งด้วย จะช่วยให้สื่อปริมาณความถี่ในแต่ละกลุ่มได้ชัดเจน ในกรณีที่ข้อมูลมีขนาดใหญ่การเขียนตัวเลขความถี่ (หลายหลัก) กำกับบนแท่งอาจไม่ได้ช่วยในการสื่อความหมายถึงปริมาณในการเปรียบเทียบ จึงควรใช้ค่าร้อยละแทนจำนวนความถี่ เช่น ภาพ 2.2 ใช้แท่งในแนวนอนแสดงปริมาณความถี่ของเหตุผลหลักที่ผู้ป่วยระบุในการมารับบริการ ณ โรงพยาบาลชุมชน โดยเรียงลำดับของแท่งตามจำนวนความถี่จากมากไปน้อย ยกเว้น 2 แท่งสุดท้ายมีการสลับที่กันระหว่างผู้ป่วยที่ส่งมารักษาต่อและไม่ได้ระบุ เพราะการเรียงกลุ่มไม่ได้ระบุไว้สุดท้ายจะเป็นไปตามธรรมชาติของข้อมูลที่เรียงกลุ่มที่ระบุสาเหตุได้จนครบก่อน แล้วจึงตามด้วยกลุ่มที่ไม่ได้ระบุสาเหตุ



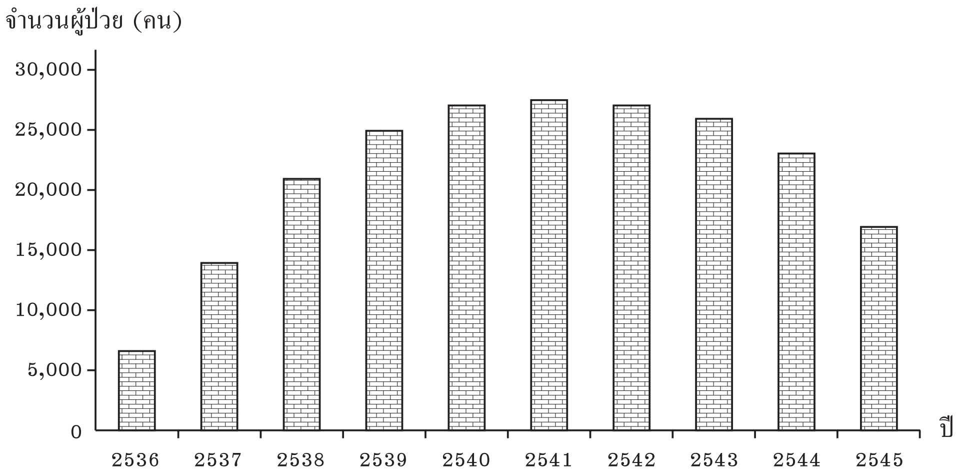
ภาพ 2.2 แสดงร้อยละของผู้มารับบริการ ณ โรงพยาบาลชุมชนจำแนกตามเหตุผลหลักที่ผู้ป่วยระบุ

แผนภูมิที่ใช้ในการนำเสนอผลควรพยายามทำให้เรียบง่าย ดูแล้วสามารถเข้าใจได้อย่างชัดเจนตามที่ต้องการสื่อ แผนภูมิที่มีส่วนประกอบอื่นๆเพื่อความสวยงามหรือมีข้อความมากเกินไปจะรบกวนการทำความเข้าใจ ดังนั้นการนำเสนอแบบ 3 มิติหรือมีรายละเอียดประกอบที่มากเกินจำเป็น อาจทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการอ่านผลหรือต้องเพิ่มเวลาในการทำความเข้าใจ ตัวอย่างแผนภูมิ 2 มิติและ 3 มิติในภาพ 2.3 ภาพ 3 มิติดูแล้วให้ความรู้สึกที่สมจริงและสวยงาม แต่ความสูงของแท่งจากแผนภูมิ 2 มิติให้ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มได้ชัดเจนกว่า จำนวนความถี่ที่เขียนกำกับแต่ละแท่งจะชัดเจนมากกว่าดูจากหน่วยความถี่บนแกนตั้ง ดังนั้นนักวิจัยควรพิจารณาเลือกลักษณะและองค์ประกอบของแผนภูมิให้เหมาะสมกับข้อมูลที่ศึกษาและสิ่งที่ต้องการสื่อ

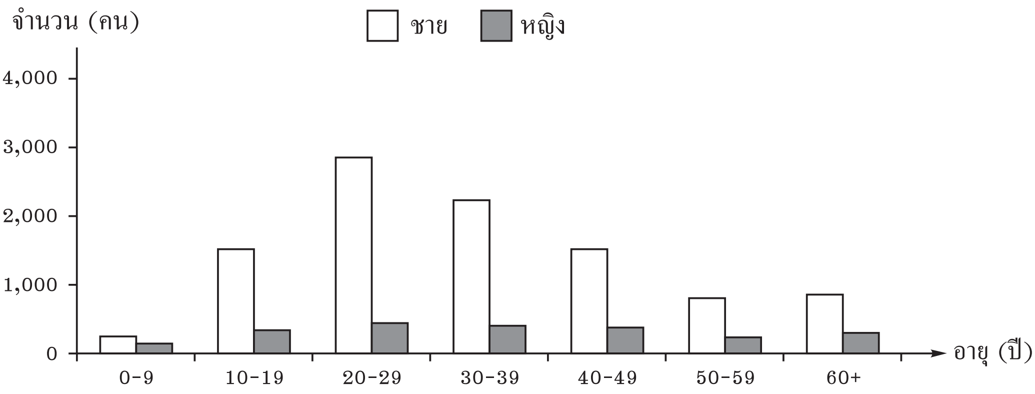


ภาพ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบแผนภูมิแท่ง 2 มิติ กับแผนภูมิแท่ง 3 มิติ

แผนภูมิแท่งยังสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (time series) ของข้อมูลกลุ่ม เช่น ตัวอย่างในภาพ 2.4 และยังสามารถใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างตัวแปร เช่น ตัวอย่างในภาพ 2.5 นอกจากนี้ ยังมีแผนภูมิแท่งแบบต่างๆที่ใช้ในการนำเสนอผลเชิงเปรียบเทียบอีกหลายแบบ เช่น แผนภูมิแท่งเชิงซ้อน แผนภูมิแท่งเชิงองค์ประกอบ แผนภูมิแท่งพีระมิด เป็นต้น



ภาพ 2.4 จำนวนผู้ป่วยโรคเอดส์ของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2536-2545

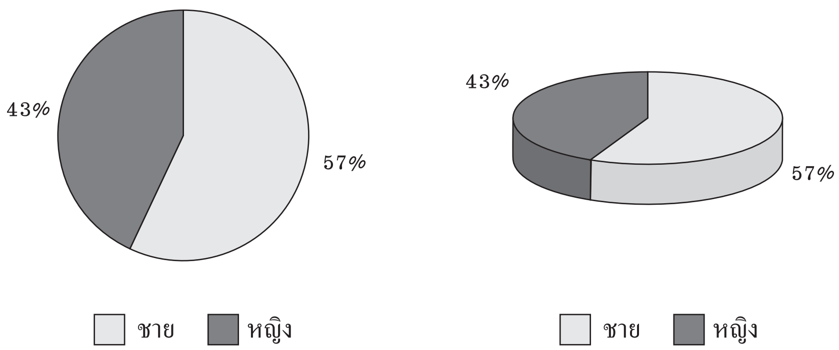


ภาพ 2.5 จำนวนผู้เสียชีวิตด้วยอุบัติเหตุยานยนต์จำแนกตามอายุและเพศ พ.ศ. 2544

2.2.2.2 แผนภูมิรูปวงกลม

แผนภูมิรูปวงกลม (pie-chart) ใช้พรรณนาข้อมูลกลุ่มเช่นเดียวกับแผนภูมิแท่ง โดยการแบ่งพื้นที่วงกลมออกเป็นส่วนๆเท่ากับจำนวนกลุ่มของตัวแปร พื้นที่ของวงกลมแต่ละส่วนจะเป็นสัดส่วนกับร้อยละของปริมาณความถี่ของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

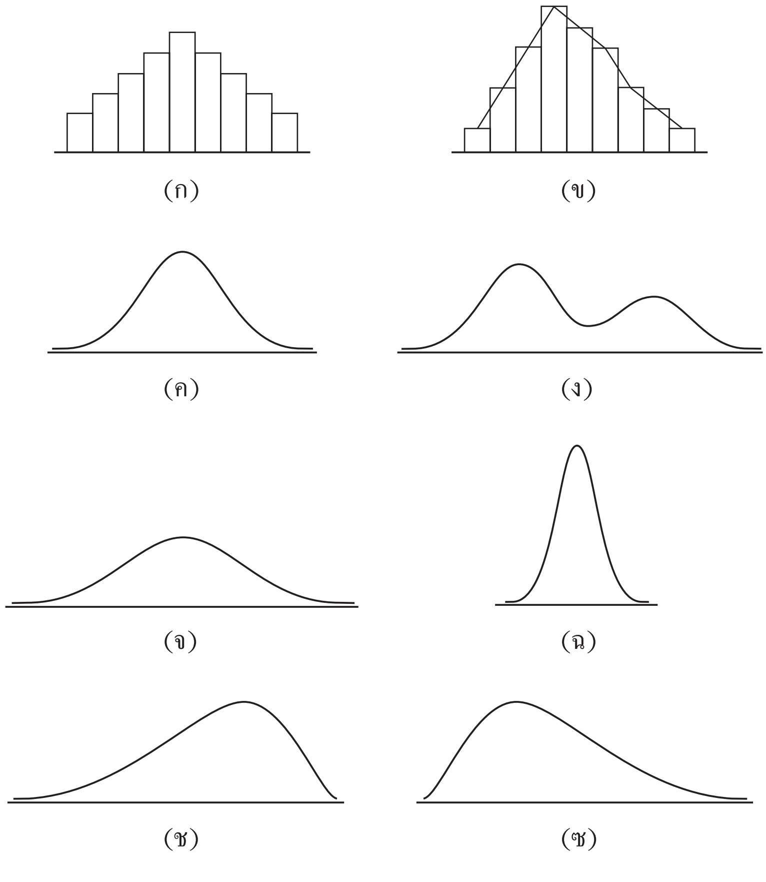
แผนภูมิรูปวงกลมแสดงปริมาณข้อมูลในแต่ละกลุ่มโดยขนาดพื้นที่ การเปรียบเทียบปริมาณความแตกต่างของข้อมูลระหว่างกลุ่มจะยากกว่าแผนภูมิแท่ง ยิ่งแผนภูมิรูปวงกลม 3 มิติ ยิ่งเปรียบเทียบได้ยากขึ้น ในกรณีที่มีกลุ่มจำนวนน้อยและข้อมูลแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน แผนภูมิรูปวงกลมจะสื่อได้ดีพอๆกับแผนภูมิแท่ง



ภาพ 2.6 จำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคไข้เลือดออกจำแนกตามเพศปี พ.ศ. 2544

2.2.2.3 ฮิสโทแกรมและรูปหลายเหลี่ยมของความถี่

ฮิสโทแกรม (histogram) สร้างจากข้อมูลต่อเนื่องนำมาแบ่งเป็นชั้นทำตารางแจกแจงความถี่ โดยให้พื้นที่ของแท่งเป็นสัดส่วนกับจำนวนความถี่ของข้อมูลในแต่ละชั้น เนื่องจากต้นกำเนิดเป็นข้อมูลต่อเนื่องแท่งกราฟจึงเรียงติดกัน ดังภาพ 2.7 (ก) ถ้าลากเส้นเชื่อมต่อจุดกึ่งกลางของแท่งจะได้รูปหลายเหลี่ยมของความถี่ (frequency polygons) ดังภาพ 2.7 (ข) ถ้าสั่งให้โปรแกรมปรับโค้งให้เรียบรูปหลายเหลี่ยมของความถี่จะเปลี่ยนไปเป็นโค้งความถี่ ดังภาพ 2.7 (ค) จำนวนชั้นของข้อมูลหรือจำนวนแท่งควรอยู่ระหว่าง 6–15 ชั้น



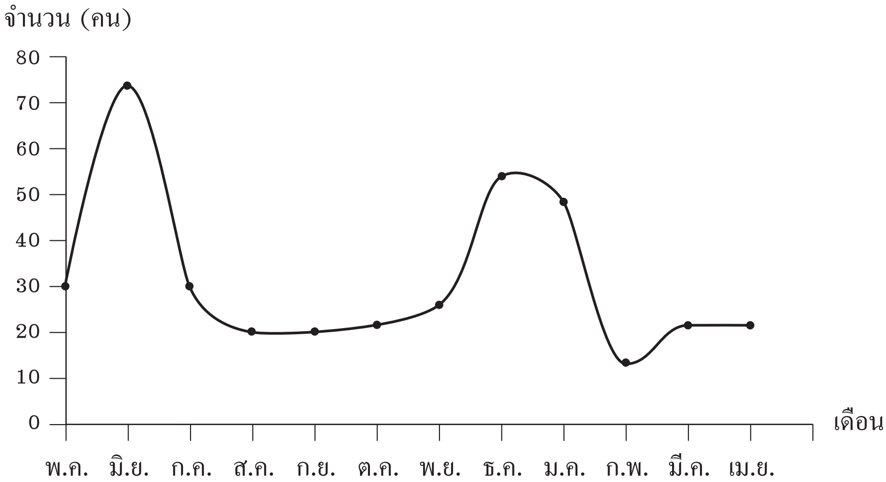
ภาพ 2.7 แสดงลักษณะของฮิสโทแกรม รูปหลายเหลี่ยมของความถี่ และโค้งความถี่

ลักษณะของโค้งความถี่ช่วยนักวิจัยพรรณนาลักษณะของการแจกแจงด้านต่างๆดังนี้ ข้อมูลมีฐานนิยมค่าเดียว (unimodal) ดังภาพ 2.7 (ค) ฐานนิยม 2 ค่า (bimodal) หรือฐานนิยมหลายค่า (multimodal) ดังภาพ 2.7 (ง)

ถ้าข้อมูลมีการกระจายมากโค้งจะแบน ดังภาพ 2.7 (จ) หรือกระจายน้อยโค้งจะโด่ง ดังภาพ 2.7 (ฉ) นักวิจัยดูลักษณะการแจกแจงว่าแจกแจงปกติ ดังภาพ 2.7 (ค) เบ้ซ้าย ดังภาพ 2.7 (ช) หรือเบ้ขวา ดังภาพ 2.7 (ซ) หรือนำไปเปรียบเทียบกับลักษณะการแจกแจงทางทฤษฎี เช่น การแจกแจงปกติ เพื่อดูว่าข้อมูลมีการแจกแจงเช่นเดียวกันกับการแจกแจงทางทฤษฎีที่ทราบหรือไม่

ถ้าการแจกแจงของตัวอย่างทั้งหมดมีค่าฐานนิยม 2 ค่า อาจเป็นไปได้ว่าตัวแปรดังกล่าวสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มย่อยด้วยตัวแปรอีกตัวหนึ่ง ฐานนิยมที่พบจะเป็นฐานนิยมของแต่ละกลุ่มย่อย เช่น จำนวนการป่วยด้วยโรคอุจจาระร่วงของเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปีในรอบปีที่ผ่านมา จะมีฐานนิยม 2 ค่า คือ ในช่วงเดือนธันวาคม–มกราคม และเดือนมิถุนายน–กรกฎาคม ดังภาพ 2.8 การที่มีฐานนิยม 2 ค่าเพราะอิทธิพลจากเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุ ในช่วงฤดูหนาวมีสาเหตุจากเชื้อไวรัส ส่วนในช่วงต้นฤดูฝนมีสาเหตุจากเชื้อแบคทีเรีย

นอกจากนี้ ยังใช้ฮิสโทแกรมแสดงลักษณะการแจกแจงของข้อมูลไม่ต่อเนื่องและข้อมูลลำดับที่มีกลุ่มย่อยหลายกลุ่ม (เกิน 5 กลุ่ม) โดยมีข้อกำหนดเบื้องต้นว่าระยะห่างระหว่างกลุ่มต้องเท่ากัน เช่น ระดับความเจ็บปวดวัดด้วยมาตรวัดภาพเชิงอุปมาน (visual analog scale) มีระดับตั้งแต่ 0 ถึง 10 ก็สามารถใช้ฮิสโทแกรมแสดงลักษณะการแจกแจงได้



ภาพ 2.8 จำนวนการป่วยด้วยโรคอุจจาระร่วงของเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี จำแนกตามเดือน

2.2.2.4 แผนภาพลำต้นและใบ

ข้อมูลต่อเนื่องที่มีจำนวนตัวอย่างขนาดเล็ก เช่น การทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือข้อมูลจากการศึกษานำร่อง แผนภาพลำต้นและใบ (stem and leaf plots) จะสามารถแสดงค่าข้อมูลแต่ละตัวและลักษณะการแจกแจงได้พร้อมกัน จากตัวอย่างข้อมูลอายุในภาพตัวอย่างที่ 2.1 ข้อมูลอายุประกอบด้วยเลข 2 หลัก วิธีการสร้างจะแบ่งตัวเลขหลักแรกเป็นลำต้น ส่วนตัวเลขหลักที่สองเป็นใบ เขียนตัวเลขแรกลงตามแนวตั้งภายใต้หัวข้อลำต้นตามลำดับจากน้อยไปมาก เสร็จแล้วเริ่มเขียนใบของลำต้นแต่ละค่า เช่น ค่าแรก 16 ให้ใส่ 6 ลงในช่องใบในแถวที่ลำต้นมีค่า 1 ค่าที่สอง 37 ให้เขียน 7 ลงในช่องใบในแถวที่ลำต้นมีค่า 3 ทำเช่นนี้จนครบทุกค่าจะได้แผนภูมิดังภาพ 2.9 (ก) ถ้าจะให้ดูง่ายขึ้นควรเรียงตัวเลขของใบในแต่ละแถวจากน้อยไปมากดังภาพ 2.9 (ข)

ลำต้น	ใบ
0	7 9
1	6 3 6
2	5 1 7
3	7 8 3 0 8 6 1
4	2 7 8 2
5	1 1 4 0
6	1
7	-
8	4
9	2

(ก)

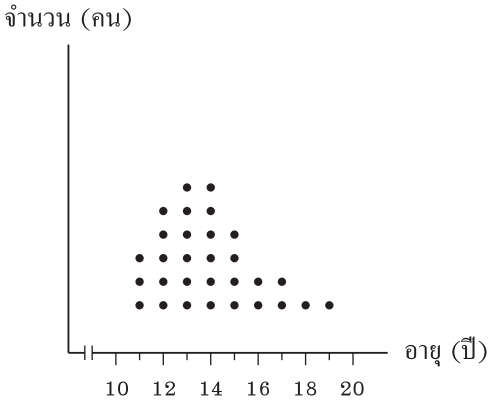
ลำต้น	ใบ
0	7 9
1	3 6 6
2	1 5 7
3	0 1 3 6 7 8 8
4	2 2 7 8
5	0 1 1 4
6	1
7	-
8	4
9	2

(ข)

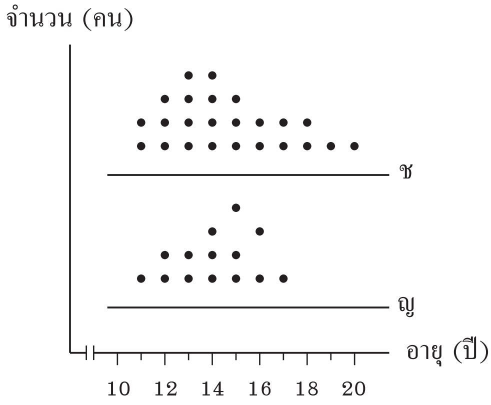
ภาพ 2.9 แสดงการแจกแจงของอายุด้วยแผนภาพลำต้นและใบ (stem and leaf plots)

2.2.2.5 แผนภาพจุด

แผนภาพจุด (dot plots) ใช้กับข้อมูลต่อเนื่องที่มีจำนวนข้อมูลไม่มากนัก แกนนอนของกราฟจะแสดงหน่วยวัด จุดแต่ละจุดแทนจำนวนข้อมูลแต่ละตัว แผนภาพจุดใช้แสดงลักษณะการแจกแจงข้อมูลของตัวแปรชุดเดียวดังภาพ 2.10 (ก) ใช้เปรียบเทียบการแจกแจงของข้อมูล 2 ชุดดังภาพ 2.10 (ข)



ภาพ 2.10 (ก) แสดงการแจกแจงของ
อายุผู้เริ่มหัดสูบบุหรี่



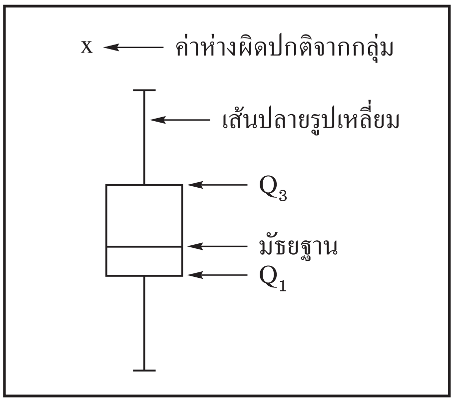
ภาพ 2.10 (ข) แสดงการแจกแจงของ
อายุผู้เริ่มหัดสูบบุหรี่แยกตามเพศ

2.2.2.6 แผนภาพบอกซ์

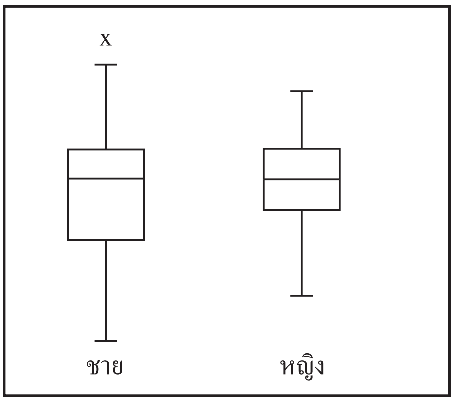
แผนภาพบอกซ์ (box plots) ใช้แสดงลักษณะการแจกแจงรูปร่าง (shape) ค่ากลาง และการกระจายของข้อมูลต่อเนื่องที่มีตัวอย่างขนาดใหญ่ เช่นเดียวกับฮิสโทแกรม แต่แผนภาพบอกซ์สามารถแสดงค่าข้อมูลที่อยู่นอกกลุ่ม ดังภาพ 2.11 (ก) และสามารถใช้เปรียบเทียบการแจกแจงของข้อมูล 2 กลุ่มได้ด้วย ดังภาพ 2.11 (ข) แผนภาพบอกซ์เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าแผนภาพบอกซ์และเส้นปลายรูปเหลี่ยม (box and whisker plots) ในการสร้างแผนภาพบอกซ์จะนำค่าข้อมูลมาเรียงลำดับแล้วแบ่งจำนวนออกเป็น 4 กลุ่มเท่าๆกัน (quartile) สร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้า (box) โดยมีความกว้างเริ่มตั้งแต่ค่าของควอร์ไทล์ที่ 1 ถึงควอร์ไทล์ที่ 3 เส้นภายในรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นเส้นแสดงตำแหน่งค่ามัธยฐาน เส้นต่อจากปลายรูปเหลี่ยม (whisker) ทั้ง 2 ด้านให้ยาวเป็น 1.5 เท่าของค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (interquartile range, $Q_3 - Q_1$)

ในกรณีที่มีข้อมูลที่มีค่าห่างผิดปกติจากกลุ่ม จะมีเครื่องหมายแสดงค่าข้อมูลดังกล่าวอยู่ด้านบนหรือด้านล่างต่อจากเส้นปลายรูปเหลี่ยม

จากภาพ 2.11 (ข) การแจกแจงระดับไขมันในเลือดของเพศหญิงค่อนข้างสมมาตร เส้นมัธยฐานแบ่งข้อมูลอยู่ตรงกลางของรูปสี่เหลี่ยม ส่วนเพศชายมีการแจกแจงเบ้ เส้นมัธยฐานอยู่ชิดขอบด้านล่างของสี่เหลี่ยมผืนผ้ามากกว่า แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายไม่เสมอกัน และในกลุ่มเพศชายมีข้อมูลหนึ่งค่าที่มีค่าอยู่นอกกลุ่ม



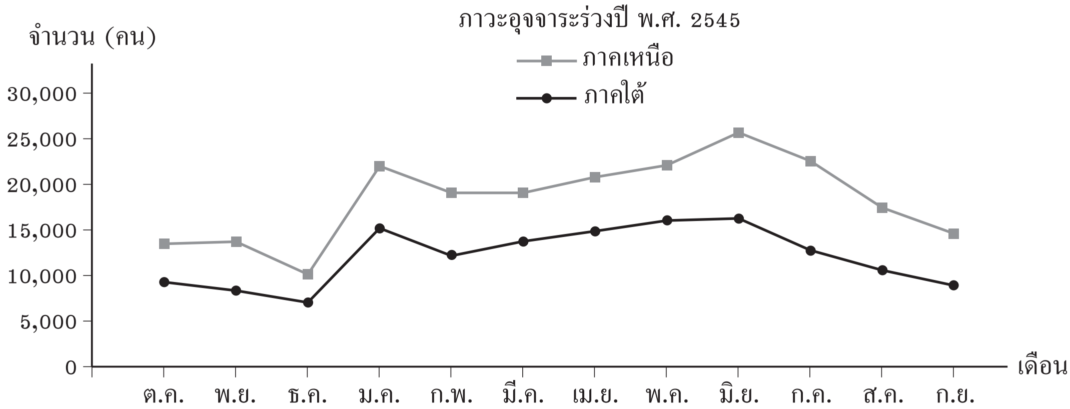
ภาพ 2.11 (ก) แผนภาพบอกซ์
และเส้นปลายรูปเหลี่ยม



ภาพ 2.11 (ข) แสดงการแจกแจง
ของระดับไขมันในเลือดจำแนกตามเพศ

2.2.2.7 กราฟเส้น

กราฟเส้น (line graph) ส่วนใหญ่สร้างขึ้นเพื่อแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลตามช่วงเวลา (time series) โดยการลากเส้นเชื่อมต่อปริมาณข้อมูลของแต่ละช่วงเวลา มีแกนนอนเป็นเวลาและแกนตั้งเป็นจำนวนความถี่ กราฟเส้นจะใช้พรรณนาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลตามช่วงเวลาได้ดีกว่าแผนภูมิแบบอื่น และใช้ได้กับข้อมูลทุกประเภท ในการสร้างกราฟควรระมัดระวังในการกำหนดมาตราส่วนของกราฟให้เหมาะสม เพราะถ้ากำหนดมาตราส่วนถี่เกินไปจะทำให้เส้นกราฟชัน เมื่อข้อมูลมีการเปลี่ยนค่าเพียงเล็กน้อยเส้นกราฟจะเปลี่ยนมาก ในทางกลับกันถ้ากำหนดมาตราส่วนห่างเกินไป เมื่อมีข้อมูลเปลี่ยนแปลงค่ามาก เส้นกราฟจะเปลี่ยนแปลงน้อย เวลาดูการเปลี่ยนแปลงจากกราฟจะทำให้เข้าใจผิดได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อย การกำหนดมาตราส่วนไม่เหมาะสมจึงมีผลต่อการแปลความหมายจากเส้นกราฟ

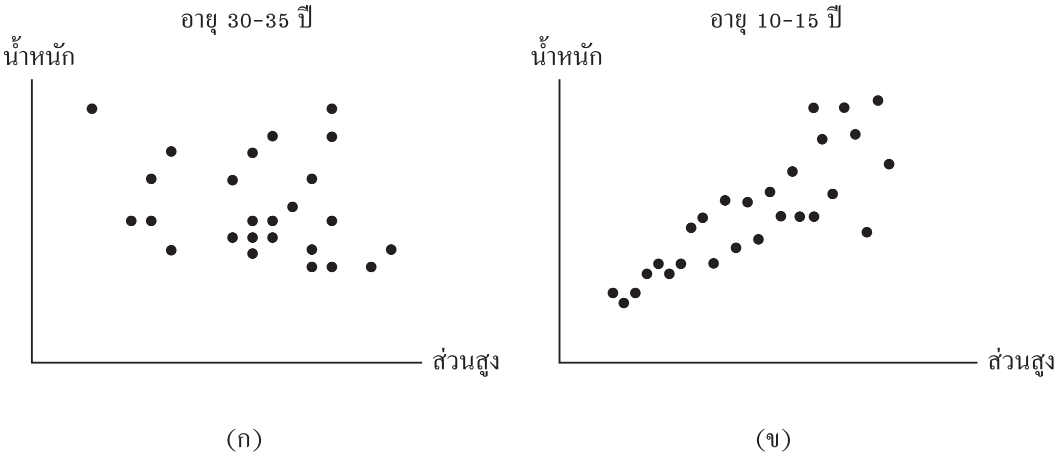


ภาพ 2.12 แสดงจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคอุจจาระร่วงของภาคเหนือและภาคใต้จำแนกตามรายเดือนปี พ.ศ. 2545

ถ้าต้องการเปรียบเทียบข้อมูล 2 ชุดว่ามีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงตามเวลาแตกต่างกันอย่างไร ข้อมูลทั้ง 2 ชุดควรมีหน่วยวัดเหมือนกัน ถ้าขนาดของการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันมากแกนความถี่ (แกน y) ควรมีหน่วยเป็นมาตราส่วนเชิงลอการิทึม (logarithmic scale) เพื่อช่วยลดความสูง ทำให้รูปกราฟสามารถบรรจุลงในหน้ากระดาษรายงานได้

2.2.2.8 แผนภาพการกระจาย

แผนภาพการกระจาย (scatter plots) เป็นแผนภาพที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่อเนื่อง โดยกำหนดจุดแต่ละจุดได้จากค่าของตัวแปรในแกนนอนตัดกับค่าของตัวแปรในแกนตั้งที่มาจากหน่วยศึกษาเดียวกัน ถ้าตัวแปรทั้ง 2 ตัวมีความสัมพันธ์กันจุดบนกราฟจะเกาะกลุ่มมีทิศทางที่ชัดเจนดังภาพ 2.13 (ข) ถ้าไม่มีความสัมพันธ์กันจุดบนกราฟจะกระจายไปทั่วอย่างไร้ทิศทางดังภาพ 2.13 (ก)



ภาพ 2.13 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักและส่วนสูง

2.2.3 การบรรยายด้วยค่าสถิติ

นอกจากตารางแจกแจงความถี่และแผนภูมิที่ช่วยในการพรรณนาคุณสมบัติต่างๆ ของข้อมูลแล้ว สถิติพรรณนายังมีวิธีการที่บรรยายคุณสมบัติของข้อมูลออกมาเป็นตัวเลขสรุป หรือค่าสถิติ (statistic) ค่าสถิติที่ใช้ในการพรรณนาคุณสมบัติการแจกแจงของข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ด้าน คือ ค่ากลาง ค่าวัดการกระจาย (dispersion หรือ spread) และรูปร่างการแจกแจง (shape)

2.2.3.1 ค่ากลาง

ถ้าต้องการค่าสรุปหนึ่งค่าเพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งชุด เช่น ถ้ามีคำถามว่าตัวอย่างที่ศึกษามีอายุเท่าใด ค่าที่ดีที่สุดที่จะใช้เป็นคำตอบคือค่ากลาง ค่ากลางที่ใช้เป็นค่าสรุปข้อมูลทั้งชุดมี 3 แบบ คือ ค่ามัชฌิม (mean) หรือค่าเฉลี่ย เป็นค่าที่แสดงว่าโดยเฉลี่ยตัวอย่างที่ศึกษามีอายุเท่าใด ค่ามัธยฐาน (median) ใช้แสดงว่าอายุที่อยู่ตรงกลางมีค่าเท่าใด และค่าฐานนิยม (mode) ใช้แสดงว่าตัวอย่างที่ศึกษาส่วนใหญ่อายุเท่าใด ค่ากลางทั้ง 3 แบบมีความเหมาะสมในการเป็นตัวแทนสรุปค่ากลางของข้อมูลแตกต่างกันไปตามประเภทข้อมูลและรูปร่างการแจกแจง

1) ค่าเฉลี่ย

ค่าเฉลี่ยหรือมัชฌิมใช้ได้กับข้อมูลต่อเนื่องโดยการนำเอาค่าของข้อมูลแต่ละตัวมารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนทั้งหมด ให้ $\bar{x}$ เป็นสัญลักษณ์ของค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างคำนวณได้จากค่าของข้อมูลทุกตัว จึงทำให้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันน้อย มีการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ว่าค่าเฉลี่ยของตัวอย่างเป็นตัวประมาณค่า (estimator) ที่ดีของค่าเฉลี่ยของประชากร ตัวอย่างที่มีข้อมูลบางตัวที่มีค่าสูงหรือต่ำผิดปกติร่วมอยู่ด้วยจะมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างคลาดเคลื่อน ถ้าข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ค่าเฉลี่ยจะไม่สามารถสะท้อนค่ากลางที่ควรจะเป็น เพราะค่าข้อมูลส่วนน้อยที่อยู่ปลายโค้งจะทำให้ค่าเฉลี่ยเอนเอียงไปทางนั้น แต่เนื่องจากมีวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติจำนวนมากสร้างขึ้นมาสำหรับการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ย ดังนั้นจึงควรนำเสนอค่าเฉลี่ยทุกครั้งซึ่งอาจนำเสนอร่วมกับค่ากลางแบบอื่นในกรณีที่การแจกแจงเบ้

2) ค่ามัธยฐาน

ค่ามัธยฐานเป็นค่าของข้อมูลที่อยู่ตรงกลางเมื่อจัดเรียงค่าข้อมูลตามลำดับโดยจะมีจำนวนข้อมูลครึ่งหนึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามัธยฐาน

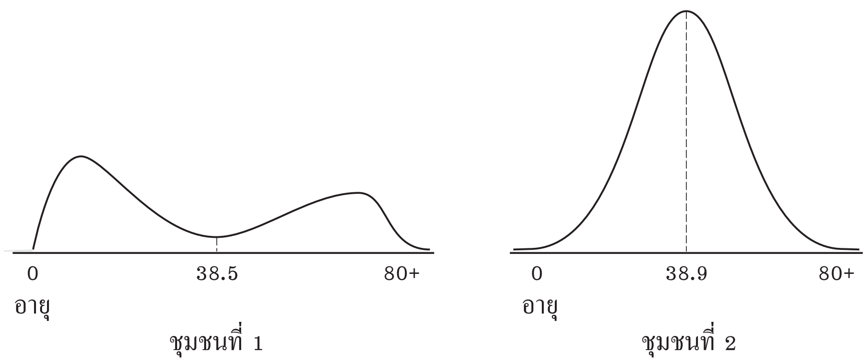
การที่ค่ามัธยฐานได้จากลำดับที่ของค่าข้อมูล จึงไม่ถูกกระทบจากข้อมูลที่มีค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ ค่ามัธยฐานของตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มแต่ละครั้งจะมีความแตกต่างกัน ทำให้ค่ามัธยฐานของตัวอย่างไม่ใช่ค่าประมาณของค่ามัธยฐานของประชากร ข้อมูลที่มีการแจกแจงเบ้ค่ามัธยฐานจะแสดงค่ากลางได้ดีกว่าค่าเฉลี่ยเพราะข้อมูลที่ปลายโค้งไม่มีผลต่อการคำนวณค่ามัธยฐาน

3) ค่าฐานนิยม

ค่าฐานนิยมเป็นค่าของข้อมูลที่มีความถี่สูงสุด ค่าฐานนิยมใช้เป็นค่ากลางได้กับข้อมูลทุกประเภท ค่าฐานนิยมไม่ได้คำนวณมาจากค่าทุกค่าของตัวอย่าง เมื่อมีการสุ่มตัวอย่างแต่ละครั้งจากประชากรเดียวกันจะได้ค่าฐานนิยมที่แตกต่างกันทำให้ค่าฐานนิยมของตัวอย่างไม่ใช่ค่าประมาณที่ดีของค่าฐานนิยมของประชากร สำหรับข้อมูลต่อเนื่องอาจมีค่าฐานนิยมมากกว่าหนึ่งค่า ในกรณีที่เป็นข้อมูลแจงนับค่าฐานนิยมจะใช้แสดงค่ากลางได้ดีที่สุด เช่น จากตาราง 2.3 แสดงระดับความเจ็บปวดก่อนได้รับยา ค่าฐานนิยม คือ ระดับปวดมาก ซึ่งแสดงว่าตัวอย่างส่วนใหญ่มีอาการปวดมากก่อนได้รับยา

2.2.3.2 ค่าวัดการกระจาย

การสรุปลักษณะการแจกแจงของข้อมูลด้วยค่ากลางเพียงอย่างเดียวจะทำให้นักวิจัยแปลความหมายค่าที่ได้ผิดพลาดได้ง่าย ตัวอย่างเช่น จากข้อมูลพื้นฐานของประชากรที่สุ่มมาศึกษา พบว่าอายุเฉลี่ยของประชากร 2 ชุมชนมีค่า 38.5 และ 38.9 ปีซึ่งใกล้เคียงกันมาก ทำให้นักวิจัยเสนอแนะให้ทางจังหวัดจัดสรรเงินสำหรับจัดบริการสาธารณสุขของ 2 ชุมชนนี้เท่าๆกัน แต่ถ้าดูการกระจายตัวของข้อมูลของตัวอย่างที่แสดงในภาพ 2.14 จะพบว่าชุมชนที่ 1 มีเด็กและคนแก่มาก ส่วนชุมชนที่ 2 ส่วนใหญ่เป็นวัยทำงาน ซึ่งในแต่ละวัยจำนวนครั้งของการป่วยและลักษณะโรคมีความแตกต่างกัน ค่าใช้จ่ายในการจัดบริการสาธารณสุขย่อมต้องไม่เท่ากัน ดังนั้นในการพรรณนาลักษณะการแจกแจงของข้อมูลนอกจากค่ากลางที่เหมาะสมแล้ว จะต้องนำเสนอค่าวัดการกระจายควบคู่กันไปด้วย



ภาพ 2.14 การแจกแจงอายุของประชากรชุมชนที่ 1 และชุมชนที่ 2

วิธีการหาค่าการกระจายของข้อมูลที่นิยมใช้กันในงานวิจัยมี 3 วิธี ดังนี้

1) พิสัย (range)

พิสัยคือระยะห่างระหว่างข้อมูลที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุด เป็นค่าที่ใช้แสดงลักษณะการกระจายของข้อมูลอย่างหยาบๆ ข้อมูลที่มีพิสัยกว้างแสดงว่ามีการกระจายของข้อมูลมาก การคำนวณค่าพิสัยใช้ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดเพียง 2 ค่า ดังนั้นค่าพิสัยที่คำนวณจากข้อมูลที่มีค่าสูงหรือต่ำผิดปกติอยู่ในชุดข้อมูลจะมีผลทำให้พิสัยไม่สามารถสะท้อนการกระจายที่แท้จริง พิสัยใช้ได้กับข้อมูลลำดับและข้อมูลต่อเนื่อง

2) **ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (interquartile range, IQR)**

เป็นค่าพิสัยของควอร์ไทล์ การคำนวณทำโดยการเรียงลำดับประชากรทั้งชุด แล้วแบ่งจำนวนข้อมูลออกเป็นสี่ส่วนเท่าๆกัน ควอร์ไทล์ที่ 1 (Q_1) จะเป็นค่าข้อมูลที่มีจำนวนข้อมูลร้อยละ 25 มีค่าต่ำกว่าค่านี้ ควอร์ไทล์ที่ 2 (Q_2) คือค่ามัธยฐาน ส่วนควอร์ไทล์ที่ 3 (Q_3) จะเป็นค่าข้อมูลที่มีจำนวนข้อมูลร้อยละ 75 มีค่าต่ำกว่าค่านี้ เช่น ข้อมูลอายุจากตัวอย่างที่ 2.1 $Q_1 = 25$ $Q_3 = 50$ ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ $= Q_3 - Q_1 = 50 - 25 = 25$ ปี ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ใช้พรรณนาข้อมูลลำดับและข้อมูลต่อเนื่อง ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าร้อยละ 50 ของข้อมูลที่อยู่ตรงกลางมีช่วงห่างเท่าใด ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ใช้ประกอบกับค่ามัธยฐานเพื่อแสดงลักษณะการแจกแจงของข้อมูลซึ่งได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อแผนภาพบอกซ์ (box plot)

3) **ความแปรปรวนและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (variance and standard deviation)**

ความแปรปรวนเป็นค่าวัดการกระจายของข้อมูลต่อเนื่อง ใช้แสดงว่าข้อมูลกระจายรอบๆค่าเฉลี่ยอย่างไร การคำนวณทำโดยหาค่าระยะห่างของข้อมูลแต่ละตัวจากค่าเฉลี่ย ซึ่งจะได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ ถ้านำมารวมกันโดยตรงผลรวมที่ได้จะเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงทำการยกกำลังสองของระยะห่างของข้อมูลแต่ละตัวจากค่าเฉลี่ยก่อนนำไปหาค่าเฉลี่ย ความแปรปรวนจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าค่าเฉลี่ยของผลต่างยกกำลังสอง (mean square) ค่าความแปรปรวนของประชากรจะใช้ σ^2 เป็นสัญลักษณ์ และความแปรปรวนของตัวอย่างจะใช้ s^2 เป็นสัญลักษณ์ เนื่องจากการคำนวณค่าของความแปรปรวนของตัวอย่างคำนวณมาจากค่าข้อมูลทุกตัว ทำให้ค่า s^2 ที่ได้เป็นตัวประมาณค่าที่ดีของ σ^2

เนื่องจากค่าความแปรปรวนเป็นค่าเฉลี่ยของผลต่างยกกำลังสอง ทำให้เวลานำมาพิจารณาขนาดของการกระจายของข้อมูลทำได้ยาก เพราะการยกกำลังสองทำให้ค่าการกระจายมีหน่วยวัดที่ใหญ่กว่า ดังนั้นเพื่อให้มีหน่วยวัดเดียวกันกับข้อมูล จึงนำค่าความแปรปรวนมาถอดรากที่สอง ค่าที่ได้เรียกว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ให้ σ เป็นสัญลักษณ์ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร และ s เป็นสัญลักษณ์ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานใช้พรรณนาลักษณะการกระจายของข้อมูลจากค่าเฉลี่ย ถ้าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากแสดงว่าข้อมูลส่วนใหญ่จะมีการกระจายห่างจากค่าเฉลี่ย โค้งการแจกแจงจะแบน ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลส่วนใหญ่จะอยู่ใกล้ๆกับค่าเฉลี่ย โค้งการแจกแจงจะโด่ง ถ้าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ช่วง $\mu \pm \sigma$ จะมีข้อมูลอยู่ร้อยละ 68.3 และช่วง $\mu \pm 2\sigma$ มีข้อมูลอยู่ร้อยละ 95.5

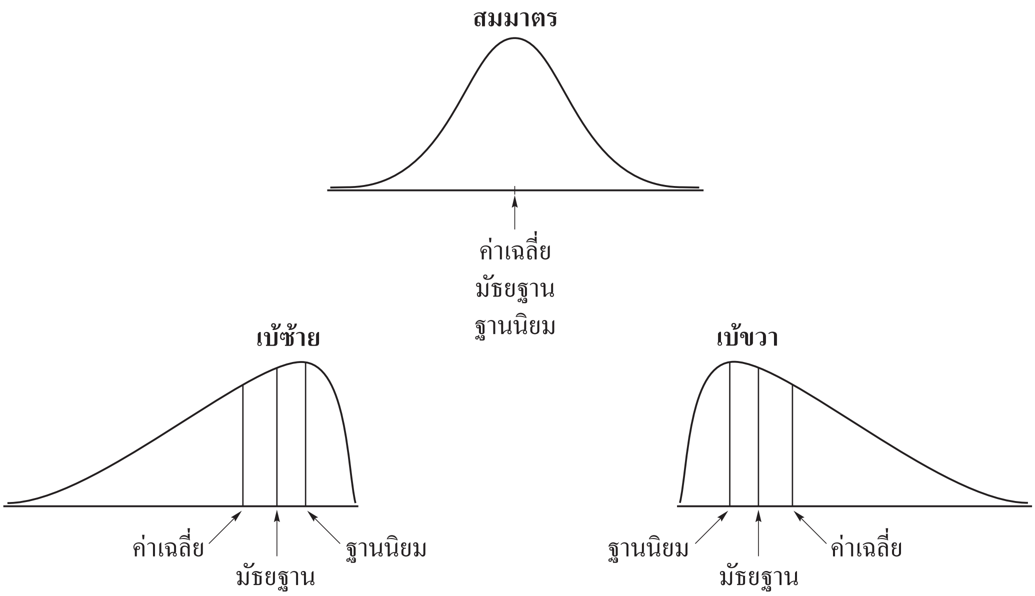
✚ 2.2.3.3 รูปร่างการแจกแจง

รูปร่างการแจกแจงจะมีลักษณะสมมาตร เบ้ แบน หรือโด่ง ขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลของตัวแปรแต่ละตัว รูปร่างการแจกแจงนี้จะใช้เป็นข้อพิจารณาเลือกใช้ค่าสถิติในการพรรณนาข้อมูล และใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตรวจสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติตามข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้สถิติอนุมานหรือไม่ การพิจารณารูปร่างการแจกแจงพิจารณาได้จากค่า 2 ค่า คือ ความเบ้ และความโด่ง ดังนี้

1) ความเบ้

ข้อมูลของตัวแปรส่วนใหญ่จะมีการแจกแจงปกติ ลักษณะการแจกแจงจะเป็นโค้งรูประฆังคว่ำ ค่ามัธยฐาน ฐานนิยม และค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากัน ข้อมูลกระจายสมมาตรทั้งสองข้างของค่าเฉลี่ย ถ้าข้อมูลมีการกระจายออกจากสองข้างของค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน รูปร่างการแจกแจงจะเบ้ ดังตัวอย่างในภาพ 2.15 ในกรณีที่ข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ด้านซ้ายปลายหางของการแจกแจงชี้ไปทางด้านขวา จะเรียกว่าการแจกแจงเบ้ขวาหรือเบ้บวก ในทำนองเดียวกัน ถ้าข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ด้านขวามีปลายหางชี้ไปด้านซ้าย จะเรียกว่าการแจกแจงเบ้ซ้ายหรือเบ้ลบ ข้อมูลที่มีการแจกแจงเบ้ขวาค่าเฉลี่ยจะมีค่ามากกว่าค่ามัธยฐาน การแจกแจงเบ้ซ้ายค่าเฉลี่ยจะมีค่าน้อยกว่าค่ามัธยฐาน

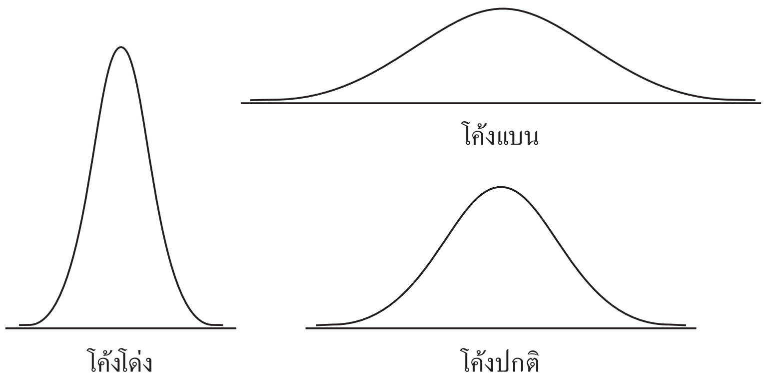
นักวิจัยพิจารณาความเบ้ได้จากรูปฮิสโทแกรม หรือทราบจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับค่ามัธยฐาน ฟิชเชอร์ (Fisher) ได้เสนอการวัดความเบ้เป็นค่าสถิติเรียกว่าความเบ้ (skewness) ความเบ้จะมีค่าเป็นศูนย์ (0) เมื่อการแจกแจงสมมาตร มีค่าเป็นบวกเมื่อการแจกแจงเบ้ขวา และมีค่าเป็นลบเมื่อการแจกแจงเบ้ซ้าย สูตรการคำนวณค่าความเบ้ยากที่จะคำนวณด้วยมือ แต่ในโปรแกรมสถิติจะมีคำสั่งคำนวณค่าของความเบ้



ภาพ 2.15 แสดงความเบ้ของรูปร่างการแจกแจงของข้อมูล

2) ความโด่ง

ความโด่งใช้แสดงรูปร่างการแจกแจงของข้อมูลอีกลักษณะหนึ่ง ความโด่งมี 3 ประเภท คือ ปกติ โด่ง และแบน ดังแสดงในภาพ 2.16 ความโด่งของการแจกแจงปกติเรียกว่าโค้งปกติ (mesokurtic) ในการระบุความโด่งจะใช้ความโด่งของการแจกแจงปกติเป็นฐาน ถ้าการแจกแจงที่โด่งน้อยกว่าการแจกแจงปกติจะเรียกว่าโค้งแบน (platykurtic) แสดงว่ามีข้อมูลกระจายออกไปจากค่าเฉลี่ยมาก ลักษณะโค้งการแจกแจงจะแบนเส้นกราฟจะเลียบไปกับแกนนอน ในทางกลับกัน ถ้าโค้งการแจกแจงแคบปริมาณข้อมูลส่วนใหญ่จะกระจุกรวมกันอยู่ใกล้ค่าเฉลี่ย เรียกว่าโค้งโด่ง (leptokurtic) ความโด่งสามารถพิจารณาได้จากฮิสโทแกรมหรือพิจารณาจากค่าสถิติความโด่ง (kurtosis) สำหรับการแจกแจงปกติจะมีค่าความโด่งเท่ากับ 3 ถ้าค่าความโด่งมากกว่า 3 โค้งจะโด่ง และถ้าค่าความโด่งน้อยกว่า 3 โค้งจะแบน มีโปรแกรมสถิติบางโปรแกรมนำ 3 ไปลบออกจากค่าความโด่งที่คำนวณได้ ทำให้โค้งของการแจกแจงปกติ ความโด่งมีค่าเป็นศูนย์ (0) ความโด่งมีค่าบวกเมื่อโค้งโด่ง และมีค่าลบเมื่อโค้งแบน ดังนั้นนักวิจัยควรอ่านคู่มือโปรแกรมซึ่งจะบอกให้ทราบว่าค่าความโด่งที่ได้มีการนำค่า 3 ไปลบออกก่อนหรือไม่



ภาพ 2.16 แสดงความโด่งของรูปร่างการแจกแจงของข้อมูล

จากรูปร่างการแจกแจงของข้อมูล นักวิจัยสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้ค่ากลางในการพรรณนาข้อมูล เช่น รายได้โดยปกติจะมีรูปร่างการแจกแจงเบ้ขวา เพราะคนส่วนใหญ่มีรายได้น้อย การใช้ค่ามัธยฐานจะสามารถสะท้อนค่ากลางของรายได้ให้ได้ภาพที่ตรงมากกว่าค่าเฉลี่ย ในการวิเคราะห์ด้วยสถิติอนุมานส่วนใหญ่จะมีข้อตกลงเบื้องต้นว่าประชากรมีการแจกแจงปกติ ถ้านักวิจัยพบว่าข้อมูลจากตัวอย่างมีการแจกแจงที่เบ้มากหรือแบนมาก อาจเป็นไปได้ว่าตัวอย่างที่ศึกษาสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงเป็นแบบอื่น ซึ่งไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ ถ้ายังยืนยันที่จะวิเคราะห์ด้วยสถิติอนุมานต่อโดยไม่แก้ไข ผลสรุปที่ได้อาจผิดพลาด การแก้ไขปัญหาการแจกแจงเบ้สามารถทำได้โดยการแปลงค่าของข้อมูลด้วยการถอดรากที่สอง หรือแปลงเป็นค่า log เพื่อให้ค่าที่แปลงได้มีความเบ้ลดลง ทำให้การแจกแจงข้อมูลที่แปลงค่าแล้วมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งจะทำให้ผลจากการทดสอบสมมติฐานและการประมาณค่ามีความถูกต้องตามทฤษฎีทางสถิติ วิธีการแปลงค่าข้อมูล (data transformation) จะได้กล่าวโดยละเอียดในบทที่ 20

สรุป

สถิติพรรณนาเป็นเครื่องมือที่ช่วยนักวิจัยจัดข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจและสื่อความหมายได้ง่าย ตาราง แผนภาพ และค่าสถิติต่างๆช่วยให้นักวิจัยเข้าใจลักษณะของข้อมูลในแต่ละตัวแปร ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมีส่วนสัมพันธ์กับสถิติอนุมานที่ใช้สรุปข้อมูลจาก

ตัวอย่างสำหรับตอบคำถามงานวิจัย ข้อมูลของตัวแปรส่วนใหญ่ที่ศึกษาจะมีการแจกแจงที่สมมาตร บางส่วนการแจกแจงมีลักษณะเบ้ การใช้สถิติพรรณนาแสดงลักษณะการแจกแจงช่วยให้ทราบว่าการแจกแจงของตัวแปรที่ต้องการอนุมานค่ามีแนวโน้มที่จะมีการแจกแจงเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติที่ใช้หรือไม่ สถิติพรรณนานอกจากจะช่วยให้นักวิจัยเข้าใจลักษณะของข้อมูลแล้ว ยังช่วยในการนำเสนอข้อมูลผลการศึกษา เพื่อช่วยให้ผู้ใช้ผลงานวิจัยสามารถเข้าใจสิ่งที่ต้องการสื่อจากข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็ว

บทที่ 3

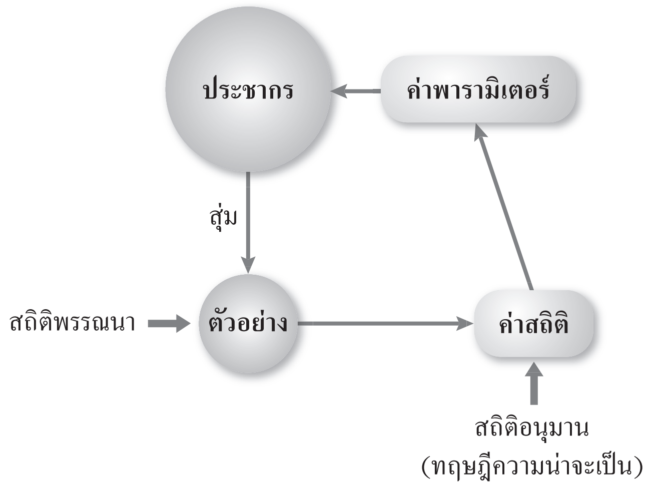
การขยายผลจากตัวอย่างสู่ประชากร: ความน่าจะเป็นและช่วงความเชื่อมั่น

ปั ตัวอย่างสถานการณ์หนึ่งเป็นคำถามซึ่งเกิดขึ้นในการประชุมทำแผนลดจำนวนผู้ป่วยโรคอุจจาระร่วง ที่ประชุมต้องการทราบว่าในปีหน้าโรคอุจจาระร่วงจะมีผู้ป่วยมากในเดือนใด นักวิชาการควบคุมโรคสืบค้นรายงานการป่วยด้วยโรคอุจจาระร่วงในรอบ 3 ปีที่ผ่านมา พบว่าจะมีผู้ป่วยสูงสุดในเดือนมกราคมและเดือนมิถุนายน จึงได้นำเสนอในที่ประชุมว่าถ้าปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่เปลี่ยนแปลง ปีหน้าคาดว่าจะมีผู้ป่วยสูงสุดในช่วงเดือนมกราคมและเดือนมิถุนายน

จากสถานการณ์ดังกล่าวแสดงว่านักวิชาการท่านนั้นคิดว่าความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ (จำนวนผู้ป่วยโรคอุจจาระร่วง) น่าจะเหมือนกับการแจกแจงที่ผ่านมา จึงตอบโดยอ้างอิงการแจกแจงความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ในปีที่ผ่านๆมา การคาดคะเนจำนวนผู้ป่วยโรคอุจจาระร่วงของแต่ละเดือนในอนาคตจากตัวอย่างผู้ป่วยโรคอุจจาระร่วงที่ศึกษาในช่วง 3 ปีที่ผ่านมานี้ เป็นการใช้หลักการอนุมานทางสถิติ ในการดำเนินการดังกล่าวจะต้องทราบการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรที่ศึกษา และใช้ลักษณะการแจกแจงนั้นเป็นเครื่องมือในการอนุมานผลในประชากร เช่น ในการอนุมานค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพของประชาชนในชนบท นักวิจัยจะเริ่มด้วยการสุ่มตัวอย่างประชาชนในชนบทมาศึกษาค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพ คำนวณค่าเฉลี่ยค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพของตัวอย่าง $\bar{x}$ นำค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ได้มาอนุมานค่าเฉลี่ยค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพของประชากร (μ) โดยอาศัยการแจกแจงความน่าจะเป็นของ $\bar{x}$

ต่อไปนี้คือวิธีการอนุมานผลการศึกษาจากตัวอย่างสู่ประชากรโดยใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นประมาณช่วงความเชื่อมั่นของค่าพารามิเตอร์

3.1 หลักการอนุมานค่าพารามิเตอร์



ภาพ 3.1 แสดงการใช้สถิติพรรณนาและสถิติอนุมานในงานวิจัย

จากภาพ 3.1 ตัวอย่างที่นักวิจัยสุ่มมาศึกษาจะใช้สถิติพรรณนาอธิบายลักษณะว่าตัวอย่างที่สุ่มมามีคุณสมบัติด้านต่างๆเป็นอย่างไร ข้อมูลที่สรุปลักษณะต่างๆของตัวแปรในตัวอย่างจะเรียกว่าค่าสถิติ (statistic) โดยใช้สัญลักษณ์เป็นอักษรโรมัน เช่น ค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน s สหสัมพันธ์ r เป็นต้น ส่วนลักษณะต่างๆของตัวแปรในประชากรจะเรียกว่าค่าพารามิเตอร์ (parameter) ใช้สัญลักษณ์เป็นอักษรกรีก เช่น ค่าเฉลี่ย μ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ สหสัมพันธ์ ρ เป็นต้น ค่าพารามิเตอร์จะได้จากการนำค่าสถิติของตัวอย่างมาประมาณด้วยทฤษฎีความน่าจะเป็น เช่น μ ได้จากการใช้ความน่าจะเป็นประมาณค่าจาก $\bar{x}$

ในการขยายผลจากตัวอย่างสู่ประชากรโดยใช้สถิติอนุมานจะทำได้จากตัวอย่างที่ได้มาอย่างสุ่มจากประชากรเท่านั้น ตัวอย่างที่ได้มาอย่างเจาะจงหรือสุ่มแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็นจะไม่สามารถนำมาคำนวณค่าความน่าจะเป็น จึงไม่สามารถใช้สถิติอนุมานประมาณค่าพารามิเตอร์ของประชากรได้

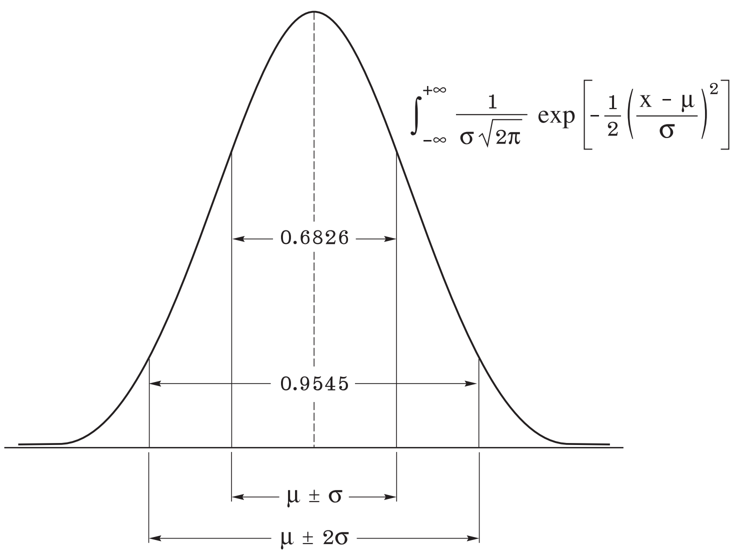
3.2 การแจกแจงความน่าจะเป็น

การแจกแจงความน่าจะเป็นที่จะกล่าวในบทนี้คือการแจกแจงปกติ การแจกแจงปกติมาตรฐาน การแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง และการแจกแจง t

3.2.1 การแจกแจงปกติ

การแจกแจงปกติ (normal distribution) เป็นการแจกแจงของข้อมูลต่อเนื่อง ลักษณะรูประฆังคว่ำมียอดเดียว ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน และฐานนิยมมีค่าเท่ากัน ค่าเฉลี่ยจะแบ่งโค้งออกเป็น 2 ส่วนที่สมมาตรกัน โดยโค้งทั้งสองจะค่อยๆลาดไปสู่แกนนอนจากค่าเฉลี่ยสู่ปลายโค้งทั้ง 2 ข้าง มีจุดเปลี่ยนโค้งที่ $\mu \pm \sigma$ การแจกแจงปกติมีพื้นที่ใต้โค้งทั้งหมดเท่ากับ 1 พื้นที่ใต้โค้งระหว่าง $\mu \pm \sigma$ และ $\mu \pm 2\sigma$ จะมีข้อมูลอยู่ 0.6826 (ร้อยละ 68.26) และ 0.9545 (ร้อยละ 95.45) ตามลำดับ การแจกแจงปกติจะมีรูปร่างต่างกันไปตามขนาดของค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การคำนวณค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติทำโดยใช้แคลคูลัสคำนวณค่าความน่าจะเป็น จากฟังก์ชันของการแจกแจงปกติที่แสดงอยู่ในภาพ 3.2 การแจกแจงปกติไม่สามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็น ณ ค่าใดค่าหนึ่งได้ ทั้งนี้ เพราะตัวแปรต่อเนื่องสามารถแบ่งค่าของหน่วยวัดออกได้จำนวนมาก ดังนั้นความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จะเป็นพื้นที่ใต้โค้งระหว่างค่า 2 ค่า เช่น จากค่า 2.5 ถึง $+\infty$ หรือระหว่างค่า -0.5 ถึง $+1.8$ เป็นต้น



ภาพ 3.2 โค้งการแจกแจงปกติและสูตรการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็น (พื้นที่ใต้โค้ง)

การแจกแจงปกติมีความสำคัญมากในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ เนื่องจากเหตุผลสำคัญ 3 ประการ คือ ประการแรกตัวแปรในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพส่วนใหญ่มีการแจกแจงปกติ เช่น ส่วนสูง น้ำหนัก ความดันโลหิต ระดับคอเลสเตอรอล

ขนาดของอวัยวะ เป็นต้น ประการที่สองในการอนุมานค่าทางสถิติส่วนใหญ่ได้พัฒนาทฤษฎีและวิธีการทางสถิติต่างๆบนข้อตกลงเบื้องต้นว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ และประการสุดท้ายคือ การแจกแจงแบบอื่นๆ เช่น รายได้ อัตรา อุบัติการณ์ ความชุก ปริมาณแมกนีเซียมในปัสสาวะ ถ้ามีการสุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ค่าสถิติที่ได้จะมีการแจกแจงปกติซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดในหัวข้อ 3.2.3 การแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

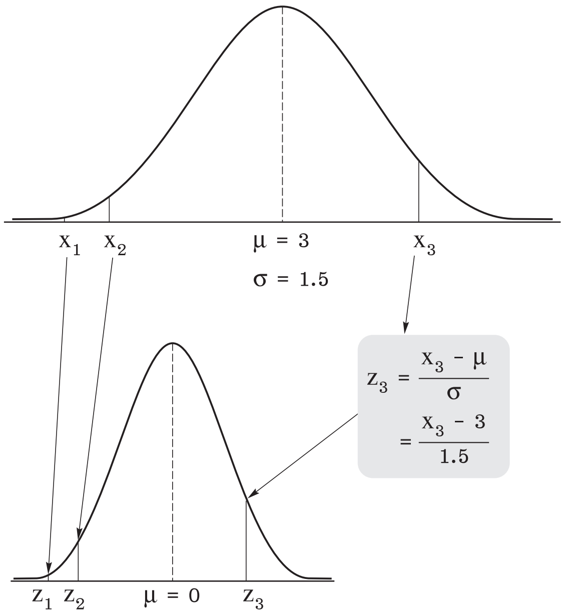
3.2.2 การแจกแจงปกติมาตรฐาน

จากการที่วิธีการคำนวณความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติต้องใช้แคลคูลัสคำนวณซึ่งเป็นเรื่องยุ่งยากสำหรับผู้ที่มีความรู้ทางคณิตศาสตร์น้อย ดังนั้นเพื่อให้นักวิจัยทั่วไปสามารถคำนวณได้ จึงได้สร้างการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 ขึ้น เรียกการแจกแจงที่สร้างขึ้นนี้ว่า **การแจกแจงปกติมาตรฐาน** (standard normal distribution) การแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานขนาดต่างๆสามารถแปลงเป็นการแจกแจงปกติมาตรฐานได้ โดยนำข้อมูลแต่ละค่าลบด้วยค่าเฉลี่ยแล้วหารด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ถ้าให้ x_i เป็นค่าของข้อมูลของการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ σ และ z เป็นค่าของข้อมูลของการแจกแจงปกติมาตรฐานที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 สามารถแปลงค่าข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติ (x_i) ไปเป็นการแจกแจงปกติมาตรฐาน (z_i) โดยใช้สูตร

$$z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

มีการพิสูจน์ทางสถิติแล้วว่าค่าแปลง z_i ที่ได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 ดังนั้นเมื่อการแจกแจงปกติสามารถแปลงเป็นการแจกแจงปกติมาตรฐานได้ จึงมีการสร้างตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติมาตรฐานสำหรับทุกๆค่าของ z_i (ตาราง ส 1 ในภาคผนวก) เพื่อใช้ช่วยในการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติ

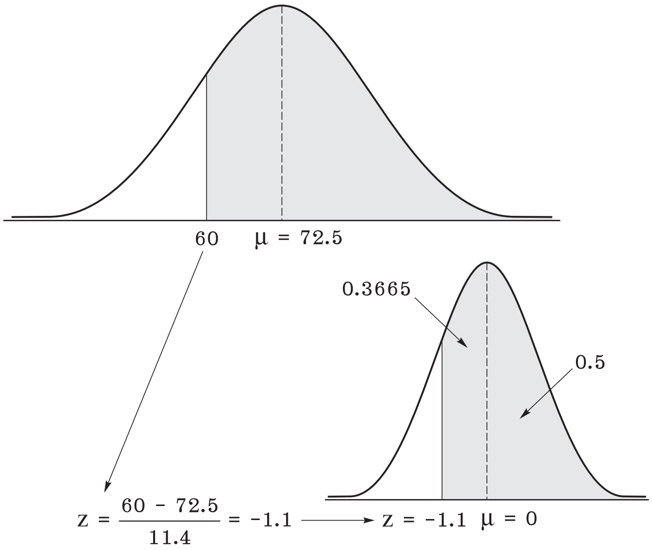


ภาพ 3.3 แสดงการแปลงค่าจากการแจกแจงปกติเป็นการแจกแจงปกติมาตรฐาน

จากภาพ 3.3 เมื่อแปลงค่า x_3 ไปเป็นค่า z_3 จะได้ว่าพื้นที่ใต้โค้งความน่าจะเป็นระหว่าง x_3 ถึง $+\infty$ จะเท่ากับ z_3 ถึง $+\infty$ ดังนั้นเมื่อนักวิจัยต้องการหาค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติก็สามารถคำนวณได้ง่ายขึ้น โดยแปลงค่า x_i ของการแจกแจงปกติให้เป็นค่า z_i แล้วนำไปเปิดตาราง ส 1 หาค่าความน่าจะเป็น

ตัวอย่างที่ 3.1

ในการประเมินความพึงพอใจของการรับบริการจากคะแนนเต็ม 100 คะแนน ผลการประเมินจากผู้รับบริการพบว่ามีค่าเฉลี่ย 72.5 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 11.4 อยากทราบว่าผู้ที่มีความพึงพอใจ 60 คะแนนขึ้นไปมีอยู่ร้อยละเท่าใด



ภาพ 3.4 แสดงการแปลงค่าและการหาค่าความน่าจะเป็นจากการแจกแจงปกติมาตรฐาน

ถ้าการแจกแจงของคะแนนความพึงพอใจมีการแจกแจงปกติ การคำนวณค่าความน่าจะเป็นของจำนวนผู้ที่มีความพึงพอใจ 60 คะแนนขึ้นไปทำได้โดยการแปลงค่า 60 ให้เป็นค่า z โดยใช้สูตร $z = (x - \mu)/\sigma$ จากการคำนวณพบว่าที่คะแนนความพึงพอใจ 60 จะมีค่า $z = -1.1$ ค่า z เป็นลบหมายถึงค่าที่แปลงมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย จากตาราง ส 1 ค่าความน่าจะเป็นระหว่างค่า $z = 1.1$ กับค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.3665 ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่คะแนนมาตรฐานมากกว่า −1.1 หรือคะแนนความพึงพอใจมากกว่า 60 ($\Pr.\{z > -1.1\}$ หรือ $\Pr.\{x > 60\}$) จะเท่ากับ $0.3665 + 0.5 = 0.8665$ หรือร้อยละ 86.65 ภาพการแปลงค่าและการหาความน่าจะเป็นแสดงได้ดังภาพ 3.4

การแสดงวิธีการหาค่าความน่าจะเป็นจากตารางเพื่อให้เข้าใจหลักการคำนวณความน่าจะเป็นจากการแจกแจงปกติมาตรฐาน ในทางปฏิบัติเมื่อนักวิจัยคำนวณค่าสถิติด้วยโปรแกรม โปรแกรมจะคำนวณค่าสถิติพร้อมคำนวณค่าความน่าจะเป็น (P value) มาให้พร้อมกัน

3.2.3 การแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

ในการสรุปผลการวิจัยทำได้โดยนำค่าสถิติของตัวอย่างที่ศึกษาไปอนุมานค่าพารามิเตอร์ของประชากร ทั้งนี้ ในทางทฤษฎีค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่สุ่มมาศึกษาจะเป็นตัวประมาณค่าที่ดีของค่าเฉลี่ยของประชากร ซึ่งหมายถึงสามารถใช้ค่า $\bar{x}$ ที่ได้เป็นค่า

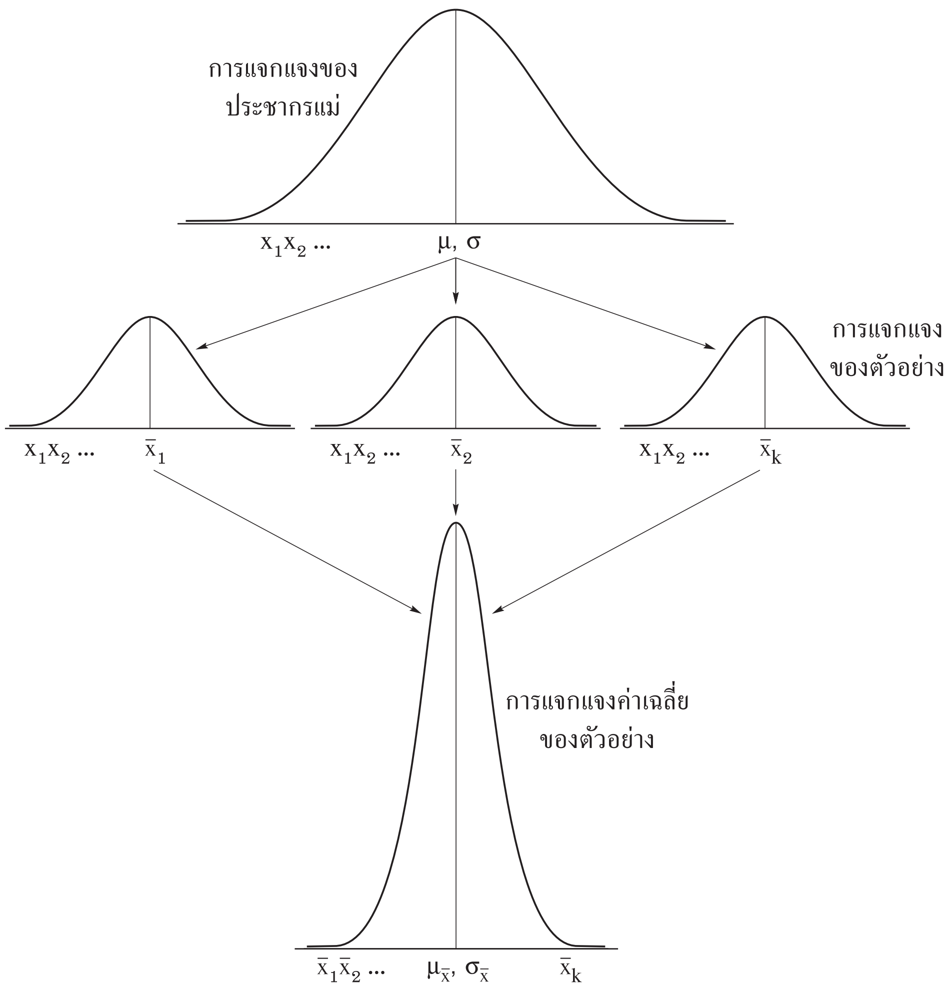
ประมาณของ μ แต่ในทางปฏิบัติพบว่าในการสุ่มตัวอย่างหลายๆครั้ง $\bar{x}$ ที่ได้จากแต่ละตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกันแต่ไม่เท่ากัน จึงเกิดคำถามว่ามีวิธีการใดที่จะช่วยให้ $\bar{x}$ ที่ได้จากการศึกษาเพียงครั้งเดียวสามารถประมาณค่า μ ได้ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

ในการสุ่มตัวอย่างหลายตัวอย่าง เมื่อนำค่า $\bar{x}$ จากแต่ละตัวอย่างมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย พบว่าค่าเฉลี่ยของ $\bar{x}$ จากหลายๆตัวอย่างที่ได้มีค่าเข้าใกล้ค่า μ ยิ่งขึ้น จึงได้คิดสร้างการแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่างขึ้น โดยการสุ่มตัวอย่างขนาดเท่าๆกันจำนวน k ตัวอย่าง (จำนวนตัวอย่างที่เป็นไปได้ทั้งหมด) คำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างได้ $\bar{x}$ จำนวน k ตัว นำ $\bar{x}$ ที่ได้มาสร้างการแจกแจงใหม่ขึ้นมาอีกการแจกแจงหนึ่ง เรียกว่า **การแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง** (sampling distribution of $\bar{x}$) ดังแสดงในภาพ 3.5 การแจกแจงของ $\bar{x}$ ได้มาจากจำนวนตัวอย่างที่เป็นไปได้ทั้งหมด ค่าที่แสดงคุณลักษณะของการแจกแจงจึงเป็นค่าพารามิเตอร์ และเพื่อแสดงว่าเป็นค่าพารามิเตอร์ของประชากรการแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจึงใช้สัญลักษณ์ $\bar{x}$ ห้อยกำกับค่าพารามิเตอร์ จะได้ว่าค่าเฉลี่ยใช้สัญลักษณ์ $\mu_{\bar{x}}$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานใช้สัญลักษณ์ $\sigma_{\bar{x}}$

การหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงของ $\bar{x}$ ทำโดยการนำค่า $\bar{x}$ ทุกตัวมาหาค่าเฉลี่ย ($\mu_{\bar{x}}$) พบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของประชากร (μ) สำหรับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงของ $\bar{x}$ จะมีค่าเล็กกว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร เพราะตัวอย่างแต่ละตัวเลือกมาอย่างสุ่ม ทำให้ $\bar{x}$ แต่ละตัวมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของประชากร จึงทำให้การแจกแจงของ $\bar{x}$ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเล็กกว่า

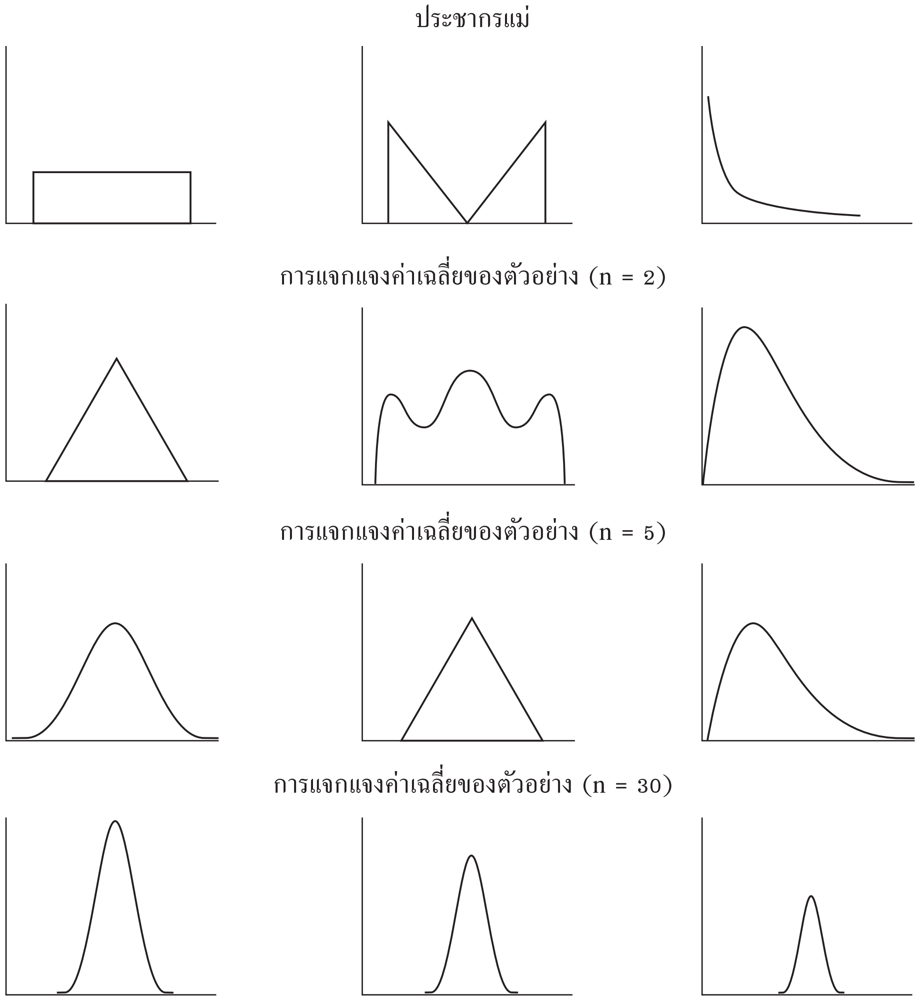
ถ้าขนาดตัวอย่างใหญ่มากขึ้นค่า $\bar{x}$ แต่ละตัวยิ่งมีค่าเข้าใกล้กันมากขึ้น ทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงของ $\bar{x}$ ยิ่งมีค่าเล็กลงตามขนาดตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น จากการพิสูจน์ทางสถิติพบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงของ $\bar{x}$ ($\sigma_{\bar{x}}$) มีค่าเท่ากับ $\sigma/\sqrt{n}$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงของ $\bar{x}$ มีชื่ออีกชื่อหนึ่งเรียกว่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) โดยใช้คำย่อว่า SE



ภาพ 3.5 แสดงที่มาของการแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

จากการศึกษาคุณสมบัติของการแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง พบว่าในกรณีประชากรมีการแจกแจงปกติ การแจกแจงของ $\bar{x}$ จะมีการแจกแจงปกติ โดยมี $\mu_{\bar{x}} = \mu$ และ $\sigma_{\bar{x}} = \sigma/\sqrt{n}$ ในกรณีที่ประชากรมีการแจกแจงแบบอื่นๆที่ไม่ใช่การแจกแจงปกติ มีการพิสูจน์โดยทฤษฎีบทข้อจำกัดสู่ศูนย์กลาง (central limit theorem) พบว่าการแจกแจงของ $\bar{x}$ จะมีลักษณะการแจกแจงเข้าใกล้การแจกแจงปกติมากขึ้นตามขนาดของตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น



ภาพ 3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการแจกแจงของ $\bar{x}$ ตามขนาดตัวอย่าง

จากการทดลองพบว่าไม่ว่าประชากรจะมีการแจกแจงแบบใดๆ เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับหรือมากกว่า 30 การแจกแจงของ $\bar{x}$ จะมีการแจกแจงปกติ โดยมี $\mu_{\bar{x}} = \mu$ และ $\sigma_{\bar{x}} = \sigma/\sqrt{n}$ ภาพ 3.6 แสดงลักษณะการแจกแจงของ $\bar{x}$ จากประชากรที่มีการแจกแจงแบบต่างๆ คุณสมบัติดังกล่าวจะช่วยให้นักวิจัยคำนวณค่าความน่าจะเป็นของตัวแปรต่างๆที่ศึกษาได้ง่าย ถึงแม้ว่าตัวแปรดังกล่าวไม่ได้มีการแจกแจงปกติ ถ้าขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีขนาดใหญ่การแจกแจงของ $\bar{x}$ ที่ได้จะมีการแจกแจงปกติ จากการที่ $\mu_{\bar{x}} = \mu$ และ $\sigma_{\bar{x}} = \sigma/\sqrt{n}$ ทำให้สามารถใช้การแจกแจงของ $\bar{x}$ ประมาณค่าเฉลี่ย μ ได้ เพราะค่า μ และ $\mu_{\bar{x}}$ มีค่าเท่ากัน การคำนวณค่าความน่าจะเป็นของ $\bar{x}_i$ ในกรณีที่การแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่างมีการแจกแจงปกติ ทำโดยการแปลงค่า $\bar{x}_i$ เป็นค่า z_i เพื่อคำนวณค่าความน่าจะเป็น

จากการแจกแจงปกติมาตรฐานเช่นเดียวกับการแจกแจงปกติทั่วไป แต่สูตรที่ใช้ในการแปลงจะเปลี่ยนไปตามสัญลักษณ์ที่ใช้ระบุให้ทราบว่าเป็นการแจกแจงของประชากรใด

ตาราง 3.1 แสดงการเปรียบเทียบการแจกแจงของประชากรและการแจกแจงของค่าเฉลี่ย

การแจกแจงของประชากร	การแจกแจงของ $\bar{x}$
ค่าเฉลี่ย = μ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = σ เปลี่ยนค่า x_i เป็นค่า z_i โดยใช้สูตร $z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$	ค่าเฉลี่ย = $\mu_{\bar{x}}$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = $\sigma_{\bar{x}}$ หรือ $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ เปลี่ยนค่า $\bar{x}_i$ เป็นค่า z_i โดยใช้สูตร $z_i = \frac{\bar{x}_i - \mu_{\bar{x}}}{\sigma_{\bar{x}}}$ หรือ $z_i = \frac{\bar{x}_i - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$

จากสูตรการแปลงค่า $\bar{x}_i$ เป็นค่า z_i ต้องใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร σ ซึ่งโดยปกติจะไม่ทราบค่า σ แต่จากการที่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (s) เป็นตัวประมาณค่าที่ดีของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (σ) เมื่อไม่ทราบค่า σ จึงใช้ค่า s แทนค่า z_i ที่ได้แสดงในสูตรต่อไปนี้

$$z_i = \frac{\bar{x}_i - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

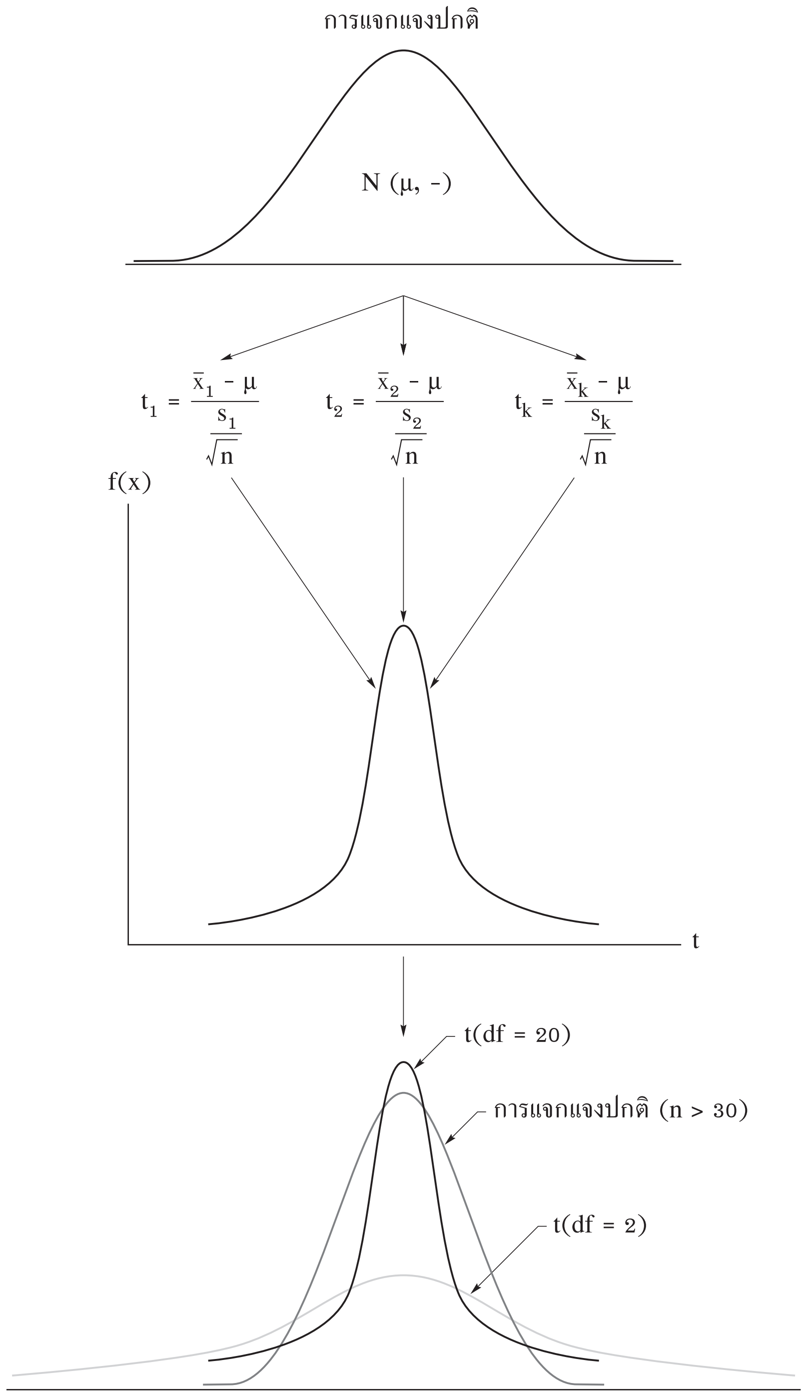
จากการศึกษาของกอสเซ็ต (S.W. Gosset) พบว่าค่า z_i จากสูตรดังกล่าวกับประชากรที่มีการแจกแจงปกติ เมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่ค่า s จะใกล้เคียงกับค่า σ มาก ค่า z_i ที่ได้จะมีการแจกแจงปกติมาตรฐาน แต่ถ้าตัวอย่างมีขนาดเล็กค่า z_i ที่ได้จะมีการแจกแจงต่างไปจากการแจกแจงปกติมาตรฐาน

3.2.4 การแจกแจง t

กอสเซ็ตได้สร้างการแจกแจง t โดยการสุ่มตัวอย่างขนาด n จากประชากรที่มีการแจกแจงปกติมา k ตัวอย่าง คำนวณค่าสถิติ t ด้วยสูตรดังต่อไปนี้

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

นำค่า t ที่คำนวณได้มาสร้างเป็นการแจกแจง การแจกแจง t มีลักษณะคล้ายการแจกแจงปกติมาตรฐาน การแจกแจงมียอดเดียว ค่าเฉลี่ยจะแบ่งโค้งออกเป็น 2 ส่วนที่สมมาตรกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 แต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจง t จะมากกว่า 1 เนื่องจากค่า s เปลี่ยนไปตามขนาดของงศาเสรี (degree of freedom) ดังนั้นค่า t ที่ได้จะมีการแจกแจงที่เปลี่ยนไปตามขนาดขององศาเสรีด้วย ถ้าองศาเสรีมีขนาดเล็ก (ขนาดตัวอย่างเล็ก) การแจกแจงจะมีการกระจายออกไป 2 ข้างของค่าเฉลี่ยมาก ถ้าตัวอย่างมีขนาดใหญ่ ($n \geq 30$) องศาเสรีมีขนาดใหญ่ การแจกแจง t จะเหมือนกับการแจกแจงปกติมาตรฐาน ดังแสดงในภาพ 3.7 การคำนวณค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจง t แยกไปตามขนาดขององศาเสรี ในกรณีประชากรเดียวองศาเสรีจะเท่ากับขนาดตัวอย่างลบด้วย 1 ($n - 1$) ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรมสถิติจะคำนวณค่าความน่าจะเป็นให้ ถ้าคำนวณค่า t ด้วยเครื่องคิดเลข สามารถนำค่า t ที่คำนวณได้ไปเปิดหาค่าความน่าจะเป็นจากตาราง ส 2 ในภาคผนวก ซึ่งจะมีค่าความน่าจะเป็นของค่า t แยกตามองศาเสรี



ภาพ 3.7 แสดงที่มาของการแจกแจง t และลักษณะการแจกแจง t ตามขนาดตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยที่เป็นข้อมูลต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากรหรือการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่ม นักวิจัยจะไม่ทราบค่า σ จึงต้องใช้ค่า s แทน ความน่าจะเป็นในการอนุมานค่าเฉลี่ยของประชากรจะต้องคำนวณโดยใช้การแจกแจง t ในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดใหญ่การแจกแจง t จะมีการแจกแจงเหมือนกับการแจกแจงปกติมาตรฐาน นักวิจัยสามารถใช้การแจกแจง t หรือการแจกแจง z คำนวณค่าความน่าจะเป็นก็ได้

ในการใช้สถิติ t จะมีข้อตกลงเบื้องต้น 2 ข้อ คือ 1) ตัวอย่างในการศึกษาต้องได้มาอย่างสุ่ม และ 2) ประชากรจะต้องมีการแจกแจงปกติ

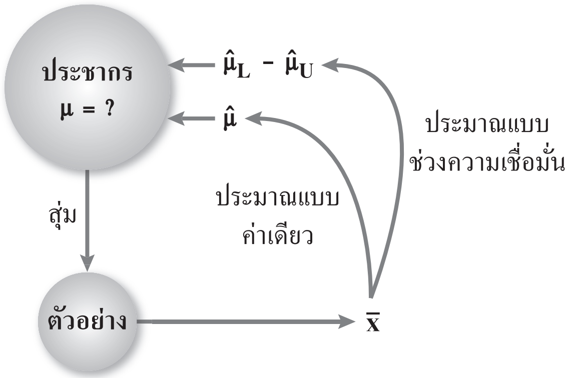
ในกรณีตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีขนาดใหญ่ ตามทฤษฎีบทข้อจำกัดสู่ศูนย์กลาง การแจกแจงของ $\bar{x}$ มีการแจกแจงปกติไม่ว่าประชากรแม่จะมีการแจกแจงเป็นแบบใด ดังนั้นจะใช้สถิติ t หรือสถิติ z ก็จะไม่มีผลกระทบจากการที่ประชากรไม่ได้มีการแจกแจงปกติ

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างที่ศึกษามีขนาดเล็ก จากประชากรที่ไม่ใช่การแจกแจงปกติ การแจกแจงของ $\bar{x}$ จะมีการแจกแจงแบบอื่น ทำให้ค่าสถิติ t ที่คำนวณได้จากสูตร $(\bar{x} - \mu)/(s/\sqrt{n})$ ไม่ได้มีการแจกแจงแบบ t จึงไม่สามารถใช้การแจกแจง t คำนวณค่าความน่าจะเป็นได้

ดังนั้นถ้าจะใช้ค่าสถิติ t ในการอนุมานค่าพารามิเตอร์ของประชากรนักวิจัยควรจะต้องวิเคราะห์ดูก่อนว่าประชากรมีการแจกแจงปกติหรือไม่ (วิธีการวิเคราะห์อยู่ในบทที่ 20) เพราะถ้าประชากรมีการแจกแจงแบบอื่น อาจมีผลทำให้ข้อสรุปจากค่าสถิติ t ผิดได้ ควรเปลี่ยนไปใช้สถิติอื่นในการวิเคราะห์ (คำอธิบายอยู่ในบทที่ 18)

3.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์

คำถามงานวิจัยที่ต้องการทราบลักษณะของประชากร เช่น ประชาชนอายุ 35–40 ปีมีระดับไขมันในเลือดเท่าใด คะแนนความพึงพอใจของผู้รับบริการเป็นเท่าใด ฯลฯ วิธีการวิจัยเพื่อตอบคำถามดังกล่าวทำโดยการสุ่มตัวอย่างนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่าสถิติของตัวอย่าง (ค่าเฉลี่ยระดับไขมันในเลือด ค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจ) แล้วจึงใช้สถิติอนุมานประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร วิธีการประมาณค่าทำได้ 2 วิธี คือ การประมาณแบบค่าเดียว (point estimate) และการประมาณแบบช่วงความเชื่อมั่น (confidence interval estimate) ดังแสดงในภาพ 3.8



ภาพ 3.8 แสดงวิธีการประมาณค่า μ จาก $\bar{x}$

3.3.1 การประมาณแบบค่าเดียว

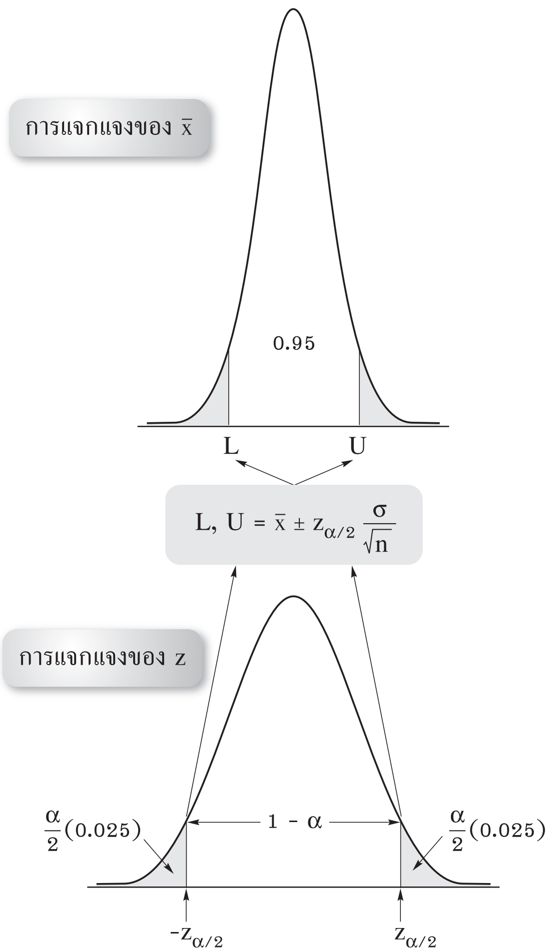
จากคุณสมบัติของ $\bar{x}$ ที่เป็นตัวประมาณค่าที่ดีของ μ ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากตัวอย่างเพียงตัวอย่างเดียวเป็นค่าประมาณแบบค่าเดียวของค่าเฉลี่ยของประชากร เช่น ในการศึกษาระดับความรู้เรื่องโรคเอดส์ของวัยรุ่น โดยการสุ่มตัวอย่างวัยรุ่น 120 คน พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความรู้เรื่องโรคเอดส์ 68.2 คะแนน การประมาณแบบค่าเดียวจะใช้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างเพื่อสรุปว่าวัยรุ่นทั้งหมด (ประชากร) มีค่าเฉลี่ยของความรู้เรื่องโรคเอดส์ 68.2 คะแนน

ข้อด้อยของการประมาณแบบค่าเดียวคือ การที่ไม่สามารถบอกได้ว่าค่าประมาณที่ได้มีโอกาสถูกต้องมากน้อยเพียงใด ถ้ามีการสุ่มตัวอย่างใหม่ขนาดเท่ากันค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ได้ก็จะเปลี่ยนไป ลองสุ่มซ้ำหลายๆครั้งจะพบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้แทบจะไม่เท่ากันเลย และนักวิจัยไม่สามารถบอกได้ว่าค่าใดมีโอกาสเข้าใกล้ค่า μ มากกว่ากัน ในปัจจุบันการรายงานผลการวิจัยด้วยค่าประมาณแบบค่าเดียวเพียงอย่างเดียวจะถูกประเมินว่าเป็นการใช้สถิติในการประมาณค่าไม่เหมาะสม เพราะไม่สามารถระบุได้ว่าค่าประมาณที่ได้มีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด

3.3.2 การประมาณแบบช่วงความเชื่อมั่น

3.3.2.1 การประมาณแบบช่วงความเชื่อมั่น

การประมาณแบบช่วงความเชื่อมั่นเป็นการสร้างช่วงประมาณที่สามารถกำหนดระดับความเชื่อมั่นได้ว่าช่วงประมาณที่สร้างขึ้นมีโอกาสเป็นช่วงประมาณที่มีค่าพารามิเตอร์อยู่ร้อยละเท่าใด จากภาพ 3.9 ค่า L และ U เป็นค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของช่วงประมาณ ซึ่งอยู่บนการแจกแจงของ $\bar{x}$ ถ้าให้ α เป็นความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่ามีค่าเท่ากับ 0.05 (โดยปกติจะกำหนดให้ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนกระจายอยู่ที่ปลายโค้งทั้ง 2 ข้างเท่าๆกัน ข้างละ $\alpha/2 = 0.025$) บริเวณช่วงกลางโค้งการประมาณค่าจะเป็นช่วงประมาณที่สร้างขึ้นด้วยความเชื่อมั่น $1 - \alpha = 0.95$



ภาพ 3.9 แสดงวิธีการคำนวณช่วงความเชื่อมั่นของ μ

ช่วงประมาณของ μ อยู่ระหว่าง $-z_{\alpha/2}$ และ $z_{\alpha/2}$ จึงนำมาคำนวณช่วงความเชื่อมั่นได้ดังนี้

$$z_{\alpha/2} = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad \text{ถึง} \quad -z_{\alpha/2} = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

$$z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{x} - \mu \quad \text{ถึง} \quad -z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{x} - \mu$$

ดังนั้นช่วงประมาณ μ มีค่าอยู่ระหว่าง $\bar{x} - z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ถึง $\bar{x} + z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

สูตรคำนวณช่วงความเชื่อมั่นของ μ ประกอบด้วยค่าต่างๆดังนี้

สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น

$(1 - \alpha)100\%$ ช่วงความเชื่อมั่นของ $\quad \bar{x} \pm z_{\alpha/2}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

ตัวประมาณค่า

ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

โดยที่ช่วงความเชื่อมั่นคำนวณจากค่า 3 ค่า คือ ตัวประมาณค่า สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ดังนั้นการสร้างช่วงความเชื่อมั่นในกรณีที่ประชากรมีการแจกแจงปกติไม่ทราบค่า σ จะใช้สถิติ t เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น ช่วงความเชื่อมั่นของ μ คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$(1 - \alpha)100\% \text{ ช่วงความเชื่อมั่นของ } \mu = \bar{x} \pm t_{\alpha/2}\frac{s}{\sqrt{n}}$$

สำหรับการประมาณค่าพารามิเตอร์อื่นๆจะมีรูปแบบของสูตรการประมาณช่วงความเชื่อมั่นดังนี้

$(1 - \alpha)100\%$ ช่วงความเชื่อมั่นของค่าพารามิเตอร์	=	ค่าสถิติที่ใช้เป็นตัวประมาณค่า	±	สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น	×	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวประมาณค่า

ตัวอย่างที่ 3.2

ในการศึกษาเพื่อประเมินระดับความรู้เรื่องโรคเอดส์ของวัยรุ่น นักวิจัยได้สุ่มตัวอย่างวัยรุ่น 120 คนให้ทำแบบประเมินความรู้ พบว่าค่าเฉลี่ยของความรู้เท่ากับ 68.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.7 จากข้อมูลดังกล่าวถ้าต้องการประมาณค่าเฉลี่ยความรู้ของประชากรวัยรุ่น (ทั้งหมด) ทำได้ดังนี้

ถ้าให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ในกรณีนี้ไม่ทราบค่า σ ของประชากร จึงใช้การแจกแจง t ในการคำนวณหาค่าช่วงความเชื่อมั่นของ μ

95% ช่วงความเชื่อมั่นของ $\mu = \bar{x} \pm t_{\alpha/2}\frac{s}{\sqrt{n}}$

ถ้ากำหนดให้โอกาสประมาณผิดพลาด 0.05 จากตาราง ส 2 $t_{0.025(119)} = 1.98$

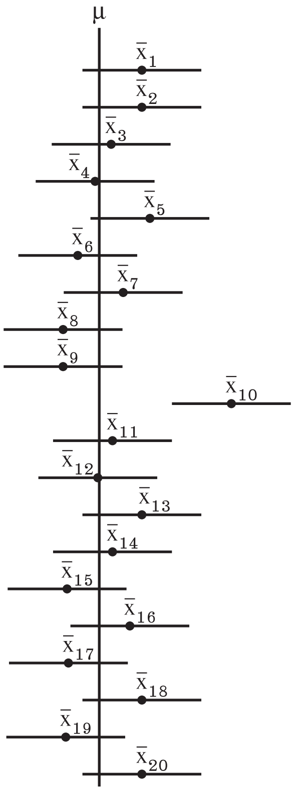
จะได้ว่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ $\mu = 68.2 \pm 1.98\left(\frac{7.7}{\sqrt{120}}\right) = (66.8, 69.6)$

3.3.2.2 ความหมายของช่วงความเชื่อมั่น

มีบ่อยครั้งที่พบว่ามีการแปลความหมายของช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้ไม่ถูกต้อง ความไม่ถูกต้องที่พบมากคือ การแปลความหมายของ 95% ช่วงความเชื่อมั่นว่าเป็นโอกาสที่จะมีค่า μ อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และอยู่นอกช่วงความเชื่อมั่น 5%

ที่ถูกต้อง 95% ช่วงความเชื่อมั่น หมายถึงถ้ามีการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีเดียวกันและขนาดตัวอย่างเท่ากัน 100 ครั้ง จะมีโอกาสที่จะได้ช่วงความเชื่อมั่นที่มีค่า μ ตกอยู่ (ช่วงความเชื่อมั่นที่ถูกต้อง) ไม่ต่ำกว่า 95 ครั้ง

จากภาพ 3.10 การสุ่มตัวอย่างมา 20 ครั้งคำนวณช่วงความเชื่อมั่นได้ 20 ช่วง จากช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้พบว่ามี 19 ช่วงที่มีค่า μ ของประชากรอยู่ในช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้ มีเพียงตัวอย่างที่ 10 ที่ไม่มีค่า μ อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น โอกาสที่เป็นช่วงความเชื่อมั่นที่ผิด (ไม่มีค่า μ อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น) เท่ากับ 1 ใน 20 หรือ 5%



ภาพ 3.10 แสดงช่วงประมาณกับโอกาสครอบคลุมค่า μ

3.3.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความกว้างของช่วงประมาณ

เนื่องจากความกว้างของช่วงความเชื่อมั่นแสดงถึงความเที่ยง (precision) ของการประมาณค่า ช่วงความเชื่อมั่นที่แคบ (กระชับ) จะมีความเที่ยงของการประมาณค่าสูง

ปัจจัยที่ 1

$(1 - \alpha)100\%$ ช่วงความเชื่อมั่นของ $\quad \mu = \bar{x} \pm t_{\alpha/2}\dfrac{\sigma}{\sqrt{n}}$

ปัจจัยที่ 2

จากสูตรคำนวณค่า $(1 - \alpha)100\%$ ช่วงความเชื่อมั่นของ μ ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดความกว้างของช่วงประมาณมีอยู่ 2 ปัจจัย คือ

1) ระดับความเชื่อมั่น

ในการประมาณค่าที่ต้องการให้ช่วงประมาณมีความเชื่อมั่นสูงๆ ช่วงประมาณจะกว้างมากขึ้นตามระดับความเชื่อมั่นที่สูงขึ้น ตัวอย่างเช่น $\bar{x} = 68.2$, $s = 7.7$

และ n = 120 นำมาคำนวณช่วงความเชื่อมั่นที่ระดับความเชื่อมั่น 90% 95% และ 99% ได้ดังนี้

90% ช่วงความเชื่อมั่นของ μ (67.0, 69.4)

95% ช่วงความเชื่อมั่นของ μ (66.8, 69.6)

99% ช่วงความเชื่อมั่นของ μ (66.3, 70.0)

จากผลการคำนวณจะเห็นได้ว่าค่าช่วงความเชื่อมั่นจะกว้างขึ้นเมื่อระดับความเชื่อมั่นสูงขึ้น

2) ขนาดของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานการแจกแจงของ $\bar{x}$

ขนาดของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานการแจกแจงของ $\bar{x}$ ขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง ในกรณีที่ประชากรมีการกระจายมาก ถ้ามีการเพิ่มขนาดตัวอย่างให้ใหญ่ขึ้น จะทำให้ค่าของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีค่าเล็กลง มีผลทำให้ช่วงความเชื่อมั่นแคบลง ขนาดตัวอย่างจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการประมาณค่า เพราะตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่พอ นอกจากจะช่วยทำให้การแจกแจงของ $\bar{x}$ มีการแจกแจงปกติแล้ว ยังช่วยให้ได้ค่าช่วงประมาณที่มีความกระชับสามารถให้ข้อเสนอแนะที่เหมาะสมได้ ดังตัวอย่าง ในการประเมินระดับความรู้เรื่องโรคเอดส์ของวัยรุ่นโดยทีมนักวิจัย 2 ทีม ทีมที่หนึ่งใช้ตัวอย่าง 15 คน ได้ค่า $\bar{x}$ = 55.2 และค่า s = 25.7 คำนวณได้ค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ μ (41.1, 69.4) ช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้มีช่วงกว้างมาก ค่าเฉลี่ยระดับความรู้ของประชากรอาจมีค่าตั้งแต่ 41.0 ถึง 69.4 ซึ่งครอบคลุมทั้งพวกที่มีความรู้ไม่เพียงพอ (ต่ำกว่า 60 คะแนน) ถึงความรู้ที่ดีพอ (60 คะแนนขึ้นไป) ทำให้ไม่สามารถนำผลการศึกษาไปให้ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานได้

ทีมที่สองใช้ตัวอย่าง 120 คน ได้ค่า $\bar{x}$ = 68.2 ค่า s = 7.7 คำนวณได้ค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ μ (68.8, 69.6) ช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้กระชับ ระดับความรู้ของประชากรอาจมีค่าตั้งแต่ 68.8 ขึ้นไป ทำให้ทราบว่าวัยรุ่นมีความรู้เรื่องโรคเอดส์ที่ดีเพียงพอ ซึ่งจะมีความชัดเจนในการนำผลการศึกษาไปให้ข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินงานได้

สรุป

การทำวิจัยเป็นการศึกษาด้วยตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรขนาดใหญ่ (หรือขนาดอนันต์) ในกรณีตัวแปรที่ศึกษาเป็นข้อมูลต่อเนื่อง ตัวแปรส่วนใหญ่ที่นำมาศึกษาประชากรจะมีการแจกแจงปกติ

การแจกแจงของตัวแปรแต่ละตัวถึงแม้จะมีการแจกแจงปกติเหมือนกัน แต่ลักษณะการแจกแจงจะแตกต่างกันไปตามขนาดของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร เพื่อให้สามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติได้ง่าย จึงได้สร้างการแจกแจงปกติมาตรฐานที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 ขึ้นใช้ช่วยในการคำนวณ

การแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติจะมีการแจกแจงของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างเป็นแบบปกติ ในกรณีที่สุ่มตัวอย่างมาจากประชากรที่มีการแจกแจงเป็นแบบอื่น ผลการพิสูจน์ด้วยทฤษฎีบทข้อจำกัดสู่ศูนย์กลาง พบว่าเมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่ ($n \geq 30$) การแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจะมีการแจกแจงปกติ

วิธีการประมาณแบบค่าเดียวและแบบช่วงความเชื่อมั่นใช้ในการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร ข้อจำกัดของการประมาณแบบค่าเดียวคือ ไม่สามารถระบุระดับความถูกต้องของค่าประมาณ สำหรับการประมาณแบบช่วงความเชื่อมั่นทำโดยอาศัยความน่าจะเป็นของการแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่างจึงสามารถกำหนดระดับความถูกต้องของช่วงประมาณที่สร้างขึ้นได้

ความเที่ยงของการประมาณหรือความกระชับของช่วงประมาณจะขึ้นอยู่กับระดับความเชื่อมั่นและขนาดตัวอย่าง โดยทั่วไปมักจะกำหนดระดับความเชื่อมั่นไว้ที่ร้อยละ 95 ดังนั้นความกระชับของช่วงประมาณจึงขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่างเป็นหลัก

บทที่ 4

การทดสอบความแตกต่าง

คำถามงานวิจัยที่พบมากคือคำถามที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ระหว่างประชากรหรือค่าคงที่ เช่น เด็กในเมืองดื่มนมมากกว่าจึงอยากทราบว่าเด็กในเมืองจะสูงกว่าเด็กในชนบทหรือไม่ พฤติกรรมการรับประทานอาหารระหว่างเพศที่ต่างกันมีผลทำให้ระดับคอเลสเตอรอลของชายวัยกลางคนแตกต่างจากหญิงวัยกลางคนหรือไม่ การได้รับยาปฏิชีวนะช่วยให้แผลหายภายใน 5 วันหรือไม่ ค่าใช้จ่ายในการเสริมสุขภาพจะน้อยกว่าค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลหรือไม่

ในการตอบคำถามเรื่องการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์จะพิจารณาจากความแตกต่างของค่าสถิติของตัวอย่างที่ศึกษาโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ นักวิจัยต้องนำคำถามหรือสมมติฐานวิจัยมาตั้งเป็นสมมติฐานทางสถิติ ทำการเก็บข้อมูลจากตัวอย่าง นำข้อมูลที่ได้มาดำเนินการทางสถิติอนุมานให้ได้ข้อสรุปสำหรับการตัดสินใจ วิธีการของสถิติอนุมานที่ใช้ในการดำเนินการดังกล่าวเรียกว่า การทดสอบสมมติฐาน (hypothesis testing) ซึ่งมีแนวคิด วิธีการทดสอบ การตัดสินใจ และขั้นตอนต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบดังนี้

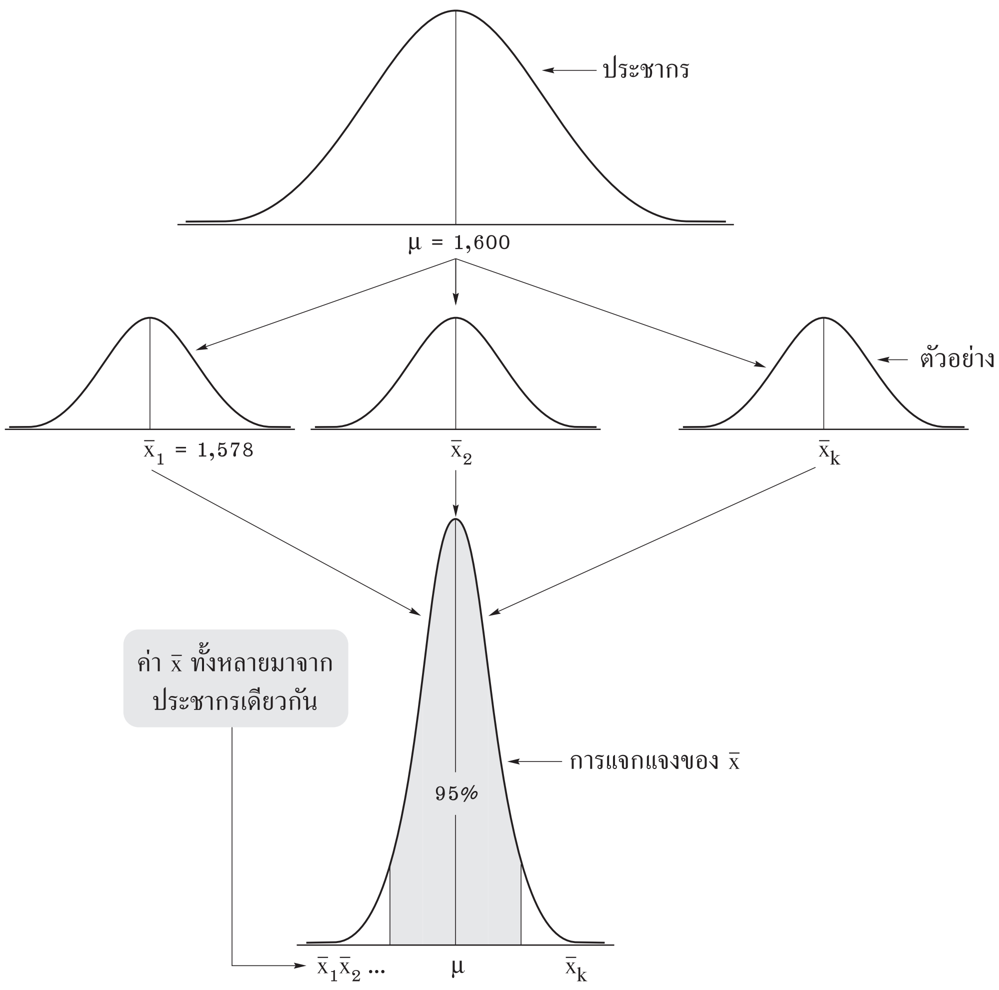
4.1 แนวคิดการทดสอบสมมติฐาน

วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อตัดสินว่าค่าพารามิเตอร์แตกต่างกันหรือไม่เรียกว่าการทดสอบสมมติฐาน โดยพิจารณาขนาดความแตกต่างที่พบจากการเปรียบเทียบค่าสถิติที่ศึกษาว่ามากกว่าความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่มตามเกณฑ์การตัดสินใจ (ความเชื่อมั่น) ที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้ามากกว่าจะเรียกความแตกต่างนั้นว่า ***แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ*** สรุปผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ในประชากรว่าแตกต่างกันจริง ถ้าแตกต่างน้อยกว่าจะเรียกความแตกต่างนั้นว่า ***แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ*** หมายถึงความแตกต่างที่พบอาจแตกต่างกันเนื่องจากความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม

ตัวอย่างที่ 4.1

จากรายงานวิจัยพบว่าค่าใช้จ่ายในการเสริมสุขภาพของประชาชนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,600 บาท/คน/ปี ฝ่ายส่งเสริมสุขภาพจังหวัดหนองคายต้องการทราบว่าประชาชนในจังหวัดมีค่าใช้จ่ายในการเสริมสุขภาพเท่ากับที่พบในรายงานวิจัยหรือไม่ จึงทำการศึกษาโดยสุ่มตัวอย่างประชาชนมา 40 คน พบว่าค่าใช้จ่ายในการเสริมสุขภาพมีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) เท่ากับ 1,578 บาท และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) เท่ากับ 54 บาท จะสรุปผลการศึกษาอย่างไร

จากสถานการณ์ของตัวอย่างนี้ ถ้ามีการสุ่มตัวอย่างจากประชากรเดียวกันหลายๆ ตัวอย่างจะพบว่า $\bar{x}$ ที่ได้มีค่าไม่เท่ากัน เมื่อพิจารณาการแจกแจงของ $\bar{x}$ ที่ได้ พบว่าส่วนใหญ่มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของประชากร (1,600) จากภาพ 4.1 $\bar{x}$ ส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนที่แรเงา มีโอกาสน้อยที่ $\bar{x}$ จะอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างนอกส่วนที่แรเงา ถ้ากำหนดให้พื้นที่แรเงาครอบคลุมร้อยละ 95 ของ $\bar{x}$ ทั้งหมด โอกาสที่ $\bar{x}$ ที่สุ่มได้จะมีค่าอยู่ปลายโค้งทั้งสองข้างไม่เกินร้อยละ 5 ดังนั้นในการสรุปหรือตัดสินใจว่า $\bar{x}$ ที่สุ่มได้มาจากประชากรที่มี μ = 1,600 หรือไม่ จะพิจารณาจาก $\bar{x}$ ที่ได้ว่าตกอยู่ในเขตใด ถ้าพบว่า $\bar{x}$ ตกอยู่ในเขตยอมรับ (ส่วนที่แรเงา) จะสรุปว่าประชากรมีค่าเฉลี่ย 1,600 แต่ถ้า $\bar{x}$ ตกอยู่ในเขตปฏิเสธ (ปลายโค้งนอกส่วนที่แรเงา) จะสรุปว่าประชากรมีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากับ 1,600 จากการที่กำหนดให้พื้นที่แรเงาครอบคลุมร้อยละ 95 ของ $\bar{x}$ ทั้งหมด ทำให้การสรุปดังกล่าวมีความเชื่อมั่นว่าถูกต้องร้อยละ 95 หรือมีโอกาสที่จะสรุปผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 5

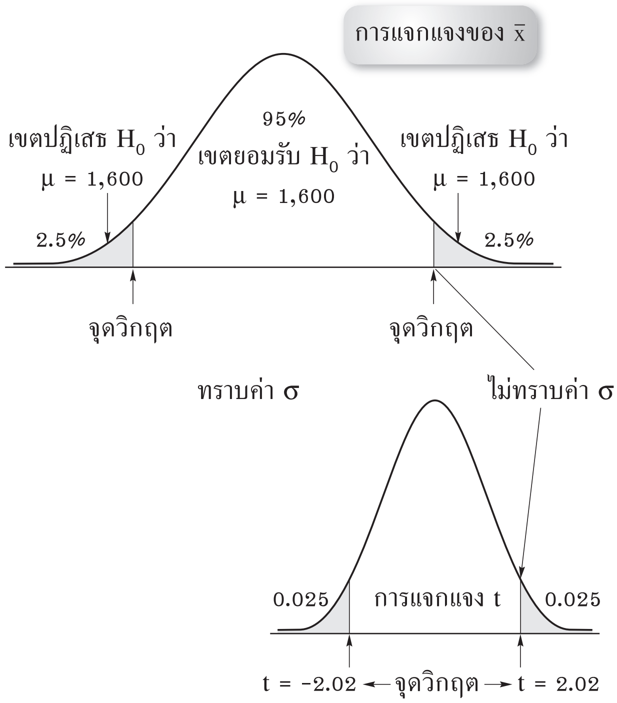


ภาพ 4.1 การแจกแจงของ $\bar{x}$ กับการสรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

ในการตัดสินใจจะแบ่งพื้นที่ของโค้งการแจกแจงของค่าสถิติออกเป็น 2 ส่วน คือ เขตยอมรับ (acceptance region) และเขตปฏิเสธ (rejection region) จุดที่แบ่งพื้นที่เรียกว่า จุดวิกฤต (critical point) จึงมีการเรียกชื่อเขตปฏิเสธอีกชื่อหนึ่งว่าเขตวิกฤต (critical region) ซึ่งเขตปฏิเสธหรือเขตวิกฤตจะอยู่ที่ปลายโค้งทั้งสองข้าง หรืออยู่ที่ปลายด้านใดด้านหนึ่ง ขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ตั้งขึ้นสำหรับการทดสอบซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

พื้นที่เขตยอมรับหรือเขตปฏิเสธสมมติฐาน กำหนดจากระดับความเชื่อมั่นของการสรุปผล ถ้ากำหนดให้ความเชื่อมั่นของการสรุปผลถูกต้องเท่ากับร้อยละ 95 หมายความว่า เขตยอมรับครอบคลุมร้อยละ 95 ของ $\bar{x}$ ที่สุ่มได้ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ (μ = 1,600)

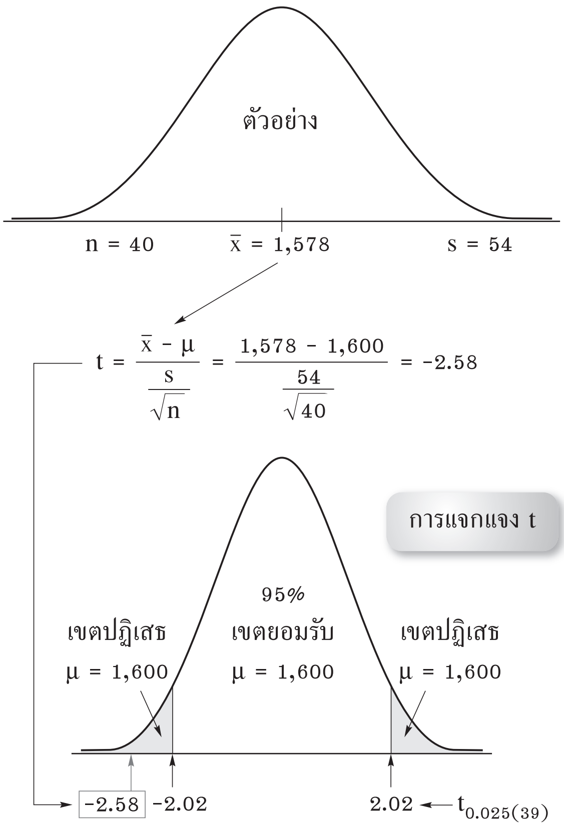
การหาจุดวิกฤตทำโดยการนำค่าความน่าจะเป็นของการสรุปผิดพลาดมาเปลี่ยนเป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบ ค่าที่ได้คือจุดวิกฤต จากตัวอย่างนี้ถ้านักวิจัยกำหนดให้ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% โอกาสสรุปผิดพลาดจะเท่ากับ 5% หรือค่าความน่าจะเป็นของการสรุปผิดพลาดเท่ากับ 0.05 จากสมมติฐานที่ตั้งไว้ความผิดพลาดอยู่ที่ปลายโค้งทั้งสองด้าน ดังนั้นจึงนำค่าความน่าจะเป็นของการสรุปผิดพลาดมาแบ่งเป็นสองข้าง ข้างละเท่าๆกัน แต่ละข้างจะเท่ากับ 0.025 ในกรณีนี้ใช้สถิติ t ในการทดสอบ การหาค่า t จากค่าความน่าจะเป็นจะต้องทราบองศาเสรี (df) จากข้อมูลในตัวอย่างนี้ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา 40 คน ค่า df จะเท่ากับ n – 1 จากการคำนวณได้ค่า df = 39 นำค่าความน่าจะเป็น 0.025 และ df 39 ไปเปิดตาราง ส 2 หาค่า t พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.02 ดังนั้นจุดวิกฤตด้านซ้ายจะมีค่า –2.02 จุดวิกฤตด้านขวาจะมีค่า 2.02 ดังแสดงในภาพ 4.2



ภาพ 4.2 แสดงการหาค่าจุดวิกฤต

ในการพิจารณาว่าค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างที่ศึกษา ($\bar{x}$ = 1,578) สุ่มมาจากประชากรที่มี μ = 1,600 หรือไม่ ทำโดยแปลงค่า $\bar{x}$ ให้เป็นค่า t ถ้าค่า t ที่คำนวณได้ตกอยู่ในเขตยอมรับจะสรุปว่าค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการเสริมสุขภาพของประชาชนเท่ากับ 1,600 บาท ถ้า

อยู่ในเขตปฏิเสธจะสรุปว่าไม่เท่ากับ 1,600 บาท จากตัวอย่างคำนวณค่า t ได้ –2.6 ซึ่งตกอยู่ในเขตปฏิเสธสมมติฐานดังแสดงในภาพ 4.3 จึงสรุปผลการศึกษาว่าค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการเสริมสุขภาพของประชาชนไม่เท่ากับ 1,600 บาท/คน/ปี ด้วยโอกาสผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 5



ภาพ 4.3 แสดงการตัดสินใจทางสถิติในการปฏิเสธสมมติฐาน

4.2 การตั้งสมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐานทางสถิติมีอยู่ 2 แบบ คือ สมมติฐานว่าง (null hypothesis) ซึ่งเป็นสมมติฐานที่ใช้ทดสอบ และสมมติฐานทางเลือก (alternative hypothesis) เลือกที่จะรับถ้าปฏิเสธสมมติฐานว่างในการดำเนินการทางสถิติเพื่อตอบคำถามงานวิจัยในเชิงเปรียบเทียบเริ่มด้วยการนำคำถามหรือสมมติฐานในงานวิจัยมาพิจารณาตั้งเป็นสมมติฐานทางสถิติ (statistical hypothesis) ได้ดังต่อไปนี้

4.2.1 สมมติฐานว่าง

เป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นสำหรับทดสอบ โดยกำหนดให้ตั้งอยู่ในรูปของความไม่แตกต่างเท่านั้น ใช้ H_0 เป็นสัญลักษณ์ เช่น $H_0: \mu = 1{,}600$ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ เป็นต้น

4.2.2 สมมติฐานทางเลือก

เป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อเป็นทางเลือกในการสรุปผลการทดสอบในกรณีที่ผลการทดสอบปฏิเสธสมมติฐานว่าง โดยใช้ H_A เป็นสัญลักษณ์ของสมมติฐานทางเลือก การตั้งสมมติฐานทางเลือกตั้งได้ 2 แบบ คือ

4.2.2.1 ตั้งแบบไม่เท่ากับ

การตั้งสมมติฐานทางเลือกแบบไม่เท่ากับ ($H_A: \mu \neq 1{,}600$) จะเลือกตั้ง H_A แบบนี้ในกรณีที่คำถามงานวิจัยต้องการทราบว่าพารามิเตอร์ที่จะทดสอบมีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยปฏิเสธทั้งค่าที่มากกว่าและค่าที่น้อยกว่า ตัวอย่างเช่น ในการตรวจสอบยาปฏิชีวนะว่ามีปริมาณบรรจุในเม็ดยาเท่ากับ 250 มิลลิกรัมหรือไม่ ถ้าให้ μ เป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณยาที่บรรจุอยู่ในเม็ดยา จะตั้งสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้ $H_0: \mu = 250$ $H_A: \mu \neq 250$ เหตุที่เลือกตั้ง H_A เป็นแบบไม่เท่ากับเพราะถ้าบรรจุเกินปริมาณที่กำหนดบริษัทจะขาดทุน ถ้าบรรจุไม่ครบตามปริมาณที่กำหนดผู้ป่วยจะได้รับยาไม่ครบตามปริมาณคำสั่งการรักษา จะเห็นได้ว่าไม่ว่าปริมาณยาขาดหรือเกินจะเป็นผลเสียที่ต้องแก้ไขเช่นกัน

4.2.2.2 ตั้งแบบมากกว่าหรือน้อยกว่า

การตั้งสมมติฐานทางเลือกแบบมากกว่าหรือน้อยกว่า ($H_A: \mu > 1{,}600$ หรือ $H_A: \mu < 1{,}600$) จะเลือกตั้ง H_A แบบนี้ในกรณีคำถามงานวิจัยมีทิศทางในการทดสอบชัดเจนว่าต้องการทราบว่ามีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าทางใดทางหนึ่งเพียงทางเดียว ตัวอย่างเช่น ในการประเมินผลการออกกำลังกายของคนวัยกลางคนว่าการเต้นแอโรบิกสัปดาห์ละ 3 วัน จะช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลเมื่อเทียบกับคนที่ไม่ได้ออกกำลังกายหรือไม่

ถ้าให้ μ_1 และ μ_2 เป็นค่าเฉลี่ยของระดับคอเลสเตอรอลของกลุ่มคนวัยกลางคนที่เต้นแอโรบิก และกลุ่มคนวัยกลางคนที่ไม่ออกกำลังกาย ตามลำดับ สมมติฐานตั้งได้ดังนี้ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_A: \mu_1 < \mu_2$

จากคำถามงานวิจัยที่ต้องการทราบว่าการเต้นแอโรบิกจะช่วยลดคอเลส-เตอรอลได้หรือไม่ ถ้าสามารถลดได้ $\mu_1 < \mu_2$ ซึ่งเป็นผลดีของการเต้นแอโรบิก ดังนั้นสมมติฐานทางเลือกจะตั้งแบบน้อยกว่าเท่านั้น เพื่อจะให้ผลสรุปที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานสอดคล้องกับผลสรุปที่จะนำไปใช้สรุปคำถามงานวิจัย

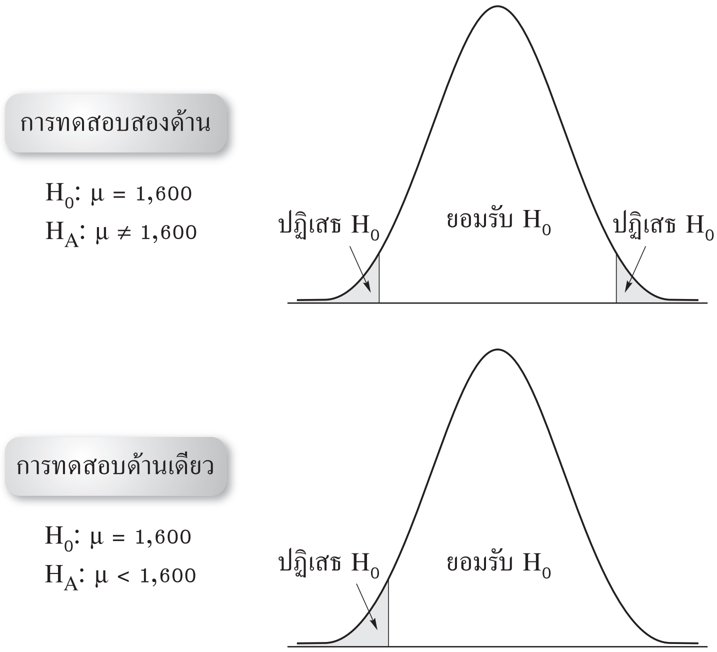
ในตัวอย่างที่นักวิจัยต้องการดูว่าวิธีการสอนเรื่องโรคเอดส์ให้แก่วัยรุ่นโดยใช้เทคนิคกลุ่มสัมพันธ์ทำให้วัยรุ่นมีความรู้ความเข้าใจมากกว่าวิธีการสอนที่ใช้เป็นประจำหรือไม่

ถ้าให้ μ_1 และ μ_2 เป็นค่าเฉลี่ยของความรู้เรื่องโรคเอดส์ที่สอนโดยใช้เทคนิคกลุ่มสัมพันธ์ และสอนโดยวิธีการสอนที่ใช้เป็นประจำ ตามลำดับ สมมติฐานตั้งได้ดังนี้ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_A: \mu_1 > \mu_2$

จากคำถาม ถ้านักวิจัยคิดว่าจะแนะนำให้มีการเปลี่ยนแปลงการสอนก็ต่อเมื่อการสอนแบบเทคนิคกลุ่มสัมพันธ์ได้ผลดีกว่า สมมติฐานทางเลือกต้องตั้ง $H_A: \mu_1 > \mu_2$ เท่านั้น จึงจะสามารถสรุปผลได้ว่าวิธีการสอนแบบใหม่โดยใช้เทคนิคกลุ่มสัมพันธ์ได้ผลดีกว่าหรือไม่

4.2.3 การทดสอบสองด้านและการทดสอบด้านเดียว

การทดสอบสมมติฐานที่ตั้งสมมติฐานทางเลือกเป็นแบบไม่เท่ากับจะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการทดสอบสองด้าน (two-tailed test) หมายถึงการทดสอบสมมติฐานที่มีเขตปฏิเสธ H_0 อยู่สองด้าน ทั้งด้านค่ามากและด้านค่าน้อย ส่วนการทดสอบสมมติฐานที่มีสมมติฐานทางเลือกอยู่ด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียว จะเป็นมากกว่าหรือน้อยกว่าเรียกว่าการทดสอบด้านเดียว (one-tailed test) ดังแสดงในภาพ 4.4 การเลือกว่าจะตั้งสมมติฐานเป็นแบบการทดสอบสองด้านหรือการทดสอบด้านเดียวขึ้นอยู่กับคำถามงานวิจัย ซึ่งได้อธิบายในหัวข้อ 4.2.2 แล้ว



ภาพ 4.4 แสดงสมมติฐานของการทดสอบสองด้านและการทดสอบด้านเดียว

ในการตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบยาใหม่ วิธีการตรวจแบบใหม่ หรือการรักษาแบบใหม่ สิ่งที่นักวิจัยต้องการทราบคือ ยาใหม่ดีกว่ายาที่ใช้อยู่เดิมหรือไม่ ซึ่งควรจะเป็นการทดสอบด้านเดียว แต่ก็มีข้อโต้แย้งว่าในกรณีที่ไม่ดีกว่าแต่ถ้าไม่ด้อยกว่า ยาดังกล่าวก็ยังใช้ได้อยู่ ซึ่งการทดสอบด้านเดียวจะทำให้ขาดโอกาสที่จะทราบข้อมูลส่วนนี้ ในการทดสอบสองด้านจะสามารถระบุได้ว่าแตกต่างกันหรือไม่ ถ้าแตกต่างกันจะมีผลดีกว่าหรือด้อยกว่า โดยพิจารณาจากค่าสถิติที่คำนวณได้ว่าตกอยู่ในเขตปฏิเสธด้านใด ทำให้สามารถสรุปได้ว่าไม่แตกต่างกัน ดีกว่า หรือด้อยกว่า

ดังนั้นนักวิจัยควรมีคำถามงานวิจัยที่เฉพาะ ชัดเจน และทราบว่าจะนำคำตอบที่ได้ไปใช้ในแนวทางใด จะช่วยให้ตั้งสมมติฐานได้ตรงกับข้อสรุปที่จะนำผลการวิจัยไปใช้

4.3 ความผิดพลาดในการตัดสินใจและอำนาจการทดสอบ

ในการทดสอบสมมติฐาน การตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 มีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดได้ 2 ลักษณะ คือ ความผิดพลาด α และความผิดพลาด β

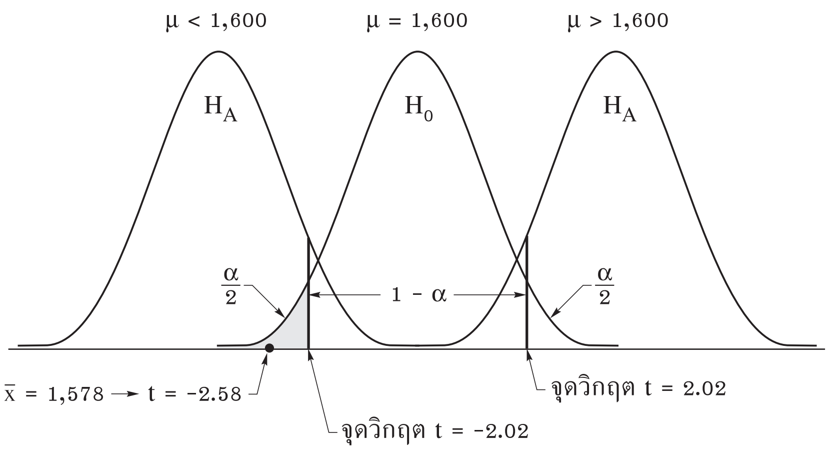
4.3.1 ความผิดพลาด α

ความผิดพลาด α หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการปฏิเสธ H_0 เมื่อ H_0 ที่ตั้งไว้ถูกต้อง

ข้อมูลจากตัวอย่างที่ 4.1 นำมาสร้างเป็นภาพ 4.5 เพื่อแสดงการเกิดความผิดพลาด α พบว่าค่า $t = -2.58$ ที่คำนวณได้จาก $\bar{x} = 1{,}578$ ของตัวอย่างอยู่ในส่วนทับกันของทั้งการแจกแจง H_0 และ H_A ดังนั้น $\bar{x} = 1{,}578$ อาจมาจากประชากรที่มี $\mu = 1{,}600$ หรือมาจากประชากรที่มี $\mu < 1{,}600$ ก็ได้

ถ้าในกรณีที่ความจริง $\bar{x} = 1{,}578$ มาจากประชากรที่มี $\mu < 1{,}600$ ข้อสรุปที่ได้จากการปฏิเสธสมมติฐานจะเป็นข้อสรุปที่ถูกต้อง แต่ถ้า $\bar{x} = 1{,}578$ มาจากประชากรที่มี $\mu = 1{,}600$ ข้อสรุปที่ได้จากการปฏิเสธสมมติฐานจะเป็นข้อสรุปที่ผิด เรียกความผิดพลาดประเภทนี้ว่า *ความผิดพลาดประเภทที่ 1* หรือ *ความผิดพลาด α* ในการทดสอบสมมติฐาน โอกาสที่เกิดความผิดพลาด α จะถูกควบคุมให้เกิดได้ไม่เกินค่า α ที่นักวิจัยกำหนด และความผิดพลาดประเภทนี้จะมีโอกาสเกิดขึ้นในกรณีที่ผลการทดสอบปฏิเสธสมมติฐานเท่านั้น

$H_0: \mu = 1{,}600 \qquad H_A: \mu \neq 1{,}600$



ภาพ 4.5 แสดงการเกิดความผิดพลาด α

4.3.2 ความผิดพลาด β

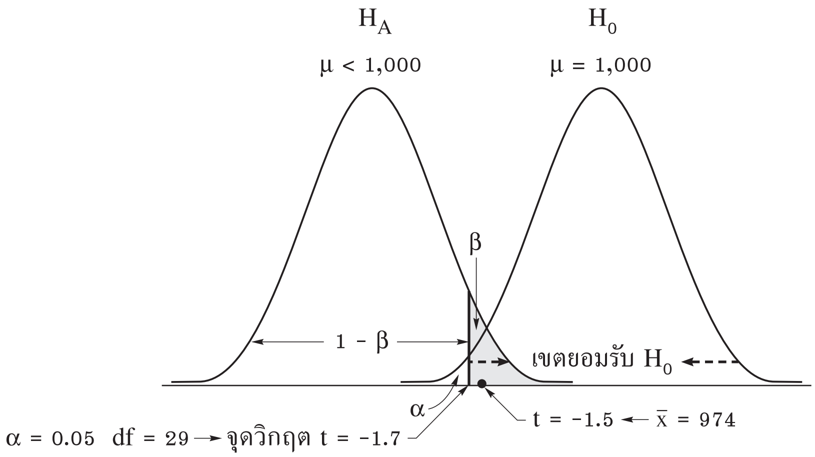
ความผิดพลาด β หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าความผิดพลาดประเภทที่ 2 เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับ H_0 เมื่อ H_0 ที่ตั้งไว้ผิด

ตัวอย่างที่ 4.2

สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภคทำการตรวจสอบปริมาณบรรจุของนมผงสำหรับใช้เลี้ยงทารกที่ข้างกระป๋องมีป้ายบอกปริมาณบรรจุ 1,000 กรัม จากการสุ่มตัวอย่างมา 30 กระป๋อง พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 974 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 94 กรัม

ในการสรุปผลการตรวจสอบผู้ทำการศึกษาต้องตั้งข้อสรุปจากตัวอย่างที่สุ่มตรวจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธว่านมที่ผลิตออกมาจากโรงงานทั้งหมด (ประชากร) มีขนาดบรรจุเท่ากับ 1,000 กรัมหรือไม่

ถ้าให้ μ เป็นค่าเฉลี่ยของน้ำหนักนมที่บรรจุจากโรงงานผลิต สมมติฐานทางสถิติที่ตั้งสำหรับการทดสอบคือ H_0: μ = 1,000 และ H_A: μ < 1,000 ที่ตั้ง H_A เป็นสมมติฐานด้านเดียวในด้านน้อยกว่าเพราะถ้าปริมาณบรรจุพอดีหรือเกินกว่า 1,000 กรัม ผู้บริโภคจะได้ประโยชน์ ถ้าบรรจุน้อยกว่าปริมาณที่กำหนดผู้บริโภคจะเสียประโยชน์ จึงต้องตั้งสมมติฐานด้านเดียวเพื่อสรุปว่า μ < 1,000 กรัมหรือไม่ นำข้อมูลจากตัวอย่างที่ศึกษาไปคำนวณค่า t ได้ค่า t = –1.5 และหาค่าวิกฤตได้เท่ากับ –1.7 ดังแสดงในภาพ 4.6



ภาพ 4.6 แสดงการเกิดความผิดพลาด β

จากภาพ 4.6 ค่า t = –1.5 ที่คำนวณได้จากตัวอย่างอยู่ในส่วนทับกันของการแจกแจงของทั้ง H_0 และ H_A ดังนั้น $\bar{x}$ = 974 อาจจะมาจากประชากรที่มี μ = 1,000 หรือมาจากประชากรที่มี μ < 1,000 ก็ได้

ถ้าในกรณีความจริง $\bar{x}$ = 974 มาจากประชากรที่มี μ = 1,000 ข้อสรุปที่ได้จากการยอมรับสมมติฐานจะเป็นข้อสรุปที่ถูกต้อง แต่ถ้า $\bar{x}$ = 974 มาจากประชากรที่มี μ < 1,000 ข้อสรุปที่ได้จากการยอมรับสมมติฐานจะเป็นข้อสรุปที่ผิด เรียกความผิดพลาดประเภทนี้ว่า *ความผิดพลาดประเภทที่ 2* หรือ *ความผิดพลาด β* ความผิดพลาดประเภทนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ผลการทดสอบยอมรับสมมติฐานเท่านั้น ในการทดสอบไม่ได้ควบคุมขนาดของความผิดพลาดชนิดนี้ไว้ ถ้าต้องการทราบขนาดของ β สามารถคำนวณได้ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 9.6

ในการทดสอบสมมติฐานแต่ละครั้ง มีโอกาสเกิดความผิดพลาด α หรือ β อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว ขึ้นอยู่กับความเป็นจริงว่า H_0 ที่ตั้งไว้ถูกหรือผิด ดังแสดงในภาพ 4.7 ในกรณีที่ความเป็นจริง H_0 ถูก ผลการตัดสินใจมีโอกาสเกิดความผิดพลาด α หรือตัดสินใจได้ถูกต้องด้วยความน่าจะเป็น 1 – α เท่านั้น ในทำนองเดียวกัน ถ้าในความเป็นจริง H_0 ผิด ผลการตัดสินใจมีโอกาสเกิดความผิดพลาด β หรือตัดสินใจได้ถูกต้องด้วยความน่าจะเป็น 1 – β ซึ่งค่า 1 – β เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าอำนาจการทดสอบ

		ความเป็นจริง	
		H_0 ถูก	H_0 ผิด
การตัดสินใจ	ยอมรับ H_0	ตัดสินใจถูก (1 – α)	ตัดสินใจผิด β
	ปฏิเสธ H_0	ตัดสินใจผิด α	ตัดสินใจถูก (1 – β)

ภาพ 4.7 แสดงการเกิดความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน

4.3.3 อำนาจการทดสอบ

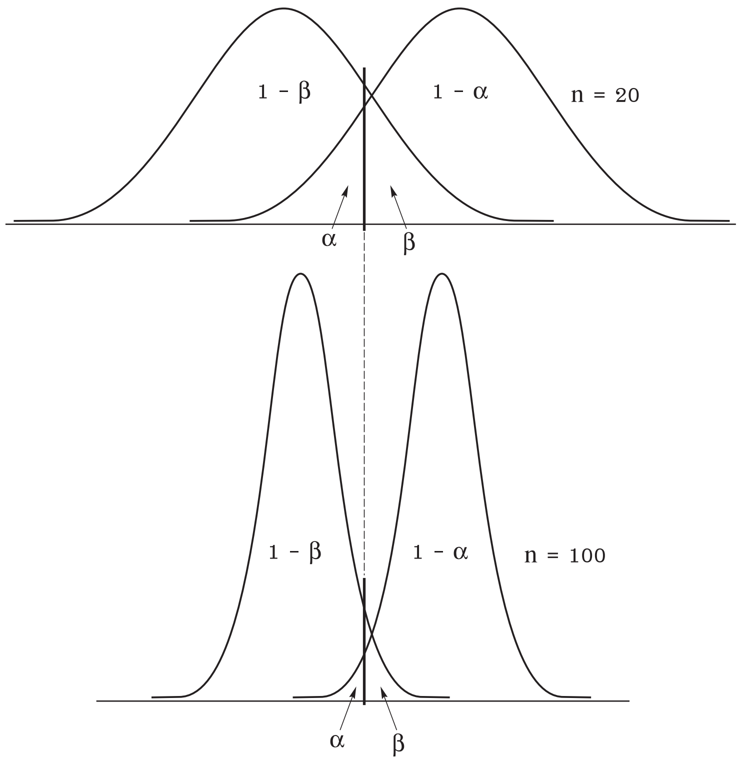
อำนาจการทดสอบ (power of test) หมายถึงการทดสอบมีอำนาจมากน้อยเท่าใดที่จะสรุปว่ามีความแตกต่างในกรณีที่ความเป็นจริงมีความแตกต่าง (H_0 ผิด) ดังนั้นในการทดสอบสมมติฐาน ถ้าผลการทดสอบยอมรับ H_0 และพบว่าการทดสอบดังกล่าวมีอำนาจ

การทดสอบต่ำ อาจเป็นไปได้ว่าความเป็นจริงอาจจะมีความแตกต่าง แต่การทดสอบมีอำนาจการทดสอบไม่พอที่จะระบุความแตกต่างได้

4.3.4 การลดขนาดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทดสอบสมมติฐาน

ความผิดพลาดทั้ง α และ β สามารถลดโอกาสการเกิดให้น้อยลงได้โดยแก้ไขปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับขนาดความผิดพลาด ปัจจัยดังกล่าว คือ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีขนาดใหญ่ และสิ่งทดลองมีประสิทธิผลต่ำ (small treatment effect) ซึ่งปัจจัยทั้งสองมีผลทำให้การแจกแจงค่าสถิติของประชากรที่จะเปรียบเทียบมีส่วนทับซ้อนกันมากจนแยกออกจากกันได้ยาก

การแก้ไขปัจจัยดังกล่าวทำได้โดยการเพิ่มขนาดตัวอย่าง เพราะเมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการแจกแจงค่าสถิติมีค่าเล็กลง ทำให้ส่วนที่ทับซ้อนกันมีค่าน้อย ความผิดพลาด α และ β จะเล็กลงไปด้วยดังแสดงในภาพ 4.8 การสรุปผลการทดสอบสมมติฐานให้มีความผิดพลาดน้อยจำเป็นที่จะต้องมีขนาดตัวอย่างในการศึกษาที่ใหญ่พอ ดังนั้นนักวิจัยต้องคำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่ 9



ภาพ 4.8 แสดงการลดขนาดความผิดพลาด α และ β เมื่อเพิ่มขนาดตัวอย่าง

4.4 ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานสามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานได้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐาน

ขั้นที่ 2 เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบ

ขั้นที่ 3 กำหนดระดับนัยสำคัญและหาค่าวิกฤต

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าสถิติที่ใช้ทดสอบและหาค่า P value

ขั้นที่ 5 ตัดสินใจและสรุปผล

แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐาน

นักวิจัยต้องตั้งสมมติฐานทางสถิติ ซึ่งประกอบด้วย H_0 และ H_A ตามวิธีการที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.2

ขั้นที่ 2 เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบ

สถิติที่ใช้ในงานวิจัยส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ยและค่าสัดส่วน แต่เนื่องจากประเภทข้อมูล ข้อกำหนดของแบบงานวิจัย และวิธีการสุ่มตัวอย่าง ทำให้ข้อมูลที่ได้มีการแจกแจงความน่าจะเป็นได้หลายแบบ ส่งผลให้ค่าสถิติที่ใช้มีความแตกต่างกันไปตามลักษณะดังกล่าวด้วย งานวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพมีการแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าสถิติที่พบบ่อยอยู่ 4 แบบ คือ การแจกแจงปกติ ใช้สถิติ Z ทดสอบ (Z test) การแจกแจง t ใช้สถิติ t ทดสอบ (t test) การแจกแจงไคสแควร์ ใช้สถิติ χ^2 ทดสอบ (χ^2 test) และการแจกแจง F ใช้สถิติ F ทดสอบ (F test)

ในบทที่ 3 ได้อธิบายเงื่อนไขในการใช้การแจกแจงปกติ และการแจกแจง t ไปแล้ว สำหรับการแจกแจง F จะได้กล่าวถึงในบทที่ 5 และการแจกแจงไคสแควร์จะกล่าวถึงในบทที่ 6

จากตัวอย่างที่ 4.2 นักวิจัยต้องการเปรียบเทียบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณนมผงเท่ากับ 1,000 กรัมหรือไม่ ในการศึกษาได้สุ่มตัวอย่างนมผงมา 30 กระป๋อง และหาปริมาณนมที่บรรจุเพื่อคำนวณค่า $\bar{x}$ โดยปกติ $\bar{x}$ จะมีการแจกแจงปกติ แต่เนื่องจากไม่ทราบค่า σ จึงใช้ s แทน ทำให้ค่าสถิติที่ได้มีการแจกแจง t จึงใช้สถิติ t ในการทดสอบ

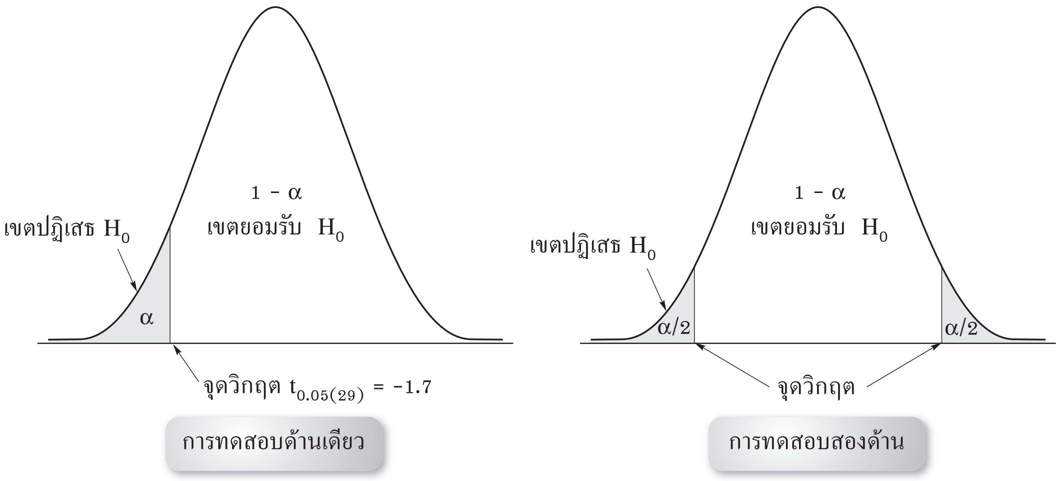
รายละเอียดวิธีการเลือกสถิติสำหรับการทดสอบสมมติฐานในกรณีต่างๆอธิบายไว้ในบทที่ 10

ขั้นที่ 3 กำหนดระดับนัยสำคัญและหาค่าวิกฤต

ในการทดสอบสมมติฐาน นักวิจัยต้องกำหนดระดับความผิดพลาด α ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าระดับนัยสำคัญ การจะกำหนดระดับนัยสำคัญมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสำคัญของการเกิดความผิดพลาด α

งานวิจัยส่วนใหญ่นิยมกำหนดระดับนัยสำคัญให้มีค่าเท่ากับ 0.05 หรือ 0.01 จากระดับนัยสำคัญที่กำหนด ถ้าเป็นการทดสอบด้านเดียวจะนำค่า α ไปหาค่าวิกฤตที่ใช้สำหรับการตัดสินใจ

ในกรณีที่เป็นการทดสอบสองด้านจะนำ α ที่กำหนดหารด้วยสองก่อนนำไปหาค่าวิกฤตด้วยวิธีการเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ เพราะสมมติฐานทางเลือกของการทดสอบสองด้าน ความผิดพลาดจะถูกแบ่งเป็นสองด้านเท่าๆกัน ด้านละ $\alpha/2$ ดังปรากฏในภาพ 4.9



ภาพ 4.9 แสดงเขตปฏิเสธ H_0 ในกรณีการทดสอบด้านเดียวและการทดสอบสองด้าน

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าสถิติที่ใช้ทดสอบและหาค่า P value

จากสถิติที่เลือกในขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลที่เก็บจากตัวอย่างมาคำนวณค่าสถิติที่ใช้ทดสอบ ค่าสถิติที่คำนวณได้จะใช้สำหรับการตัดสินใจสรุปผลการทดสอบสมมติฐานในขั้นตอนที่ 5 จากตัวอย่างที่ 4.2 คำนวณค่าสถิติ t ได้ดังนี้

μ = 1,000, $\bar{x}$ = 974, s = 94 และ n = 30
$t = \dfrac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \dfrac{974 - 1{,}000}{\frac{94}{\sqrt{30}}} = -1.5$

การตัดสินใจสรุปผลการทดสอบสมมติฐานที่ทำมาแต่เดิม คือการใช้ค่าสถิติที่คำนวณได้เทียบกับค่าวิกฤต แต่ที่นิยมในปัจจุบันเป็นการตัดสินใจสรุปผลการทดสอบสมมติฐานโดยใช้ค่า P value เทียบกับค่าระดับนัยสำคัญ (α)

P value เป็นความน่าจะเป็นที่จะได้ค่าสถิติที่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่าสถิติที่คำนวณได้ในกรณีที่ H_0 เป็นจริง ซึ่งหมายถึงโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดในการบอกว่าการทดสอบมีความแตกต่างในกรณีที่ความเป็นจริงไม่แตกต่าง (H_0 ที่ตั้งไว้ถูกต้อง)

ดังนั้นเมื่อค่า P value มีค่าน้อย การสรุปผลการทดสอบว่ามีความแตกต่างก็จะมีโอกาสผิดพลาดน้อย ในทางกลับกัน ถ้าค่า P value มีค่ามาก การสรุปผลการทดสอบว่ามีความแตกต่างก็จะมีโอกาสผิดพลาดมาก

การคำนวณค่า P value ถ้าวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ โปรแกรมสถิติจะคำนวณค่า P value เป็นค่าเฉพาะมาให้พร้อมกับค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน จากตัวอย่าง P value ที่คำนวณได้จากโปรแกรมเท่ากับ 0.0722

ในกรณีที่คำนวณค่าสถิติด้วยมือจะหาค่า P value จากตารางสถิติ แต่ค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากตารางมีไม่ครบทุกค่า ดังนั้นสำหรับค่าที่ไม่มีอยู่ในตารางจะบอกได้เพียงว่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่ใกล้เคียงกับค่านั้น จากตัวอย่างที่ 4.2 ค่า t ที่คำนวณได้เท่ากับ –1.5 ค่า df 29 เปิดตาราง ส 2 ได้ค่าความน่าจะเป็นอยู่ระหว่าง 0.1 กับ 0.05 ดังนั้นจะได้ว่า P value มีค่ามากกว่า 0.05 หรือเขียนอีกแบบหนึ่งว่า P value > 0.05 ในรายงานวิจัยนิยมเขียนย่อว่า $P > 0.05$

ขั้นที่ 5 ตัดสินใจและสรุปผล

การสรุปผลการทดสอบสมมติฐานทำได้ 2 วิธี วิธีแรกทำได้โดยการนำค่าสถิติที่คำนวณได้ (จากขั้นตอนที่ 4) มาเทียบกับจุดวิกฤต โดยจุดวิกฤตจะแบ่งพื้นที่โดยการตัดสินใจออกเป็น 2 ส่วน คือ เขตยอมรับ และเขตปฏิเสธ H_0 ถ้าค่าสถิติที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในเขตยอมรับ H_0 จะตัดสินใจยอมรับ H_0 ในทางกลับกัน ถ้าค่าสถิติที่คำนวณได้อยู่ในเขตปฏิเสธ H_0 ก็จะตัดสินใจปฏิเสธ H_0

วิธีที่ 2 ทำโดยเปรียบเทียบค่า P value ที่คำนวณได้กับค่าระดับนัยสำคัญ α ในกรณีทดสอบด้านเดียวจะปฏิเสธ H_0 เมื่อ P value $< \alpha$ และจะยอมรับ H_0 เมื่อ P value $> \alpha$ ในกรณีทดสอบสองด้านถ้า P value $< \alpha/2$ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และถ้า P value $> \alpha/2$ จะยอมรับสมมติฐาน H_0

วิธีการตัดสินใจทั้ง 2 วิธีให้ผลสรุปที่เหมือนกันเพราะเป็นค่าเดียวกัน เพียงแต่ว่าจะใช้ค่าสถิติหรือค่าความน่าจะเป็นเป็นหน่วยเปรียบเทียบ แต่วิธีแรกมีข้อจำกัดที่ผู้ใช้ผลวิจัยจะมีเฉพาะผลการตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ α ที่ผู้ทำวิจัยกำหนดขึ้นเท่านั้น แต่ถ้าใช้ค่า P value ผู้ใช้ผลงานวิจัยสามารถกำหนดค่า α ที่แตกต่างจากที่ผู้ทำวิจัยกำหนด โดยใช้ค่า P value ที่อยู่ในรายงานวิจัยไปเทียบกับค่า α ที่ผู้ใช้ผลวิจัยกำหนดขึ้นเอง เพื่อตัดสินตามระดับ α ที่ต้องการได้ ดังนั้นในบทความวิจัยส่วนใหญ่ในปัจจุบันจึงนิยมนำเสนอผลการทดสอบสมมติฐานด้วย P value

4.5 ข้อตกลงเบื้องต้นในการเลือกใช้ค่าสถิติกับความถูกต้องในการสรุปผล

สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานทุกตัวมีข้อตกลงเบื้องต้นของการแจกแจงของประชากรซึ่งแตกต่างไปตามค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ เช่น สถิติ t มีข้อตกลงเบื้องต้นว่าตัวอย่างต้องได้มาอย่างสุ่มจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ

ในกรณีที่พบว่าการแจกแจงของข้อมูลตัวอย่างที่สุ่มมาศึกษามีความเบ้ แสดงว่าประชากรที่สุ่มตัวอย่างมามีการแจกแจงเบ้ อาจมีผลทำให้การแจกแจงของ $(\bar{x} - \mu)/s\sqrt{n}$ ไม่ได้แจกแจงแบบ t การสรุปผลที่ใช้ความน่าจะเป็นของการแจกแจง t อาจผิดพลาด ดังนั้นในกรณีใช้การทดสอบด้วยสถิติ t นักวิจัยควรมีการตรวจสอบก่อนว่าประชากรที่สุ่มตัวอย่างมาศึกษามีการแจกแจงปกติหรือไม่ ถ้าพบว่าเบ้มากหรือมีการกระจายมากนักวิจัยควรทำการแปลงข้อมูล (data transformation) เพื่อปรับลดค่าความเบ้หรือลดค่าการกระจาย แล้วจึงนำค่าที่แปลงได้มาทดสอบสมมติฐาน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดที่เกิดจากการแจกแจงไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการทดสอบ รายละเอียดของการตรวจสอบว่าการแจกแจงเป็นแบบปกติและการแปลงข้อมูลอธิบายไว้ในบทที่ 20

4.6 การตัดสินใจทางสถิติและการนำผลสรุปไปใช้สรุปผลงานวิจัย

การนำผลการตัดสินใจทางสถิติไปใช้สรุปผลงานวิจัย ควรทำด้วยความเข้าใจวิธีการตัดสินใจทางสถิติและความหมายของความแตกต่างที่พบว่ามีประโยชน์ในการใช้งานหรือไม่ มีรายงานวิจัยจำนวนมากที่รายงานว่าพบความแตกต่างในการทดสอบสมมติฐาน แต่ไม่สามารถใช้ผลสรุปนั้นเสนอแนะการใช้งานได้อย่างเหมาะสม ในการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานต้องคำนึงถึงประเด็นสำคัญ 2 ประการ คือ การมีนัยสำคัญทางสถิติกับขนาดความแตกต่างที่มีประโยชน์ในการใช้งาน และความไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับความไม่แตกต่าง

4.6.1 การมีนัยสำคัญทางสถิติกับขนาดความแตกต่างที่มีประโยชน์ในการใช้งาน

การทดสอบสมมติฐานที่พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเป็นการตัดสินใจทางสถิติโดยเทียบค่าความแตกต่างกับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ในกรณีการเปรียบเทียบที่มีผลแตกต่างกันน้อยแต่ถ้าตัวอย่างที่ศึกษามีขนาดใหญ่ ทำให้ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมีขนาดเล็ก ผลการทดสอบสมมติฐานจะพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ในการนำผลสรุปจากงานวิจัยไปใช้งาน ขนาดความแตกต่างเป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะถ้าความแตกต่างที่พบมีขนาดไม่ใหญ่พอที่จะเปลี่ยนแปลงผลงานจะไม่มีความสำคัญในการใช้งานเพราะจะใช้วิธีใดก็ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันมากนัก เรียกผลต่างที่มีความสำคัญในการใช้งาน

ตามศาสตร์ที่จะนำไปใช้งาน เช่น ผลต่างที่มีความสำคัญทางคลินิก (clinical important) ผลต่างที่มีความสำคัญทางวิทยาศาสตร์ (scientific important) เป็นต้น

ตัวอย่างเช่น ในการทดสอบประสิทธิผลของหน้ากากป้องกันไอตะกั่ว พบว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้หน้ากากป้องกันไอตะกั่วจำนวน 30 คน มีปริมาณตะกั่วในเลือด $\bar{x}$ = 63 mcg/dl, s = 5 mcg/dl ส่วนกลุ่มที่สวมหน้ากากจำนวน 30 คน มีปริมาณตะกั่วในเลือด $\bar{x}$ = 51 mcg/dl, s = 4 mcg/dl ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าหน้ากากป้องกันไอตะกั่วสามารถลดปริมาณสารตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายได้ แต่ถ้าดูจากมาตรฐานความปลอดภัยในร่างกายมีตะกั่วได้ไม่เกิน 40 mcg/dl จะเห็นได้ว่าหน้ากากดังกล่าวถึงแม้จะลดปริมาณตะกั่วลงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปริมาณที่ลดได้ยังไม่มากพอที่จะทำให้เกิดความปลอดภัยกับคนงาน ทำให้ผลต่างที่ได้ไม่มีความสำคัญทางคลินิก จึงไม่ควรแนะนำให้ใช้

ดังนั้นในกรณีที่ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นักวิจัยควรพิจารณาขนาดของความแตกต่างที่พบด้วยว่ามีขนาดใหญ่พอที่จะเป็นประโยชน์ในการใช้งานหรือไม่ ขนาดความแตกต่างดูได้จากช่วงความเชื่อมั่น ซึ่งจะช่วยให้นักวิจัยสามารถสรุปผลและให้ข้อเสนอแนะที่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม

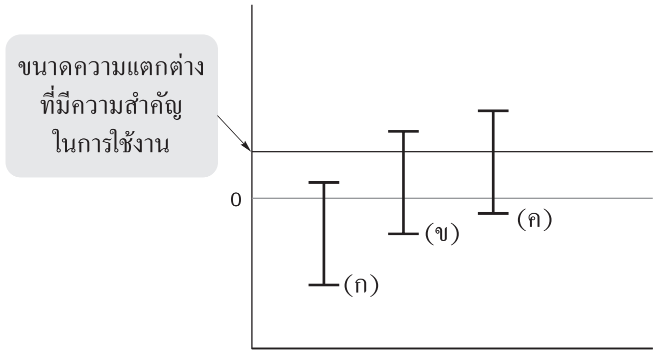
4.6.2 ความไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับความไม่แตกต่าง

การที่ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าไม่แตกต่างในทางสถิติเป็นไปได้ 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ไม่แตกต่างกันจริง กรณีที่ 2 อาจมีความแตกต่าง แต่ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาไม่ใหญ่พอที่จะพิสูจน์ความแตกต่างให้เห็น

การที่จะสรุปว่าเป็นกรณีที่ 1 หรือกรณีที่ 2 ทำได้โดยการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของอำนาจการทดสอบ (1 – β) ซึ่งอธิบายวิธีการคำนวณไว้ในบทที่ 9 ถ้าพบว่าค่าอำนาจการทดสอบเกิน 70% จะสรุปด้วยความมั่นใจได้ว่าไม่แตกต่างกันจริง แต่ถ้าพบว่าค่าอำนาจการทดสอบมีค่าน้อยกว่า 70% แสดงว่าขนาดตัวอย่างที่ใช้ศึกษามีขนาดเล็กเกินไปจนไม่สามารถระบุความแตกต่างที่มีได้

ดังนั้นในกรณีที่ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าไม่แตกต่าง นักวิจัยควรคำนวณค่าอำนาจการทดสอบ และในรายงานวิจัยควรนำเสนอผลการทดสอบพร้อมกับค่าอำนาจการทดสอบ

ในกรณีที่พบว่าขนาดตัวอย่างเล็กเกินไป นักวิจัยควรคำนวณช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างแล้วนำมาพิจารณาร่วมกับขนาดความแตกต่างที่มีความสำคัญในการใช้งานเพื่อให้ข้อเสนอแนะว่าควรมีการศึกษาเพิ่มเติมหรือไม่ โดยมีหลักในการพิจารณาดูลักษณะช่วงความเชื่อมั่นดังนี้



ภาพ 4.10 แสดงลักษณะช่วงความเชื่อมั่นของการทดสอบที่ไม่พบความแตกต่าง

จากภาพ 4.10 ช่วงความเชื่อมั่น (ก) ขนาดความแตกต่างสูงสุดยังต่ำกว่าขนาดความแตกต่างที่มีความสำคัญ ถึงแม้จะทำการศึกษาใหม่โดยเพิ่มขนาดตัวอย่างให้ใหญ่จนพบความแตกต่าง ความแตกต่างที่พบยังไม่มีความสำคัญในการใช้งานไม่ควรวิจัยซ้ำ ช่วงความเชื่อมั่น (ข) มีขนาดความแตกต่างคร่อมขนาดความแตกต่างที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อย ถ้าทำการศึกษาใหม่โดยเพิ่มขนาดตัวอย่างจนพบความแตกต่างโอกาสที่จะพบความแตกต่างที่มีความสำคัญในการใช้งานค่อนข้างน้อย ถ้าทำซ้ำมีโอกาสน้อยที่จะได้ผลการศึกษาที่มีความสำคัญต่อการใช้งาน ส่วนช่วงความเชื่อมั่น (ค) มีขนาดความแตกต่างเกินกว่าขนาดความแตกต่างที่มีความสำคัญมาก ถ้าทำการศึกษาใหม่โดยเพิ่มขนาดตัวอย่างโอกาสพบความแตกต่างที่มีความสำคัญในการใช้งานจะมีมากกว่า ถ้าคำถามงานวิจัยยังสำคัญอยู่ควรทำวิจัยซ้ำ

4.7 การใช้ช่วงความเชื่อมั่นบอกผลการทดสอบสมมติฐาน

การคำนวณค่าช่วงความเชื่อมั่นและการคำนวณค่าสถิติในการทดสอบสมมติฐานจะใช้ข้อมูลในการคำนวณเหมือนกัน เช่น ค่าสถิติ t ที่ใช้ในการประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่นและทดสอบสมมติฐาน คำนวณจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างกับค่าเฉลี่ยของประชากร ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และระดับนัยสำคัญ (α) ดังนั้นจึงไม่ใช่เรื่องแปลกที่วิธีการทั้งสองจะสามารถให้ข้อสรุปในการทดสอบความแตกต่างได้เหมือนกัน เช่น พบว่าช่วงความเชื่อมั่นสามารถให้ข้อมูลในการตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานได้เช่นเดียวกันกับผลสรุปที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน แต่ช่วงความเชื่อมั่นยังสามารถบอกขนาดและทิศทางของความแตกต่างของการเปรียบเทียบได้อีกด้วย

การใช้ช่วงความเชื่อมั่นสรุปผลการทดสอบสมมติฐานทำได้ดังนี้ ถ้าค่าที่ตั้งในสมมติฐาน (H_0) อยู่ในระหว่างค่าของช่วงความเชื่อมั่น จะสรุปว่าผลการทดสอบสมมติฐานแตกต่างกันอย่างไม่มีนัย

สำคัญที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha/2$ ในทางกลับกัน ถ้าพบว่าค่าที่ตั้งอยู่ใน H_0 มีค่าอยู่นอกช่วงความเชื่อมั่นจะสรุปว่าผลการทดสอบสมมติฐานมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha/2$ ดังปรากฏในภาพ 4.11

ในกรณีที่เป็นการทดสอบสมมติฐานด้านเดียวจะต้องนำไปเทียบกับการประมาณค่าด้านเดียว (one-sided estimation)

สมมติฐานว่าง	ยอมรับ H_0	ปฏิเสธ H_0
H_0: μ = 1,000	950 1,070 1,000	890 995 1,000
H_0: $\mu_1 = \mu_2$ หรือ H_0: $\mu_1 - \mu_2 = 0$	−2.1 0.5 0	−1.8 −0.2 0

ภาพ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงความเชื่อมั่นกับการทดสอบสมมติฐาน

การนำเสนอผลงานวิจัยในปัจจุบันนิยมรายงานผลการเปรียบเทียบด้วยช่วงความเชื่อมั่น เพราะค่า P value บอกได้เพียงว่าแตกต่างหรือไม่แตกต่าง ซึ่งก็สามารถบอกได้โดยช่วงความเชื่อมั่น แต่ข้อมูลจากช่วงความเชื่อมั่นยังสามารถบอกได้ถึงขนาดความแตกต่างซึ่งสามารถนำไปพิจารณาความสำคัญทางคลินิกหรือความสำคัญทางวิทยาศาสตร์ในกรณีที่พบว่าผลการทดสอบแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ และยังสามารถใช้พิจารณาเพื่อให้ข้อเสนอแนะในการศึกษาซ้ำ นอกจากนี้ ขนาดความกว้างของช่วงยังสามารถสะท้อนความเหมาะสมของตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาและขนาดการกระจายของข้อมูลในประชากรได้ด้วย

สรุป

การทดสอบความแตกต่าง เป็นวิธีการทางสถิติอนุมานที่พบว่ามีการใช้มากในงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ ในบทนี้ได้อธิบายวิธีการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับค่าที่กำหนด ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐานประกอบด้วยการตั้งสมมติฐาน การเลือกสถิติที่ใช้ทดสอบ การกำหนดระดับนัยสำคัญและหาค่าวิกฤต การคำนวณค่าสถิติที่ใช้ทดสอบและการหาค่า P value การตัดสินใจและการสรุปผลการทดสอบ

การตัดสินใจสรุปผลจะพิจารณาเปรียบเทียบค่า P value กับค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ถ้าพบว่า P value มีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญจะปฏิเสธสมมติฐาน การสรุปดังกล่าวมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้ไม่เกินค่าระดับนัยสำคัญ α ถ้าพบว่า P value มีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ

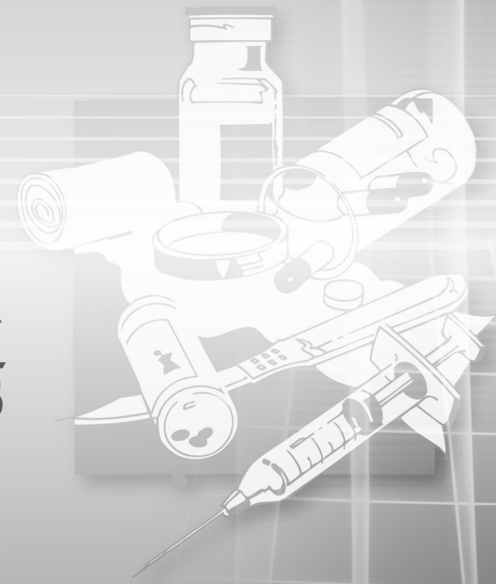
จะไม่ปฏิเสธสมมติฐาน การสรุปดังกล่าวมีโอกาสเกิดความผิดพลาด β

การระบุความแตกต่างของการเปรียบเทียบที่ได้จากผลการทดสอบสมมติฐาน ให้ข้อสรุปที่ตรงกันกับที่พิจารณาจากช่วงความเชื่อมั่น

สำหรับการแปลผลความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจะต้องคำนึงถึงขนาดความแตกต่างที่มีความสำคัญในการใช้งานด้วย ในกรณีที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญมิได้หมายความว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ควรพิจารณาอำนาจการทดสอบและช่วงความเชื่อมั่นประกอบการแปลผลด้วย

บทที่ 5

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เป็นข้อมูลต่อเนื่อง



ดังที่กล่าวมาแล้วว่าข้อมูลต่อเนื่องมีค่ากลางที่เป็นตัวแทนได้ 3 ค่า คือ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม ในงานวิจัยตัวแปรต่อเนื่องเกือบทั้งหมดใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนชุดข้อมูลของตัวแปรที่ศึกษา เมื่อต้องการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของตัวแปรต่อเนื่องจะทำโดยการนำค่าเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกัน การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งการทดสอบสมมติฐาน และการประมาณค่าจะใช้สถิติ Z และสถิติ t ในการดำเนินการ ในรายงานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้สถิติ t เพราะตัวแปรที่ใช้ศึกษาไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร (σ^2)

การแจกแจง t เป็นการแจกแจงทางทฤษฎีที่สร้างขึ้นจากค่าสถิติ t ของตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ รายละเอียดอธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2 การใช้สถิติ t จึงต้องมีข้อตกลงเบื้องต้นว่าตัวอย่างที่ใช้ศึกษาสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ โดยเฉพาะการศึกษาที่ตัวอย่างมีขนาดเล็ก ถ้าประชากรของตัวแปรที่ศึกษามีการแจกแจงแบบอื่น ค่า $\bar{x}$ ที่สุ่มได้จะไม่ได้แจกแจงแบบปกติ ทำให้ค่า $(\bar{x} - \mu)/(s/\sqrt{n})$ ไม่ได้แจกแจงแบบ t ถ้ายังคงใช้สถิติ t ในการวิเคราะห์จะมีผลกระทบต่อความถูกต้องของการคำนวณความน่าจะเป็นและการสรุปผล ดังนั้นในกรณีที่ใช้ตัวอย่างขนาดเล็กนักวิจัยควรตรวจสอบคุณสมบัติว่าตัวอย่างมาจากประชากรปกติหรือไม่ ในกรณีตัวอย่างขนาดใหญ่ ($n > 30$) ตามทฤษฎีบทข้อจำกัดสู่ศูนย์กลาง (central limit theorem) พบว่าการแจกแจงของ $\bar{x}$ มีการแจกแจงปกติ สามารถใช้สถิติ Z ในการวิเคราะห์ได้

กรณีที่ประชากรเบ้มากหรือไม่แน่ใจว่าขนาดตัวอย่างจะใหญ่พอหรือไม่ ควรใช้สถิติพรรณนาดูลักษณะการแจกแจงและทดสอบลักษณะการแจกแจงก่อน ถ้าผลการทดสอบพบว่าประชากรมีการแจกแจงไม่ปกติควรทำการแปลงข้อมูลเพื่อให้มีการแจกแจงปกติก่อน แล้วทำการทดสอบสมมติฐานและประมาณค่ากับข้อมูลแปลง จะช่วยทำให้ได้ข้อมูลสรุปที่ถูกต้องตามทฤษฎีสถิติ

รายละเอียดต่อไปนี้เป็นการประมาณค่าและทดสอบสมมติฐานในกรณีต่างๆที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เป็นข้อมูลต่อเนื่อง

5.1 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียว

เมื่อต้องการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างที่ศึกษากับค่าเฉลี่ยของประชากรที่กำหนด จะต้องมีประชากรที่ศึกษาเพียงกลุ่มเดียว ตัวอย่างเช่น จากรายงานเด็กแรกคลอดของปีที่ผ่านมา พบว่าน้ำหนักของเด็กแรกคลอดมีค่าเฉลี่ย 2,970 กรัม สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดได้ปรับเปลี่ยนวิธีการดูแลแม่ก่อนคลอดใหม่ตั้งแต่กลางปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันได้ดำเนินการมาครบ 1 ปี จึงต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเด็กแรกคลอดจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เพื่อให้ได้คำตอบดังกล่าวในการศึกษาจึงต้องสุ่มตัวอย่างเด็กแรกคลอดในปีนี้ แล้วนำค่า $\bar{x}$ ของน้ำหนักเด็กแรกคลอดที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของประชากรเด็กแรกคลอดของปีที่ผ่านมา

ค่าเฉลี่ยของประชากรที่กำหนดอาจกำหนดจากเป้าหมายตามแผนการดำเนินงาน เพื่อใช้ตัดสินผลการดำเนินงานว่าเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดหรือไม่ หรืออาจจะมาจากค่าปกติเพื่อใช้ตัดสินว่าสารที่ต้องการตรวจมีปริมาณเกินมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ โดยมีสูตรการประมาณค่าและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ดังนี้

$$\text{การทดสอบสมมติฐาน} \quad t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

$$\text{การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่น} \quad \mu = \bar{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2}(df)} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

ตัวอย่างที่ 5.1

ในการประเมินผลการปรับเปลี่ยนวิธีการดูแลแม่ก่อนคลอดของจังหวัดหนองคาย ซึ่งดำเนินการครบ 1 ปีในเดือนมีนาคม โดยสุ่มตัวอย่างเด็กแรกคลอดในช่วงเดือนเมษายน จำนวน 60 คน พบว่าน้ำหนักแรกคลอดมี $\bar{x}$ = 3,020 กรัม s = 172 กรัม ฝ่ายแผนงานต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักเด็กแรกคลอดจะมากกว่า 2,970 กรัม ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยน้ำหนักเด็กแรกคลอดของปีที่ผ่านมาหรือไม่

เพื่อตอบคำถามดังกล่าวจึงดำเนินการทดสอบสมมติฐานและสรุปผลดังนี้

การทดสอบสมมติฐาน

ขั้นที่ 1 $H_0: \mu = 2{,}970$

$H_{A:}\ \mu > 2{,}970$

ขั้นที่ 2 ใช้สถิติ $t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$

ขั้นที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4 $t = \dfrac{3{,}020 - 2{,}970}{\dfrac{172}{\sqrt{60}}} = 2.25$

จากตาราง ส 2 $t_{(59)} = 2.25$ ได้ค่า P value < 0.025

ขั้นที่ 5 ค่า P value < 0.025 น้อยกว่าค่า α (0.05) ผลการทดสอบปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของเด็กแรกคลอดในปีนี้มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักของเด็กแรกคลอดของปีที่ผ่านมาอย่างมีนัยสำคัญด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ วิธีการดูแลแม่ก่อนคลอดที่ปรับปรุงใหม่ทำให้เด็กแรกคลอดมีน้ำหนักมากกว่าเดิม

การประมาณช่วงความเชื่อมั่น

การสร้างช่วงความเชื่อมั่นของประชากรกลุ่มเดียวเพื่อใช้พิจารณาว่าค่าเฉลี่ยของประชากรมีช่วงประมาณเท่าไร โดยปกติการประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่นจะกำหนดให้ความผิดพลาดของค่าประมาณอยู่ที่ปลายโค้งทั้งสองข้าง

จากตัวอย่างกำหนดให้ α = 5% ช่วงความเชื่อมั่น = 100 – 5 = 95 คำนวณค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่น ได้ดังนี้

$$95\% \text{ ช่วงความเชื่อมั่นของ } \mu = \bar{x} \pm t_{0.025(59)} \frac{s}{\sqrt{n}} = 3{,}020 \pm 2.0 \times \frac{172}{\sqrt{60}}$$

$$= (2{,}975.6,\ 3{,}064.4)$$

จากค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ μ ที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง 2,975.6 ถึง 3,064.4 กรัม แสดงว่าหลังปรับเปลี่ยนวิธีการดูแลแม่ก่อนคลอดทำให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักเด็กแรกคลอดมีค่าไม่น้อยกว่า 2,975.6 กรัม ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยของปีที่ผ่านมา (2,970 กรัม)

การพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐานด้านเดียวจากช่วงความเชื่อมั่น

การสรุปผลการทดสอบสมมติฐานด้วย 95% ช่วงความเชื่อมั่นจะให้ค่าตรงกันกับการทดสอบสองด้าน ในกรณีที่เป็นการทดสอบด้านเดียวดังในตัวอย่างนี้ ซึ่งกำหนดให้ความผิดพลาดทั้งหมดอยู่ด้านเดียว อาจทำให้ข้อสรุปไม่ตรงกันได้ เพราะความผิดพลาดในด้านที่กำหนดเหลืออยู่เพียงครึ่งเดียว ดังนั้นในกรณีที่ต้องการใช้วิธีการคำนวณช่วงความเชื่อมั่น (ที่มีความผิดพลาดอยู่สองด้าน) เพื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐานด้านเดียว ผู้วิจัยต้องเพิ่มค่า α ให้ใหญ่เป็น 2 เท่า เพื่อให้ค่าความผิดพลาดของด้านที่จะพิจารณามีค่าเท่ากับ α ที่ตั้งไว้สำหรับการทดสอบสมมติฐาน หรืออาจจะพิจารณาจากการประมาณค่าด้านเดียว

การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่นด้านเดียว (one-sided confidence interval)

ในกรณีที่นักวิจัยต้องการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากรว่ามีค่าเฉลี่ยสูงสุดหรือต่ำสุดเท่าใด สามารถใช้การประมาณค่าด้านเดียววิเคราะห์เพื่อตอบคำถามดังกล่าว สูตรการประมาณค่าด้านเดียวมีดังนี้

ในกรณีต้องการทราบค่าเฉลี่ยสูงสุด

$$\mu \le \bar{x} + t_{\alpha(df)} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

ในกรณีต้องการทราบค่าเฉลี่ยต่ำสุด

$$\mu \le \bar{x} - t_{\alpha(df)} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

ในตัวอย่างนี้ต้องการทราบว่าน้ำหนักเด็กแรกคลอดหลังจากปรับเปลี่ยนวิธีการดูแลแม่ก่อนคลอดแล้วมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าปีที่ผ่านมา (2,970 กรัม) หรือไม่ ในกรณีนี้ต้องประมาณค่าน้ำหนักเด็กแรกคลอดว่ามีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่าใด เพราะถ้าน้อยที่สุดแล้วยังมากกว่าปีที่แล้ว แสดงว่าหลังการปรับเปลี่ยนวิธีการดูแลแม่ก่อนคลอดน้ำหนักเด็กแรกคลอดเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม

$$\mu \ge \bar{x} - t_{\alpha(df)} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$\mu \ge 3{,}020 - t_{0.05(59)} \frac{172}{\sqrt{60}}$$

$$\mu \ge 2{,}982.9$$

จากค่าช่วงความเชื่อมั่นด้านเดียว μ ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2,982.9 กรัม แสดงว่าน้ำหนักเด็กแรกคลอดหลังจากปรับเปลี่ยนวิธีการดูแลแม่ก่อนคลอดจะมีค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 2,982.9 กรัม ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยของปีที่ผ่านมา

5.2 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่ม

ในงานวิจัยเชิงทดลองที่ต้องการทราบความแตกต่างของผลการทดลองระหว่างกลุ่มที่ได้รับสิ่งทดลอง (intervention) กับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับสิ่งทดลองที่มีตัวแปรผล (outcome) เป็นตัวแปรต่อเนื่อง เช่น ในการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของชีพจรของประชากรกลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำกับกลุ่มที่ไม่ได้ออกกำลังกาย หรือในการศึกษาเชิงวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามที่เป็นข้อมูลต่อเนื่อง เช่น ในการสำรวจสภาวะสุขภาพ อยากทราบว่าค่าเฉลี่ยของระดับไขมันในเลือดของชายและหญิงแตกต่างกันหรือไม่ คำถามงานวิจัยดังกล่าวต้องการคำตอบจากผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม วิธีการเปรียบเทียบทำได้ 2 แบบขึ้นอยู่กับวิธีการสุ่มตัวอย่างในแบบงานวิจัยดังนี้

5.2.1 แบบงานวิจัยที่มีการสุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มอย่างอิสระ

ตัวอย่างที่ศึกษาทั้ง 2 กลุ่มเป็นอิสระต่อกัน (independent group) หมายถึงหน่วยศึกษาของทั้ง 2 กลุ่มไม่ได้มีความเกี่ยวพันกัน แต่ละกลุ่มสุ่มมาอย่างอิสระ เช่น การศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้ของนักศึกษาระหว่างวิธีการสอนในชั้นเรียนกับการสอนด้วย E–learning ในการออกแบบงานวิจัยได้สุ่มแบ่งนักศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเรียนในชั้นเรียน กลุ่มที่ 2 เรียนด้วย E–learning จากวิธีการวิจัยจะเห็นได้ว่านักศึกษาที่เรียนแต่ละวิธีไม่มีความเกี่ยวพันใดๆต่อกัน ผลการวัดความรู้ของแต่ละกลุ่มเป็นอิสระต่อกัน การเปรียบเทียบความรู้จะใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มเปรียบเทียบกัน

5.2.2 แบบงานวิจัยที่การสุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มไม่เป็นอิสระ

แบบงานวิจัยที่มีตัวอย่างที่ศึกษาทั้ง 2 กลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน (dependent group) มีลักษณะดังนี้

1) แบบงานวิจัยเกิดจากการที่ทั้ง 2 กลุ่มใช้หน่วยศึกษาหน่วยเดียวกัน เช่น ในแบบงานวิจัยที่มีการวัดผลก่อน–หลังการทดลอง
2) แบบงานวิจัยที่ใช้ตัวอย่างเดียวกันในการทดลองทั้ง 2 วิธี เช่น ในการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้ระหว่างวิธีการสอนในชั้นเรียนกับการสอนด้วย E–learning โดยให้นักศึกษาเรียนครึ่งภาคการศึกษาแรกในชั้นเรียน เมื่อเรียนจบทำการสอบวัดความรู้ อีกครึ่งภาคการศึกษาหลังเรียนแบบ E–learning เสร็จแล้วสอบวัดความรู้ วิธีการวิจัยแบบนี้นักศึกษาคนเดียวกันเรียนทั้ง 2 วิธี หน่วยศึกษาของทั้ง 2 วิธีไม่เป็นอิสระต่อกันจะผูกพันเป็นคู่ (คน)
3) แบบงานวิจัยที่มีการจับคู่ (matched) หน่วยศึกษาของทั้ง 2 กลุ่มเป็นคู่ๆโดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลการศึกษา เช่น อายุ เพศ ระดับความรู้ก่อนการทดลอง ฯลฯ เพื่อช่วยลดความแตกต่างของปัจจัยที่รบกวนผลการศึกษา

จากแบบงานวิจัยทั้ง 3 ลักษณะที่ทำให้หน่วยศึกษามีความเกี่ยวพันกันเป็นคู่ๆ ดังนั้นในการเปรียบเทียบจะคำนวณความแตกต่างของแต่ละคู่ (คน) ที่ผูกพันกันก่อน แล้วจึงนำค่าความแตกต่างมาคำนวณค่าเฉลี่ยของผลต่าง

วิธีการคำนวณสถิติ t ที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมีสูตรคำนวณที่แตกต่างกันตามความเป็นอิสระต่อกันของกลุ่มที่เปรียบเทียบ ดังนั้นนักวิจัยต้องทราบตั้งแต่ในช่วงออกแบบงานวิจัยว่าการสุ่มตัวอย่างของทั้ง 2 กลุ่มเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ เพื่อเลือกใช้สูตรคำนวณค่าสถิติ t ได้ถูกต้อง

5.3 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระต่อกันและมีค่าความแปรปรวนของประชากรทั้งสองเท่ากัน

ผลต่างของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$ จะมีการแจกแจงปกติ เช่นเดียวกับการแจกแจงของ $\bar{x}$ โดยพบว่าการแจกแจงของ $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$ มีค่าเฉลี่ย $\mu_{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)} = \mu_1 - \mu_2$ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน $\sigma_{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)} = \sqrt{\dfrac{\sigma_1^2}{n_1} + \dfrac{\sigma_2^2}{n_2}}$

ในการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจงของ $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$ ทำโดยเปลี่ยนค่า $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$ เป็นค่า Z โดยใช้สูตรดังนี้

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\dfrac{\sigma_1^2}{n_1} + \dfrac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

ในกรณีที่ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 กลุ่ม $(\sigma_1^2$ และ $\sigma_2^2)$ ให้ใช้ความแปรปรวนของตัวอย่าง $(s_1^2$ และ $s_2^2)$ แทน โดยมีข้อตกลงเบื้องต้นว่าความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มมีค่าเท่ากัน $(\sigma_1^2 = \sigma_2^2)$ จากนั้นนำค่า s_1^2 และ s_2^2 มาเฉลี่ยรวมกัน ค่าที่ได้เรียกว่าค่าความแปรปรวนร่วม (pooled variance) ให้ s_p^2 เป็นสัญลักษณ์ของความแปรปรวนร่วม ในการคำนวณค่าสถิติ t ใช้ s_p^2 แทนค่าของทั้ง σ_1^2 และ σ_2^2 โดยมีสูตรในการคำนวณ s_p^2 ดังนี้

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

การแจกแจง t ของ $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$ ที่ใช้ s_p^2 แทนค่าทั้ง σ_1^2 และ σ_2^2 มีองศาเสรี $n_1 + n_2 - 2$ โดยมีสูตรการประมาณค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มดังนี้

การทดสอบสมมติฐาน $t = \dfrac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\dfrac{s_p^2}{n_1} + \dfrac{s_p^2}{n_2}}}$ โดยมี $df = n_1 + n_2 - 2$

เนื่องจาก H_0 กำหนดให้ $\mu_1 = \mu_2$ ทำให้ $\mu_1 - \mu_2$ มีค่าเป็นศูนย์ (0) ดังนั้นจึงตัด $\mu_1 - \mu_2$ ออกจากการคำนวณและได้สูตรใหม่ดังนี้

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\dfrac{s_p^2}{n_1} + \dfrac{s_p^2}{n_2}}}$$

การประมาณช่วงความเชื่อมั่น

$$\mu_1 - \mu_2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t_{\frac{\alpha}{2}(df)}\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}$$

ตัวอย่างที่ 5.2

ในการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนที่บริโภคต่อวันของนักเรียนชั้นประถมศึกษาในชนบทภาคอีสานและภาคกลางว่ามีปริมาณแตกต่างกันหรือไม่ ศึกษาโดยสุ่มสำรวจนักเรียนชั้นประถมศึกษาภาคละ 30 คน บันทึกการบริโภคอาหาร 21 วัน พบว่ามีปริมาณโปรตีนที่บริโภคดังนี้ นักเรียนภาคอีสาน $\bar{x}_1 = 57$ กรัม $s_1 = 9.9$ กรัม นักเรียนภาคกลาง $\bar{x}_2 = 61.9$ กรัม $s_2 = 10.4$ กรัม การสรุปผลการศึกษาทำได้ดังนี้

การทดสอบสมมติฐาน

ขั้นที่ 1 $H_0: \mu_1 = \mu_2$ $\quad H_A: \mu_1 \neq \mu_2$

ขั้นที่ 2 สมมติให้ปริมาณโปรตีนที่บริโภคมีความแปรปรวนเท่ากัน $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

ใช้สถิติ $$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}}$$

ขั้นที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่า t

$$s_p^2 = \frac{(30-1)9.9^2 + (30-1)10.4^2}{30+30-2}$$

$$= 103.1$$

$$t = \frac{57 - 61.9}{\sqrt{\frac{103.1}{30} + \frac{103.1}{30}}} = -1.87$$

$$df = 30 + 30 - 2 = 58$$

จากตาราง ส 2 $t_{(58)} = -1.87$ ได้ค่า P value > 0.025

ขั้นที่ 5 ค่า P value > 0.025 มากกว่าค่า $\alpha/2$ (0.025) ผลการทดสอบไม่ปฏิเสธ H_0 แสดงว่าปริมาณโปรตีนที่บริโภคต่อวันของนักเรียนชั้นประถมศึกษาภาคอีสานและภาคกลางไม่แตกต่างกันด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

การประมาณช่วงความเชื่อมั่น

$$95\% \text{ ช่วงความเชื่อมั่น } \mu_1 - \mu_2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t_{0.025(58)}\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}$$

$$= (57 - 61.9) \pm 2\sqrt{\frac{103.1}{30} + \frac{103.1}{30}}$$

$$= (-10.1,\ 0.34)$$

จาก 95% ช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง −10.1 ถึง 0.34 กรัม แสดงว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนของประชากรทั้ง 2 กลุ่มมีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าว และการที่มีค่าศูนย์ตกอยู่ในช่วงความเชื่อมั่นแสดงว่าปริมาณโปรตีนที่บริโภคของนักเรียนชั้นประถมศึกษาภาคอีสานไม่แตกต่างจากภาคกลาง แต่จากช่วงความเชื่อมั่นที่กว้างแสดงว่าปริมาณโปรตีนที่บริโภคมีความแปรปรวนมาก และขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีขนาดเล็ก ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณโปรตีนที่บริโภคมีความแตกต่าง แต่ขนาดตัวอย่างไม่ใหญ่พอที่จะแสดงความแตกต่างนั้น โดยพิจารณาจากอำนาจการทดสอบซึ่งจะอธิบายไว้ในบทที่ 9

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันด้วยสถิติ t โดยมีข้อตกลงเบื้องต้นว่า $(\sigma_1^2 = \sigma_2^2)$ ถ้าความจริงพบว่าค่าความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มไม่เท่ากัน ค่า t ที่คำนวณโดยใช้ s_p^2 แทนค่า σ_1^2 และ σ_2^2 จะให้ผลสรุปที่คลาดเคลื่อนมากถ้าจำนวนตัวอย่างของทั้ง 2 กลุ่มไม่เท่ากัน และมีผลกระทบน้อยถ้าจำนวนตัวอย่างของทั้ง 2 กลุ่มเท่ากัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดความมั่นใจในการสรุปผล นักวิจัยต้องตรวจสอบว่าค่าความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มเท่ากันหรือไม่ก่อนคำนวณค่า t ด้วย s_p^2

5.4 การเปรียบเทียบความแปรปรวนระหว่างประชากร 2 กลุ่ม

การทดสอบความแตกต่างระหว่างความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มทำได้โดยใช้สถิติ F ลักษณะการแจกแจงของสถิติ F และวิธีการเปรียบเทียบความแปรปรวนมีดังนี้

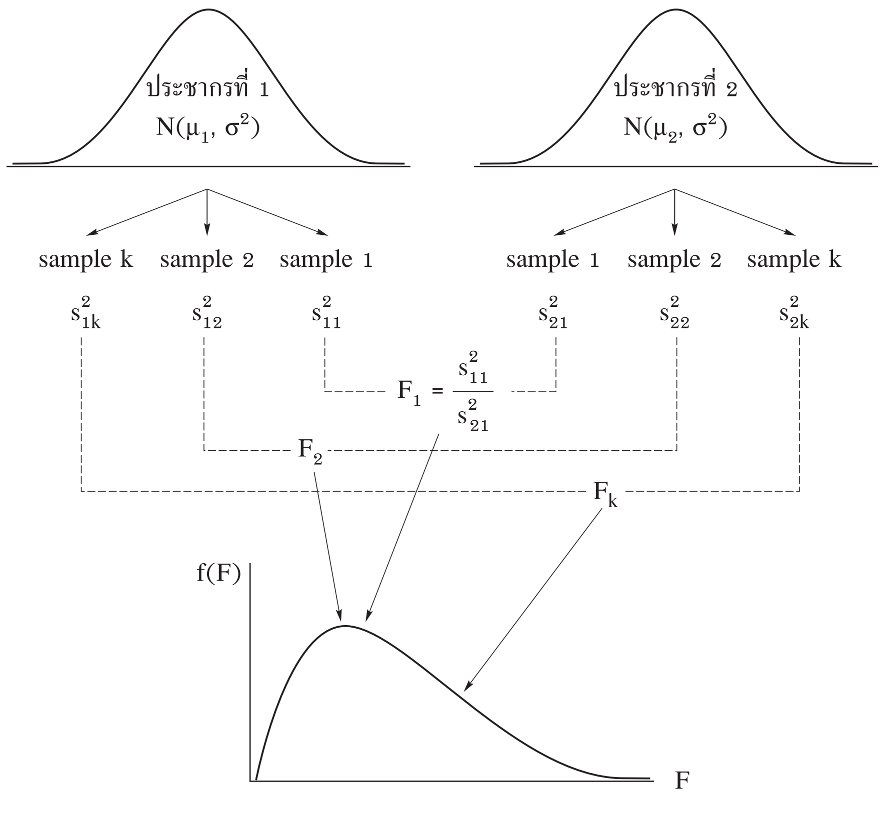
5.4.1 การแจกแจง F

การแจกแจง F (F distribution) เป็นการแจกแจงทางทฤษฎีที่สร้างขึ้นมาจากการสุ่มตัวอย่าง n_1 และ n_2 มาอย่างอิสระจากประชากรที่ 1 และประชากรที่ 2 โดยที่ประชากรทั้ง

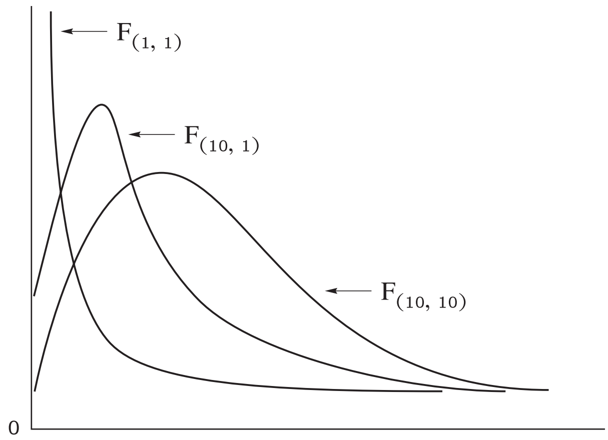
2 กลุ่มมีการแจกแจงปกติ และความแปรปรวนเท่ากัน คำนวณค่าสถิติ F จากค่าสัดส่วนความแปรปรวนระหว่าง 2 ตัวอย่างด้วยสูตรดังนี้

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

สุ่มตัวอย่างเช่นเดียวกันนี้หลายๆครั้ง นำค่า F ที่ได้มาสร้างเป็นชุดการแจกแจง ดังแสดงในภาพ 5.1 การแจกแจง F เป็นชุดของการแจกแจงที่ขึ้นอยู่กับค่าองศาเสรีของตัวอย่างที่ใช้คำนวณค่า s_1^2 (ตัวเศษ (numerator)) และ s_2^2 (ตัวส่วน (denominator)) โดยเขียนค่าองศาเสรีในวงเล็บไว้ข้างหลัง F เลขตัวแรกเป็นองศาเสรีของตัวเศษ เลขตัวที่ 2 เป็นองศาเสรีของตัวส่วน ลักษณะการแจกแจง F จะเบ้ขวามีค่าเริ่มต้นที่ 0 จนถึง ∞ ดังแสดงในภาพ 5.2



ภาพ 5.1 การแจกแจง F



ภาพ 5.2 ลักษณะการแจกแจงที่องศาเสรีต่าง ๆ

5.4.2 การเปรียบเทียบความแปรปรวนระหว่างประชากร 2 กลุ่ม

ในการเปรียบเทียบความแปรปรวนมีขั้นตอนและวิธีการทดสอบสมมติฐานเช่นเดียวกันกับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่ม โดยใช้สถิติ $F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$ เป็นตัวสถิติสำหรับการทดสอบ ในการคำนวณค่า F จะให้ค่า s_1^2 หรือ s_2^2 ที่มีค่ามากเป็นเศษและค่าน้อยเป็นส่วนเพื่อให้ค่า F ที่ได้มีค่ามากกว่า 1 และมีทิศทางไปด้านขวาเพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบและแปลผล

ในการคำนวณความน่าจะเป็นของการแจกแจง F แยกไปตามขนาดขององศาเสรีของทั้งเศษและส่วน ถ้าใช้โปรแกรมสถิติวิเคราะห์ โปรแกรมจะคำนวณค่าความน่าจะเป็นให้ แต่ถ้านักวิจัยคำนวณค่า F ด้วยเครื่องคิดเลข ให้นำค่า F ที่คำนวณได้ไปเปิดหาค่าความน่าจะเป็นจากตาราง ส 4

ตัวอย่างที่ 5.3

ในการศึกษาวิธีการสอนการป้องกันพิษจากการฉีดพ่นยาฆ่าแมลงของเกษตรกรโดยสุ่มตัวอย่างเกษตรกรตำบลดอนหวายจำนวน 40 คน มาสอนด้วยวิธีเพื่อนสอนเพื่อน สุ่มเกษตรกรจากตำบลหนองบัวจำนวน 40 คน สอนแบบเดิมโดยเจ้าหน้าที่มาเป็นกลุ่มควบคุม หลังจากนั้น 3 เดือนเจาะเลือดเกษตรกรทั้ง 2 กลุ่มเพื่อหาระดับคอลีนเอสเตอเรส (Cholinesterase) พบว่าเกษตรกรกลุ่มที่ได้รับการสอนด้วยวิธีเพื่อนสอนเพื่อน และกลุ่มที่

สอนแบบเดิมโดยเจ้าหน้าที่มีระดับคอลีนเอสเตอเรส $\bar{x}_1 = 76.7$ $s_1 = 11.3$ และ $\bar{x}_2 = 62.7$ $s_2 = 23.8$ ตามลำดับ เพื่อสรุปผลการทดลองเรื่องนี้ควรดำเนินการดังนี้

หมายเหตุ ระดับคอลีนเอสเตอเรสเป็นเอนไซม์ที่ช่วยในการทำงานของระบบประสาทในร่างกาย คนปกติจะมีคอลีนเอสเตอเรสเท่ากับหรือมากกว่า 87.5 หน่วย/มล. ยาฆ่าแมลงกลุ่มออกาโนฟอสเฟตเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปจับตัวกับเอนไซม์ตัวนี้ มีผลยับยั้งการทำงานของระบบประสาท เป็นสาเหตุของอาการป่วยด้วยพิษจากยาฆ่าแมลง การวัดระดับเอนไซม์คอลีนเอสเตอเรสในเลือดจึงถูกใช้เป็นตัวชี้วัดการได้รับพิษจากยาฆ่าแมลงกลุ่มออกาโนฟอสเฟต

จากโจทย์พบว่าค่า s_1 และ s_2 มีค่าแตกต่างกันมากจึงควรดำเนินการทดสอบเพื่อดูว่าความแปรปรวนของประชากรแตกต่างกันหรือไม่ โดยมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

ขั้นที่ 1 H_0: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ H_A: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

ขั้นที่ 2 ใช้สถิติ $F = \dfrac{s_2^2}{s_1^2}$

ขั้นที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4 $F = \dfrac{23.8^2}{11.3^2} = 4.44$ ค่า $F_{(39,\ 39)}$ ได้ค่า P value < 0.005

ขั้นที่ 5 ค่า P value < 0.005 น้อยกว่าค่า $\alpha/2$ (0.025) ผลการทดสอบปฏิเสธ H_0

สรุปว่าความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มแตกต่างกันด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05 จากผลการทดสอบแสดงว่าความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกัน ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจึงต้องคำนวณค่า t ด้วยสูตรสำหรับกรณีความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 กลุ่มไม่เท่ากันซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

5.5 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันโดยมีค่าความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 กลุ่มไม่เท่ากัน

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในกรณีที่ไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 แต่พบว่าความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกัน ($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$) คำนวณค่า t โดยใช้ s_1^2 แทน σ_1^2 และ s_2^2 แทน σ_2^2 มีสูตรในการประมาณค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มดังนี้

การทดสอบสมมติฐาน $$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

การประมาณช่วงความเชื่อมั่น

$$\mu_1 - \mu_2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t_{\frac{\alpha}{2}(df)}\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$$

มีการพิสูจน์ทางสถิติศาสตร์พบว่าค่า t ที่คำนวณได้มีการแจกแจงไม่เหมือนกับการแจกแจง t ที่มีองศาเสรี $n_1 + n_2 - 2$ ดังนั้นจึงมีสูตรคำนวณเพื่อปรับค่าองศาเสรีที่ทำให้ได้ค่าความน่าจะเป็นที่ถูกต้องดังนี้

$$df = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2}}$$

จากโจทย์ตัวอย่างที่ 5.3 พบว่าความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มแตกต่างกัน สามารถนำมาทดสอบสมมติฐานเพื่อสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 $H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_A: \mu_1 \neq \mu_2$

ขั้นที่ 2 จากการทดสอบสมมติฐานพบว่า $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ จึงใช้สถิติ

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

ขั้นที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4
$$t = \frac{76.7 - 62.7}{\sqrt{\frac{(11.3)^2}{40} + \frac{(23.8)^2}{40}}} = 3.36$$

$$df = \frac{\left(\frac{11.3^2}{40} + \frac{23.8^2}{40}\right)^2}{\frac{\left(\frac{11.3^2}{40}\right)^2}{40} + \frac{\left(\frac{23.8^2}{40}\right)^2}{40}} = 57.16$$

จากตาราง ส 2 $t_{(57)} = 3.36$ ได้ค่า P value < 0.005

ขั้นที่ 5 ค่า P value < 0.005 น้อยกว่าค่า $\alpha/2$ (0.025) ผลการทดสอบปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยของระดับคอลีนเอสเตอเรสของเกษตรกรกลุ่มเพื่อนสอนเพื่อนมีค่ามากกว่ากลุ่มที่สอนแบบเดิมอย่างมีนัยสำคัญด้วยโอกาสผิดพลาดไม่เกิน 0.05 แสดงว่ากลุ่มเพื่อนสอนเพื่อนได้รับยาฆ่าแมลงเข้าสู่ร่างกายน้อยกว่า

95% ช่วงความเชื่อมั่น $\mu_1 - \mu_2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t_{0.025(56)}\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$

$$= (76.7 - 62.7) \pm 2\sqrt{\frac{(11.3)^2}{40} + \frac{(23.8)^2}{40}}$$

$$= (5.7,\ 22.3)$$

จากค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง 5.7 ถึง 22.3 หน่วย แสดงว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับคอลีนเอสเตอเรสของประชากรทั้ง 2 กลุ่มมีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าว และจากการที่ไม่มีค่าศูนย์อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น แสดงว่าระดับคอลีนเอสเตอเรสมีความแตกต่างกันโดยกลุ่มเพื่อนสอนเพื่อนได้รับพิษจากยาฆ่าแมลงน้อยกว่ากลุ่มที่สอนแบบเดิมอย่างน้อย 5.7 หน่วย หรืออาจมากถึง 22.3 หน่วย

จากมาตรฐานความปลอดภัย ในร่างกายควรมีสารคอลีนเอสเตอเรสเท่ากับหรือมากกว่า 87.5 หน่วย/มล. แต่จากผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ได้รับการสอนด้วยวิธีเพื่อนสอนเพื่อนมีค่า 76.7 โดยมี 95% ช่วงความเชื่อมั่น (73.1, 80.3) ซึ่งค่าสูงสุดยังมีค่าน้อยกว่าระดับที่ปลอดภัย จึงสรุปว่าความรู้ที่สอนด้วยวิธีเพื่อนสอนเพื่อนมีผลทำให้ระดับเอนไซม์คอลีนเอสเตอเรสเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่สอนแบบเดิมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังไม่สามารถเพิ่มปริมาณคอลีนเอสเตอเรสให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย ถ้าให้ความรู้ด้วยวิธีเพื่อนสอนเพื่อนเพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถแก้ไขปัญหาการได้รับพิษจากยาฆ่าแมลงได้ ควรเสนอแนะให้หาวิธีการสอนใหม่ที่ได้ผลมากกว่านี้ หรือเสนอแนะให้มีการเพิ่มมาตรการอื่นเสริมเข้าไปอีก เช่น การสวมเสื้อและหน้ากากป้องกันอันตรายส่วนบุคคล การลดเวลาที่ใช้ในการฉีดพ่นยา ฯลฯ

ตัวอย่างนี้เป็นตัวอย่างการทดลองที่พบว่ามีความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ขนาดของความแตกต่างที่พบไม่มีความหมายทางคลินิกหรือไม่มีความสำคัญพอที่จะนำไปใช้แก้ปัญหา

5.6 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่ม ที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน

หน่วยศึกษาในงานวิจัยแบบนี้มีความเกี่ยวพันกันเป็นคู่ๆ ในการวิเคราะห์ต้องดำเนินการเปรียบเทียบความแตกต่างในแต่ละคู่ก่อนแล้วจึงนำผลต่างที่ได้มาทดสอบสมมติฐานหรือประมาณค่า

ตัวอย่างที่ 5.4

ในการทดลองเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหัวใจด้วยการเดินวันละ 45 นาที สัปดาห์ละ 3 วัน นักวิจัยได้สุ่มตัวอย่างผู้ชายอายุ 50–60 ปี จำนวน 15 คนที่รับเชิญเป็นอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการ โดยวัดอัตราการเต้นของชีพจรเพื่อประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหัวใจก่อนเริ่มการทดลอง หลังจากนั้น 6 เดือนได้มีการวัดอัตราการเต้นของชีพจรอีกครั้ง ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ลำดับที่	อัตราการเต้นของชีพจร (ครั้ง/นาที)		
	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ผลต่าง (d_i)
1	69	57	12
2	75	71	4
3	84	78	6
4	70	60	10
5	73	53	20
6	75	68	7
7	74	69	5
8	71	54	17
9	71	61	10
10	78	72	6
11	80	60	20
12	77	73	4
13	72	61	11
14	85	75	10
15	78	59	19
รวม	**1,132**	**971**	**161**
ค่าเฉลี่ย	**75.46**	**64.73**	**10.73**

$$\bar{d} = \frac{\sum d}{n}$$

$$= 10.73$$

$$s_d^2 = \frac{\sum (d - \bar{d})^2}{n - 1}$$

$$= 33.21$$

$$s_d = \sqrt{33.21}$$

$$= 5.76$$

ผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยการเต้นของชีพจรหลังการทดลองเท่ากับ 64.7 ครั้ง/นาที ต่ำกว่าก่อนการทดลองซึ่งเต้น 75.5 ครั้ง/นาที การที่ชีพจรเต้นช้าลงแสดงว่ากล้ามเนื้อหัวใจแข็งแรงขึ้น แต่ความแตกต่าง 10.73 ที่พบเป็นความแตกต่างของตัวอย่างที่ศึกษา จึงต้องสรุปผลความแตกต่างของประชากรด้วยการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากแบบงานวิจัยเป็นการทดลองกลุ่มเดียววัดผลก่อนและหลังการทดลอง ทำให้ผลการเต้นของชีพจรก่อนและหลังการทดลองไม่เป็นอิสระต่อกัน จึงทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยกรณีประชากรไม่เป็นอิสระต่อกันดังนี้

ค่าเฉลี่ยของความต่าง ($\bar{d}$) มีการแจกแจง t ที่องศาเสรี $n - 1$ จึงใช้สถิติ t ในการเปรียบเทียบความต่าง วิธีการเปรียบเทียบเหมือนกันกับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียว โดยให้ $\bar{d}$ แทน $\bar{x}$ s_d แทน s และ μ_d แทน μ สถิติ t ที่ใช้เปรียบเทียบและประมาณค่ามีสูตรดังนี้

การทดสอบสมมติฐาน $$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}} \qquad df = n - 1$$

จาก H_0 กำหนดให้ $\mu_d = 0$ จึงตัด μ_d ออกจากสูตรการคำนวณจะได้ว่า

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}}$$

การประมาณค่า $$\mu_d = \bar{d} \pm t_{\frac{\alpha}{2}(df)} \frac{s_d}{\sqrt{n}}$$

นำข้อมูลมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยได้ดังนี้

การทดสอบสมมติฐาน

ขั้นที่ 1 $H_0: \mu_d = 0$

$H_A: \mu_d \neq 0$

ถ้าก่อนและหลังการทดลองได้ผลเท่ากัน ผลต่างจะเป็นศูนย์ ค่าเฉลี่ยของผลต่างก็จะเท่ากับศูนย์

ขั้นที่ 2 ใช้สถิติ $t = \dfrac{\bar{d}}{\dfrac{s_d}{\sqrt{n}}}$

ขั้นที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4 $t = \dfrac{10.73}{5.76/\sqrt{15}} = 7.21$

$df = 15 - 1 = 14$ จากตาราง ส 2 $t_{(14)} = 7.2$ ได้ค่า P value < 0.001

ขั้นที่ 5 ค่า P value < 0.001 น้อยกว่าค่า $\alpha/2$ (0.025) ผลการทดสอบปฏิเสธ H_0 สรุปว่าในการเดินวันละ 45 นาที สัปดาห์ละ 3 วัน ช่วยให้กล้ามเนื้อหัวใจแข็งแรงมากกว่าเดิมด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

การประมาณช่วงความเชื่อมั่น

95% ช่วงความเชื่อมั่น $\mu_d = \bar{d} \pm t_{0.025(14)}\sqrt{\dfrac{s_d^2}{n}}$

$$= 10.73 \pm 2.145\sqrt{\frac{(5.76)^2}{15}}$$

$$= (7.54,\ 13.92)$$

จาก 95% ช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง 7.54 ถึง 13.92 ครั้ง แสดงว่าค่าเฉลี่ยความแตกต่างของประชากรมีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าว และการที่มีค่าศูนย์อยู่นอกช่วงความเชื่อมั่น และผลต่างระหว่างก่อนการทดลองลบด้วยหลังการทดลองมีค่าเป็นบวก แสดงว่าชีพจรเต้นช้าลง แสดงว่าการเดินวันละ 45 นาที สัปดาห์ละ 3 วัน ช่วยให้กล้ามเนื้อหัวใจแข็งแรงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

จากการดำเนินการข้างต้นสรุปผลการศึกษาได้ว่าผู้ที่อายุ 50–60 ปี ถ้ามีการออกกำลังกายด้วยการเดินวันละ 45 นาที สัปดาห์ละ 3 วัน จะทำให้อัตราการเต้นของชีพจรช้ากว่าตอนที่ยังไม่ได้ออกกำลังกาย ซึ่งแสดงว่ากล้ามเนื้อหัวใจแข็งแรงขึ้น

สรุป

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่ม โดยปกตินักวิจัยจะไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร จึงต้องใช้สถิติ t ในการทดสอบความแตกต่าง

กรณีที่ตัวอย่างแต่ละกลุ่มสุ่มมาอย่างเป็นอิสระต่อกัน สถิติ t ที่ใช้ทดสอบยังแตกต่างกันตามลักษณะความแปรปรวน ถ้าพบว่าทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนเท่ากันใช้สูตรคำนวณค่าสถิติ t ในกรณีความแปรปรวนร่วม แต่ถ้าความแปรปรวนไม่เท่ากันใช้สูตรคำนวณค่าสถิติที่คำนวณด้วยความแปรปรวนแยกของแต่ละกลุ่มโดยต้องมีการปรับค่าองศาเสรีที่ใช้หาค่าความน่าจะเป็น ในกรณีที่นักวิจัยไม่แน่ใจว่าความแปรปรวนของทั้ง 2 กลุ่มเท่ากันหรือไม่ ควรดำเนินการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนก่อน

กรณีที่ตัวอย่างแต่ละกลุ่มสุ่มมาอย่างไม่เป็นอิสระต่อกัน สถิติ t ที่ใช้ทดสอบความแตกต่างคำนวณจากผลต่างของค่าข้อมูลของแต่ละคู่

ช่วงความเชื่อมั่นของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม นอกจากใช้ระบุว่าค่าเฉลี่ยทั้งสองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่แล้ว ยังสามารถระบุขนาดความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ซึ่งสามารถนำไปพิจารณาว่าความแตกต่างที่พบมีความหมายทางคลินิกหรือมีความสำคัญพอที่จะนำไปใช้หรือไม่

บทที่ 6

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เป็นข้อมูลกลุ่ม

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยทางด้านการแพทย์และสาธารณสุขส่วนใหญ่เป็นข้อมูลกลุ่ม เช่น ผลการรักษาโรค *หาย/ไม่หาย* ผลการตรวจวินิจฉัย *เป็นโรค/ไม่เป็นโรค* พฤติกรรมสุขภาพเรื่องการสูบบุหรี่ *สูบ/ไม่สูบ* แม้แต่ข้อมูลต่อเนื่องก็มีการจัดกลุ่มให้เป็นข้อมูลกลุ่ม เช่น ความดันโลหิต ระดับไขมันในเลือด ระดับน้ำตาลในเลือด จัดกลุ่มเป็น *ปกติ/สูง* เมื่อต้องการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เป็นข้อมูลกลุ่ม จะใช้ค่าสัดส่วนเป็นตัวแทนชุดข้อมูลของตัวแปรที่ศึกษา

รายละเอียดต่อไปนี้เป็นการทดสอบสมมติฐานและการประมาณค่าสัดส่วนในกรณีต่างๆที่ใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เป็นข้อมูลกลุ่ม

6.1 ค่าสัดส่วนและการแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าสัดส่วนของตัวอย่าง

ข้อมูลกลุ่มใช้ค่าสัดส่วนแสดงค่าเฉลี่ยของการเกิดเหตุการณ์ของตัวแปรทวิวิภาค (dichotomous) ซึ่งค่าของตัวแปรจัดได้ 2 กลุ่ม เช่น สำเร็จและไม่สำเร็จ โดยใช้ p และ π เป็นสัญลักษณ์ของสัดส่วนในตัวอย่างและในประชากร ตามลำดับ ถ้าให้ x เป็นจำนวนเหตุการณ์ที่สนใจศึกษา จากตัวอย่าง n ค่า p จะเท่ากับ x/n เช่น สุ่มตัวอย่างเด็กก่อนวัยเรียนมา 60 คน ตรวจพบเป็นโรคขาดสารอาหารจำนวน 9 คน คิดเป็นสัดส่วนของเด็กที่เป็นโรคขาดสารอาหาร $p = 9/60 = 0.15$ ถ้าพิจารณาจากสูตรคำนวณค่าสัดส่วนจะเป็นจำนวนการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจต่อหนึ่งหน่วยศึกษา ดังนั้นถ้าต้องการทราบค่าร้อยละให้นำค่าสัดส่วนมาคูณด้วย 100 จะได้ว่ามีเด็กเป็นโรคขาดสารอาหารร้อยละ 15 (0.15×100) ซึ่งจะง่ายต่อการนำเสนอหรืออธิบายผล

ค่าสัดส่วนของตัวแปรทวิวิภาคจะมีการแจกแจงทวินาม ถ้า π เป็นค่าสัดส่วนของการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจของประชากรที่ศึกษา จะได้ว่าค่าเฉลี่ยของการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจศึกษาเท่ากับ π และมีความแปรปรวนเท่ากับ $\pi(1 - \pi)$

ให้ p เป็นค่าสัดส่วนของการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจศึกษาของตัวอย่างขนาด n ถ้ามีการสุ่มตัวอย่างขนาด n ซ้ำกันหลายๆครั้งและนำค่า p ของตัวอย่างที่สุ่มได้มาสร้างเป็นการแจกแจงของ p จะพบว่าการแจกแจงของ p มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ π และความแปรปรวนเท่ากับ $\pi(1 - \pi)/n$ ในกรณีที่ n มีขนาดใหญ่การแจกแจงของ p จะมีการแจกแจงปกติ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีบทข้อจำกัดสู่ศูนย์กลาง ในการพิจารณาว่าค่า n มีขนาดใหญ่ ถ้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องขนาดตัวอย่างต้องมากกว่า 30 จึงจะทำให้การแจกแจงของ $\bar{x}$ มีการแจกแจงปกติ สำหรับค่าสัดส่วน p มาจากตัวแปรกลุ่มไม่ใช่ตัวแปรต่อเนื่อง การพิจารณาว่าขนาดตัวอย่างใหญ่พอที่จะทำให้การแจกแจงของ p มีการแจกแจงปกติ จึงพิจารณาจากค่า n กับค่า p ถ้าพบว่า $np \geq 5$ และ $n(1 - p) \geq 5$ การแจกแจงของ p จะมีการแจกแจงปกติ ทำให้สามารถใช้สถิติ Z ในการประมาณค่าและเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของประชากรได้ การคำนวณค่าความน่าจะเป็นทำโดยการแปลงค่าการแจกแจงค่าสัดส่วนของตัวอย่างให้เป็นการแจกแจงปกติมาตรฐาน โดยมีสูตรการแปลงค่าดังนี้

$$Z = \frac{p - \pi}{\sqrt{\dfrac{\pi(1 - \pi)}{n}}}$$

โดยที่ p = ค่าสัดส่วนของตัวอย่าง
n = ขนาดตัวอย่าง
π = ค่าสัดส่วนของประชากร

ในกรณีที่ตัวอย่างขนาดเล็กค่า p ไม่ได้มีการแจกแจงปกติ การคำนวณความน่าจะเป็นจะคำนวณโดยวิธีแม่นตรง (exact method) ที่จะได้อธิบายในบทถัดไป

6.2 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบสัดส่วนของประชากรกลุ่มเดียว

งานวิจัยที่ต้องการประมาณค่าสัดส่วนของการเกิดเหตุการณ์ของประชากรกลุ่มเดียวจะมีลักษณะคำถามงานวิจัยดังนี้ อยากทราบว่าความครอบคลุมของการได้รับวัคซีน DPT/OPV ของเด็กอายุ 1 ปีเป็นร้อยละเท่าไร เด็กวัยรุ่นในเขตเมืองเป็นโรคอ้วนร้อยละเท่าไร ยาใหม่ที่ใช้รักษาโรคติดเชื้อของระบบทางเดินปัสสาวะมีอัตราการหายเท่าไร หรืองานวิจัยที่ต้องการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของประชากรที่ศึกษากับค่าสัดส่วนที่กำหนด เช่น ความครอบคลุมของการได้รับวัคซีน BCG เป็นร้อยละ 90 หรือไม่ จากการรณรงค์การออกกำลังกายต้องการทราบว่ามีผู้ออกกำลังกายสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 หรือไม่

สถิติที่ใช้สรุปคำตอบของคำถามดังกล่าว คือ การประมาณค่าและเปรียบเทียบสัดส่วนของประชากรกลุ่มเดียว โดยการใช้สถิติ Z ซึ่งมีสูตรดังนี้

การทดสอบสมมติฐาน $$Z = \frac{p - \pi}{\sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n}}}$$

การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่น $$\pi = p \pm Z_{\frac{\alpha}{2}}\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

ตัวอย่างที่ 6.1

ในการสำรวจภาวะโภชนาการของเด็กก่อนวัยเรียนของอำเภอกุดชุม เพื่อดูว่าจะสามารถลดปริมาณเด็กเป็นโรคขาดสารอาหารให้เหลือร้อยละ 9 ตามแผนที่กำหนดไว้ได้หรือไม่ จึงดำเนินการศึกษาโดยสุ่มตัวอย่างเด็กก่อนวัยเรียนมา 300 คน ประเมินภาวะโภชนาการพบว่ามีเด็กเป็นโรคขาดสารอาหารจำนวน 26 คน เมื่อต้องการสรุปผลการประเมินควรดำเนินการดังต่อไปนี้

การทดสอบสมมติฐาน

ขั้นที่ 1 $H_0: \pi = 0.09$

$H_A: \pi > 0.09$

ขั้นที่ 2 ใช้สถิติ $Z = \frac{p - \pi}{\sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n}}}$

ขั้นที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4 $p = \frac{26}{300} = 0.087$

$$Z = \frac{0.087 - 0.09}{\sqrt{\frac{0.09(1-0.09)}{300}}} = -0.18$$

จากตารางค่า $Z = -0.18$ ได้ค่า P value = 0.42

ขั้นที่ 5 ค่า P value = 0.42 มากกว่าค่า α (0.05) ผลการทดสอบยอมรับสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าอัตราการเป็นโรคขาดสารอาหารของเด็กก่อนวัยเรียนมีอยู่ไม่เกินร้อยละ 9 ซึ่งลดลงได้ตามแผนที่กำหนด

การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่น

การสร้างช่วงความเชื่อมั่นของประชากรกลุ่มเดียวเพื่อใช้พิจารณาขนาดของช่วงประมาณค่าสัดส่วนของประชากรว่ามีค่าเท่าใด นำข้อมูลมาคำนวณค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ π ได้ดังนี้

$$95\% \text{ ช่วงความเชื่อมั่นของ } \pi = p \pm Z_{0.025}\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

$$= 0.087 \pm 1.96\sqrt{\frac{0.087(1-0.087)}{300}}$$

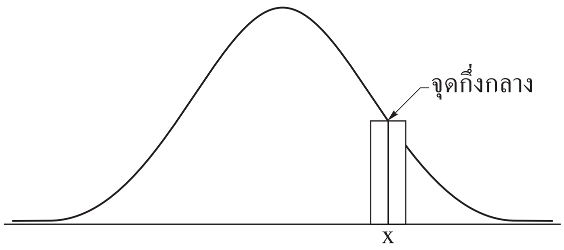
$$= (0.054,\ 0.118)$$

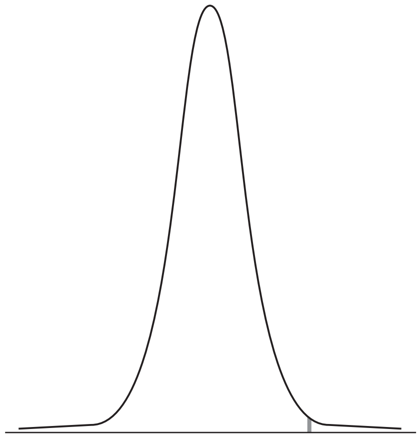
จากค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ p ที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.054 ถึง 0.118 (5.4% ถึง 11.8%) แสดงว่าค่าสัดส่วนของการเป็นโรคขาดสารอาหารของเด็กก่อนวัยเรียนอำเภอกุดชุมอาจมีค่าต่ำสุดร้อยละ 5.4 หรืออาจสูงถึงร้อยละ 11.8 ซึ่งมีโอกาสมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 9)

การพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐานด้านเดียวจากช่วงความเชื่อมั่นของสัดส่วนจะพิจารณาจากค่าช่วงความเชื่อมั่นด้านเดียว รายละเอียดได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1

6.3 การปรับแก้ความต่อเนื่อง

ข้อมูลที่มีการแจกแจงทวินามนับการเกิดเหตุการณ์ x ได้เป็นเลขจำนวนเต็ม การคำนวณความน่าจะเป็นที่มีค่ามากกว่า x ไม่ควรรวมค่า x เข้าไปด้วย แต่การใช้การแจกแจงปกติซึ่งเป็นการแจกแจงของข้อมูลต่อเนื่องไปประมาณค่าความน่าจะเป็น p ของ x แต่ละค่าจะคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่มีค่ามากกว่า x โดยเริ่มจากจุดกึ่งกลางของค่า x ไปยังปลายโค้งดังแสดงในภาพ 6.1 ซึ่งจะนับรวมครึ่งหนึ่งของพื้นที่ของค่า x เข้าไปด้วย ทำให้การศึกษาที่มีตัวอย่างขนาดเล็ก ค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จะมีความคลาดเคลื่อนจากค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณจากการแจกแจงทวินาม การแก้ไขความคลาดเคลื่อนดังกล่าวทำได้โดยการปรับค่าความถี่จากการสังเกตด้วยการลบด้วย 0.5 เรียกการแก้ไขนี้ว่าการปรับแก้ความต่อเนื่อง (correction for continuity) ในกรณีการศึกษาที่ตัวอย่างมีขนาดใหญ่ การปรับแก้จะมีผลต่อค่าความน่าจะเป็นน้อยมาก ดังนั้นจะปรับแก้ความต่อเนื่องหรือไม่ก็จะให้ค่าความน่าจะเป็นไม่แตกต่างกัน





ภาพ 6.1 แสดงการปรับแก้ความต่อเนื่อง

ดังนั้นค่าสถิติ Z สำหรับการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของประชากรเมื่อมีการปรับแก้ความต่อเนื่อง มีสูตรดังนี้

$$Z = \frac{|p - \pi| - \frac{1}{2n}}{\sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n}}}$$

จากตัวอย่างที่ 6.1 ถ้ามีการปรับแก้ความต่อเนื่องจะได้ผลการคำนวณดังนี้

$$Z = \frac{|p - \pi| - \frac{1}{2n}}{\sqrt{\frac{\pi(1-\pi)}{n}}} = \frac{|0.087 - 0.09| - \frac{1}{2 \times 300}}{\sqrt{\frac{0.09(1-0.09)}{300}}}$$

$$= 0.081$$

จากตารางค่า $Z = 0.081$ ได้ค่า P value $= 0.47$

ก่อนปรับแก้ความต่อเนื่องได้ค่า P value $= 0.42$ หลังจากปรับแล้วค่า P value เพิ่มขึ้นเป็น 0.47 เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ศึกษามีขนาดใหญ่ ดังนั้นการปรับแก้ความต่อเนื่องทำให้ค่า P value เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

6.4 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบสัดส่วนของประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน

งานวิจัยเชิงทดลองทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพส่วนใหญ่ศึกษาประชากร 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มทดลอง (treatment) เพื่อดูผลการได้รับสิ่งทดลอง อีกกลุ่มหนึ่งเป็นกลุ่มควบคุม (control) เพื่อเปรียบเทียบผล ตัวแปรผลส่วนใหญ่เป็นข้อมูลกลุ่มจึงต้องใช้การเปรียบเทียบค่าสัดส่วนในการสรุปผล เช่น เปรียบเทียบผลการรักษาอาการสมองบวมด้วยยาใหม่กับยาเดิมว่ามีอัตราการหายแตกต่างกันหรือไม่ อยากทราบว่าวิธีการแปรงฟัน 2 วิธีทำให้อัตราการมีฟันผุต่างกันหรือไม่ โรงพยาบาลที่มีระบบ HA ดีทำให้อัตราการขาดการรักษาของผู้ป่วยวัณโรคต่างจากโรงพยาบาลที่มีระบบ HA ไม่ดีหรือไม่

ในการศึกษาที่ใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่การแจกแจงผลต่างของสัดส่วนของตัวอย่าง $(p_1 - p_2)$ มีการแจกแจงปกติเช่นเดียวกันกับการแจกแจงของ p โดยพบว่าการแจกแจงของ $p_1 - p_2$ จะมีค่ามัชฌิม $\pi_{(p_1 - p_2)} = \pi_1 - \pi_2$ ส่วนความแปรปรวนคำนวณได้ 2 แบบตามข้อกำหนดของการวิเคราะห์

1) ในกรณีของการทดสอบสมมติฐานที่กำหนดให้ $\pi_1 = \pi_2$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) จะคำนวณจากค่า p ร่วม โดยใช้หลักการเดียวกันกับการคำนวณค่าความแปรปรวนร่วม (pooled variance) มีสูตรการคำนวณค่า p ร่วมดังนี้

$$p = \frac{n_1p_1 + n_2p_2}{n_1 + n_2} \quad \text{หรือ} \quad \frac{x_1 + x_2}{n_1 + n_2}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ของการแจกแจงของ $(p_1 - p_2)$

$$SE_{(p_1 - p_2)} = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n_1} + \frac{p(1-p)}{n_2}}$$

2) ในกรณีของการประมาณค่าความแตกต่างของ $\pi_1 - \pi_2$ ในการดำเนินการที่ไม่มีข้อกำหนดให้ $\pi_1 = \pi_2$ การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะคำนวณโดยใช้ค่า p แยกกัน มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$SE_{(p_1 - p_2)} = \sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}$$

ในการประมาณค่าและเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของประชากร 2 กลุ่ม ทำโดยใช้สถิติ Z มีสูตรการทดสอบสมมติฐานดังนี้

$$Z = \frac{(p_1 - p_2) - (\pi_1 - \pi_2)}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n_1} + \frac{p(1-p)}{n_2}}}$$

หรือ

$$Z = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n_1} + \frac{p(1-p)}{n_2}}}$$

เพราะ $H_0: \pi_1 = \pi_2$
$\pi_1 - \pi_2 = 0$ ตัดออกจาก
การคำนวณ

ในกรณีปรับแก้ความต่อเนื่อง

$$Z = \frac{|p_1 - p_2| - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n_1} + \frac{p(1-p)}{n_2}}}$$

การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่น

$$\pi_1 - \pi_2 = (p_1 - p_2) \pm Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}$$

ตัวอย่างที่ 6.2

การทดลองวิธีการมีส่วนร่วมของนักเรียนในการดูแลความสะอาดของการปรุงและการจำหน่ายอาหารในโรงเรียน ได้ทำการทดลองโดยสุ่มแบ่งโรงเรียนออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 40 โรงเรียน โรงเรียนกลุ่มทดลองให้ตัวแทนนักเรียน ผู้ประกอบการ และพนักงานเข้ารับการอบรมสุขาภิบาลอาหาร แล้วกลับไปปรับปรุงแก้ไขวิธีการทำงานภายใต้คำแนะนำของเจ้าหน้าที่สาธารณสุข โดยมีนักเรียนเป็นผู้ช่วยตรวจการทำงาน สำหรับโรงเรียนกลุ่มควบคุมก็ทำเช่นเดียวกัน แต่ไม่มีนักเรียนเข้าร่วมอบรมและช่วยตรวจการทำงาน หลังจากนั้น 2 เดือน เจ้าหน้าที่สาธารณสุขเข้าไปประเมินมาตรฐานการสุขาภิบาลอาหารของโรงเรียนทั้ง 2 กลุ่ม พบว่าโรงเรียนในกลุ่มทดลอง 29 โรงเรียนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และโรงเรียนกลุ่มควบคุม 20 โรงเรียนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อสรุปผลการทดลองดังกล่าวนักวิจัยควรดำเนินการดังนี้

ให้ π_1 และ π_2 เป็นค่าสัดส่วนของการผ่านเกณฑ์ประเมินของโรงเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ตามลำดับ

การทดสอบสมมติฐาน

ขั้นที่ 1 $H_0: \pi_1 = \pi_2$

$H_A: \pi_1 > \pi_2$

ขั้นที่ 2 ใช้สถิติ $Z = \dfrac{p_1 - p_2}{\sqrt{\dfrac{p(1-p)}{n_1} + \dfrac{p(1-p)}{n_2}}}$

ขั้นที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4 $p_1 = \dfrac{29}{40} = 0.725 \qquad p_2 = \dfrac{20}{40} = 0.50$

$$p = \frac{29 + 20}{40 + 40} = 0.6125$$

$$Z = \frac{0.725 - 0.50}{\sqrt{\dfrac{0.6125(1 - 0.6125)}{40} + \dfrac{0.6125(1 - 0.6125)}{40}}}$$

$$Z = 2.065$$

จากตารางค่า $Z = 2.065$ ได้ค่า P value = 0.0192

ขั้นที่ 5 ค่า P value = 0.0192 น้อยกว่าค่า α (0.05) ผลการทดสอบปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าการที่มีนักเรียนเป็นผู้ช่วยตรวจการทำงานช่วยให้โรงอาหารผ่านเกณฑ์ประเมินมาตรฐานการสุขาภิบาลอาหารได้มากกว่า

การคำนวณค่าสถิติ Z ในกรณีที่มีการปรับแก้ความต่อเนื่อง

$$Z = \frac{|p_1 - p_2| - \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{1}{n_1} + \dfrac{1}{n_2}\right)}{\sqrt{\dfrac{p(1-p)}{n_1} + \dfrac{p(1-p)}{n_2}}}$$

$$= \frac{|0.725 - 0.50| - \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{1}{40} + \dfrac{1}{40}\right)}{\sqrt{\dfrac{0.6125(1 - 0.6125)}{40} + \dfrac{0.6125(1 - 0.6125)}{40}}}$$

$$Z = 1.836$$

จากตารางค่า Z = 1.82 ได้ค่า P value = 0.0344

ค่า P value ก่อนปรับแก้ความต่อเนื่องเท่ากับ 0.0192 หลังจากปรับแก้เท่ากับ 0.0344 ต่างกันเกือบ 2 เท่า ทั้งนี้ เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีขนาดเล็ก แต่เนื่องจากประสิทธิผลของวิธีการได้ผลแตกต่างกันมาก (ความแตกต่างของผลมีขนาดใหญ่) ทำให้ข้อสรุปผลที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง

การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่น

$$95\% \text{ ช่วงความเชื่อมั่น } \pi_1 - \pi_2 = (p_1 - p_2) \pm Z_{0.025} \times \sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}}$$

$$= (0.725 - 0.5) \pm 1.96 \times \sqrt{\frac{0.725(1-0.725)}{40} + \frac{0.5(1-0.5)}{40}}$$

$$\pi_1 - \pi_2 = (0.017, 0.433)$$

จากค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ $\pi_1 - \pi_2$ ที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.017 ถึง 0.433 แสดงว่าผลต่างของสัดส่วนของโรงเรียนที่ผ่านเกณฑ์การประเมินระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมอาจมีค่าต่างกันร้อยละ 1.7 หรืออาจสูงถึงร้อยละ 43.3

เนื่องจากขนาดตัวอย่างเล็กทำให้ได้ช่วงความเชื่อมั่นที่กว้างมาก มีความเป็นไปได้ที่ทั้ง 2 วิธีจะให้ผลต่างกันเพียงร้อยละ 1.7 ความแตกต่างดังกล่าวอาจไม่มากพอที่จะระบุว่าวิธีใดดีกว่า แต่ก็เป็นไปได้ที่จะแตกต่างกันถึงร้อยละ 43.3 ที่แสดงว่าวิธีที่นักเรียนมีส่วนร่วมดีกว่ามาก การที่ข้อสรุปที่ได้ไม่กระชับ (ช่วงความเชื่อมั่นกว้าง) ถึงแม้มีค่าศูนย์อยู่นอกช่วงความเชื่อมั่น สรุปผลการทดสอบสมมติฐานระบุว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของช่วงมีผลการตัดสินใจที่ต่างกัน จึงไม่สามารถนำผลต่างนั้นไปตัดสินใจให้ข้อเสนอแนะหรือแก้ไขปัญหาได้ การศึกษาด้วยขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมจะช่วยให้ช่วงความเชื่อมั่นแคบและสรุปผลการศึกษาได้ชัดเจนกว่า

6.5 การประมาณค่าและการเปรียบเทียบสัดส่วนของประชากร 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน

งานวิจัยที่ต้องการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของข้อมูลที่เก็บมาจากหน่วยศึกษาเดียวกัน 2 ครั้ง หรือมีการจับคู่หน่วยศึกษาระหว่างกลุ่ม จะมีวิธีการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนดังนี้

ตัวอย่างที่ 6.3

ในการศึกษาเพื่อดูว่าการสอนให้ผู้ป่วยที่ได้รับรังสีรักษาทำสมาธิอานาปานัสสติจะช่วยให้ลดอาการอาเจียนได้หรือไม่ ศึกษาโดยเก็บข้อมูลอาการอาเจียนเมื่อผู้ป่วยได้รับรังสีรักษาครั้งแรก หลังจากนั้นได้สอนผู้ป่วยให้ทำสมาธิอานาปานัสสติ เก็บข้อมูลอาการอาเจียนเมื่อผู้ป่วยได้รับรังสีรักษาครั้งที่ 2 ผลอาการอาเจียนสรุปเป็นสัญลักษณ์ในการคำนวณดังปรากฏในตาราง 6.1

ตาราง 6.1 แสดงความเป็นไปได้ของอาการอาเจียนในการเก็บข้อมูลทั้ง 2 ครั้ง

อาการอาเจียนจากการได้รับรังสีรักษา		จำนวนผู้ป่วย (คน)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
อาเจียน	อาเจียน	a
อาเจียน	ไม่อาเจียน	b
ไม่อาเจียน	อาเจียน	c
ไม่อาเจียน	ไม่อาเจียน	d
รวม		**n**

สัดส่วนของผู้ป่วยที่มีอาการอาเจียนในครั้งแรก $p_1 = \frac{a+b}{n}$

สัดส่วนของผู้ป่วยที่มีอาการอาเจียนในครั้งที่ 2 $p_2 = \frac{a+c}{n}$

ความแตกต่างของสัดส่วน $p_1 - p_2 = \frac{a+b}{n} - \frac{a+c}{n}$

$$= \frac{b-c}{n}$$

จากตารางจะเห็นได้ว่าผู้ป่วยที่มีอาการอาเจียนทั้ง 2 ครั้งจำนวน a และไม่อาเจียนทั้ง 2 ครั้งจำนวน d ไม่สามารถใช้แยกความแตกต่างระหว่างครั้งที่ 1 และ 2 ได้ จึงเหลือแต่จำนวนในกลุ่ม b และ c ที่จะเป็นตัวบอกความแตกต่าง ถ้า b มากกว่า c แสดงว่าครั้งที่ 2 มีอาการอาเจียนน้อยกว่า ถ้า c มากกว่า b แสดงว่าครั้งแรกมีอาการอาเจียนน้อยกว่า

การแจกแจงของ $p_1 - p_2$ จากตัวอย่างขนาดใหญ่ที่มีค่า $b + c \geq 20$ พบว่ามีการแจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ย $\pi_{(p_1 - p_2)} = \pi_1 - \pi_2$ ส่วนความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแตกต่างกันไปตามประเภทของการอนุมาน

ในกรณีการทดสอบสมมติฐานที่กำหนดให้ $\pi_1 = \pi_2$

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน $SE_{(p_1 - p_2)} = \sqrt{\frac{b + c}{n}}$

ในกรณีการประมาณค่าไม่ได้ กำหนดให้ $\pi_1 = \pi_2$

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน $SE_{(p_1 - p_2)} = \frac{1}{n}\sqrt{(b + c) - \frac{(b - c)^2}{n}}$

เมื่อตรวจสอบแล้วว่าขนาดตัวอย่างใหญ่พอโดยดูว่าค่า $b + c \geq 20$ ซึ่งทำให้ $(p_1 - p_2)$ มีการแจกแจงปกติ จึงใช้ค่าสถิติ Z ในการประมาณค่าและเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของประชากรด้วยสูตรดังนี้

การทดสอบสมมติฐาน

$$Z = \frac{\left[\frac{b - c}{n}\right] - [\pi_1 - \pi_2]}{\frac{\sqrt{b + c}}{n}}$$

$$= \left[\frac{b - c}{n}\right] \times \left[\frac{n}{\sqrt{b + c}}\right]$$

เพราะ H_0: $\pi_1 = \pi_2$
$\pi_1 - \pi_2 = 0$ ตัดออกจาก
การคำนวณ

สูตรกรณีไม่ปรับแก้ความต่อเนื่อง $Z = \frac{b - c}{\sqrt{b + c}}$

สูตรกรณีปรับแก้ความต่อเนื่อง $Z = \frac{|b - c| - 1}{\sqrt{b + c}}$

สูตรประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่น $\pi_1 - \pi_2 = \frac{b - c}{n} \pm$

$$Z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{n}\sqrt{b + c - \frac{(b - c)^2}{n}}$$

ข้อมูลผลการศึกษาเรื่องการทำสมาธิอานาปานัสสติช่วยให้ผู้ป่วยที่ได้รับรังสีรักษาลดอาการอาเจียน ได้ผลการศึกษาดังตารางต่อไปนี้

อาการอาเจียนจากการได้รับรังสีรักษา		จำนวนผู้ป่วย (คน)
ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	
อาเจียน	อาเจียน	4
อาเจียน	ไม่อาเจียน	24
ไม่อาเจียน	อาเจียน	7
ไม่อาเจียน	ไม่อาเจียน	19
รวม		**54**

เมื่อต้องการสรุปผลการศึกษาต้องดำเนินการดังนี้

การทดสอบสมมติฐาน

ขั้นที่ 1 $H_0: \pi_1 = \pi_2$

$H_A: \pi_1 \neq \pi_2$

ขั้นที่ 2 ใช้สถิติ $Z = \frac{b - c}{\sqrt{b + c}}$

ขั้นที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4 $b = 24, \quad c = 7, \quad b + c = 31$

$b + c \geq 20$ ขนาดตัวอย่างใหญ่พอ ใช้สถิติ Z ได้

$$Z = \frac{b - c}{\sqrt{b + c}} = \frac{24 - 7}{\sqrt{24 + 7}} = 3.05$$

จากตารางค่า $Z = 3.05$ ได้ค่า P value $= 0.001$

ขั้นที่ 5 ค่า P value $= 0.001$ น้อยกว่าค่า $\alpha/2$ (0.025) ดังนั้นผลการทดสอบสมมติฐานจึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าการทำสมาธิอานาปานัสสติช่วยลดอาการอาเจียนหลังได้รับรังสีรักษา

ในกรณีที่ปรับแก้ค่าความต่อเนื่องจะได้ว่า

$$Z = \frac{|b - c| - 1}{\sqrt{b + c}} = \frac{|24 - 7| - 1}{\sqrt{24 + 7}} = 2.87$$

จากตารางค่า $Z = 2.87$ ได้ค่า P value $= 0.002$

การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่น

$$95\% \text{ ช่วงความเชื่อมั่นของ } \pi_1 - \pi_2 = \frac{b-c}{n} \pm Z_{0.025}\frac{1}{n}\sqrt{(b+c) - \frac{(b-c)^2}{n}}$$

$$= \frac{24-7}{54} \pm 1.96 \times \frac{1}{54} \times \sqrt{(24+7) - \frac{(24-7)^2}{54}}$$

$$\pi_1 - \pi_2 = (0.13, 0.499)$$

จากค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ $\pi_1 - \pi_2$ ที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง 13.1% ถึง 49.9% แสดงว่าค่าผลต่างของสัดส่วนของอาการอาเจียนจากการทำและไม่ได้ทำสมาธิอานาปานัสสติต่างกันน้อยที่สุดร้อยละ 13.1 หรืออาจต่างกันมากถึงร้อยละ 49.9 จากการที่ตัวอย่างในการศึกษามีขนาดเล็กทำให้ข้อสรุปจากการศึกษาที่ได้ขาดความกระชับ แต่ความแตกต่างน้อยที่สุดก็แตกต่างกันร้อยละ 13 ซึ่งมากพอที่จะใช้เป็นทางเลือกให้ผู้ป่วยใช้ในการลดอาการอาเจียน

การพิจารณาการเปรียบเทียบความแตกต่างจากช่วงความเชื่อมั่น พบว่ามีค่าศูนย์อยู่นอกช่วงความเชื่อมั่น แสดงว่าการทำสมาธิอานาปานัสสติจะช่วยลดอาการอาเจียนหลังได้รับรังสีรักษาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าการทำสมาธิอานาปานัสสติสามารถลดอาการอาเจียนหลังได้รับรังสีรักษา

สรุป

ผลลัพธ์ที่เป็นข้อมูลกลุ่มจะใช้สัดส่วนในการเปรียบเทียบ การแจกแจงค่าสัดส่วนของตัวอย่างจะเป็นแบบการแจกแจงปกติถ้าตัวอย่างมีขนาดใหญ่ การพิจารณาว่าตัวอย่างมีขนาดใหญ่พอหรือไม่กรณีที่หน่วยศึกษาแต่ละกลุ่มถูกสุ่มอย่างอิสระ ให้พิจารณาจากค่า $np > 5$ และค่า $n(1-p) > 5$ และในกรณีที่หน่วยศึกษาแต่ละกลุ่มถูกสุ่มมาอย่างไม่เป็นอิสระ ให้พิจารณาจากค่า $b + c \geq 20$

ในการประมาณค่าหรือทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วนของประชากรกลุ่มเดียวหรือประชากร 2 กลุ่ม ในกรณีตัวอย่างขนาดใหญ่จะใช้สถิติ Z ถ้าตัวอย่างมีขนาดเล็กจะต้องใช้วิธีการคำนวณแบบแม่นตรง (exact method)

บทที่ 7

การหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่ม

คำถามงานวิจัยที่ต้องการทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เช่น อยากทราบปัจจัยที่มีผลต่อความครอบคลุมของการได้รับวัคซีน DPT/OPV ของเด็กอายุต่ำกว่า 1 ปี การศึกษาปัจจัยเสี่ยงของการเกิดโรคอุจจาระร่วง หรือต้องการทราบว่าปัจจัยอะไรที่ช่วยให้มีการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ ฯลฯ คำถามงานวิจัยเหล่านี้ส่วนใหญ่ตัวแปรผลหรือตัวแปรตามเป็นข้อมูลกลุ่ม มีหลายกรณีที่ตัวแปรผลเป็นตัวแปรต่อเนื่อง เช่น ความดันโลหิต ระดับน้ำตาลในเลือด แต่ได้ถูกเปลี่ยนเป็นข้อมูลกลุ่มโดยเปลี่ยนเป็นความดันโลหิต ระดับน้ำตาลในเลือด *ปกติ/สูง* สำหรับตัวแปรอิสระที่ต้องการนำมาหาความสัมพันธ์ ส่วนมากจะเป็นข้อมูลกลุ่มหรือถูกเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของข้อมูลกลุ่มเช่นเดียวกัน แบบงานวิจัยที่จะตอบคำถามเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร คือการวิจัยเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง (cross-sectional analytical study) การวิจัยแบบกลุ่มผู้ป่วย-ไม่ป่วย (case-control study) และการวิจัยแบบกลุ่มติดตามผล (cohort study) วิธีการคำนวณค่าสถิติที่ใช้หาความสัมพันธ์แตกต่างกันไปตามแบบงานวิจัย ในการวิเคราะห์สถิติถูกใช้สรุปความสัมพันธ์ใน 2 ลักษณะ คือ

1) ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ (association) กันหรือไม่ ตัวแปรทั้งสองเป็นอิสระต่อกัน (independent) หรือไม่ คำตอบที่ได้คือ มีหรือไม่มีความสัมพันธ์ในประชากร
2) ขนาดความสัมพันธ์ (strength of association) เป็นเท่าไร การหาปัจจัย (ตัวแปร) ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคโดยปกติจะมีหลายตัวแปร แต่ละตัวแปรจะมีอิทธิพลต่อการเกิดโรคมากน้อยต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดความสัมพันธ์ การคำนวณหาขนาดความสัมพันธ์จะช่วยให้นักวิจัยสามารถระบุความสำคัญของปัจจัยและเสนอแนะแนวทางป้องกันที่มีความเฉพาะตามข้อสรุปในงานวิจัยได้

สถิติที่ใช้แสดงความสัมพันธ์หรือขนาดความสัมพันธ์นี้ยังใช้วิเคราะห์เพื่อตอบคำถามเรื่องสาเหตุของแบบงานวิจัยเชิงทดลอง วิธีการคำนวณ และการสรุปผลทางสถิติซึ่งจะมีเงื่อนไขเดียวกันกับการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์

7.1 การหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่ม

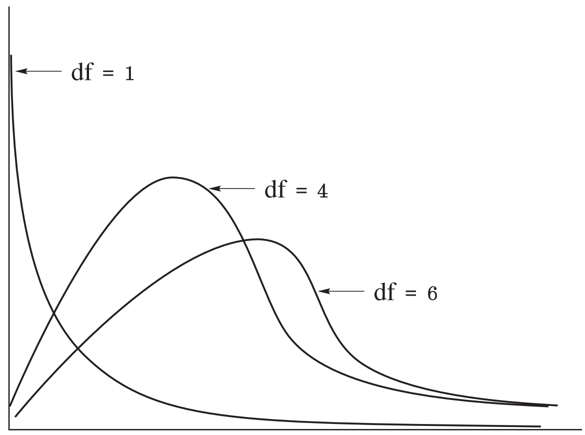
ข้อมูลกลุ่มที่นำมาหาความสัมพันธ์จะถูกวิเคราะห์อยู่ในรูปของตารางไขว้ (cross tabulation) ซึ่งใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว กรณีตัวอย่างมีขนาดใหญ่จะทดสอบความสัมพันธ์ด้วยสถิติไคสแควร์ (chi square (χ^2)) ดังนั้นเพื่อให้มีความเข้าใจวิธีการทดสอบจะอธิบายลักษณะการแจกแจงไคสแควร์และแนวคิดการทดสอบก่อนการอธิบายวิธีการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ในกรณีต่างๆ

7.1.1 การแจกแจงไคสแควร์

การแจกแจง χ^2 เป็นการแจกแจงทางทฤษฎีที่สร้างขึ้นมาจากการสุ่ม z_i จำนวน n จากประชากรที่มีการแจกแจงปกติมาตรฐาน $N_{(0,\ 1)}$ นำค่า z_i ที่สุ่มได้มายกกำลังสองแล้วนำมารวมกัน n ค่า ผลรวมที่ได้เรียกว่า χ^2 เป็นค่าสถิติซึ่งเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ดังนี้

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} Z_i^2$$

ถ้ามีการสุ่มตัวอย่างจำนวน n คำนวณค่า χ^2 และทำซ้ำกันหลายๆครั้ง นำค่า χ^2 ที่ได้มาสร้างการแจกแจง พบว่าการแจกแจงของ χ^2 ที่ได้จะเบ้ขวา ลักษณะการแจกแจงขึ้นอยู่กับขนาดขององศาเสรี (df) ดังแสดงในภาพ 7.1 การแจกแจง χ^2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ df และความแปรปรวนเท่ากับ 2df การคำนวณค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจง χ^2 แยกไปตามขนาดขององศาเสรี ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรมสถิติที่ใช้วิเคราะห์จะคำนวณค่าความน่าจะเป็นมาให้พร้อมกับค่า χ^2 ถ้าคำนวณ χ^2 ด้วยเครื่องคิดเลข ให้นำค่า χ^2 ที่คำนวณได้ไปเปิดหาค่าความน่าจะเป็นจากตาราง ส 3



ภาพ 7.1 การแจกแจง χ^2 ที่ df เท่ากับ 1, 4 และ 6

7.1.2 แนวคิดในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่ม

ในการพิจารณาเบื้องต้นว่าตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่ม 2 ตัวมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ นักวิจัยควรเริ่มด้วยการสร้างตารางไขว้แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองดังแสดงในตัวอย่างที่ 7.1

ตัวอย่างที่ 7.1

ในการศึกษาว่าระดับความรู้เกี่ยวกับโรคเอดส์ของวัยรุ่นจะมีความสัมพันธ์กับเพศหรือไม่ นักวิจัยได้สุ่มตัวอย่างวัยรุ่นจำนวน 250 คน เป็นชาย 122 คน และหญิง 128 คน ได้ผลการศึกษาระดับความรู้ตามรายละเอียดในตาราง 7.1

ตาราง 7.1 จำนวนและร้อยละของระดับความรู้เกี่ยวกับโรคเอดส์ จำแนกตามเพศ

เพศ	ระดับความรู้เกี่ยวกับโรคเอดส์			
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	รวม
ชาย	O_1 21 (17.2%)	O_2 33 (27.1%)	O_3 68 (55.7%)	122
หญิง	O_4 59 (46.1%)	O_5 43 (33.6%)	O_6 26 (20.3%)	128
รวม	80	76	94	250

ตาราง 7.1 ใช้ไขว้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความรู้เกี่ยวกับโรคเอดส์กับเพศ จะประกอบด้วยช่องที่เกิดจากจำนวนกลุ่มของตัวแปรเพศ (2 กลุ่ม) ตัดกับจำนวนกลุ่มของตัวแปรระดับความรู้ (3 ระดับ) รวมทั้งหมด 6 ช่อง (2 เพศ × 3 ระดับ) จากนั้นก็นำผลการสำรวจของตัวแปรทั้งสองในแต่ละตัวอย่างมาดูว่าตรงกับช่องใดก็นับจำนวนลงในช่องนั้น จำนวนทั้งหมดในแต่ละช่องเรียกว่าค่าสังเกต (observe value) ใช้อักษร O เป็นสัญลักษณ์ ผลการสำรวจจากตาราง 7.1 พบว่าจากตัวอย่างทั้งหมด 250 คน ผู้ชายมีความรู้ระดับต่ำ 21 คน (ค่าสังเกตในช่องที่ 1 $O_1 = 21$) ปานกลาง 33 คน ($O_2 = 33$) และสูง 68 คน ($O_3 = 68$) ส่วนผู้หญิงมีความรู้ระดับต่ำ 59 คน ($O_4 = 59$) ปานกลาง 43 คน ($O_5 = 43$) และสูง 26 คน ($O_6 = 26$)

พิจารณาจำนวนร้อยละในแต่ละช่องพบว่าจำนวนผู้ชายที่มีความรู้ระดับต่ำมีน้อย และที่มีความรู้ระดับสูงมีจำนวนมากที่สุด ส่วนระดับความรู้ของผู้หญิงตรงข้ามกับของผู้ชาย คือ ผู้มีความรู้ระดับต่ำมีจำนวนมาก และผู้ที่มีความรู้ระดับสูงมีจำนวนน้อย จากทิศทางของจำนวนข้อมูลในช่องต่างๆแสดงให้เห็นแนวโน้มว่าถ้าเป็นเพศชายจะมีระดับความรู้สูงกว่าเพศหญิง การที่ลักษณะของตัวแปรหนึ่งสามารถใช้บอกลักษณะของตัวแปรอีกตัวหนึ่งได้แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นในกรณีนี้เพศจึงมีความสัมพันธ์กับระดับความรู้

ในการสรุปว่าเพศมีความสัมพันธ์ดังกล่าวในประชากรหรือไม่ จะต้องสรุปจากผลการทดสอบสมมติฐาน โดยจะตั้งสมมติฐานว่าเพศไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความรู้ หรืออาจกล่าวได้อีกแบบหนึ่งว่าเพศและระดับความรู้เป็นอิสระต่อกัน ส่วนสมมติฐานทางเลือกตั้งว่าเพศมีความสัมพันธ์กับระดับความรู้ หรือเพศและระดับความรู้ไม่เป็นอิสระต่อกัน

ตัวอย่างที่สุ่มมาศึกษาจำนวน 250 คน เป็นชาย 122 คน คิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 0.49 (122/250) เป็นหญิง 128 คน คิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 0.51 (128/250) จากสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าเพศไม่มีความสัมพันธ์กับระดับความรู้ แสดงว่าเพศชายหรือหญิงมีระดับความรู้ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจำนวนผู้ที่มีความรู้ต่ำทั้งหมด 80 คน ควรมีเพศชายและหญิงเช่นเดียวกันกับสัดส่วนของเพศที่สุ่มมาศึกษา (ชาย 0.49 หญิง 0.51) ในทำนองเดียวกัน สามารถคำนวณค่าคาดหวังว่าเพศชายหรือหญิงมีระดับความรู้ไม่แตกต่างกันของแต่ละช่องได้ดังนี้

ช่องแรก (E_1) เป็นค่าคาดหวังของชายที่มีระดับความรู้ต่ำ คำนวณได้ดังนี้

จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 250 คน เป็นเพศชาย = 122 คน

จำนวนตัวอย่าง 80 คน จะเป็นเพศชาย $80\left(\frac{122}{250}\right) = 39.04$ คน

ช่องสุดท้าย (E_6) เป็นค่าคาดหวังของหญิงที่มีระดับความรู้สูง คำนวณได้ดังนี้

จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 250 คน เป็นเพศหญิง = 128 คน

จำนวนตัวอย่าง 94 คน จะเป็นเพศหญิง $94\left(\frac{128}{250}\right) = 48.13$ คน

การคำนวณค่าคาดหวังของช่องอื่นๆในตารางให้คำนวณเช่นเดียวกัน ผลแสดงอยู่ในตาราง 7.2

ตาราง 7.2 จำนวนค่าคาดหวังของระดับความรู้เกี่ยวกับโรคเอดส์ จำแนกตามเพศ

เพศ	ระดับความรู้เกี่ยวกับโรคเอดส์			
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	รวม
ชาย	$E_1 = 80\left(\frac{122}{250}\right)$	$E_2 = 76\left(\frac{122}{250}\right)$	$E_3 = 94\left(\frac{122}{250}\right)$	122
หญิง	$E_4 = 80\left(\frac{128}{250}\right)$	$E_5 = 76\left(\frac{128}{250}\right)$	$E_6 = 94\left(\frac{128}{250}\right)$	128
รวม	80	76	94	250

ถ้าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ค่าคาดหวัง (E_i) ในแต่ละช่องควรไม่แตกต่างจากค่าสังเกต (O_i) ผลรวมของความแตกต่างควรมีขนาดเล็ก คำนวณค่า $O_i - E_i$ ของแต่ละช่องนำผลต่างของทุกช่องมารวมกัน จะพบว่าผลรวมมีค่าเป็นศูนย์ (0) ทั้งนี้ เพราะผลต่างที่ได้มีทั้งบวกและลบจำนวนเท่ากัน เมื่อไม่สามารถนำผลต่างมารวมกันได้โดยตรง จึงแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยนำผลต่างมายกกำลังสองเพื่อทำให้เครื่องหมายหมดไป ในการรวมผลต่างยังมีปัญหาอีกปัญหาหนึ่ง คือการที่ผลต่างมีขนาดเท่ากันแต่มีความหมายไม่เหมือนกัน เช่น 30 กับ 20 ต่างกัน 10 และ 210 กับ 200 ต่างกัน 10 เหมือนกัน ถึงแม้จะมีผลต่างเท่ากับ 10 เหมือนกัน แต่ค่าหนึ่งต่างกัน 10 จากค่าคาดหวัง 20 ต่างกัน 50% จากค่าคาดหวัง ส่วนอีกค่าหนึ่งต่างกัน 10 จากค่าคาดหวัง 200 ต่างกัน 5% จากค่าคาดหวัง ดังนั้นเพื่อให้ได้ความหมายที่แท้จริงของการเปรียบเทียบในทางสถิติ จึงต้องนำค่าผลต่างกำลังสองที่ได้มาหารด้วยค่าคาดหวัง รายละเอียดการคำนวณที่ได้แสดงไว้ในตาราง 7.3

ตาราง 7.3 ค่าสังเกต ค่าคาดหวัง และผลต่าง

ช่องที่	ค่าสังเกต (O_i)	ค่าคาดหวัง (E_i)	$O_i - E_i$	$(O_i - E_i)^2$	$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
1	21	39.04	−18.04	325.442	8.336
2	33	37.09	−4.09	16.728	0.451
3	68	45.87	22.13	489.737	10.677
4	59	40.96	18.04	325.442	7.945
5	43	38.91	4.09	16.728	0.429
6	26	48.13	−22.13	489.737	10.175
รวม	**250**	**-**	**0**	**-**	**38.01**

จากการศึกษาทางสถิติพบว่าผลรวมของค่า $(O_i - E_i)^2/E_i$ ที่ได้จากตัวอย่างขนาดใหญ่จะมีการแจกแจงแบบ χ^2 ที่องศาเสรี $(r - 1)(c - 1)$ โดยที่ r เป็นจำนวนกลุ่มของตัวแปรที่อยู่ในแถว และ c เป็นจำนวนกลุ่มของตัวแปรที่อยู่ในสดมภ์ โดยมีสูตรการคำนวณค่า χ^2 ดังนี้

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \qquad df = (r - 1)(c - 1)$$

การพิจารณาว่าตัวอย่างมีขนาดใหญ่พอที่จะทำให้ $\sum[(O_i - E_i)^2/E_i]$ มีการแจกแจงแบบ χ^2 จะพิจารณาจากค่าคาดหวัง (E_i) ของแต่ละช่อง โดยที่ขนาดตัวอย่างต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะทำให้ค่า E_i ของทุกช่องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1 และจำนวนช่องที่มีค่า E_i น้อยกว่า 5 ต้องมีได้ไม่เกินร้อยละ 20 ของจำนวนช่องทั้งหมด ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขนี้ ค่า $\sum[(O_i - E_i)^2/E_i]$ จึงจะมีการแจกแจง χ^2 และสามารถใช้สถิติ χ^2 ในการทดสอบความสัมพันธ์ได้

ในการทดสอบความสัมพันธ์ จะคำนวณค่า E_i ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน ถ้าเป็นไปตามสมมติฐานค่า E_i ที่คำนวณได้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่า O_i ค่า $(O_i - E_i)^2/E_i$ จะมีค่าน้อย ทำให้ χ^2 ที่ได้มีค่าน้อย ในทางกลับกัน ถ้าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน ค่า E_i ที่ได้คำนวณค่าตามสมมติฐานต้องมีค่าต่างกับค่า O_i ค่า $(O_i - E_i)^2/E_i$ จะมีค่ามาก ทำให้ χ^2 ที่ได้มีค่ามาก ในการสรุปผลถ้า χ^2 มีค่าเกินจุดวิกฤตที่กำหนดโดยค่า α ผลการทดสอบก็จะปฏิเสธ H_0 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน

การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบความสัมพันธ์ด้วยสถิติ χ^2 จะต้องตั้งเป็นการทดสอบสองด้านเท่านั้น เพราะการคำนวณค่า χ^2 มีการยกกำลังสอง ไม่ว่าผลต่างจะเป็นบวก

หรือลบ ค่าสถิติ χ^2 จะมีค่าบวกเท่านั้น และข้อสรุปที่ได้จะบอกได้แค่ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่มีความสัมพันธ์กันโดยไม่สามารถบอกทิศทาง (ลักษณะ) ความสัมพันธ์ ถ้านักวิจัยต้องการทราบทิศทางหรือลักษณะความสัมพันธ์ต้องพิจารณาจากตาราง

7.2 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่ม

การทดสอบสมมติฐานของตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่มถูกนำไปใช้ในการสรุปความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่มในประชากร ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีขนาดต่างๆ ขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่มของตัวแปรแต่ละตัว ในงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพส่วนใหญ่ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการเกิดโรคตัวแปรผลจะมี 2 กลุ่ม *เป็นโรค/ไม่เป็นโรค* และตัวแปรปัจจัยส่วนใหญ่จะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ได้รับปัจจัยเสี่ยงหรือไม่ได้รับปัจจัยเสี่ยง ผลการศึกษาจึงแสดงอยู่ในรูปตาราง 2×2 วิธีการวิเคราะห์จึงได้แยกตาราง 2×2 ออกจากตาราง $r \times c$ โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ในกรณีต่างๆดังนี้

7.2.1 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่มที่ตัวอย่างในแต่ละกลุ่มเป็นอิสระต่อกันกรณีตาราง r × c

การทดสอบความสัมพันธ์กรณีตาราง $r \times c$ โดยใช้สถิติ $\chi^2 = \sum [(O_i - E_i)^2/E_i]$ ที่องศาเสรีเท่ากับ $(r - 1)(c - 1)$ ขั้นตอนในการทดสอบความสัมพันธ์ทำเช่นเดียวกันกับวิธีการทดสอบสมมติฐานที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ผ่านมา จากคำถามตัวอย่างที่ 7.1 นำมาทดสอบความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 H_0: ระดับความรู้เกี่ยวกับโรคเอดส์ไม่มีความสัมพันธ์กับเพศ
H_A: ระดับความรู้เกี่ยวกับโรคเอดส์มีความสัมพันธ์กับเพศ

ขั้นที่ 2 ใช้สถิติ χ^2 ในการทดสอบ

ก่อนที่จะใช้สถิติ χ^2 ในการทดสอบจะต้องตรวจสอบว่าค่า E_i ของทุกช่องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1 และจำนวนช่องที่มีค่าน้อยกว่า 5 มีไม่เกินร้อยละ 20

ผลการตรวจสอบพบว่าค่า E_i เกิน 5 ทุกช่อง (แสดงในตาราง 7.3) จึงสามารถใช้สถิติ χ^2 ได้

ขั้นที่ 3 กำหนด $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่า χ^2

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = 38.01$$

$$df = (r - 1)(c - 1) = (2 - 1)(3 - 1)$$

$$= 2$$

$\chi^2_{(2)} = 38.01$ ได้ค่า P value < 0.0001

ค่า P value ที่ได้จากค่า χ^2 จะเป็นค่าความน่าจะเป็นแบบ 2 ด้าน ซึ่งสามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่า α ได้โดยตรง

ขั้นที่ 5 ค่า P value < 0.0001 น้อยกว่าค่า 0.05 ผลการทดสอบสมมติฐานปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าระดับความรู้เกี่ยวกับโรคเอดส์มีความสัมพันธ์กับเพศ

ในกรณีที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณค่า χ^2 โปรแกรมสถิติจะตรวจสอบค่า E_i และพิมพ์ผลแจ้งให้ทราบว่าช่องที่มีค่าต่ำกว่า 5 มีกี่ช่อง คิดเป็นร้อยละเท่าใดของจำนวนช่องทั้งหมด

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในกรณีตาราง r × c ที่มีจำนวนกลุ่มภายในตัวแปรหลายกลุ่ม มักจะประสบปัญหาจำนวนข้อมูลในแต่ละช่องมีค่าน้อยไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้สถิติ χ^2 การแก้ไขทำโดยการยุบรวมกลุ่มของแต่ละตัวแปรให้มีจำนวนน้อยลงจนได้ค่า E_i เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ในกรณีที่ยุบรวมกลุ่มไม่ได้หรือยุบรวมได้บางกลุ่มแต่ค่า E_i ยังไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด นักวิจัยไม่ควรใช้สถิติ χ^2 ในการทดสอบความสัมพันธ์ ให้เปลี่ยนไปใช้สถิติการทดสอบความแม่นตรงฟิชเชอร์ (Fisher exact test) แทน ซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อ 7.2.5

7.2.2 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่มที่ตัวอย่างในแต่ละกลุ่มเป็นอิสระต่อกันกรณีตาราง 2 × 2

การทดสอบความสัมพันธ์กรณีผลลัพธ์อยู่ในรูปของตาราง 2 × 2 จะใช้แนวคิดเดียวกันกับการทดสอบความสัมพันธ์กรณีตาราง r × c โดยใช้สถิติ $\chi^2 = \sum [(O_i - E_i)^2/E_i]$ ที่มีองศาเสรีเท่ากับ 1 ข้อมูลที่นำมาทดสอบต้องมีขนาดตัวอย่างใหญ่พอที่จะทำให้ค่า E_i ของทั้ง 4 ช่องต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 5

ในงานวิจัยทางด้านการแพทย์และสาธารณสุขส่วนใหญ่ข้อมูลจะอยู่ในรูปของตาราง 2 × 2 ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดสัญลักษณ์ของจำนวนในช่องตาราง 2 × 2 เพื่อใช้ในการอ้างอิงสำหรับสูตรการคำนวณ โดยมีรูปแบบตารางและสัญลักษณ์มาตรฐานดังนี้

ตาราง 7.4 รูปแบบและสัญลักษณ์ของช่องต่าง ๆ ในตาราง

ตัวแปรในแถว (ปัจจัย)	ตัวแปรในสดมภ์ (ผล)		รวม
	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	
กลุ่มที่ 1	a	b	a + b
กลุ่มที่ 2	c	d	c + d
รวม	a + c	b + d	n = a + b + c + d

นำสัญลักษณ์จำนวนในแต่ละช่อง (a, b, c และ d) มาจัดทำเป็นสูตรการคำนวณค่า $\sum (O_i - E_i)^2/E_i$ ของทั้ง 4 ช่องรวมกันเป็นค่า χ^2 และจัดรูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อให้อยู่ในแบบที่ง่ายต่อการคำนวณได้ดังนี้

$$\chi^2 = \frac{n(ad - bc)^2}{(a + b)(a + c)(b + d)(c + d)}$$

รูปแบบสูตร χ^2 ที่เปลี่ยนแปลงใหม่นี้ใช้ได้เฉพาะกับการหาค่า χ^2 ของตาราง 2×2 เท่านั้น

ตัวอย่างที่ 7.2

จากการศึกษาแบบกลุ่มติดตามผล (cohort) โดยติดตามผู้ที่เริ่มทำงานในร้านซ่อมหม้อน้ำรถยนต์จำนวน 50 คน และผู้ที่เริ่มทำงานในสำนักงานจำนวน 50 คน เพื่อดูว่าการเกิดโรคพิษตะกั่วจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะงานหรือไม่ จากการติดตามกลุ่มคนงานดังกล่าวเป็นเวลา 1 ปี พบว่ามีจำนวนผู้ที่ป่วยเป็นโรคพิษตะกั่วจำนวน 12 ราย รายละเอียดแสดงอยู่ในตารางต่อไปนี้ จงสรุปผลการศึกษา

ลักษณะงาน	โรคพิษตะกั่ว		รวม
	ป่วย	ไม่ป่วย	
ทำงานซ่อมหม้อน้ำ	10	40	50
ทำงานสำนักงาน	2	48	50
รวม	12	88	100

จากข้อมูลในตาราง คำนวณค่า χ^2 ได้ดังนี้

$$\chi^2 = \frac{n(ad - bc)^2}{(a + b)(a + c)(b + d)(c + d)}$$

$$= \frac{100(10 \times 48 - 2 \times 40)^2}{50 \times 12 \times 50 \times 88} = 6.06$$

$\chi^2_{(1)} = 6.06$ ได้ค่า P value $= 0.0138$

ค่า P value = 0.0138 น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าลักษณะงานมีความสัมพันธ์กับการเป็นโรคพิษตะกั่ว

ผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติ χ^2 ของตาราง 2×2 จะให้ข้อสรุปเช่นเดียวกับการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนระหว่างประชากร 2 กลุ่มด้วยสถิติ Z ในกรณีการทดสอบสองด้านที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.4 โดยที่ค่า P value ของทั้ง χ^2 และ Z จะมีค่าเท่ากัน ตัวอย่างที่ 7.2 ถ้าวิเคราะห์ในรูปของการเปรียบเทียบสัดส่วน จะตั้งคำถามว่าสัดส่วนของการป่วยด้วยโรคพิษตะกั่วของผู้ทำงานร้านซ่อมหม้อน้ำรถยนต์แตกต่างจากผู้ที่ทำงานในสำนักงานหรือไม่

จากข้อมูลในตัวอย่างที่ 7.2 คำนวณค่าสถิติ Z ได้ดังนี้

$$p_1 = \frac{10}{50} = 0.20 \qquad p_2 = \frac{2}{50} = 0.04$$

$$p = \frac{n_1p_1 + n_2p_2}{n_1 + n_2} = \frac{(50 \times 0.20) + (50 \times 0.04)}{50 + 50} = 0.12$$

$$Z = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n_1} + \frac{p(1-p)}{n_2}}}$$

$$= \frac{0.20 - 0.04}{\sqrt{\frac{0.12(1-0.12)}{50} + \frac{0.12(1-0.12)}{50}}}$$

$$Z = 2.4618$$

ค่า Z = 2.46 ได้ค่า P value = 0.0069

ค่า P value จากสถิติ Z ที่ได้เป็นกรณีทดสอบหาค่าความน่าจะเป็นด้านเดียว (one sided P value) ถ้าจะเปลี่ยนเป็นการทดสอบหาค่าความน่าจะเป็น 2 ด้าน (two sided P value) จะต้องคูณด้วย 2 ซึ่งจะได้ $0.0069 \times 2 = 0.0138$ ซึ่งเท่ากับค่า P value ที่ได้จากค่า χ^2 และพบว่าค่า $Z^2 = (2.4618)^2 = 6.06 = \chi^2$

ตัวอย่างที่ 7.3

ในการวิจัยเชิงทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าในช่วงฤดูหนาวถ้าผู้สูงอายุได้รับวิตามินซีเพิ่มจากอาหารปกติจะช่วยป้องกันโรคหวัดได้หรือไม่ โดยมีผลการศึกษาสรุปในตารางต่อไปนี้

วิตามินซี	เป็นหวัด	ไม่เป็นหวัด
ไม่ได้รับ	92	208
ได้รับ	58	242

ในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับวิตามินซีกับการเป็นหวัด โดยใช้สถิติ χ^2 คำนวณได้ดังนี้

ตรวจสอบค่าคาดหวังในทุกช่องของตารางพบว่ามีค่าคาดหวังเกิน 5 จึงใช้สถิติ χ^2 ในการวิเคราะห์ โดยคำนวณค่า χ^2 ได้ดังนี้

$$\chi^2 = \frac{n(ad - bc)^2}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)}$$

$$= \frac{600[(92 \times 242) - (208 \times 58)]^2}{(92+208)(92+58)(208+242)(58+242)}$$

$$= 10.28$$

$\chi^2_{(1)} = 10.28$ ได้ค่า P value $= 0.001$

ค่า P value $= 0.001$ มีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐาน แสดงว่าการได้รับวิตามินซีช่วยป้องกันโรคหวัด

ในการวิเคราะห์เพื่อสรุปผลการวิจัยเชิงทดลองที่อยู่ในรูปตาราง 2×2 พบว่านักวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้สถิติ χ^2 โดยเฉพาะในการทดลองทางคลินิก ในกรณีที่ต้องการผลสรุปว่าอัตราการหายจากโรคหรืออัตราการเป็นโรคต่างกันหรือไม่ จะใช้การทดสอบค่าสัดส่วนโดยสถิติ Z หรือทดสอบความสัมพันธ์ด้วยสถิติ χ^2 จะให้ข้อสรุปที่เหมือนกัน แต่ถ้านักวิจัยต้องการทราบว่ากลุ่มทดลองให้ผลที่ดีกว่าหรือไม่ ซึ่งเป็นการทดสอบด้านเดียว จะต้องใช้การทดสอบค่าสัดส่วนโดยสถิติ Z เท่านั้น

7.2.3 การปรับแก้ค่าความต่อเนื่องของสถิติ χ^2

ข้อมูลจากตาราง 2×2 ที่แต่ละตัวแปรมีเพียง 2 กลุ่ม ในกรณีตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีขนาดเล็กทำให้การคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณจากการแจกแจง χ^2 ซึ่งเป็นการแจกแจงต่อเนื่องมีความคลาดเคลื่อน จึงควรมีการปรับแก้ค่าความต่อเนื่อง เช่นเดียวกันกับการทดสอบความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนโดยใช้สถิติ Z ที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.3 กรณีตาราง 2×2 การคำนวณค่า χ^2 ที่มีการปรับแก้ค่าความต่อเนื่องมีสูตรดังนี้

$$\chi^2 = \frac{n\left(|ad - bc| - \frac{n}{2}\right)^2}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)}$$

นำข้อมูลจากตัวอย่างที่ 7.2 มาคำนวณค่า χ^2_c ที่มีการปรับแก้ค่าความต่อเนื่องได้ดังนี้

$$\chi^2 = \frac{100\left(|10 \times 48 - 2 \times 40| - \frac{100}{2}\right)^2}{50 \times 12 \times 88 \times 50}$$

$$= 4.64$$

ค่า $\chi^2_{(1)} = 4.64$ ได้ค่า P value $= 0.031$

จากตัวอย่างที่ 7.2 ค่า χ^2 ที่ปรับแก้ค่าความต่อเนื่องได้ค่า P value = 0.031 ซึ่งใหญ่เป็น 2 เท่าของค่า P value (0.0138) ก่อนปรับแก้ค่าความต่อเนื่อง ทั้งนี้ เนื่องมาจากตัวอย่างมีขนาดเล็ก

การที่ค่า χ^2 หรือ P value ที่คำนวณจากการปรับแก้ค่าความต่อเนื่องแตกต่างจากก่อนปรับแก้มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง ถ้าขนาดตัวอย่างใหญ่ χ^2 ที่ปรับแก้ค่าความต่อเนื่องจะมีขนาดใกล้เคียงกับที่ไม่ได้ปรับแก้ แต่ถ้าขนาดตัวอย่างเล็กค่า χ^2 ที่ปรับแก้ค่าความต่อเนื่องจะมีขนาดเล็กกว่าที่ไม่ได้ปรับแก้มาก ถ้าใช้ χ^2 ที่ปรับแก้ค่าความต่อเนื่องสรุปผลจะทำให้โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด α น้อยลงแต่ในขณะเดียวกันก็จะทำให้ความผิดพลาด β เพิ่มขึ้น การมีขนาดตัวอย่างที่ใหญ่พอจะช่วยไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าว

ในกรณีที่ค่า χ^2 ที่คำนวณจาก 2 วิธีให้ข้อสรุปที่ต่างกัน ถ้านักวิจัยต้องการให้โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดในการสรุปว่าแตกต่างน้อยกว่าควรเลือกใช้ χ^2 ที่ปรับแก้ค่าความต่อเนื่องในการสรุปผล แต่เนื่องจากในปัจจุบันโปรแกรมสถิติสามารถคำนวณค่า P value ได้โดยตรงจากการทดสอบความแม่นตรง จึงควรนำผลจากการทดสอบความแม่นตรงมาช่วยในการสรุปผล

7.2.4 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่มที่ตัวอย่างในแต่ละกลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกันกรณีตาราง 2 × 2

งานวิจัยที่มีการจับคู่ (matched) หน่วยศึกษาทั้งในงานวิจัยเชิงทดลองและงานวิจัยเชิงวิเคราะห์ มีผลทำให้ตัวอย่างในแต่ละกลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน ตัวแปรที่จะนำมาหาความสัมพันธ์จะมีรูปแบบตารางมาตรฐานแสดงผลตามแบบตาราง 7.5

ตาราง 7.5 รูปแบบและสัญลักษณ์ของช่องในตาราง 2 × 2
กรณีที่ตัวแปรทั้งสองมาจากตัวอย่างที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน

		ผลที่เกิดในกลุ่มทดลอง (case) หรือในกลุ่ม after	
		+	−
ผลที่เกิดในกลุ่มควบคุม (control) หรือในกลุ่ม before	+	a	b
	−	c	d

ในการหาความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปรจะไม่สามารถใช้สถิติ $\chi^2 = \sum[(O_i - E_i)^2/E_i]$ ทดสอบความสัมพันธ์ ทั้งนี้ เพราะจำนวน a และ d ในตารางไม่สามารถใช้บอกความแตกต่างของสัดส่วนที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้ เพราะทั้ง 2 กลุ่มให้ผลเหมือนกัน ดังนั้นในการเปรียบเทียบกรณีตัวอย่างทั้งสองไม่เป็นอิสระต่อกันจะใช้เฉพาะค่าในช่อง b และ c มาคำนวณค่าสถิติที่ใช้เปรียบเทียบ สถิติที่ใช้ในการทดสอบความสัมพันธ์ คือ แมกนีมาร์ไคสแควร์ (McNemar χ^2) โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

กรณีไม่ปรับแก้ค่าความต่อเนื่อง $\quad \text{McNemar } \chi^2 = \dfrac{(b - c)^2}{b + c}$

กรณีปรับแก้ค่าความต่อเนื่อง $\quad \text{McNemar } \chi^2_c = \dfrac{(|b - c| - 1)^2}{b + c}$

ในกรณีที่ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีขนาดใหญ่ โดยพิจารณาจากค่า $(b + c) > 20$ McNemar χ^2 มีการแจกแจง χ^2 ที่องศาเสรี 1 และผลการทดสอบด้วยสถิติ McNemar χ^2 ให้ผลและข้อสรุปเช่นเดียวกันกับการทดสอบความแตกต่างระหว่างสัดส่วนของประชากร 2 กลุ่มกรณีที่ตัวอย่างในแต่ละกลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกันด้วยสถิติ Z

ในกรณีที่ค่า $(b + c) < 20$ ไม่สามารถใช้ McNemar χ^2 ในการทดสอบความสัมพันธ์ได้ ถ้านักวิจัยต้องการทดสอบจะต้องใช้วิธีการทดสอบความแม่นตรงที่คำนวณค่า P value ของการทดสอบโดยตรงจากการแจกแจงทวินาม

ตัวอย่างที่ 7.4

ในการเปรียบเทียบการสวมหมวกนิรภัยในขณะขับขี่รถจักรยานยนต์ของผู้ที่เคยได้รับอุบัติเหตุกับผู้ที่ไม่เคยได้รับอุบัติเหตุ นักวิจัยจับคู่ตัวอย่างที่สุ่มทั้ง 2 กลุ่มด้วยอายุและเพศ ผลการศึกษาดังแสดงในตารางต่อไปนี้ จงสรุปผลการศึกษา

ผู้ที่ไม่เคยได้รับอุบัติเหตุ	ผู้ที่เคยได้รับอุบัติเหตุ		รวม
	สวมหมวกนิรภัย	ไม่สวมหมวกนิรภัย	
สวมหมวกนิรภัย	18	7	25
ไม่สวมหมวกนิรภัย	23	72	95
รวม	**41**	**79**	**120**

จากแบบงานวิจัยตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน โดยที่ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ทั้งที่เคยและไม่เคยได้รับอุบัติเหตุถูกจับคู่กันเป็นคู่ๆ ตามอายุและเพศ ดังนั้นในการทดสอบสมมติฐานเพื่อดูความสัมพันธ์ของการเคยได้รับอุบัติเหตุกับการสวมหมวกนิรภัยในการขับขี่รถจักรยานยนต์ จึงใช้สถิติ McNemar χ^2

ค่า b + c = 7 + 23 = 30 มีค่าเกิน 20 ใช้สถิติ McNemar χ^2 ได้

$$\text{McNemar } \chi^2 = \frac{(|b - c| - 1)^2}{b + c} = \frac{(|7 - 23| - 1)^2}{7 + 23} = 7.5$$

$$\chi^2_{(1)} = 7.5 \quad \text{ได้ค่า} \quad P \text{ value} < 0.01$$

ค่า P value ที่ได้ < 0.01 มีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการทดสอบปฏิเสธสมมติฐาน สามารถสรุปได้ว่าประสบการณ์จากการที่เคยได้รับอุบัติเหตุช่วยให้มีอัตราการสวมหมวกนิรภัยขณะขับขี่รถจักรยานยนต์เพิ่มมากขึ้น

7.2.5 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่ม โดยใช้การทดสอบความแม่นตรงฟิชเชอร์

ในกรณีที่ข้อมูลการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรแจงนับที่ค่าคาดหวังในตารางไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้สถิติ χ^2 การคำนวณค่า P value ของการทดสอบความสัมพันธ์จะคำนวณโดยตรงจากการแจกแจงความน่าจะเป็น ซึ่งเรียกการทดสอบที่มีการคำนวณค่า P value โดยตรงนี้ว่าการทดสอบความแม่นตรง ในกรณีทดสอบความสัมพันธ์

ระหว่างตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่มฟิชเชอร์ (Fisher) ได้เสนอวิธีคำนวณจากค่าความน่าจะเป็นจากการแจกแจงแบบไฮเพอร์จีออเมตริก (hypergeometric) จึงเรียกการทดสอบนี้ว่าการทดสอบความแม่นตรงฟิชเชอร์ การคำนวณต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก โดยปกติจะคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โปรแกรมสถิติทั่วไปคำนวณค่าการทดสอบความแม่นตรงฟิชเชอร์เฉพาะกรณีตาราง 2×2 เท่านั้น มีเพียงบางโปรแกรมที่สามารถคำนวณค่าการทดสอบความแม่นตรงฟิชเชอร์กรณีตาราง $r \times c$

ในการทดสอบด้วยการทดสอบความแม่นตรงฟิชเชอร์ ค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นค่า P value ของผลการทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน การสรุปผลการทดสอบทำโดยนำค่า P value ที่ได้นี้ไปเทียบกับค่า α ที่กำหนด

ค่า P value คำนวณจากความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงของค่า a b c และ d โดยที่กำหนดให้ผลรวมในแถวและสดมภ์มีค่าคงตัวเท่ากับค่าที่ได้จากการสังเกต การเปลี่ยนแปลงทำให้ได้ตาราง 2×2 เท่ากับจำนวนค่า a b c และ d ที่เปลี่ยนแปลงได้ โดยมีผลรวมในแถวและสดมภ์คงที่ ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงค่าในช่องต่างๆมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบไฮเพอร์จีออเมตริก ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นของแต่ละตารางจากสูตรดังนี้

$$p = \frac{(a+b)!\,(c+d)!\,(a+c)!\,(b+d)!}{a!\,b!\,c!\,d!\,n!}$$

ค่า P value จะได้จากการรวมค่า p ตั้งแต่ตารางที่ได้จากการสังเกตจนถึงตารางสุดท้าย

ตัวอย่างที่ 7.5

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการวิ่งออกกำลังกายกับการเป็นโรคความดันโลหิตสูงของพนักงานบริษัทจำนวน 20 คน พบว่ามีพนักงาน 9 คนวิ่งออกกำลังกายเป็นประจำ และมีพนักงาน 4 คนที่เป็นโรคความดันโลหิตสูง รายละเอียดการเป็นโรคของพนักงานทั้ง 2 กลุ่มแสดงอยู่ในตารางต่อไปนี้ จงสรุปผลการศึกษา

การวิ่งออกกำลังกาย	โรคความดันโลหิตสูง		รวม
	ป่วย	ไม่ป่วย	
วิ่งเป็นประจำ	1	8	9
ไม่ได้วิ่ง	3	8	11
รวม	**4**	**16**	**20**

วิธีการคำนวณค่า P value ทำโดยเพิ่มหรือลดค่า a ไปเรื่อยๆ ถ้าพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของผลรวมในแถวหรือในสดมภ์ก็จะหยุด จากข้อมูลคำนวณค่า p ของแต่ละตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 1

0	9
4	7

$$p_1 = \frac{9!\,11!\,4!\,16!}{0!\,9!\,4!\,7!\,20!} = 0.06811$$

ตารางที่ 2 ได้จากการสังเกต

1	8	9
3	8	11
4	16	20

$$p_2 = \frac{9!\,11!\,4!\,16!}{1!\,8!\,3!\,8!\,20!} = 0.30650$$

ตารางที่ 3

2	7
2	9

$$p_3 = \frac{9!\,11!\,4!\,16!}{2!\,7!\,2!\,9!\,20!} = 0.40867$$

ตารางที่ 4

3	6
1	10

$$p_4 = \frac{9!\,11!\,4!\,16!}{3!\,6!\,1!\,10!\,20!} = 0.19071$$

ตารางที่ 5

4	5
0	11

$$p_5 = \frac{9!\,11!\,4!\,16!}{4!\,5!\,0!\,11!\,20!} = 0.02601$$

การคำนวณค่า P value กรณีการทดสอบด้านเดียวจะรวมค่า p จากตารางที่สังเกตได้ถึงตารางสุดท้ายปลายด้านใดด้านหนึ่งตาม H_A ที่ตั้งไว้ว่ามากกว่าหรือน้อยกว่า เช่น ถ้าต้องการทราบว่าผู้ที่วิ่งออกกำลังกายเป็นประจำจะเป็นโรคความดันโลหิตสูงน้อยกว่าหรือไม่ ค่า P value จะได้จากการรวมค่า p ตั้งแต่ตาราง 2 ซึ่งได้จากการสังเกตและมีผู้ป่วยในกลุ่มผู้ที่วิ่งออกกำลังกาย 1 คน กับตาราง 1 ซึ่งมีผู้ป่วยในกลุ่มวิ่งออกกำลังกาย 0 คน

$$\begin{aligned} \text{P value} &= p_2 + p_1 = 0.30650 + 0.06811 \\ &= 0.37461 \end{aligned}$$

ในการคำนวณค่า P value กรณีการทดสอบสองด้านทำโดยรวมค่า p จากตารางที่สังเกตถึงตารางสุดท้ายด้านที่ใกล้ที่สุด คือ $p_2 + p_1$ รวมกับความน่าจะเป็นของปลายด้านที่เหลือโดยนำค่า p ของตารางที่มีค่าน้อยกว่าค่า p ของตารางที่ได้จากการสังเกต (p_2) ทั้งหมดมารวมกันเป็นค่า P value จากการทดสอบสองด้าน จากตัวอย่างพบว่า p_4 และ p_5 มีค่าน้อยกว่า p_2 ดังนั้น

$$
\begin{aligned}
\text{P value} &= (p_2 + p_1) + (p_4 + p_5) \\
&= (0.30650 + 0.06811) + (0.19071 + 0.02601) \\
&= 0.59133
\end{aligned}
$$

จากผลการทดสอบได้ค่า P value = 0.59133 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการทดสอบยอมรับสมมติฐาน ดังนั้นจากข้อมูลที่ศึกษามีเหตุผลควรเชื่อได้ว่าการวิ่งออกกำลังกายเป็นประจำไม่มีความสัมพันธ์กับการป่วยเป็นโรคความดันโลหิตสูง

7.3 การประมาณค่าขนาดของความสัมพันธ์

ในการทดสอบความสัมพันธ์ของการเป็นโรคพิษตะกั่วกับลักษณะงาน ถ้าพบว่าอัตราการเป็นโรคพิษตะกั่วของคนงานซ่อมหม้อน้ำรถยนต์แตกต่างจากคนงานที่ทำงานในสำนักงาน ผลการทดสอบด้วยสถิติ χ^2 จะระบุว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน แต่ไม่สามารถบอกขนาดของความสัมพันธ์ว่ามีมากน้อยเท่าไร ในการนำผลไปใช้งานตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมากย่อมสำคัญกว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์น้อย สถิติที่ใช้คำนวณขนาดความสัมพันธ์ คือ Relative Risk (RR) และ Odds Ratio (OR) ซึ่งใช้ในงานวิจัยด้านระบาดวิทยาเพื่อหาปัจจัยเสี่ยง หาปัจจัยช่วยพยากรณ์โรค (prognostic factors) และใช้แสดงขนาดของผลการรักษาในการทดลองทางคลินิก

7.3.1 การประมาณค่า Relative Risk (RR)

Relative Risk หรือ Risk Ratio เป็นสถิติที่ใช้บอกขนาดความแตกต่างของอัตราการเกิดโรคในกลุ่มที่ได้รับปัจจัยเสี่ยงว่ามีจำนวนเป็นกี่เท่าของกลุ่มที่ไม่ได้รับปัจจัยเสี่ยง

นำสัญลักษณ์ของจำนวนข้อมูลของช่องตาราง 2 × 2 มาเขียนเป็นสูตรคำนวณค่า RR ได้ดังนี้

$$\text{Relative Risk (RR)} = \frac{\text{อัตราการเกิดโรคในกลุ่มที่ได้รับปัจจัยเสี่ยง}}{\text{อัตราการเกิดโรคในกลุ่มที่ไม่ได้รับปัจจัยเสี่ยง}}$$

$$RR = \frac{a/(a + b)}{c/(c + d)}$$

การคำนวณค่า RR จากสัดส่วนของการเกิดโรคจะต้องทราบตั้งแต่เริ่มต้นว่ามีคนจำนวนเท่าไรที่ได้รับหรือไม่ได้รับปัจจัยเสี่ยง แล้วติดตามคนกลุ่มดังกล่าวไปเพื่อดูว่าเกิดโรคเท่าไร จึงสามารถคำนวณอัตราการเกิดโรคที่แท้จริงได้ ทำให้ RR ใช้ได้กับข้อมูลจากงานวิจัยแบบกลุ่มติดตามผลหรือการทดลองเท่านั้น ส่วนข้อมูลจากแบบงานวิจัยอื่นที่ไม่สามารถหาอัตราการเกิดโรคที่แท้จริงได้ จะหาขนาดความสัมพันธ์ด้วย Odds Ratio

นำข้อมูลจากตัวอย่างที่ 7.2 มาหา RR เพื่อดูขนาดของความสัมพันธ์ได้ดังนี้

	โรคพิษตะกั่ว		
ลักษณะงาน	**ป่วย$_{(D)}$**	**ไม่ป่วย$_{(\bar{D})}$**	**รวม**
ทำงานซ่อมหม้อน้ำ (E)	a = 10	b = 40	50
ทำงานสำนักงาน (E)	c = 2	d = 48	50
รวม	**12**	**88**	**100**

จากสูตรคำนวณค่า RR ถ้าสัดส่วนการเกิดโรคของคนที่ทำงานซ่อมหม้อน้ำ (ได้รับปัจจัยเสี่ยง) เปรียบเทียบกับคนที่ทำงานสำนักงาน (ไม่ได้รับปัจจัยเสี่ยง) เท่ากัน ค่า RR จะเท่ากับ 1 ถ้ากลุ่มได้รับปัจจัยเสี่ยงเกิดโรคมากกว่า ค่า RR จะมากกว่า 1 ถ้ากลุ่มได้รับปัจจัยเสี่ยงเกิดโรคน้อยกว่า ค่า RR จะน้อยกว่า 1 จากผลการคำนวณได้ค่า RR = 5 แสดงว่าคนที่ทำงานในร้านซ่อมหม้อน้ำรถยนต์มีโอกาสเกิดโรคพิษตะกั่วเป็น 5 เท่าของคนที่ทำงานในสำนักงาน

ในการศึกษาลักษณะการแจกแจงของ RR พบว่าการแจกแจงของตัวอย่าง ℓn RR (log ฐาน e ของ RR) มีการแจกแจงปกติ มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานดังนี้

$$SE(\ell n\, RR) = \sqrt{\frac{1}{a} - \frac{1}{a+b} + \frac{1}{c} - \frac{1}{c+d}}$$

การประมาณค่า RR ทำได้โดยใช้สูตรดังนี้

$$95\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ RR} = \ell n(RR) \pm Z_{\alpha/2}\, SE(\ell n\, RR)$$

นำข้อมูลจากตัวอย่างที่ 7.2 มาคำนวณ 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ RR ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
SE(\ell n\ RR) &= \sqrt{\frac{1}{10} - \frac{1}{50} + \frac{1}{2} - \frac{1}{50}} \\
&= 0.7483 \\
\ell n(95\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ RR}) &= \ell n(5) \pm Z_{0.025} \times 0.7483 \\
&= 0.1414,\ 3.077 \\
95\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ RR} &= e^{0.1414},\ e^{3.077} \\
&= 1.15,\ 21.69
\end{aligned}$$

จากค่าช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าลักษณะงานมีความสัมพันธ์กับการเป็นโรคพิษตะกั่ว จากการที่ค่า RR อาจมีค่าอยู่ระหว่าง 1.15 ถึง 21.69 แสดงว่าผู้ที่ทำงานซ่อมหม้อน้ำรถยนต์มีโอกาสเป็นโรคพิษตะกั่วมากกว่าผู้ที่ทำงานในสำนักงาน 1.15 เท่า หรืออาจมากถึง 21.69 เท่า ช่วงที่ได้ค่อนข้างกว้าง ข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหาทำได้ยากเพราะ 1.15 และ 21.69 ขนาดปัญหาต่างกันมาก คำแนะนำในการแก้ไขก็ต่างกัน การที่ช่วงความเชื่อมั่นกว้างมีสาเหตุมาจากตัวอย่างที่ใช้ศึกษามีขนาดเล็ก

7.3.2 การประมาณค่า Odds Ratio (OR)

ในกรณีที่ศึกษาด้วยแบบวิจัยภาคตัดขวาง (cross-sectional) หรือแบบวิจัยกลุ่มผู้ป่วย-ไม่ป่วย (case-control) จะไม่สามารถหาอัตราการเกิดโรคที่แท้จริงได้ การประมาณค่าขนาดความสัมพันธ์จะทำโดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนการเป็นโรคและไม่เป็นโรคในกลุ่มที่ได้รับและไม่ได้รับปัจจัยเสี่ยง

$$\text{Odds Ratio (OR)} = \frac{\text{อัตราส่วนการเป็นโรคและไม่เป็นโรคในกลุ่มที่ได้รับปัจจัยเสี่ยง}}{\text{อัตราส่วนการเป็นโรคและไม่เป็นโรคในกลุ่มที่ไม่ได้รับปัจจัยเสี่ยง}}$$

ในการศึกษาลักษณะการแจกแจงของ OR พบว่าการแจกแจงของตัวอย่าง ℓn (OR) มีการแจกแจงปกติ การคำนวณค่า OR และ 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ OR คำนวณจากสูตรดังนี้

ในกรณีที่ประชากรทั้ง 2 กลุ่มเป็นอิสระต่อกัน

$$OR = \frac{a/b}{c/d} = \frac{ad}{bc}$$

$$SE(\ell n\ OR) = \sqrt{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}}$$

ในกรณีที่ประชากรทั้ง 2 กลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน

$$OR = \frac{b}{c}$$

$$SE(\ell n\ OR) = \sqrt{\frac{1}{b} + \frac{1}{c}}$$

ตัวอย่างที่ 7.6

ในการศึกษาการวิจัยเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง (cross-sectional analytical study) เพื่อดูว่าภาวะซึมเศร้าของหญิงวัยทำงานมีความสัมพันธ์กับอายุหรือไม่ โดยแบ่งอายุออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มอายุ 20-40 ปี และ 41-60 ปี ผลการสำรวจแสดงในตาราง ต่อไปนี้ จงสรุปผลการศึกษา

กลุ่มอายุ (ปี)	ภาวะซึมเศร้า		
	ซึมเศร้า	ปกติ	รวม
41-60	15	65	80
20-40	5	115	120
รวม	**20**	**180**	**200**

คำนวณค่า OR ในกรณีที่ประชากรทั้ง 2 กลุ่มเป็นอิสระต่อกัน

$$OR = \frac{ad}{bc} = \frac{115 \times 15}{5 \times 65} = 5.3$$

จากค่า OR ที่ได้แสดงว่าค่า Odds ของภาวะซึมเศร้าของหญิงวัย 41-60 ปี สูงเป็น 5.3 เท่าของกลุ่มหญิงวัย 20-40 ปี

การประมาณค่า OR ทำได้โดยใช้สูตร

$\ell n[(1 - \alpha)$ ช่วงความเชื่อมั่นของ OR$] = \ell n(OR) \pm Z_{\frac{\alpha}{2}} SE(\ell n\ OR)$

นำข้อมูลมาคำนวณค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ OR ได้ดังนี้

15	65
5	115

$$SE(\ell n\ OR) = \sqrt{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{15} + \frac{1}{65} + \frac{1}{5} + \frac{1}{115}}$$

$$= 0.539$$

$$\ell n[95\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ OR}] = \ell n(OR) \pm Z_{0.025} SE(\ell n\ OR)$$
$$= \ell n(5.3) \pm 1.96 \times 0.539$$
$$= 0.6108,\ 2.7245$$
$$95\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ OR} = e^{0.6108},\ e^{2.7245}$$
$$= 1.842,\ 15.249$$

ช่วงความเชื่อมั่นของ OR ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าอายุมีความสัมพันธ์กับการเกิดภาวะซึมเศร้า โดยพบว่ากลุ่มหญิงที่มีอายุมากมีสัดส่วนของผู้มีภาวะซึมเศร้าอย่างน้อย 1.8 เท่า หรืออาจมากกว่าถึง 15.2 เท่า เมื่อเทียบกับกลุ่มหญิงที่อายุน้อยกว่า

ตัวอย่างที่ 7.7

นักวิจัยต้องการศึกษาว่าเกษตรกรที่สูบบุหรี่มีโอกาสได้รับพิษยาฆ่าแมลงมากกว่าเกษตรกรที่ไม่สูบบุหรี่หรือไม่ โดยออกแบบงานวิจัยเป็นแบบกลุ่มผู้ป่วย–ไม่ป่วย (case–control study) ตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มถูกจับคู่ด้วยอายุและเพศ ผลการศึกษาแสดงในตารางต่อไปนี้ จงสรุปผลการวิจัย

		กลุ่มผู้ได้รับพิษยาฆ่าแมลง		
		สูบบุหรี่	ไม่สูบบุหรี่	รวม
กลุ่มผู้ที่ไม่ได้รับพิษยาฆ่าแมลง (กลุ่มควบคุม)	สูบบุหรี่	2	3	5
	ไม่สูบบุหรี่	10	25	35
	รวม	12	28	40

คำนวณค่า OR ในกรณีที่ประชากรทั้ง 2 กลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน

$$OR = \frac{b}{c} = \frac{3}{10} = 0.3$$

$$SE(\ell n\ OR) = \sqrt{\frac{1}{b} + \frac{1}{c}} = \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{10}}$$
$$= 0.658$$

$$\ell n(95\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ OR}) = \ell n(0.3) \pm Z_{0.025} \times 0.658$$
$$= -2.4942,\ 0.0863$$
$$95\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ OR} = e^{-2.4942},\ e^{0.0863}$$
$$= 0.083,\ 1.09$$

ค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ OR มีค่า 1 อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น แสดงว่าการสูบบุหรี่ของเกษตรกรไม่มีส่วนสัมพันธ์กับการได้รับพิษจากยาฆ่าแมลง

7.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง RR กับ OR

ในกรณีที่มีอัตราการเกิดโรคต่ำๆ เช่น ในกรณีที่อัตราการเกิดโรคน้อยกว่าร้อยละ 5 ค่า a จะเล็กมากเมื่อเทียบกับค่า b และค่า c จะเล็กมากเมื่อเทียบกับค่า d จึงทำให้สัดส่วนการเป็นโรค (RR) มีค่าใกล้เคียงกับค่าอัตราส่วนของการเป็นโรค (OR)

$$\frac{a}{a+b} \approx \frac{a}{b} \quad \text{และ} \quad \frac{c}{c+d} \approx \frac{c}{d}$$

$$RR = \frac{a/(a+b)}{c/(c+d)} \approx \frac{a/b}{c/d} = OR$$

ค่า RR ที่คำนวณได้จึงมีค่าเท่ากับค่า OR ดังนั้นในกรณีที่อัตราการเกิดโรคต่ำๆจึงสามารถแปลผล OR ได้เหมือนกับ RR

สรุป

ในการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลแจงนับ สถิติ χ^2 ถูกใช้ในการทดสอบว่าค่าที่ได้จากการสังเกตแตกต่างจากค่าที่คาดว่าจะพบตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าพบว่าค่าทั้งสองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สรุปว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน ในกรณีตัวอย่างมีขนาดเล็กใช้สถิติการทดสอบความแม่นตรงฟิชเชอร์ทดสอบหาความสัมพันธ์แทนสถิติ χ^2

ผลการทดสอบด้วยสถิติ χ^2 ในกรณีตาราง 2 × 2 จะให้ผลสรุปสอดคล้องกับการทดสอบสมมติฐานเปรียบเทียบค่าสัดส่วนระหว่างประชากร 2 กลุ่ม

ในงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ ผลการศึกษาส่วนใหญ่แสดงอยู่ในรูปตาราง 2 × 2 ทำให้พบเห็นการใช้สถิติ χ^2 จำนวนมากในรายงานการวิจัย สถิติ χ^2 แสดงได้แต่เพียงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน แต่ไม่สามารถระบุได้ว่ามีขนาดความสัมพันธ์มากน้อยเพียงใด ทำให้มีข้อจำกัดในการนำผลสรุปไปใช้งาน เพราะปัจจัยที่มีความสัมพันธ์มากย่อมมีผลต่อการเกิดโรคมากกว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์น้อย ดังนั้นสถิติ RR และ OR จึงถูกใช้ในการคำนวณหาขนาดของความสัมพันธ์

บ ท ที่ 8

ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เป็นข้อมูลต่อเนื่องและตัวแบบทำนายผล

บทที่ผ่านมาเป็นการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่ม ในบทนี้จะอธิบายวิธีการวัดความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เป็นข้อมูลต่อเนื่อง เช่น การวัดความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับส่วนสูงของเด็กอายุ 6–15 ปี สถิติที่ใช้ในการวัดความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรกวัดอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่บอกได้ทั้งระดับและทิศทางความสัมพันธ์ ส่วนวิธีที่ 2 สร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ มีชื่อเรียกว่าสมการการถดถอย (regression equation) หรือตัวแบบการถดถอย (regression model) ซึ่งสมการที่สร้างขึ้นเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระนี้สามารถใช้เป็นตัวแบบในการทำนายผล (predictive model) ค่าของตัวแปรตามจากค่าของตัวแปรอิสระ

งานวิจัยที่ต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจำเป็นจะต้องมีองค์ความรู้ในการกำหนดตัวแปรในสมการ ตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่นำมาหาความสัมพันธ์จะต้องมีเหตุผลทางวิชาการสนับสนุนว่ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม จึงจะสามารถสรุปลักษณะความสัมพันธ์ได้ถูกต้อง มีบ่อยครั้งที่นักวิจัยทดลองจับคู่หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรโดยจับคู่ข้อมูลทุกตัวกับตัวแปรตาม ถ้าพบว่าตัวแปรใดมีความสัมพันธ์ก็นำมาสรุปในรายงาน การดำเนินการด้วยวิธีดังกล่าวจะมีโอกาสผิดพลาดในการระบุความสัมพันธ์ เพราะค่าสถิติจะคำนวณค่าความสัมพันธ์จากลักษณะข้อมูลที่แปรตามกัน การที่ข้อมูลแปรตามกันเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น มีความเกี่ยวพันกันจริง (cause and effect relationship) หรือตัวเลขเกิดขึ้นโดยความบังเอิญ ซึ่งไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ด้วยความรู้ทางวิชาการได้ หรือตัวแปรทั้งสองไม่ได้มีความสัมพันธ์กันโดยตรง แต่ตัวแปรทั้งสองต่างมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นทำให้ได้ข้อสรุปที่ผิด เช่น พบว่าปริมาณข้าวเหนียวที่รับประทานต่อวันมีความสัมพันธ์กับความโด่งของจมูก ทั้ง 2 ตัวแปรสัมพันธ์กับวัฒนธรรมการรับประทานและชาติพันธุ์ ไม่ใช่ว่าการรับประทานข้าวเหนียวเป็นสาเหตุให้จมูกแบน

ข้อมูลต่อเนื่อง 2 ตัวที่นำมาหาความสัมพันธ์จะต้องเป็นข้อมูลที่ได้มาจากหน่วยสังเกตเดียวกัน เรียกข้อมูลลักษณะนี้ว่าข้อมูล 2 ตัวแปร (bivariate) ในการดำเนินการวิเคราะห์ควรเริ่มด้วยการนำข้อมูลมาสร้างเป็นแผนภาพการกระจาย (scatter plot) โดยต้องดูลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่จะนำมาหาค่าความสัมพันธ์ก่อน วิธีการสร้างได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ในกรณีที่มีกลุ่มย่อย เช่น ข้อมูลแยกตามเพศ ควรทำแผนภาพการกระจายแยกตามกลุ่มย่อยด้วย จากแผนภาพการกระจายที่ได้นักวิจัยจะเห็นว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ความสัมพันธ์ที่พบมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงหรือมีลักษณะความสัมพันธ์แบบอื่นๆ เพื่อช่วยให้นักวิจัยสามารถเลือกใช้สถิติและวิธีการวิเคราะห์ได้อย่างเหมาะสม

8.1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นวิธีที่เสนอโดยเพียร์สัน (Pearson) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้วัดความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรต่อเนื่อง โดยให้ r เป็นสัญลักษณ์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวอย่าง และ ρ เป็นสัญลักษณ์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของประชากร

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีข้อตกลงเบื้องต้นว่าตัวแปรทั้งสอง (ทั้ง x และ y) จะต้องมีการแจกแจงปกติ หน่วยศึกษามีความเป็นอิสระต่อกันโดยค่า ρ จะเป็นค่าเฉลี่ยของผลคูณของคะแนนมาตรฐานของ x และ y

$$\rho = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{x_i - \mu_x}{\sigma_x}\cdot\frac{y_i - \mu_y}{\sigma_y}\right)$$

ในกรณีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวอย่างจะหารด้วย $n - 1$ เพื่อให้ได้ค่า r ที่เป็นตัวประมาณค่าที่ดีของ ρ

$$r = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{x_i - \bar{x}}{s_x}\cdot\frac{y_i - \bar{y}}{s_y}\right)$$

ปรับสูตรให้ง่ายสำหรับการคำนวณได้ดังนี้

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1}}{\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}\cdot\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}}$$

โดยที่ $\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$ เป็นความแปรปรวนร่วม [Cov(x, y)] $\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$ และ $\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$ เป็นความแปรปรวนของ x[Var(x)] และ y[Var(y)] ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ว่า

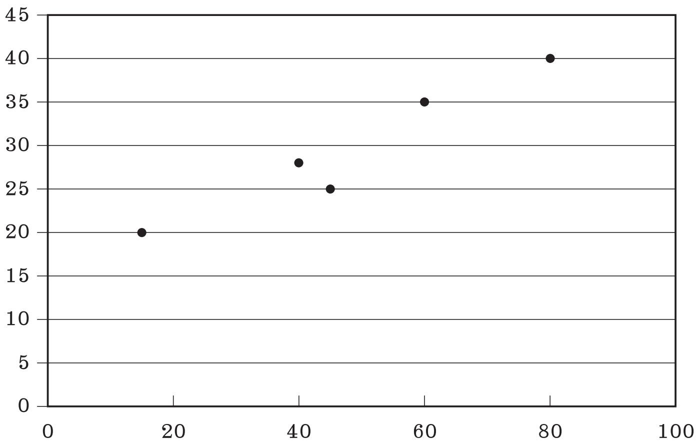
$$r = \frac{Cov(x, y)}{\sqrt{Var(x) \cdot Var(y)}}$$

วิธีการคำนวณค่าความแปรปรวนร่วมของ x และ y ทำได้โดยการนำค่า $(x - \bar{x})$ และ $(y - \bar{y})$ ของแต่ละหน่วยสังเกตมาคูณกัน นำผลคูณที่ได้จากทุกหน่วยสังเกตมารวมกันแล้วหารด้วย n – 1 ค่าที่ได้จะเป็นค่าความแปรปรวนร่วมของ x และ y

ตาราง 8.1 แสดงข้อมูล 2 ตัวแปรของตัวแปร x และ y

หน่วยสังเกตที่	x	y
1	15	20
2	40	28
3	45	25
4	60	35
5	80	40

ข้อมูลจากตาราง 8.1 นำมาสร้างแผนภาพการกระจายดังแสดงในภาพ 8.1 ซึ่งจะเห็นแนวโน้มมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง



ภาพ 8.1 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง x กับ y

ข้อมูลจากตาราง 8.1 นำมาคำนวณค่าแปรปรวนร่วมได้ดังนี้

หน่วยสังเกตที่	x	y	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
1	15	20	–33	–9.6	316.8
2	40	28	–8	–1.6	12.8
3	45	25	–3	–4.6	13.8
4	60	35	12	5.4	64.8
5	80	40	32	10.4	332.8
	$\bar{x} = 48$	$\bar{y} = 29.6$	$\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})$		741

$$\mathrm{Cov}(x, y) = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n - 1} = \frac{741}{5 - 1} = 185.25$$

ในกรณีตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงบวก คือเมื่อ x มีค่าเพิ่มขึ้น y จะเพิ่มตามค่า x ผลการคำนวณความแปรปรวนร่วมพบว่าเมื่อ x มีค่าน้อยกว่า $\bar{x}$ ค่า y ก็จะมีค่าน้อยกว่า $\bar{y}$ ทำให้ทั้ง $(x - \bar{x})$ และ $(y - \bar{y})$ มีค่าเป็นลบ (–) ผลคูณของ $(x - \bar{x})(y - \bar{y})$ ที่ได้คือ (–)(–) จะมีค่าเป็นบวก ในทำนองเดียวกันเมื่อ x มีค่ามากกว่า $\bar{x}$ พบว่า y จะมีค่ามากกว่า $\bar{y}$ ทำให้ผลคูณของ $(x - \bar{x})(y - \bar{y})$ ที่ได้มีค่าเป็นบวกเช่นกัน ทำให้ค่าความแปรปรวนร่วม (covariance) ที่คำนวณจากผลรวมของ $(x - \bar{x})(y - \bar{y})$ มีค่าเป็นบวก

ในกรณีที่ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงลบ คือเมื่อ x มีค่าเพิ่มขึ้นค่า y จะมีค่าลดลง หรือเมื่อ x มีค่าลดลง y จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์แบบนี้ผลการคำนวณความแปรปรวนร่วมพบว่าเมื่อ x มีค่าน้อยกว่า $\bar{x}$ ค่า y จะมีค่ามากกว่า $\bar{y}$ ทำให้ $(x - \bar{x})$ มีค่าเป็นลบ (–) แต่ $(y - \bar{y})$ มีค่าเป็นบวก (+) ผลคูณของ $(x - \bar{x})(y - \bar{y})$ ที่ได้คือ (–)(+) จะมีค่าเป็นลบ ในทำนองเดียวกันเมื่อ x มีค่ามากกว่า $\bar{x}$ ค่า y จะมีค่าน้อยกว่า $\bar{y}$ ทำให้ผลคูณของ $(x - \bar{x})(y - \bar{y})$ ที่ได้คือ (+)(–) มีค่าเป็นลบ ทำให้ค่าความแปรปรวนร่วมที่คำนวณจากผลรวมของ $(x - \bar{x})(y - \bar{y})$ มีค่าเป็นลบ

จากสูตร
$$r = \frac{\mathrm{Cov}(x, y)}{\sqrt{\mathrm{Var}(x) \cdot \mathrm{Var}(y)}}$$

ค่า Cov(x, y) จะมีค่าได้ไม่เกินค่า $\sqrt{\mathrm{Var}(x) \cdot \mathrm{Var}(y)}$ ดังนั้นค่า r ที่ได้จะมีค่าได้สูงสุดเท่ากับ 1 หรือ –1 โดยค่า r = +1 ในกรณีที่ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงสุด และ r = –1 ในกรณีที่ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงลบสูงสุด

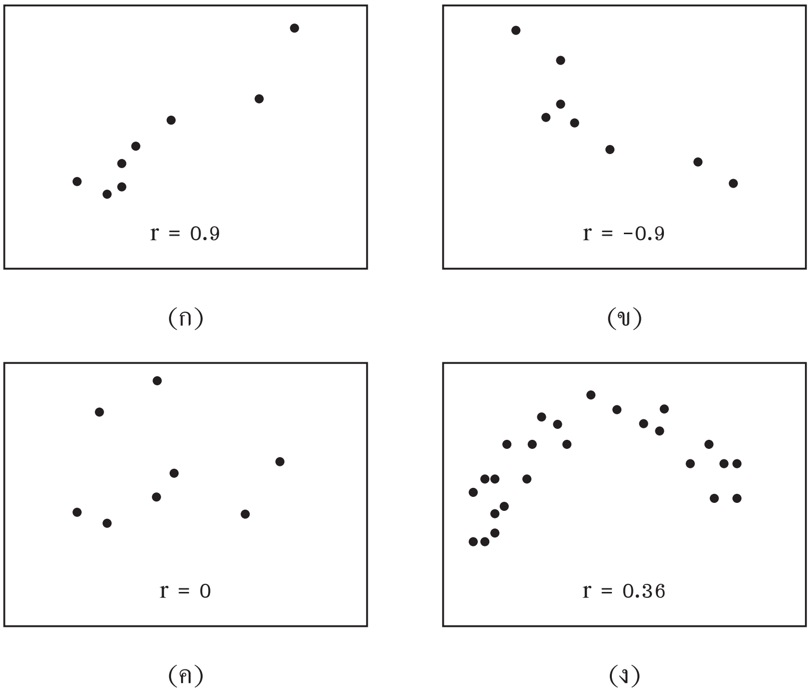
ในกรณีที่ตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน การเปลี่ยนแปลงของค่า x และ y ไม่มีความสัมพันธ์กันทำให้ค่า $(x - \bar{x})(y - \bar{y})$ มีทั้งค่าบวกและค่าลบ คละกันไปมา ทำให้ผลรวมของ $(x - \bar{x})(y - \bar{y})$ ที่ได้มีค่าน้อยใกล้ศูนย์ ทำให้ค่า r กรณีที่ตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กันมีค่าใกล้ศูนย์

ภาพ 8.2 (ก) เป็นการแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างอายุกับน้ำหนักของเด็กวัยเรียน ซึ่งพบว่าน้ำหนักแปรตามอายุที่เพิ่มขึ้น ส่วนภาพ 8.2 (ข) เป็นการแสดงความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างอัตราการเต้นของชีพจรกับการออกกำลังกาย โดยจะพบว่าผู้ที่ออกกำลังกายสม่ำเสมออัตราการเต้นของชีพจรจะต่ำกว่าผู้ที่ไม่ออกกำลังกาย ส่วนในภาพ 8.2 (ค) แผนภาพการกระจายไม่มีทิศทางของความสัมพันธ์ เป็นลักษณะที่แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน

ระดับความสัมพันธ์สูงสุดจะเท่ากับ +1 หรือ –1 แต่ในทางปฏิบัตินักวิจัยจะต้องเข้าใจธรรมชาติของข้อมูลเพื่อนำมาใช้ประกอบการตัดสินใจด้วย โดยพบว่าข้อมูลที่ได้จากการใช้เครื่องมือที่มีความเที่ยงสูงๆ เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง ความดันโลหิต หรือปริมาณสารเคมีในเลือด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงๆของตัวแปรดังกล่าวอาจมีค่าตั้งแต่ 0.7 ขึ้นไป แต่ถ้าเป็นตัวแปรที่วัดด้วยชุดคำถาม เช่น ระดับความรู้และการปฏิบัติตัว ระดับความต้องการความช่วยเหลือ ระดับความพึงพอใจ ฯลฯ เครื่องมือที่ใช้วัดมีความเที่ยงไม่สูงมาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อาจสูงและมีค่าตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป

ดังนั้นในการแปลความหมายของระดับความสัมพันธ์ นักวิจัยควรจะนำวิธีการวัดข้อมูลและค่า r ที่เคยพบจากรายงานวิจัยมาร่วมพิจารณาด้วย จะช่วยทำให้แปลผลได้ถูกต้องและตรงกับการใช้งานมากขึ้น

จากภาพ 8.2 (ง) ตัวแปร x และ y ไม่ได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ถ้านักวิจัยคำนวณค่า r โดยแทนค่าลงในสูตรก็สามารถคำนวณค่า r ได้เท่ากับ 0.36 ถ้านำค่า r ที่ได้ไปสรุปลักษณะความสัมพันธ์จะทำให้ได้ข้อสรุปที่ผิด เพื่อป้องกันความผิดพลาดดังกล่าว นักวิจัยควรทำการวิเคราะห์เบื้องต้นด้วยแผนภาพการกระจาย



ภาพ 8.2 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

นอกจากนี้ ควรมีการตรวจสอบการแจกแจงของตัวแปร x และ y ด้วยว่ามีการแจกแจงปกติตามที่กำหนดไว้ในข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์หรือไม่ ถ้าพบว่ามีตัวแปรใดที่ไม่ได้มีการแจกแจงปกติควรต้องทำการแปลงค่าให้ตัวแปรนั้นมีการแจกแจงปกติก่อนนำค่าที่แปลงได้ไปใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หรือในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดเล็กหรือข้อมูลที่ไม่สามารถแปลงให้เป็นการแจกแจงปกติ ควรนำค่าที่แปลงได้ไปหาความสัมพันธ์แบบข้อมูลลำดับที่โดยใช้สหสัมพันธ์ลำดับที่สเปียร์แมน (Spearman rank correlation) ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 18

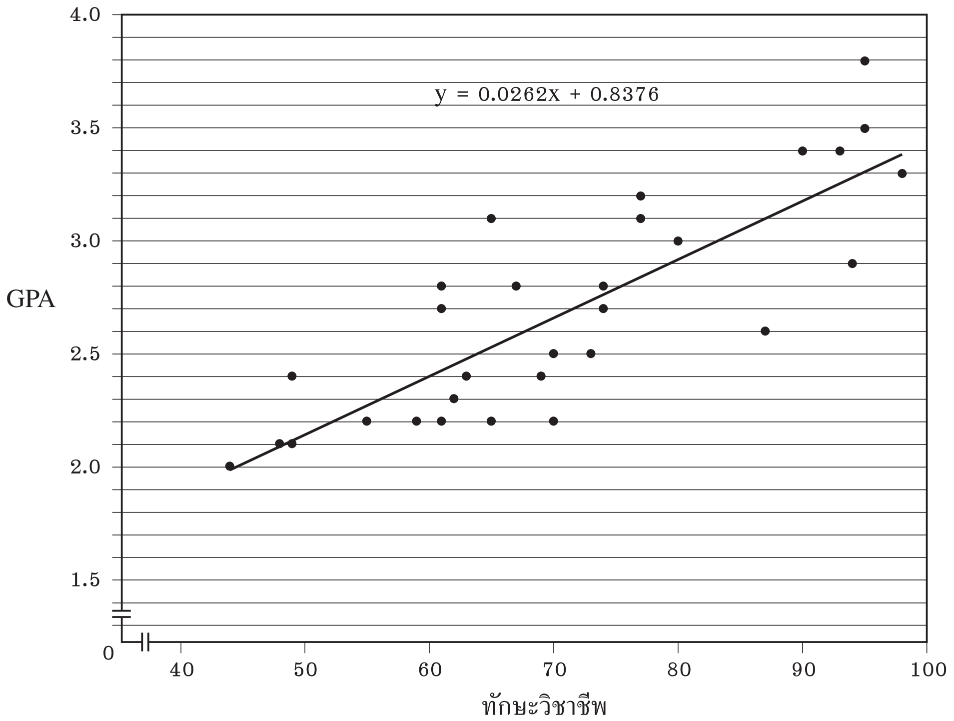
ตัวอย่างที่ 8.1

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนทักษะวิชาชีพจากการสอบคัดเลือกกับคะแนนเฉลี่ยสะสมเมื่อจบการศึกษา (GPA) ข้อมูลดังแสดงในตาราง

นักศึกษาลำดับที่	คะแนนทักษะวิชาชีพ (x)	GPA (y)	$(x - \bar{x})$	$(y - \bar{y})$	Cov(x, y) $(x - \bar{x}) \times (y - \bar{y})$
1	61	2.8	–9.83333	0.10667	–1.04889
2	95	3.8	24.1667	1.10667	26.74444
3	44	2	–26.8333	–0.69333	18.60444
4	93	3.4	22.1667	0.70667	15.66444
5	48	2.1	–22.8333	–0.59333	13.54778
6	73	2.5	2.16667	–0.19333	–0.41889
7	49	2.1	–21.8333	–0.59333	12.95444
8	61	2.2	–9.83333	–0.49333	4.85111
9	87	2.6	16.1667	–0.09333	–1.50889
10	94	2.9	23.1667	0.20667	4.78777
11	74	2.8	3.16667	0.10667	0.33777
12	61	2.7	–9.83333	0.00667	–0.06556
13	70	2.5	–0.83333	–0.19333	0.16111
14	90	3.4	19.1667	0.70667	13.54444
15	65	3.1	–5.83333	0.40667	–2.37222
16	70	2.2	–0.83333	–0.49333	0.41111
17	74	2.7	3.16667	0.00667	0.02111
18	77	3.2	6.16667	0.50667	3.12444
19	98	3.3	27.1667	0.60667	16.48111
20	67	2.8	–3.83333	0.10667	–0.40889
21	77	3.1	6.16667	0.40667	2.50777
22	69	2.4	–1.83333	–0.29333	0.53777
23	55	2.2	–15.8333	–0.49333	7.81111
24	59	2.2	–11.8333	–0.49333	5.83777
25	49	2.4	–21.8333	–0.29333	6.40444

นักศึกษาลำดับที่	คะแนนทักษะวิชาชีพ (x)	GPA (y)	$(x - \bar{x})$	$(y - \bar{y})$	Cov(x, y) $(x - \bar{x}) \times (y - \bar{y})$
26	63	2.4	–7.83333	–0.29333	2.29777
27	80	3	9.16667	0.30667	2.81111
28	62	2.3	–8.83333	–0.39333	3.47444
29	95	3.5	24.1667	0.80667	19.4944
30	65	2.2	–5.83333	–0.49333	2.87777
รวม	**2125**	**80.8**			**179.466**
เฉลี่ย	**70.833**	**2.693**			**6.1885**

นำข้อมูลคะแนนทักษะวิชาชีพและ GPA มาสร้างแผนภาพการกระจายได้ดังแสดงในภาพ 8.3 ซึ่งพบว่าคะแนนทักษะวิชาชีพและ GPA มีคะแนนแปรตามกันในทิศทางของความสัมพันธ์เชิงบวก



ภาพ 8.3 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนทักษะวิชาชีพกับ GPA

นำข้อมูลมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$= \frac{179.47}{\sqrt{(6850.167)(6.899)}}$$

$$= 0.826$$

ค่า r ที่คำนวณได้แสดงว่าคะแนนทักษะวิชาชีพจากการสอบคัดเลือกมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ GPA เมื่อจบการศึกษาในระดับสูง หมายความว่าผู้ที่สอบได้คะแนนทักษะวิชาชีพสูงจะมีคะแนนเฉลี่ยสะสมสูงเมื่อจบการศึกษา

8.1.1 การทดสอบสมมติฐานค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

การทดสอบสมมติฐานเพื่อพิสูจน์ว่าในประชากรตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ทำได้โดยการทดสอบ ρ ว่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ ในกรณีที่ $\rho = 0$ จะสรุปว่าในประชากรตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน

การแจกแจงของค่าสถิติ r เมื่อ ρ มีค่าใกล้ศูนย์ มีการแจกแจง t ที่องศาเสรี $n - 2$ มีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน $SE(r) = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}$

ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: = \rho = 0$ จึงใช้สถิติ t ในการทดสอบโดยมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$t = \frac{r - \rho}{\sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}}$$

หรือ $$t = \frac{r\sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r^2}}$$ เพราะเมื่อให้ $\rho = 0$ จึงตัดออกจากสูตรคำนวณ

ข้อมูลจากตัวอย่างที่ 8.1 ทำการทดสอบสมมติฐานได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 $H_0: \rho = 0$ $\quad H_A: \rho \neq 0$

ขั้นที่ 2 ใช้สถิติ $t = \frac{r\sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r^2}}$

ขั้นที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4 คำนวณ $t = \dfrac{0.826\sqrt{30-2}}{\sqrt{1-0.826^2}} = 7.74$

ค่า t ที่คำนวณได้ $t_{(28)} = 7.74$ ได้ค่า P value < 0.0001

ขั้นที่ 5 สรุปค่า P value < 0.0001 มีค่าน้อยกว่า $\alpha/2$ (0.025) ผลการทดสอบปฏิเสธสมมติฐานด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าคะแนนทักษะวิชาชีพมีความสัมพันธ์กับ GPA

8.1.2 การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่นของ ρ

การแจกแจงค่าสถิติ r จะเบ้เมื่อ ρ มีค่าสูงๆใกล้ +1 หรือ –1 ดังนั้นในการประมาณค่า ρ จึงไม่สามารถใช้สถิติ t ในการคำนวณช่วงความเชื่อมั่นได้ ฟิชเชอร์ได้เสนอวิธีการแปลงค่า r ที่มีการแจกแจงเบ้ให้เป็น $Z_{(r)}$ ที่มีการแจกแจงปกติ และใช้สถิติ $Z_{(r)}$ ในการคำนวณช่วงความเชื่อมั่น การแปลงค่า r ให้เป็นค่า $Z_{(r)}$ ทำได้ดังนี้

$$Z_{(r)} = \frac{1}{2}\ell n\left(\frac{1+r}{1-r}\right)$$

ค่า $Z_{(r)}$ ที่ได้จะมีการแจกแจงปกติ มีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ $\sqrt{1/(n-3)}$ การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่นคำนวณจากสูตร

$$(1-\alpha) \text{ ช่วงความเชื่อมั่นของ } Z_{(\rho)} = Z_{(r)} \pm Z_{\alpha/2}\sqrt{1/(n-3)}$$

เมื่อได้ค่าช่วงความเชื่อมั่นของ $Z_{(\rho)}$ แล้วให้ทำการแปลงค่า $Z_{(\rho)}$ กลับเป็นค่า ρ ด้วยสูตรดังนี้

$$\rho = \frac{e^{2(z_{(\rho)})}-1}{e^{2(z_{(\rho)})}+1}$$

จากตัวอย่างที่ 8.1 คำนวณค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ ρ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
Z_{(r)} &= \frac{1}{2}\ell n\left(\frac{1+r}{1-r}\right) \\
&= \frac{1}{2}\ell n\left(\frac{1+0.826}{1-0.826}\right) \\
95\% \text{ ช่วงความเชื่อมั่นของ } Z_{(\rho)} &= Z_{(r)} \pm Z_{0.025}\sqrt{1/(n-3)} \\
&= 1.174 \pm 1.96\sqrt{1/(30-3)} \\
&= 0.797,\ 1.551
\end{aligned}$$

$$95\% \text{ ช่วงความเชื่อมั่นของ } \rho = \frac{e^{2(0.797)}-1}{e^{2(0.797)}+1}, \frac{e^{2(1.551)}-1}{e^{2(1.551)}+1}$$

$$= 0.632, 0.808$$

จากค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ ρ ที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.63 กับ 0.8 สามารถสรุปได้ว่าคะแนนทักษะวิชาชีพอาจมีความสัมพันธ์กับ GPA สูง

8.1.3 ข้อควรระวังในการใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ข้อผิดพลาดที่มักจะพบในการใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีดังนี้

1) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์จากความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง มีบ่อยครั้งที่นักวิจัยไม่ได้ดูลักษณะความสัมพันธ์จากแผนภาพการกระจายก่อน เมื่อคำนวณค่า r ถ้าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จะสรุปความสัมพันธ์ผิดพลาด
2) ค่าที่ห่างผิดปกติจากกลุ่ม มีผลกระทบต่อการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ควรมีการตรวจสอบข้อมูลและแก้ไขข้อมูลก่อนการวิเคราะห์
3) การใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร นักวิจัยควรทำภายใต้กรอบความรู้หรือสมมติฐานที่มีเหตุผลทางวิชาการสนับสนุน ไม่ควรใช้วิธีจับคู่ตัวแปรที่เป็นไปได้ทุกคู่แล้วดูว่าคู่ใดมีความสัมพันธ์กัน
4) ข้อมูลแต่ละค่าต้องเป็นอิสระต่อกัน ในบางครั้งพบว่ามีการนำข้อมูลตัวแปรเดียวกันแต่เก็บคนละช่วงเวลามาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ซึ่งไม่ถูกต้อง เพราะข้อมูลของตัวแปรเดียวกันที่เก็บในแต่ละช่วงเวลาไม่เป็นอิสระต่อกัน
5) การแปลผลของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตรวจ 2 วิธี ข้อสรุปที่ได้แสดงว่าวิธีการตรวจทั้งสองให้ผลการตรวจสอดคล้องกัน (agreement) อย่างไร แต่ไม่ได้หมายความว่าวัดได้ตรง (validity) เหมือนกัน

8.2 ตัวแบบการถดถอย

ตัวแบบการถดถอย (regression model) เป็นการใช้สมการทางคณิตศาสตร์อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยมีตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรตาม ตัวแปรที่เหลือเป็นตัวแปรอิสระ ตัวแบบการถดถอยอย่างง่าย (simple linear regression model) หรือเรียกสั้นๆว่าตัวแบบการถดถอย ใช้แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปร 2 ตัว ถ้ามีตัวแปรอิสระหลายตัวในตัวแบบจะเรียกชื่อว่าตัวแบบการถดถอยพหุคูณ (multiple linear regression model) ซึ่งอธิบายไว้ในบทที่ 16

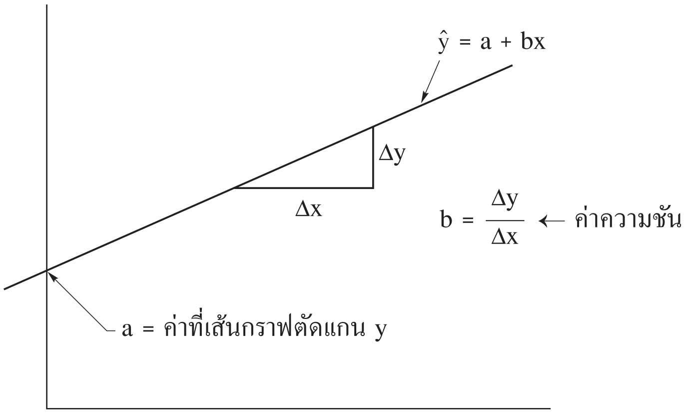
เซอร์ฟรานซิส กาลตัน (Sir Francis Galton) นักพันธุศาสตร์ได้ค้นพบว่าส่วนสูงของลูกมีความสัมพันธ์กับส่วนสูงของพ่อ โดยสามารถสร้างสมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ส่วนสูงของลูก} = 33.73 + 0.516(\text{ส่วนสูงของพ่อ})$$

จากสมการที่ได้ส่วนสูงของลูกเป็นตัวแปรตามและส่วนสูงของพ่อเป็นตัวแปรอิสระ เมื่อทราบค่าส่วนสูงของพ่อสามารถใช้สมการคำนวณค่าส่วนสูงของลูกได้ นอกจากนั้น เซอร์กาลตันยังพบปรากฏการณ์ว่าพ่อที่สูงมากๆลูกมีแนวโน้มจะสูงน้อยกว่าพ่อ และพ่อที่เตี้ยลูกมีแนวโน้มจะสูงกว่าพ่อ โดยเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการถดถอยเข้าสู่ค่าเฉลี่ย (regression toward the mean) การใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจึงถูกเรียกว่า สมการการถดถอยหรือตัวแบบการถดถอย ในปัจจุบันรูปแบบของสมการทำนายผลมีการพัฒนาทั้งรูปแบบและวิธีการ สามารถนำไปใช้อธิบายลักษณะความสัมพันธ์ในหลายรูปแบบที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการถดถอย เพียงแต่ชื่อของวิธีการยังคงใช้ชื่อเดิม

8.2.1 ตัวแบบทำนายผลเชิงเส้นตรง

ตัวแบบทำนายผลของตัวแปรตามหรือตัวแปรผล (y) จากค่าของตัวแปรอิสระ (x) อย่างง่ายมีรูปแบบของสมการดังนี้ $y = a + bx$



ภาพ 8.4 แสดงกราฟและค่าพารามิเตอร์ของสมการการถดถอย

จากสมการ a เป็นค่าคงตัวโดยเป็นค่าของ y เมื่อกำหนดให้ x มีค่าเป็นศูนย์ หรือเป็นค่าที่เส้นกราฟตัดแกน y ส่วน b เป็นค่าความชัน (slope) ของเส้นกราฟ ค่า b ได้จากอัตราส่วนของขนาดการเปลี่ยนแปลง เมื่อค่า x เปลี่ยนไป Δx หน่วย ค่า y จะเปลี่ยนตามไป

Δy หน่วย ทำให้ได้ความชัน $b = \Delta y/\Delta x$ ค่า b นี้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ใช้เป็นค่าแสดงความสัมพันธ์ ในกรณีที่ไม่มีความสัมพันธ์ความชันจะเท่ากับศูนย์ ทำให้เส้นกราฟขนานกับแกน x มีผลทำให้ค่า y มีค่าเท่าเดิมไม่ว่าค่า x จะเปลี่ยนแปลงเป็นค่าใด ในกรณีที่มีความสัมพันธ์ความชันมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ตัวแบบการถดถอยของประชากรมีรูปแบบสมการดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + e$$

โดยที่ β_0 คือค่าคงตัว เป็นค่าที่เส้นกราฟตัดแกน y จะประมาณค่า β_0 จากค่า a และค่า b เป็นค่าประมาณของ β_1 ส่วนค่า e เป็นค่าเบี่ยงเบนในการทำนายค่า y จากค่า x เรียกว่าเศษจากการประมาณ (residual) ถ้าให้ $\hat{y}$ เป็นค่าทำนายของ y จะคำนวณเศษจากการประมาณได้จาก $y - \hat{y}$

8.2.2 การสร้างตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย

ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่ายจะมีตัวแปรอิสระเพียงหนึ่งตัว การสร้างตัวแบบที่เหมาะกับข้อมูลจากตัวอย่างทำโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square method) ซึ่งจะคำนวณค่า a และ b ของสมการที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนกำลังสองของ $(y - \hat{y})^2$ มีค่าน้อยที่สุด โดยมีสูตรคำนวณค่า a และ b ดังนี้

$$b = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

ข้อมูลจากตัวอย่างที่ 8.1 นำมาสร้างตัวแบบการถดถอยโดยให้คะแนนทักษะวิชาชีพเป็นตัวแปรอิสระ (x) และ GPA เป็นตัวแปรตาม (y) นำมาคำนวณค่า a และ b ได้ดังนี้

$$b = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2} = \frac{179.47}{6850.167}$$

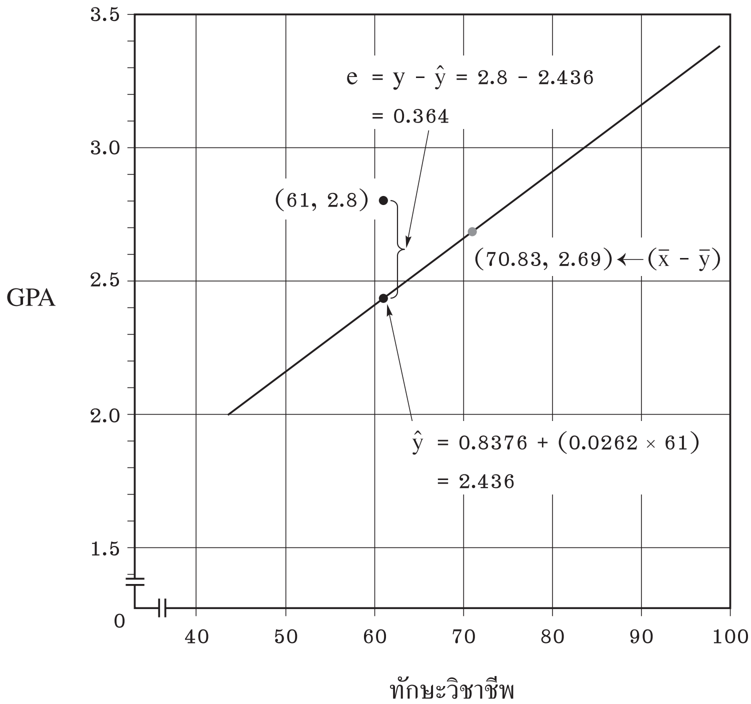
$$= 0.0262$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$= 2.693 - 0.0262 \times (70.83)$$

$$= 0.8376$$

นำค่า a และ b ที่คำนวณได้เขียนเป็นตัวแบบการถดถอยได้ดังนี้ $\hat{y} = 0.8376 + 0.0262x$



ภาพ 8.5 แสดงการเบี่ยงเบนของตัวแบบการถดถอย

จากภาพ 8.5 เส้นสมการที่สร้างขึ้นจะมีค่าจุด $(\bar{x}, \bar{y})$ อยู่บนเส้นกราฟ การคำนวณค่าเบี่ยงเบน (e) ทำได้ดังนี้ จากข้อมูลของนักศึกษาลำดับที่ 1 มีค่า $x = 61$ มีค่า $y = 2.8$ จากตัวแบบการถดถอยที่สร้างขึ้นเมื่อกำหนดให้ $x = 61$ คำนวณค่า $\hat{y}$ ได้เท่ากับ 2.436 ดังนั้นค่าเบี่ยงเบน (e) ของการประมาณจะเท่ากับ $(y - \hat{y})$ จะได้ว่า

ค่า e ของจุดที่ 1
$$\begin{aligned} e_1 &= y_1 - \hat{y} \\ &= 2.8 - 2.436 \\ &= 0.364 \end{aligned}$$

ในทำนองเดียวกันสามารถคำนวณค่า e ของทุกจุด ถ้านำค่า e ของทุกจุดมารวมกันจะพบว่ามีค่าเท่ากับศูนย์ $\sum e = 0$ เพราะค่า e มีทั้งบวกและลบ จึงนำค่า e มายกกำลังสองแล้วบวกกันเป็นผลรวมของค่าเบี่ยงเบนกำลังสอง ในการหาเส้นตรงที่เหมาะ (fit) กับข้อมูลมากที่สุดจะพิจารณาจากค่า $\sum e^2$ ถ้าเส้นตรงใดมีค่า $\sum e^2$ น้อยที่สุด (least square) เส้นตรงนั้นจะเหมาะกับข้อมูลมากที่สุด

8.2.3 การอนุมานค่าความชัน

การจะสรุปผลว่าสมการนี้ใช้ทำนายค่าความสัมพันธ์ในประชากรได้หรือไม่ ต้องมีการทดสอบสมมติฐานเพื่อสรุปว่าค่า β_1 ในประชากรมีค่าเป็นศูนย์หรือไม่ เพราะถ้าเป็นศูนย์แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน การทดสอบจะทำบนการแจกแจงค่าสถิติ b โดยพบว่าการแจกแจงค่าสถิติ b มีการแจกแจง t ที่องศาเสรี n – 2 มีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน [SE(b)]

$$SE(b) = \sqrt{\frac{S^2_{y/x}}{\sum(x-\bar{x})^2}}$$

โดยที่ $S^2_{y/x} = \frac{\sum(y-\hat{y})^2}{n-2}$ หรือ $S^2_{y/x} = \frac{\sum(y-\bar{y})^2 - b^2\sum(x-\bar{x})^2}{n-2}$

ในการทดสอบสมมติฐานจึงใช้สถิติ t มีสูตรดังนี้

$$t = \frac{b-\beta_1}{SE(b)}$$

หรือ $t = \frac{b}{SE(b)}$ เพราะเมื่อให้ค่า $\beta_1 = 0$ จึงตัดออกจากสูตรการคำนวณ

ข้อมูลจากตัวอย่างที่ 8.1 นำมาทดสอบสมมติฐานค่าความชันได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 สมมติฐาน $H_0: \beta_1 = 0 \quad H_A: \beta_1 \neq 0$

ขั้นที่ 2 สถิติที่ใช้ $t = \frac{b}{SE(b)}$

ขั้นที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าสถิติ t

$$S^2_{y/x} = \frac{\sum(y-\bar{y})^2 - b^2\sum(x-\bar{x})^2}{n-2}$$

$$= \frac{6.898667 - (0.0262)^2\, 6850.167}{30-2}$$

$$= 0.07846$$

$$SE(b) = \sqrt{\frac{S^2_{y/x}}{\sum(x-\bar{x})^2}} = \sqrt{\frac{0.07846}{6850.167}}$$

$$= 0.00338$$

$$t = \frac{b}{SE(b)} = \frac{0.0262}{0.00338}$$

$$= 7.7$$

จากค่า t ที่คำนวณได้ $t_{(28)} = 7.7$ ได้ค่า P value < 0.0001

ขั้นที่ 5 ค่า P value < 0.0001 มีค่าน้อยกว่าค่า $\alpha/2$ (0.025) ผลการทดสอบปฏิเสธสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าค่า β_1 มีค่าไม่เท่ากับศูนย์

การพิจารณาความสัมพันธ์ในประชากรจากช่วงความเชื่อมั่นของ β_1 ทำได้จากสูตร

$$(1-\alpha) \text{ ช่วงความเชื่อมั่นของ } \beta_1 = b \pm t_{\frac{\alpha}{2}(n-2)} SE(b)$$

ข้อมูลจากตัวอย่างที่ 8.1 นำมาคำนวณค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ β_1 ได้ดังนี้

$$95\% \text{ ช่วงความเชื่อมั่นของ } \beta_1 = 0.0262 \pm t_{0.025(28)}\ 0.00338$$

$$= 0.019,\ 0.033$$

จากค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ β_1 ไม่มีศูนย์อยู่แสดงว่าค่า β_1 ไม่เท่ากับศูนย์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

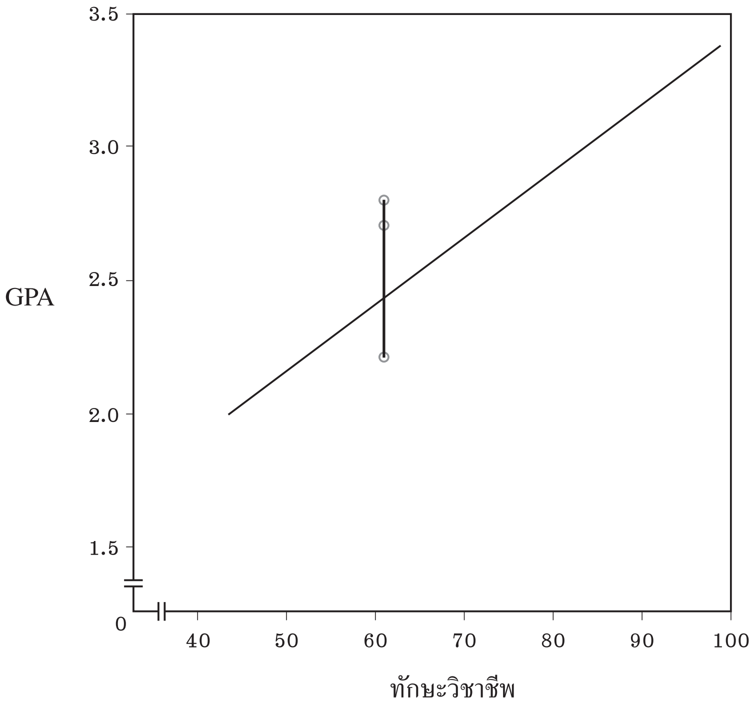
8.2.4 การใช้ตัวแบบการถดถอยทำนายค่าตัวแปรตาม

การประมาณค่าตัวแปรตาม y ทำได้ 2 แบบ คือ

1) ค่าสังเกตที่มีค่า x เท่ากันอาจมีค่า y ไม่เท่ากัน จึงประมาณค่าเฉลี่ยของ y ที่มีค่า x ที่กำหนด
2) จากค่า x ที่กำหนด ประมาณค่า y ค่าเดียว

โดยมีวิธีดำเนินการดังนี้

8.2.4.1 การประมาณค่าเฉลี่ยของ $y(\mu_{y/x})$



ภาพ 8.6 แสดงการประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่นของ $y(\mu_{y/x})$

จากข้อมูลตัวอย่างอาจพบว่าค่า x ค่าเดียวมีค่า y ได้หลายค่า ดังแสดงในภาพ 8.6 ดังนั้นในการทำนายค่า y จาก x จึงใช้ค่าเฉลี่ยของ $y(\mu_{y/x})$ เป็นตัวแทนค่า y ทั้งหลายที่มีค่า x เท่ากัน การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่นของ $y(\mu_{y/x})$ จากค่า x ที่กำหนดทำบนการแจกแจง t ที่องศาเสรี n – 2 โดยมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานดังนี้

$$SE(\mu_{y/x}) = \sqrt{S^2_{y/x}\left(\frac{1}{n} + \frac{(x-\bar{x})^2}{\sum(x-\bar{x})^2}\right)}$$

ช่วงความเชื่อมั่นของ $y(\mu_{y/x})$ คำนวณได้จากสูตร

$(1-\alpha)$ ช่วงความเชื่อมั่นของ $\mu_{y/x} = \hat{y} \pm t_{\frac{\alpha}{2}(n-2)} SE(\mu_{y/x})$

โดยที่ $\hat{y} = a + bx$

8.2.4.2 การประมาณค่า y ค่าเดียว

ในกรณีที่นักวิจัยต้องการทราบว่าจากค่า x ที่กำหนดให้มีโอกาสจะพบค่า y อยู่ระหว่างช่วงใด จะต้องประมาณช่วงความเชื่อมั่นของค่า y (ค่าเดียว) การประมาณค่าจะทำบนการแจกแจง t ที่องศาเสรี n – 2 โดยมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานดังนี้

$$SE(y) = \sqrt{S^2_{y/x}\left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum (x - \bar{x})^2}\right)}$$

ช่วงความเชื่อมั่นของ y คำนวณได้จากสูตร

$$(1 - \alpha) \text{ ช่วงความเชื่อมั่นของ } y = \hat{y} \pm t_{\frac{\alpha}{2}(n-2)} SE(y)$$

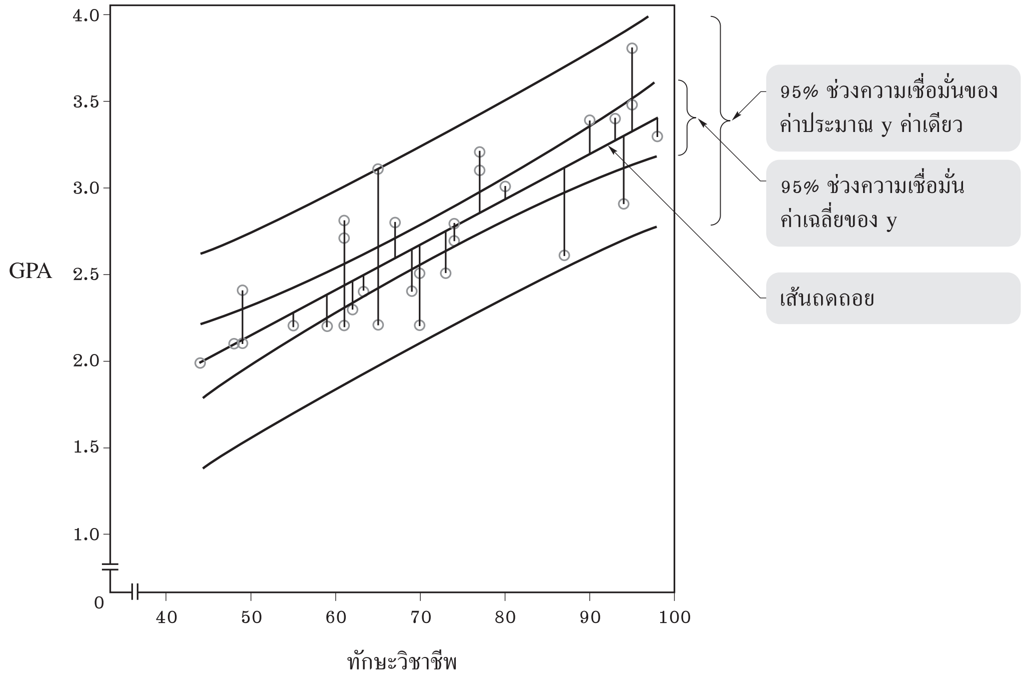
จากสูตรการคำนวณ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ y มีค่ามากกว่า $\mu_{y/x}$ จึงทำให้ช่วงความเชื่อมั่นของ y กว้างกว่าช่วงความเชื่อมั่นของ $\mu_{y/x}$ ข้อมูลจากตัวอย่างที่ 8.1 นำมาคำนวณค่าช่วงความเชื่อมั่นของ $\mu_{y/x}$ และ y ดังแสดงในตาราง 8.2

ถ้านำค่าช่วงความเชื่อมั่นของ $\mu_{y/x}$ ไปสร้างกราฟจะได้ภาพแถบความมั่นใจ (confidence bands) ของ $\mu_{y/x}$ คร่อมอยู่สองข้างของเส้นกราฟสมการการถดถอย ดังแสดงในภาพ 8.7 ในทำนองเดียวกันถ้านำค่าช่วงความเชื่อมั่นของ y ไปสร้างกราฟก็จะได้แถบความมั่นใจของ y คร่อมอยู่สองข้างของเส้นกราฟสมการการถดถอย โดยมีแถบความมั่นใจของ $\mu_{y/x}$ อยู่ภายใน

ตาราง 8.2 แสดง 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ $\mu_{y/x}$ และ y

ลำดับที่	x	$\hat{y} = a + bx$	$\mu_{y/x}$			y		
			SE	95% CI		SE	95% CI	
1	61	2.436	0.124	2.181	2.691	0.589	1.229	3.643
2	95	3.327	0.194	2.929	3.724	0.608	2.081	4.572
3	44	1.990	0.210	1.561	2.420	0.613	0.735	3.246
4	93	3.274	0.183	2.899	3.649	0.605	2.036	4.512
5	48	2.095	0.187	1.713	2.478	0.606	0.855	3.336
6	73	2.750	0.106	2.533	2.968	0.586	1.550	3.950
7	49	2.121	0.181	1.750	2.492	0.604	0.884	3.358

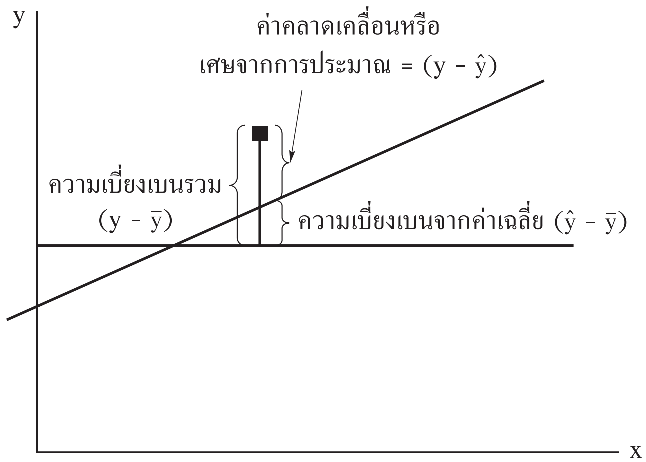
ลำดับที่	x	$\hat{y} = a + bx$	$\mu_{y/x}$			y		
			SE	95% CI		SE	95% CI	
8	61	2.436	0.124	2.181	2.691	0.589	1.229	3.643
9	87	3.117	0.152	2.806	3.428	0.596	1.897	4.337
10	94	3.300	0.189	2.914	3.687	0.606	2.059	4.542
11	74	2.776	0.107	2.557	2.996	0.586	1.576	3.977
12	61	2.436	0.124	2.181	2.691	0.589	1.229	3.643
13	70	2.672	0.105	2.456	2.887	0.586	1.472	3.871
14	90	3.196	0.167	2.854	3.537	0.600	1.967	4.424
15	65	2.541	0.112	2.311	2.771	0.587	1.338	3.743
16	70	2.672	0.105	2.456	2.887	0.586	1.472	3.871
$\bar{x}$	70	2.693	0.105	2.478	2.909	0.586	1.494	3.893
17	74	2.776	0.107	2.557	2.996	0.586	1.576	3.977
18	77	2.855	0.113	2.623	3.087	0.587	1.652	4.058
19	98	3.405	0.212	2.972	3.838	0.614	2.148	4.662
20	67	2.593	0.108	2.371	2.815	0.586	1.392	3.794
21	77	2.855	0.113	2.623	3.087	0.587	1.652	4.058
22	69	2.645	0.106	2.428	2.862	0.586	1.446	3.845
23	55	2.279	0.150	1.971	2.586	0.595	1.059	3.498
24	59	2.383	0.132	2.113	2.654	0.591	1.173	3.594
25	49	2.121	0.181	1.750	2.492	0.604	0.884	3.358
26	63	2.488	0.118	2.247	2.729	0.588	1.284	3.693
27	80	2.934	0.122	2.684	3.184	0.589	1.727	4.140
28	62	2.462	0.121	2.214	2.710	0.589	1.256	3.668
29	95	3.327	0.194	2.929	3.724	0.608	2.081	4.572
30	65	2.541	0.112	2.311	2.771	0.587	1.338	3.743



ภาพ 8.7 แถบความมั่นใจ (confidence bands) ของการประมาณค่า $\mu_{y/x}$ และ y

8.2.5 การประเมินตัวแบบ

เมื่อสร้างตัวแบบการถดถอยได้แล้ว นักวิจัยควรมีการประเมินตัวแบบด้วยว่าตัวแบบที่ได้เหมาะกับข้อมูลที่ศึกษามากน้อยเพียงใด การประเมินตัวแบบทำโดยดูจากอำนาจการทำนาย (coefficient of determination) ตัวแบบที่มีอำนาจการทำนายสูงจะเป็นตัวแบบที่ดี



ภาพ 8.8 แสดงความเบี่ยงเบนของการทำนายค่าจากตัวแบบ

จากภาพ 8.8 ความเบี่ยงเบน $(y - \bar{y})$ เป็นความเบี่ยงเบนที่เกิดจากข้อมูลแต่ละตัวเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย และ $(\hat{y} - \bar{y})$ เป็นส่วนเบี่ยงเบนที่เกิดจากค่า $\hat{y}$ ที่ได้จากตัวแบบการถดถอยเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย ความเบี่ยงเบนส่วนนี้เป็นความเบี่ยงเบนที่อธิบายได้โดยตัวแบบการถดถอย ส่วนที่เหลือ $(y - \hat{y})$ เป็นค่าคลาดเคลื่อนหรือเศษจากการประมาณ เป็นค่าที่ข้อมูลแต่ละตัวเบี่ยงเบนจากค่า $\hat{y}$ โดยพบว่าส่วนเบี่ยงเบนทั้ง 3 ค่ามีความสัมพันธ์กันดังนี้

ผลรวมกำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนรวม	=	ผลรวมกำลังสองของส่วนเบี่ยงเบนที่อธิบายได้โดยตัวแบบการถดถอย	+	ผลรวมกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน

$$SST = SSR + SSE$$

ค่าอำนาจการทำนาย (R^2) พิจารณาจากสัดส่วนของ SSR/SST ถ้าพบว่าความเบี่ยงเบนส่วนใหญ่อธิบายได้ด้วยตัวแบบการถดถอย แสดงว่าตัวแบบนี้เหมาะกับข้อมูลมาก ตัวแบบที่ได้จะสามารถใช้ในการทำนายได้ดี

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \quad \text{หรือ} \quad R^2 = \frac{b^2\sum(x - \bar{x})^2}{\sum(y - \bar{y})^2}$$

ถ้าตัวแบบเหมาะกับข้อมูลมากที่สุดค่า R^2 จะใกล้กับ 1 ในทางกลับกันถ้าค่า R^2 มีค่าน้อยถึงแม้ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน แสดงว่าตัวแบบที่ได้ไม่เหมาะกับข้อมูลทำให้มีอำนาจการทำนายน้อย

นำข้อมูลจากตัวอย่างที่ 8.1 มาคำนวณค่า R^2 ได้ดังนี้

$$R^2 = \frac{b^2\sum(x - \bar{x})^2}{\sum(y - \bar{y})^2}$$

$$= \frac{0.0262^2(6850.167)}{6.898667}$$

$$= 0.6815$$

จากผลการคำนวณตัวแบบการถดถอยที่สร้างขึ้นมีอำนาจการทำนาย 0.6815 หรือ 68.15% ค่าอำนาจการทำนาย R^2 จะมีค่าเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยกกำลังสอง $R^2 = (r)^2$

8.2.6 ข้อควรระวังในการใช้ตัวแบบการถดถอย

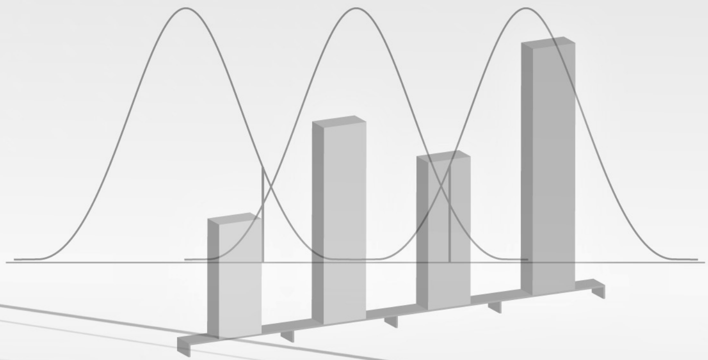
ข้อผิดพลาดที่มักจะพบในการสร้างตัวแบบการถดถอยเพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีดังนี้

1) การที่ไม่พบความสัมพันธ์มิได้หมายความว่าไม่มีความสัมพันธ์ แต่อาจมีความสัมพันธ์ในรูปแบบอื่น
2) ข้อมูลที่มีค่าผิดปกติจากกลุ่มมีผลกระทบต่อความเหมาะสมของตัวแบบ ในการวิเคราะห์ถ้าพบว่ามีค่าที่ห่างจากกลุ่มควรตัดค่าดังกล่าวออกจากการสร้างตัวแบบเพื่อเพิ่มอำนาจการทำนายของตัวแบบ
3) การประมาณค่านอกช่วง (extrapolation) ในการทำนายค่าตัวแปรตามด้วยตัวแบบที่สร้างขึ้นจะต้องทำอยู่ภายในช่วงของตัวแปร x ที่ศึกษาเท่านั้น เพราะความสัมพันธ์ของตัวแปร x และ y นอกช่วงข้อมูลที่ศึกษาอาจไม่มีความสัมพันธ์กัน หรืออาจมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบอื่น

สรุป

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรที่เป็นข้อมูลต่อเนื่องแสดงได้ด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ซึ่งแสดงได้ทั้งขนาดและทิศทาง การทดสอบสมมติฐานค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ข้อสรุปเพียงแต่ว่ามีความสัมพันธ์กันจริงในประชากร แต่ไม่สามารถบอกได้ว่ามีขนาดความสัมพันธ์มากหรือน้อย ช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะช่วยให้ได้ข้อสรุปทั้งเรื่องขนาดและทิศทางความสัมพันธ์ในประชากร

ตัวแบบการถดถอยสร้างขึ้นเพื่อใช้ทำนายค่าของตัวแปรตามจากค่าของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง การทดสอบสมมติฐานค่าพารามิเตอร์ในสมการจะให้ผลการทดสอบสอดคล้องกับผลการทดสอบสมมติฐานของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ผลการทดสอบตัวแบบการถดถอยไม่สามารถระบุว่าตัวแบบนั้นใช้ทำนายได้ดีหรือไม่ ในการพิจารณาว่าตัวแบบใช้ทำนายได้ดีมากหรือน้อยให้ดูจากค่าอำนาจการทำนาย



บทที่ 9
การคำนวณขนาดตัวอย่างและอำนาจการทดสอบ

การคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับงานวิจัยเป็นเรื่องสำคัญที่ผู้ทำวิจัย ผู้ให้ทุน คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ และผู้ที่จะใช้ผลงานวิจัยต้องการทราบว่าขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการตอบคำถามงานวิจัยควรเป็นเท่าใด การกำหนดขนาดตัวอย่างมากเกินไปใช้เวลาเก็บข้อมูลนานจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูล นอกจากนี้ ยังเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณและทรัพยากรในการดำเนินงานเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น ในกรณีการวิจัยทางคลินิกจะเป็นการผิดจริยธรรม ถ้าจำนวนผู้ป่วยที่เข้ามารับการทดลองมีจำนวนมากพอสามารถตัดสินได้ว่าวิธีรักษาใดดีกว่า แต่การที่นักวิจัยกำหนดขนาดตัวอย่างใหญ่กว่าที่ควรจะใช้ในการศึกษา ยังคงรับผู้ป่วยเข้าในการทดลองต่อไปเรื่อยๆ จะทำให้ผู้ป่วยกลุ่มหนึ่งได้รับการรักษาที่ได้ผลด้อยกว่า

ในทางตรงกันข้าม ถ้าขนาดตัวอย่างเล็กเกินไปค่าประมาณที่ได้จะมีความเที่ยงต่ำ ในการศึกษาเปรียบเทียบผลสรุปมีแนวโน้มที่จะไม่พบความแตกต่างเพราะอำนาจการทดสอบต่ำ เป็นการเสียทรัพยากรในการดำเนินงานแต่ได้คำตอบที่มีความเชื่อถือได้น้อย ในกรณีการวิจัยในมนุษย์จะเป็นการผิดจริยธรรมที่นำผู้ป่วยเข้ามาในการศึกษาที่ไม่สามารถตอบคำถามงานวิจัยได้ ดังนั้นในการทำวิจัยนักวิจัยจำเป็นต้องมีความรู้เพียงพอที่จะคำนวณขนาดตัวอย่างได้

ในการคำนวณขนาดตัวอย่างนักวิจัยควรทำความเข้าใจค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ในบทนี้จะอธิบายวิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับการประมาณค่าและทดสอบสมมติฐานที่ใช้บ่อยในงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

9.1 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณขนาดตัวอย่าง

ขนาดตัวอย่างจะแปรไปตามค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 3 ส่วน คือ

1) **ระดับความเชื่อมั่นของช่วงประมาณหรือโอกาสผิดพลาดในการสรุปผลการทดสอบสมมติฐาน**

ในการประมาณค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาด (α) เกิดจากการสุ่มตัวอย่างเพื่อสรุปลักษณะของประชากรจากค่าสถิติของตัวอย่าง ถ้านักวิจัยต้องการให้ช่วงประมาณมีระดับความเชื่อมั่น ($1 - \alpha$) สูง ค่าความผิดพลาด α จะมีขนาดเล็ก ทำให้ต้องใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่ในการประมาณค่า

ส่วนการเปรียบเทียบ (ทดสอบสมมติฐาน) ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดนี้จะมีอยู่ 2 ประเภท คือ ความผิดพลาด α และความผิดพลาด β ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.3 ถ้าต้องการให้โอกาสผิดพลาด α เล็กๆ ขนาดตัวอย่างจะต้องมีขนาดใหญ่ และถ้าต้องการให้การทดสอบมีอำนาจการทดสอบสูง (ความผิดพลาด β เล็กๆ) ขนาดตัวอย่างจะต้องมีขนาดใหญ่เช่นกัน

2) **ความแปรปรวนของตัวแปรผล**

งานวิจัยที่ตัวแปรผลมีความแปรปรวนน้อยจะใช้ตัวอย่างขนาดเล็กในการสรุปผล ในทางกลับกันถ้าตัวแปรผลมีความแปรปรวนมากจำเป็นจะต้องใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่ในการสรุปผล สูตรการคำนวณค่าความแปรปรวนจะแตกต่างกันไปตามประเภทข้อมูล แบบงานวิจัยและวิธีการสุ่มตัวอย่าง

3) **ความกระชับของการประมาณค่า** (precision of the estimate) หรือความต่างของผล (effect size) ในกรณีทดสอบสมมติฐาน

การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่นถ้าต้องการความกระชับของค่าประมาณให้ใกล้กับค่าจริงมากที่สุดจะต้องใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่ สำหรับการทดสอบสมมติฐานถ้าค่าสถิติที่จะนำมาเปรียบเทียบแตกต่างกันน้อยจะใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่ในการระบุความต่าง

การคำนวณขนาดตัวอย่างนอกจากต้องรู้วิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างแล้วนักวิจัยจะต้องมีความเข้าใจในเนื้อหาที่จะทำวิจัย มีการทบทวนองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างดี มีคำถามงานวิจัยที่ชัดเจน และมีการออกแบบงานวิจัยที่เหมาะสม ทั้งนี้ เพราะนักวิจัยจะต้องเป็นคนตัดสินใจกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในสูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างโดยอาศัยความรู้ในเนื้อหา ความรู้เรื่องระเบียบวิธีวิจัยและสถิติที่ใช้ในการสรุปผลงานวิจัย สำหรับทักษะในการคำนวณปัจจุบันมีโปรแกรมคำนวณขนาดตัวอย่างทั้งที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือมีโปรแกรมคำนวณให้ใช้บนเว็บเพจ (web page) การใช้งานโปรแกรมค่อนข้างง่าย นักวิจัยสามารถใช้ได้ด้วยตนเอง

วิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างจะแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์การศึกษา ประเภทของตัวแปรผล แบบงานวิจัย สถิติที่ใช้ในการสรุปผล และวิธีการสุ่มตัวอย่าง ในบทนี้จะอธิบายเฉพาะวิธีที่พบบ่อยๆ คือ การประมาณค่าสัดส่วนหรือค่าเฉลี่ย และการทดสอบสมมติฐานของค่าสัดส่วนหรือ

ค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน สำหรับการคำนวณขนาดตัวอย่างในงานวิจัยแบบอื่นจะอธิบายในบทที่ 10

9.2 การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อประมาณค่าสัดส่วนของประชากร

การประมาณขนาดตัวอย่างสำหรับการศึกษาเชิงพรรณนาที่มีตัวแปรผลเป็นตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่มสรุปผลเป็นค่าสัดส่วน ใช้มากในการสำรวจหาอุบัติการณ์ของโรค การประมาณค่าความไว (sensitivity) หรือความเฉพาะ (specificity) ของการทดสอบวินิจฉัยโรค (diagnostic test) และหาอัตราความครอบคลุมของการให้บริการสาธารณสุขด้านต่างๆ เช่น อัตราการได้รับวัคซีนของเด็กทารก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ $n = \dfrac{Z^2_{\alpha/2}p(1-p)}{e^2}$

โดย n = ขนาดตัวอย่าง

α = ความผิดพลาดจากการสุ่มตัวอย่างเพื่อสรุปลักษณะประชากรจากค่าสถิติของตัวอย่าง

Z = สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (confidence coefficient) ได้จากความเชื่อมั่นที่กำหนด $(1-\alpha)$

p = ค่าสัดส่วนของเหตุการณ์ที่สนใจ

e = ความกระชับของการประมาณค่า

ตัวอย่างที่ 9.1

ในการสำรวจเพื่อประมาณค่าอัตราการเป็นโรคพิษสุราเรื้อรังในประชากรอายุ 20 ปีขึ้นไป จากการสำรวจเมื่อ 5 ปีที่แล้วพบว่ามีผู้เป็นโรคพิษสุราเรื้อรังร้อยละ 5 จงคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อใช้ในการสำรวจครั้งนี้

ถ้านักวิจัยคิดว่าอัตราการเป็นโรคพิษสุราเรื้อรังน่าจะไม่น้อยกว่าเมื่อ 5 ปีที่แล้ว ในการคำนวณขนาดตัวอย่างจึงกำหนดค่าสัดส่วนในการคำนวณเท่ากับ 0.05 (ร้อยละ 5 เท่ากับที่พบเมื่อ 5 ปีที่แล้ว) นำมาคำนวณขนาดตัวอย่างได้ดังนี้

$p = 0.05$ ให้ $(1-\alpha) = 95\% \rightarrow \alpha = 0.05 \rightarrow Z_{\alpha/2} = 1.96$ ให้ $e = 0.01$

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.05 \times 0.95}{0.01^2}$$

$= 1,825$ คน

ในการสำรวจเพื่อประมาณค่าอัตราการเป็นโรคพิษสุราเรื้อรังจะต้องใช้ขนาดตัวอย่าง 1,825 คน

9.2.1 การกำหนดค่าสัดส่วนในการคำนวณขนาดตัวอย่าง

ค่า p ได้จากตัวแปรผลที่ใช้ตอบคำถามหลักของงานวิจัย ในกรณีที่งานวิจัยมีคำถามหลายคำถาม เช่น อยากทราบ ก) อัตราการเสียชีวิตของทารก ข) อัตราการเสียชีวิตของทารกแยกตามสาเหตุ นักวิจัยต้องมาจัดลำดับว่าคำถามใดเป็นคำถามหลัก ให้นำสัดส่วนของคำถามหลักเป็นค่า p สำหรับคำนวณขนาดตัวอย่าง คำตอบที่ได้จากจำนวนตัวอย่างดังกล่าวจะตอบคำถามหลักได้ถูกต้องตามความกระชับที่กำหนด แต่ขนาดตัวอย่างอาจจะไม่ใหญ่พอสำหรับทุกคำถามรองถ้าคำถามรองมีค่า p เล็กกว่า ถ้านักวิจัยต้องการให้ขนาดตัวอย่างใหญ่พอที่จะตอบคำถามทุกคำถามได้ตามขนาดของความกระชับที่กำหนด ค่า p ที่ใช้ในการคำนวณคือค่า p ที่มีค่าเล็กที่สุด เพื่อจะได้ค่าขนาดตัวอย่างใหญ่พอสำหรับทุกคำถาม

ในกรณีที่นักวิจัยทบทวนจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการศึกษาเรื่องเดียวกันในหลายที่แต่ละที่ค่า p ที่ได้ไม่เท่ากัน ควรเลือกค่า p โดยพิจารณาจากตัวแปรที่มีผลต่อขนาดของค่าสัดส่วนที่จะศึกษา เช่น พิจารณาจากความชุกของโรค ระบบการรักษา วิธีการป้องกันหรือสภาพของปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ให้ใกล้เคียงกันกับสถานที่หรือสถานการณ์ที่นักวิจัยจะทำการศึกษา ตัวอย่างการคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับการสำรวจอัตราการสวมใส่หมวกนิรภัยในการขับขี่รถจักรยานยนต์ในเขตเทศบาลจังหวัดอุดรธานี จากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาของการสำรวจอัตราการสวมใส่หมวกนิรภัยในการขับขี่รถจักรยานยนต์ในเขตเทศบาลจังหวัดชลบุรี เลย และสมุทรปราการ พบว่ามีอัตราการสวมใส่หมวกนิรภัยเท่ากับร้อยละ 28, 19 และ 34 ตามลำดับ ในการคำนวณขนาดตัวอย่างว่าควรจะใช้ค่า p ของจังหวัดใด ถ้านักวิจัยพิจารณาว่าอัตราการสวมใส่หมวกนิรภัยขึ้นอยู่กับขนาดของเมืองและการบังคับใช้กฎหมายของจังหวัด นักวิจัยควรเลือกอัตราการสวมใส่หมวกนิรภัยของจังหวัดที่มีสภาพของทั้ง 2 ปัจจัยใกล้เคียงกับจังหวัดอุดรธานีมากที่สุดมาคำนวณขนาดตัวอย่าง

ค่า p ที่ได้จากผลการศึกษาที่ผ่านมาสามารถนำไปแทนค่าในสูตรได้โดยตรง หรือในกรณีที่คิดว่าน่าจะมีการปรับค่าดังกล่าวตามปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อผลลัพธ์ (outcome) ก็สามารถทำได้ เช่น ในการสำรวจอัตราการเสียชีวิตของทารกในจังหวัดขอนแก่น จากรายงานวิจัยเมื่อ 15 ปีที่แล้วพบว่ามีค่า p = 0.07 ผู้วิจัยคิดว่าในช่วง 15 ปีที่ผ่านมามีการพัฒนางานด้านอนามัยแม่และเด็ก ประกอบกับในปัจจุบันเด็กทั้งหมดคลอดที่โรงพยาบาล ดังนั้นอัตราการเสียชีวิตของทารกน่าจะลดลงจากเดิมประมาณร้อยละ 30 จึงนำมาปรับค่า p จากที่พบเมื่อ 15 ปีที่แล้วลงร้อยละ 30 ได้ค่า p เท่ากับ 0.049 [0.07(1 – 30/100)] นำค่าที่ปรับได้นี้ไปใช้คำนวณขนาดตัวอย่าง

ในกรณีที่ไม่มีรายงานอยู่เลย ผู้วิจัยควรทำการศึกษานำร่อง (pilot study) แล้วนำค่า p จากการศึกษานำร่องนั้นมาประมาณค่าขนาดตัวอย่างในการศึกษา ปัจจุบันระบบการ

ค้นหาข้อมูลทำได้กว้างขวางนักวิจัยจะพบว่าแทบทุกปัญหาจะมีผู้ที่เคยทำการศึกษาแล้ว ถ้าใช้ค่า p จากการศึกษาที่ผ่านมาคำนวณขนาดตัวอย่างได้ก็จะประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทำการศึกษานำร่องเพื่อหาค่า p มาคำนวณขนาดตัวอย่าง

9.2.2 การกำหนดค่าความกระชับ (e) ในการคำนวณขนาดตัวอย่าง

สำหรับค่าความกระชับของการประมาณค่าเป็นค่าความต่างที่ยอมให้ค่าประมาณห่างจากค่าจริงได้เท่าไร ซึ่งความต่างนี้อาจกำหนดให้เป็นขนาดความต่าง เช่น อัตราการเสียชีวิตของทารก (p) เท่ากับ 50/1,000 ของเด็กเกิดมีชีพ ถ้าให้ผิดพลาดได้ ±10 คน/1,000 ค่า e = 0.01 หรือจะกำหนดความต่างเป็นร้อยละของ p (กำหนดค่า e เป็นค่าที่สัมพันธ์กับค่า p) เช่น กำหนดให้ความผิดพลาดเป็น 5% ของ p ค่า e ที่ได้จะเท่ากับ $(50/1{,}000) \times 0.05 = 0.0025$

การกำหนดค่า e ที่ไม่ถูกต้อง โดยการนำค่า 0.05 (ซึ่งเป็นค่า α) มากำหนดให้เป็นค่า e โดยเข้าใจว่าค่าความผิดพลาด α เป็นตัวเดียวกับค่า e (หนังสือหลายเล่มเรียกค่า e ว่า allowance error) การกำหนดค่า e เท่ากับ 0.05 โดยไม่พิจารณาขนาดของค่า p ว่าเป็นเท่าไร ทำให้กรณีที่ค่า p มีขนาดเล็กแต่ความต่างที่กำหนดจะมีขนาดใหญ่กว่าค่าของ p เช่น ในการหาค่า p ของอัตราการเกิดอาการที่ไม่พึงประสงค์ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 1 (p = 0.01) ถ้ากำหนดให้ e = 0.05 หมายถึงให้ผิดพลาดได้ ±5 คน/100 ซึ่งอาจได้ค่าประมาณอัตราการเกิดอาการที่ไม่พึงประสงค์ร้อยละ 6 ซึ่งแตกต่างจากค่าจริงถึง 5 เท่า หรืออาจพบค่าประมาณลบร้อยละ 4 ซึ่งไม่ถูกต้อง

การกำหนดค่า e นักวิจัยควรพิจารณาจากงานวิจัยที่ผ่านมาว่ามีการกำหนดค่า e เท่าไร หรือพิจารณาจากการใช้ประโยชน์ของค่าประมาณ เช่น ถ้าต้องการใช้ค่าประมาณไปเป็นข้อมูลในการวางแผนจัดบริการอาจกำหนดค่า e ให้มีขนาดใหญ่ได้ เพราะผู้มารับบริการร้อยละ 30 หรือร้อยละ 40 อาจมีรูปแบบวิธีการให้บริการเหมือนกัน แต่ถ้าใช้ในการประเมินผลงานว่าผ่านเกณฑ์หรือไม่อาจจำเป็นต้องใช้ค่า e ที่มีขนาดเล็ก การพิจารณาค่า e ต้องอาศัยความรู้ทางวิชาการ การใช้ประโยชน์จากค่าประมาณ และความเป็นไปได้ในการทำวิจัยประกอบการตัดสินใจ

9.2.3 การกำหนดระดับความเชื่อมั่นของช่วงประมาณ

นักวิจัยสามารถกำหนดระดับความเชื่อมั่นเท่าใดก็ได้ แต่ระดับความเชื่อมั่นที่นักวิจัยส่วนใหญ่นิยมกำหนดคือ 95% หรือ 99% จากความเชื่อมั่นที่กำหนดนักวิจัยสามารถคำนวณ

หาค่าความผิดพลาดของการประมาณแต่ละด้าน $\alpha/2$ นำค่าที่ได้ไปเปิดตารางสถิติเพื่อหาค่าความน่าจะเป็น $Z_{\alpha/2}$ ที่จะใช้แทนค่าในสูตรการคำนวณ

9.2.4 การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อการประมาณค่าสัดส่วนของประชากรกรณีทราบจำนวนประชากร

สูตรการคำนวณค่าความแปรปรวน $p(1 - p)$ คิดจากวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบหยิบแล้วใส่คืน แต่ในทางปฏิบัติเมื่อสุ่มได้หน่วยศึกษาใดเป็นตัวอย่างแล้วจะไม่มีการใส่กลับคืน การใช้วิธีการคำนวณค่าความแปรปรวน $p(1 - p)$ กับวิธีการสุ่มแบบได้แล้วไม่ใส่คืนจะทำให้ค่าความแปรปรวนที่ได้คลาดเคลื่อนมาก ในกรณีที่ประชากรมีขนาดเล็กจะต้องปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นด้วยค่าปรับแก้ประชากรมีเขตจำกัด (finite correction factor) $\sqrt{\frac{N - n}{N - 1}}$ ดังนั้นค่าความแปรปรวนที่ใช้ประมาณค่าสัดส่วนจะเท่ากับ $\frac{p(1 - p)}{n} \cdot \frac{N - n}{N - 1}$ เมื่อนำไปสร้างสูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างการประมาณค่าสัดส่วนของประชากรกรณีประชากรมีขนาดเล็กที่ทราบค่าประชากรคือ

$$n = \frac{Z^2_{\alpha/2}p(1 - p)(N - n)/(N - 1)}{e^2} \quad \text{หรือ} \quad n = \frac{NZ^2_{\alpha/2}p(1 - p)}{e^2(N - 1) + Z^2_{\alpha/2}p(1 - p)}$$

การปรับแก้ด้วยค่าปรับแก้ประชากรมีเขตจำกัด ถ้าค่าประชากร N มีขนาดใหญ่ โดยพิจารณาจากขนาดตัวอย่าง (n) ที่คำนวณได้จากสูตรไม่ปรับแก้มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5 ของประชากร (N) ค่า $\sqrt{(N - n)/(N - 1)}$ ที่คำนวณได้จะมีค่าใกล้ 1 ค่า n ที่คำนวณด้วยสูตรที่ปรับแก้หรือไม่ปรับแก้จะมีค่าไม่ต่างกัน

ถ้าค่า n ที่คำนวณได้จากสูตรที่ไม่ปรับแก้มีค่ามากกว่าร้อยละ 5 ของประชากร (N) นักวิจัยต้องคำนวณขนาดตัวอย่างจากสูตรที่ปรับแก้ด้วยค่าปรับแก้ประชากรมีเขตจำกัด

9.3 การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร

การประมาณค่าขนาดตัวอย่างสำหรับการศึกษาเชิงพรรณนากรณีที่ตัวแปรผลเป็นตัวแปรต่อเนื่อง สรุปลักษณะด้วยค่าเฉลี่ย เช่น การสำรวจเพื่อประมาณค่าเฉลี่ยของน้ำหนักทารกแรกคลอด ปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำดิบสำหรับการทำน้ำประปา ปริมาณฝุ่นบนถนน เป็นต้น สูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$n = \frac{Z^2_{\alpha/2}\sigma^2}{e^2}$$

โดย n = ขนาดตัวอย่าง

α = ความผิดพลาดจากการสุ่มตัวอย่างเพื่อสรุปลักษณะประชากรจากค่าสถิติของตัวอย่าง

Z = สัมประสิทธิ์ความมั่นใจ ได้จากความเชื่อมั่นที่กำหนด $(1 - \alpha)$

σ^2 = ความแปรปรวนของตัวแปรผลที่ใช้คำนวณขนาดตัวอย่าง

e = ความกระชับของการประมาณค่า

ตัวอย่างที่ 9.2

ในการสำรวจเพื่อประเมินปริมาณโปรตีนที่บริโภคต่อวันของวัยรุ่นอายุ 15–20 ปี จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวัยรุ่นบริโภคโปรตีนเฉลี่ย 55 มิลลิกรัม/วัน มี SD = 9 มิลลิกรัม

ถ้านักวิจัยคิดว่าความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนที่บริโภคต่อวันของวัยรุ่นอายุ 15–20 ปีในพื้นที่สำรวจเท่ากันกับความแปรปรวนที่พบในรายงานวิจัยที่ผ่านมา จึงนำมาคำนวณขนาดตัวอย่างได้ดังนี้

$$\sigma^2 = 9^2 \text{ ให้ } 1 - \alpha = 95\% \rightarrow \alpha = 0.05 \rightarrow Z_{\alpha/2} = 1.96$$

$$\text{ให้ } e \text{ เท่ากับร้อยละ 10 ของค่าเฉลี่ย} = \frac{55 \times 10}{100} = 5.5 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$n = \frac{1.96^2 \times 9^2}{5.5^2} = 10.3 = 11 \text{ คน}$$

การสำรวจเพื่อประเมินปริมาณโปรตีนที่บริโภคต่อวันของวัยรุ่นจะต้องใช้ขนาดตัวอย่าง 11 คน

จากสูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร ขนาดตัวอย่างจะแปรตามค่าพารามิเตอร์ 3 ตัว เช่นเดียวกันกับการประมาณค่าสัดส่วน โดยที่ค่า σ^2 เป็นค่าความแปรปรวนของตัวแปรผลที่ได้จากรายงานวิจัยที่ผ่านมา หลักและวิธีการเลือกค่า σ^2 ที่จะใช้ในการคำนวณขนาดตัวอย่างจะเป็นเช่นเดียวกันกับวิธีการเลือกค่า p ที่ได้อธิบายในหัวข้อ 9.2 สำหรับการกำหนดค่า e ในการประมาณค่า μ ในทางปฏิบัตินิยมกำหนดเป็นค่าร้อยละของ μ ขนาดตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณสำหรับใช้ในการประมาณค่าเฉลี่ยจะมีขนาดเล็กกว่าที่ใช้สำหรับการประมาณค่า ทั้งนี้ เพราะเครื่องมือที่ใช้วัดค่าตัวแปรผลมีความเที่ยงสูงทำให้ความแปรปรวนมีค่าเล็ก

9.4 การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่ม

การประมาณขนาดตัวอย่างสำหรับการวิจัยเชิงวิเคราะห์และการวิจัยแบบทดลองที่ตัวแปรผลเป็นตัวแปรต่อเนื่องที่ต้องการจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มทดลองโดยใช้สถิติ t การคำนวณขนาดตัวอย่างในกรณีนี้จะประกอบด้วยพารามิเตอร์ 3 ส่วน คือ

1) **ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน** ซึ่งจะมีความผิดพลาดอยู่ 2 ประเภท คือ ความผิดพลาด α และความผิดพลาด β ในการคำนวณขนาดตัวอย่างนักวิจัยจะต้องกำหนดค่าความผิดพลาด α และค่าอำนาจการทดสอบ (power) โดยนิยมกำหนดให้ α มีค่า 0.05 หรือ 0.01 ส่วนอำนาจการทดสอบ $(1 - \beta)$ นิยมกำหนดให้เท่ากับ 0.8 หรือ 0.9 ซึ่งจะทำให้ β มีค่า 0.2 หรือ 0.1 ตามลำดับ
2) **ความแปรปรวนของตัวแปรผล** โดยปกติจากรายงานวิจัยจะสามารถหาค่าความแปรปรวนของตัวแปรผลของกลุ่มควบคุมได้จึงใช้ค่าดังกล่าวในการคำนวณ ในกรณีที่มีค่าความแปรปรวนของทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมในรายงานเดียวกัน ควรคำนวณค่าความแปรปรวนร่วมแล้วใช้ค่าความแปรปรวนร่วมคำนวณขนาดตัวอย่าง ในกรณีที่มีงานวิจัยหลายงานวิจัยศึกษาในเรื่องเดียวกัน นอกจากจะพิจารณาจากคุณภาพของวิธีการวิจัยแล้ว ควรจะเลือกค่าความแปรปรวนจากงานวิจัยที่มีขนาดตัวอย่างใหญ่ที่สุด เพราะขนาดตัวอย่างที่ใหญ่กว่าค่า s^2 จากตัวอย่างจะใกล้กับค่า σ^2 มากกว่า
3) **ค่าความต่างของผล** (effect size) โดยปกติจะประมาณผลต่างที่คาดว่าจะพบจากข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น ในการทดสอบหน้ากากผ้าป้องกันยาฆ่าแมลง จากรายงานวิจัยพบว่าหน้ากากผ้าสามารถลดปริมาณละอองยาฆ่าแมลงได้ร้อยละ 60 ในการคำนวณจะนำค่าเฉลี่ยของปริมาณยาฆ่าแมลงในกลุ่มควบคุมที่ไม่มีหน้ากากผ้าป้องกันเป็นฐาน แล้วคำนวณว่าถ้าลดลงร้อยละ 60 จะเป็นค่าเท่าไร นำค่าดังกล่าวกำหนดเป็นค่าความต่างของผลในการคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้หน้ากากผ้าป้องกันในขณะพ่นยาฆ่าแมลง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$n/\text{กลุ่ม} = \frac{2(Z_\alpha + Z_\beta)^2\sigma^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$$

โดย n = ขนาดตัวอย่างต่อกลุ่ม

α = α error และ β = β error

σ^2 = ความแปรปรวนของตัวแปรผลที่ใช้คำนวณขนาดตัวอย่าง

$\mu_1 - \mu_2$ = ความต่างของผล

หมายเหตุ ใช้ Z_α ในสูตรกรณีการทดสอบสมมติฐานเป็นแบบด้านเดียว

$Z_{\alpha/2}$ ในสูตรกรณีการทดสอบสมมติฐานเป็นแบบ 2 ด้าน

ตัวอย่างที่ 9.3

ในการเปรียบเทียบการทำงานของปอด ค่าปริมาตรการหายใจออกเต็มกำลัง (forced expiratory volume–FEV) ระหว่างคนสูบบุหรี่กับคนไม่สูบบุหรี่ จากรายงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าค่า FEV ของคนที่ไม่สูบบุหรี่มีค่าเฉลี่ย 3.43 และค่า SD = 0.485 ถ้าการสูบบุหรี่มากกว่า 3 ปีจะทำให้ค่า FEV ลดลงร้อยละ 7 ในการศึกษาดังกล่าวควรใช้ขนาดตัวอย่างเท่าไร

จะได้ว่า $\sigma^2 = 0.485^2$

กำหนดให้ $H_0: \mu_{Ns} = \mu_s \qquad H_A: \mu_{Ns} > \mu_s$

กำหนดให้ $\mu_1 - \mu_2$ เท่ากับร้อยละ 7 ของค่าเฉลี่ย $= \dfrac{3.43 \times 7}{100} = 0.24$

กำหนดให้ $\alpha = 0.05 \rightarrow Z_{0.05} = 1.65$ อำนาจการทดสอบ 80% $\rightarrow Z_{0.2} = 0.84$

$$\text{n/กลุ่ม} = \frac{2(1.65 + 0.84)^2\, 0.485^2}{0.24^2} = 50.6 \approx 51$$

การเปรียบเทียบ FEV ระหว่างคนสูบบุหรี่กับคนไม่สูบบุหรี่ต้องใช้ขนาดตัวอย่างกลุ่มละ 51 คน

9.5 การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างประชากร 2 กลุ่ม

การคำนวณขนาดตัวอย่างวิธีนี้ใช้ในการวิจัยเชิงวิเคราะห์และการวิจัยเชิงทดลอง เช่น การทดลองวิธีการรักษาโรค การทดลองวิธีปฏิบัติการพยาบาล การทดลองในชุมชน การหาปัจจัยเสี่ยงของการเกิดโรค เป็นต้น คำถามงานวิจัยจะเกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบค่าสัดส่วน 2 กลุ่มด้วยสถิติ Z หรือ χ^2 สูตรที่ใช้ในการคำนวณขนาดตัวอย่างจะประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ 3 ส่วน เช่นเดียวกันกับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 9.4 สูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\text{n/กลุ่ม} = \frac{2(Z_\alpha + Z_\beta)^2\, p(1-p)}{(p_T - p_C)^2}$$

โดยที่ $p = (p_T + p_C)/2$

p_T = สัดส่วนในกลุ่มทดลอง

p_C = สัดส่วนในกลุ่มควบคุม

n = ขนาดตัวอย่างต่อกลุ่ม

α = α error และ $\beta = \beta$ error

$p_T - p_C$ = ความต่างของผล

หมายเหตุ ใช้ Z_α ในสูตรกรณีที่การทดสอบเป็นแบบด้านเดียว

$Z_{\alpha/2}$ ในสูตรกรณีที่การทดสอบเป็นแบบ 2 ด้าน

ตัวอย่างที่ 9.4

ในการศึกษาเพื่อประเมินว่าการที่แม่ได้รับการดูแลขณะตั้งครรภ์สามารถลดอัตราการคลอดก่อนกำหนดได้หรือไม่ จากรายงานพบว่าหญิงที่ไม่ได้ฝากครรภ์มีอัตราการคลอดก่อนกำหนด 20% และจากการประมาณของแพทย์คาดว่าแม่ที่ได้รับการดูแลขณะตั้งครรภ์สามารถลดอัตราการคลอดก่อนกำหนดเหลือ 10%

จะได้ว่า p_C คือ 20% หรือ 0.2 และค่า p_T คือ 10% หรือ 0.1

กำหนดให้ $H_0: \pi_T = \pi_C \quad H_A: \pi_T < \pi_C$

จาก $p_C = 0.2 \quad p_T = 0.1$ คำนวณค่า $p = (0.2 + 0.1)/2 = 0.15$

ให้ $\alpha = 0.05 \rightarrow Z_{0.05} = 1.65$ (การทดสอบด้านเดียว)

อำนาจการทดสอบ = 80 $\beta = 0.2 \rightarrow Z_{0.2} = 0.84$

$$\text{n/กลุ่ม} = \frac{2(1.65 + 0.84)^2 \times 0.15 \times 0.85}{(0.2 - 0.1)^2}$$

$$= 158 \text{ คน}$$

ดังนั้นในการทดสอบดังกล่าวจะต้องใช้ขนาดตัวอย่างกลุ่มละ 158 คน

ในกรณีที่มีผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่าวิธีการใหม่หรือยาใหม่มีผลดีกว่าเดิมแต่ยังไม่มีข้อมูลระบุว่า p_T ได้ผลดีกว่าเดิมมากน้อยเพียงใด การกำหนดความต่างของผลเพื่อคำนวณขนาดตัวอย่างให้ประมาณว่าวิธีการใหม่จะดีกว่าวิธีการเดิมที่ใช้อยู่ร้อยละเท่าใดเพื่อใช้คำนวณค่าความต่างของผล และค่าความต่างของผลที่คำนวณได้ควรมีขนาดใหญ่พอที่จะมีความสำคัญในการใช้งาน (clinical หรือ scientific importance) ตัวอย่างเช่น วิธีการรักษาที่ใช้อยู่เดิม (standard treatment) มีค่าสัดส่วนของการหาย $p_C = 0.7$ ถ้านักวิจัยกำหนดให้การรักษาใหม่ต้องดีกว่าเดิมร้อยละ 20 จึงจะมีความสำคัญในการใช้งาน จะคำนวณค่า p_T สำหรับนำไปคำนวณขนาดตัวอย่างได้ดังนี้

$p_C = 0.7$ p_T มากกว่า p_C ร้อยละ 20

จะได้ว่า $p_T = 0.7 + \dfrac{0.7 \times 20}{100} = 0.84$

จะได้ว่า $p_C = 0.7$ และ $p_T = 0.84$ สำหรับการคำนวณตัวอย่างในการศึกษา

9.6 อำนาจการทดสอบ

ในการสรุปผลจากการทดสอบสมมติฐานมีความเป็นไปได้ 2 กรณี คือ กรณีที่ความจริงผลการรักษาไม่ต่างกันจะมีโอกาสสรุปผิดพลาดเท่ากับ α error ซึ่งเราได้กำหนดไว้แน่นอนทุกครั้งในการทดสอบ ดังนั้นไม่ว่าขนาดตัวอย่างจะเล็กหรือใหญ่โอกาสที่จะผิดพลาดสูงสุดได้ไม่เกิน α ในกรณีที่ความจริงผลการรักษาต่างกันนักวิจัยมีโอกาสสรุปผิดพลาดเท่ากับ β error ซึ่งไม่ได้กำหนดไว้ในการทำการทดสอบ ในกรณีที่ตัวอย่างที่ใช้ศึกษามีขนาดเล็กผลการทดสอบ (H_0) ไม่ปฏิเสธสมมติฐานความเป็นจริงอาจจะมีทางเป็นไปได้ 2 กรณี คือ

- ไม่แตกต่างกันจริง
- มีความแตกต่างกันแต่ขนาดตัวอย่างไม่ใหญ่พอที่จะพิสูจน์ให้เห็นความแตกต่างได้

การพิจารณาว่าขนาดตัวอย่างใหญ่พอหรือไม่จะพิจารณาจากค่าอำนาจการทดสอบ ในกรณีที่ผลการทดสอบพบว่าไม่แตกต่างกันและตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษามีขนาดเล็กนักวิจัยควรคำนวณค่าอำนาจการทดสอบ ถ้าอำนาจการทดสอบมีค่า 0.7 ขึ้นไปจะสรุปว่าไม่แตกต่างกันจริง แต่ถ้าอำนาจการทดสอบมีค่าน้อยกว่า 0.7 แสดงว่าการทดสอบสมมติฐานมีอำนาจการทดสอบต่ำ ขนาดตัวอย่างไม่ใหญ่พอที่จะระบุความต่าง ให้นำค่าอำนาจการทดสอบไปสรุปผลร่วมกับผลการทดสอบสมมติฐานและช่วงความเชื่อมั่น (อธิบายในหัวข้อ 4.6.2) เพื่อแสดงขนาดความแตกต่างและอำนาจการทดสอบซึ่งจะช่วยให้ผู้ที่จะนำผลวิจัยไปใช้มีข้อมูลที่ครบถ้วนประกอบการตัดสินใจ

ในการคำนวณขนาดตัวอย่างก่อนการศึกษาได้กำหนดค่าอำนาจการทดสอบไว้ที่ 0.8 เมื่อเก็บข้อมูลทำการวิเคราะห์ผลพบว่าผลการทดสอบสมมติฐานแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อนักวิจัยคำนวณค่าอำนาจการทดสอบจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษา จะพบว่าค่าอำนาจการทดสอบที่คำนวณได้ต่ำกว่าที่ตั้งไว้มาก สาเหตุที่เกิดขึ้นเป็นเพราะนักวิจัยกำหนดค่าความต่างของผลที่ใช้คำนวณขนาดตัวอย่างใหญ่กว่าที่พบจริงในการศึกษา ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัย เช่น

- นำค่าความต่างของผลหรือ p_T จากงานวิจัยที่คุณภาพไม่ดี มีอคติในการวิจัย ทำให้ผลที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง มาใช้คำนวณขนาดตัวอย่าง
- นักวิจัยกำหนดค่าความต่างของผลไว้ค่อนข้างสูงเพราะต้องการให้ได้ตัวอย่างขนาดเล็กเพื่อจะได้ทำให้เสร็จตามเวลาหรือทรัพยากรที่มี

ในกรณีการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าสัดส่วนระหว่างประชากร 2 กลุ่ม จะมีวิธีการคำนวณค่าอำนาจการทดสอบดังนี้

จากสูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างประชากร 2 กลุ่ม

$$n = \frac{2(Z_\alpha + Z_\beta)^2 p(1-p)}{(p_T - p_C)^2}$$

นำมาปรับสูตรเพื่อหาค่า Z_β ได้ดังนี้

$$Z_\beta = \sqrt{\frac{n(p_T - p_C)^2}{2p(1-p)}} - Z_\alpha$$

โดยที่ $p = (p_T + p_C)/2$

p_T = สัดส่วนในกลุ่มทดลอง

p_C = สัดส่วนในกลุ่มควบคุม

α = α error และ β = β error

n = ขนาดตัวอย่างต่อกลุ่มที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่างที่ 9.5

ในการศึกษาเปรียบเทียบการรักษาผู้ป่วย 2 วิธี โดยใช้ตัวอย่างกลุ่มละ 50 คน ผลการศึกษาพบว่า $p_T = 0.7$, $p_C = 0.5$ ที่ $\alpha = 0.05$ ผลการทดสอบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ นำผลการศึกษาที่ได้มาคำนวณอำนาจการทดสอบได้ดังนี้

จะได้ว่า $n = 50$, $p_T = 0.7$, $p_C = 0.5$, $\alpha = 0.05 \rightarrow Z_\alpha = 1.65$

คำนวณค่า

$$p = \frac{0.7 + 0.5}{2} = 0.6$$

$$Z_\beta = \sqrt{\frac{50(0.7 - 0.5)^2}{2 \times 0.6(1 - 0.6)}} - 1.65 = 0.40$$

$Z_\beta = 0.40 \rightarrow \beta = 0.34$ อำนาจการทดสอบ $= 1 - \beta = 1 - 0.34 = 0.66$

ในการเปรียบเทียบดังกล่าวมีอำนาจการทดสอบ = 0.66

จากค่าอำนาจการทดสอบร้อยละ 66 เมื่อดูจากค่า p_T และ p_C ซึ่งแตกต่างกันค่อนข้างมาก ถ้าเพิ่มขนาดตัวอย่างให้มากกว่านี้ก็น่าจะพบความแตกต่างได้

การคำนวณอำนาจการทดสอบกรณีการเปรียบเทียบแบบอื่น ให้คำนวณจากสูตรคำนวณขนาดตัวอย่าง โดยแทนค่าขนาดตัวอย่าง ความแปรปรวน ความผิดพลาด α และความต่างของผลที่ได้จากการศึกษา คำนวณหาค่า Z_β จากค่า Z_β เปิดตารางเพื่อหาค่า β และคำนวณค่าอำนาจการทดสอบ $(1 - \beta)$ ได้

9.7 การใช้โค้งกำลังช่วยพิจารณาขนาดตัวอย่าง

งานวิจัยที่พบปัญหาว่าไม่สามารถหาผู้ป่วยมาทำการศึกษาได้ครบเท่ากับจำนวนที่คำนวณได้จากสูตร หรือถ้าจะหาให้ได้ครบก็จะต้องใช้เวลาเก็บข้อมูลนานเกินไปทำให้ผลการศึกษาที่ได้ไม่ทันต่อการเปลี่ยนแปลง จำเป็นจะต้องลดขนาดตัวอย่างลง ซึ่งมีผลทำให้อำนาจการทดสอบ $(1 - \beta)$ ลดลง

อำนาจการทดสอบนอกจากจะแปรตามขนาดของ n แล้วยังแปรตามความต่างของผล $(p_T - p_C)$ ด้วย ดังนั้นจึงสามารถนำกราฟที่สร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความต่างของ $p_T - p_C$ กับอำนาจการทดสอบซึ่งเรียกว่าโค้งกำลัง (power curve) มาใช้ช่วยในการตัดสินใจเพื่อกำหนดขนาดตัวอย่างได้

วิธีสร้างโค้งกำลังทำได้ดังนี้

1) กำหนดขนาดตัวอย่างที่ใหญ่ที่สุดที่สามารถทำได้
2) คำนวณ Z_β จากสูตร $Z_\beta = \sqrt{\dfrac{n(p_T - p_C)^2}{2p(1-p)}} - Z_\alpha$ โดยที่ $p = (p_T + p_C)/2$
3) นำค่า Z_β มาเปิดตารางหาค่า β และนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าอำนาจการทดสอบ $(1 - \beta)$
4) สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอำนาจการทดสอบกับความต่างของผล $(p_T - p_C)$ หรือค่า p_T

ตัวอย่างที่ 9.6

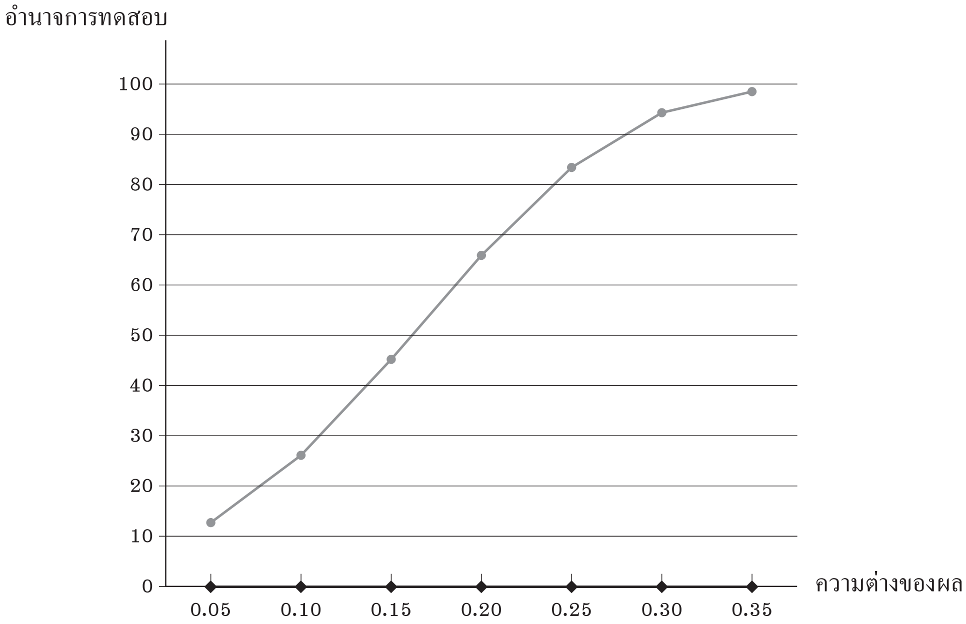
การรักษาโรคติดเชื้อระบบทางเดินปัสสาวะด้วยวิธีรักษาแบบเดิม (conventional treatment) มีอัตราการหาย 0.5 และผลการรักษาด้วย gentamycin จากรายงานมีอัตราการหาย 0.7 ขนาดตัวอย่างผู้ป่วยที่ใช้ในการศึกษาเพื่อจะสรุปความแตกต่างของผลการรักษาดังกล่าวที่ $\alpha = 0.05$ และ $\beta = 0.2$ จะต้องใช้กลุ่มละ 130 คน แต่ผู้ป่วยในโรงพยาบาลมีเพียงปีละ 50 คน ถ้ากำหนดระยะเวลาการศึกษาไว้ 2 ปีจะสามารถหาตัวอย่างได้เพียงกลุ่มละ 50 คน

ในกรณีนี้ควรที่จะสร้างโค้งกำลังช่วยในการกำหนดขนาดตัวอย่าง วิธีการสร้างกราฟแสดงอำนาจการทดสอบที่แปรตามความต่างของผล $(p_T - p_C)$ ทำได้ดังนี้

1) กำหนดค่า $n = 50$ และ $p_C = 0.5$ ไว้คงที่
2) เปลี่ยนค่า p_T เป็นค่าต่างๆ แล้วคำนวณหาอำนาจการทดสอบทุกค่าของค่า p_T ที่เปลี่ยนไป ผลการคำนวณแสดงในตารางในหน้า 171
3) ค่าอำนาจการทดสอบที่ค่า p_T ระดับต่างๆเมื่อกำหนดค่า $n = 50$

p_T	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55
P_C	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ความต่างของผล	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05
อำนาจการทดสอบ	98.5	94.3	83.4	65.9	45.2	26.1	12.7

นำข้อมูลจากตารางมาสร้างเป็นกราฟได้ดังนี้



ภาพ 9.1 โค้งกำลังเมื่อกำหนดค่า $n = 50$

จากภาพจะเห็นได้ว่าเดิมผลการรักษาแตกต่างกัน 0.2 มีอำนาจการทดสอบ = 0.66 ถ้าผลการรักษามีความแตกต่างเพิ่มขึ้นเป็น 0.25 จำนวนตัวอย่างที่ต้องใช้ในการศึกษาเพียง 50 คนก็จะมีอำนาจการทดสอบมากกว่า 80% ดังนั้นถ้าผู้วิจัยหรือผู้เชี่ยวชาญพบว่ามีความเป็นไปได้ที่การรักษาด้วย gentamycin จะแตกต่างจากการรักษาด้วยวิธีรักษาแบบเดิมถึงร้อยละ 25 ขนาดตัวอย่าง 50 ต่อกลุ่มจะเพียงพอต่อการตอบคำถามงานวิจัย

9.8 การปรับขนาดตัวอย่างในกรณีมีผู้ตกสำรวจหรือสูญหายจากการติดตาม

ในกรณีที่มีผู้ป่วยตกสำรวจหรือสูญหายจากการติดตาม (dropout) จากการศึกษาด้วยสาเหตุต่างๆ ขนาดตัวอย่างที่เหลือย่อมจะมีผลโดยตรงต่อความเที่ยงทางสถิติ (statistical precision) หรืออำนาจการทดสอบของการสรุปผลการศึกษา โดยปกตินักวิจัยจะต้องกำหนดกลวิธีในการป้องกันการตกสำรวจหรือสูญหายจากการติดตาม ในกรณีที่คิดว่าดำเนินการป้องกันแล้วคาดว่ายังจะมีผู้ตกสำรวจหรือสูญหายจากการติดตาม จำเป็นต้องมีการปรับเพิ่มขนาดของตัวอย่าง โดยนำอัตราการตกสำรวจหรืออัตราการสูญหายจากการติดตามมาใช้คำนวณปรับเพิ่มขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

n = ขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้จากสูตรการคำนวณขนาดตัวอย่าง

n_{adj} = ขนาดตัวอย่างที่ปรับแล้ว

R = สัดส่วนการตกสำรวจหรือสัดส่วนการสูญหายจากการติดตาม

การปรับขนาดตัวอย่างทดแทนการตกสำรวจในงานวิจัยเชิงพรรณนา

ในการวิจัยเชิงพรรณนาการปรับขนาดตัวอย่างเพื่อแก้ปัญหาการตกสำรวจทำได้โดยใช้สูตรดังนี้

$$n_{adj} = \frac{n}{(1 - R)}$$

เช่น ขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้ 540 คน คาดว่ามีผู้ตกสำรวจร้อยละ 5 จะได้ว่า $n = 540$ $R = 0.05$

$$n_{adj} = \frac{540}{(1 - 0.05)} = 568.4 \approx 569 \text{ คน}$$

การปรับขนาดตัวอย่างทดแทนการสูญหายจากการติดตามผลในงานวิจัยเชิงทดลอง

ในงานวิจัยเชิงทดลองการปรับขนาดตัวอย่างเพื่อแก้ปัญหาการสูญหายจากการติดตามทำได้ดังนี้

1) ถ้าทำการวิเคราะห์เฉพาะผู้ป่วยที่ติดตามได้ทั้งหมด โดยตัดผู้ป่วยที่สูญหายจากการติดตามออกจากการวิเคราะห์ (per protocol analysis) ให้ปรับขนาดตัวอย่างต่อกลุ่มโดยใช้สูตร

$$n_{adj} = \frac{n}{(1 - R)}$$

2) ถ้าไม่ตัดผู้ป่วยที่สูญหายจากการติดตามออกจากการวิเคราะห์ โดยยึดหลักการตั้งใจรักษา (principle of intention to treat) ให้ปรับขนาดตัวอย่างต่อกลุ่มโดยใช้สูตร

$$n_{adj} = \frac{n}{(1 - R)^2}$$

นอกจากวิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างที่พบบ่อยทั้ง 4 กรณีนี้แล้ว ยังมีวิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับการศึกษากรณีอื่นๆอีกซึ่งอธิบายไว้ในบทที่ 10

สรุป

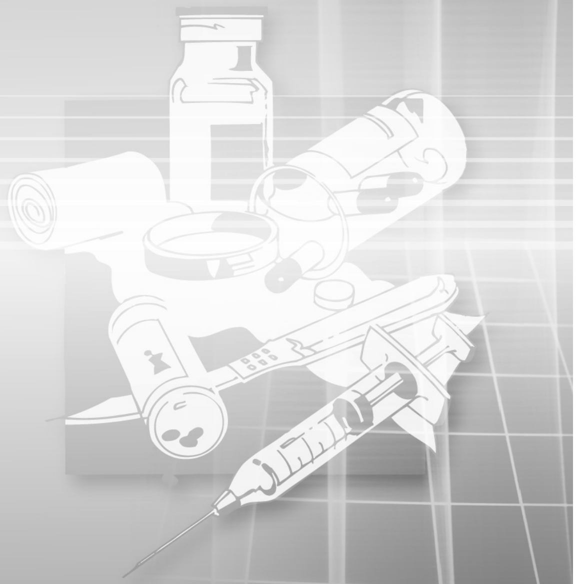
การคำนวณขนาดตัวอย่างทำโดยอาศัยข้อมูลจากการศึกษาที่ผ่านมาเป็นฐานในการคำนวณ ดังนั้นข้อมูลจากการศึกษาที่ผ่านมาที่จะนำมาใช้ควรมีการพิจารณาคุณภาพของงานวิจัยและบริบทที่เกี่ยวข้องกับผลการศึกษาให้ใกล้เคียงกับที่นักวิจัยจะทำการศึกษา

การทำความเข้าใจความหมายของพารามิเตอร์ที่ใช้แทนค่าในสูตรจะช่วยให้นักวิจัยสามารถกำหนดค่าต่างๆในการคำนวณได้อย่างถูกต้องเหมาะสม สูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างจะแตกต่างไปตามแบบงานวิจัยและประเภทของข้อมูลตัวแปรผล การคำนวณควรทำด้วยโปรแกรมคำนวณขนาดตัวอย่าง

การปรับขนาดตัวอย่างมีความจำเป็นต้องทำเพื่อป้องกันไม่ให้ข้อมูลที่เก็บได้จริงมีขนาดตัวอย่างเล็กกว่าที่กำหนด แต่สิ่งสำคัญที่ต้องทำควบคู่กันคือการสร้างมาตรการป้องกันไม่ให้มีผู้ตกสำรวจหรือสูญหายจากการติดตาม เพราะการเก็บเพิ่มเพียงช่วยให้ได้ขนาดตัวอย่างครบตามที่กำหนด แต่ไม่สามารถแก้ไขอคติที่เกิดจากความไม่เหมือนกันของข้อมูลของผู้ที่ตกสำรวจหรือสูญหายที่เก็บไม่ได้กับข้อมูลที่เก็บได้จากการสุ่มเพิ่ม

บทที่ 10

วิธีคำนวณขนาดตัวอย่างในการศึกษาแบบต่างๆ



แนวคิดในการคำนวณขนาดตัวอย่าง การคำนวณหาอำนาจการทดสอบ และวิธีการคำนวณที่พบบ่อยมี 4 กรณี ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 9 ในบทนี้จะนำเสนอวิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างในกรณีต่างๆเพิ่มเติม เพื่อให้เกิดความครอบคลุมสำหรับการทำวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ ส่วนวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณขนาดตัวอย่างใช้หลักการเดียวกันกับที่ได้เคยอธิบายไว้ในบทที่ 9 แล้ว

10.1 การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อหาความไวและความเฉพาะของการวินิจฉัยโรค

ในการคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อประมาณค่าความไว (sensitivity) หรือความเฉพาะ (specificity) ของการวินิจฉัยโรค ใช้วิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อการประมาณค่าสัดส่วนของประชากรกลุ่มเดียว เพราะค่าความไวและความเฉพาะเป็นค่าสัดส่วน ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$n = \frac{n_0 \times 100}{\text{อัตราการเป็นโรค}} \quad \text{โดยคำนวณค่า } n_0 \text{ จากสูตร } \quad n_0 = \frac{Z^2_{\alpha/2}\,p(1-p)}{e^2}$$

โดยที่ n = ขนาดตัวอย่าง

n_0 = จำนวนผู้เป็นโรคในกรณีต้องการหาค่าความไว หรือผู้ที่ไม่เป็นโรคในกรณีต้องการหาค่าความเฉพาะ

p = ค่าความไวหรือค่าความเฉพาะ

α = ความผิดพลาดของการสุ่มตัวอย่างเพื่อสรุปค่าสัดส่วนของประชากร

e = ความกระชับของการประมาณค่า

การคำนวณขนาดตัวอย่างกรณีที่ผลการวินิจฉัยใช้เป็นการตรวจคัดกรอง (screening test) ให้ใช้ค่าความไวเป็นค่า p ในการคำนวณขนาดตัวอย่างของผู้เป็นโรค (cases) ที่จะใช้ประมาณค่าความไว ถ้าผลการวินิจฉัยใช้ยืนยันการเป็นโรค (confirm test) ใช้ค่าความเฉพาะเป็นค่า p ในการคำนวณขนาดตัวอย่างผู้ที่ไม่เป็นโรคใช้ประมาณค่าความเฉพาะด้วยสูตร $n_0 = \frac{Z^2_{\alpha/2}p(1-p)}{e^2}$ นำค่า n_0 กับอัตราการเป็นโรค (percent prevalence) ของผู้ที่เข้ารับการตรวจในโรงพยาบาลที่เป็นสถานที่ศึกษามาคำนวณหาขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาได้ดังนี้

n = จำนวนผู้ป่วยที่ใช้ในการศึกษา

ในกรณีของการหาค่าความไว $$n = \frac{n_0 \times 100}{\text{อัตราการเป็นโรค}}$$

ในกรณีหาค่าความเฉพาะ $$n = \frac{n_0 \times 100}{100 - \text{อัตราการเป็นโรค}}$$

ตัวอย่างที่ 10.1

ในการทดสอบหาความไวของแบบทดสอบเพื่อคัดกรองผู้ป่วยโรคจิตในชุมชน จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแบบทดสอบดังกล่าวมีค่าความไวร้อยละ 82 จากรายงานพบว่าความชุกของผู้ป่วยโรคจิตในชุมชนมีร้อยละ 6 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาควรเป็นเท่าไร

แบบทดสอบมีความไว = 0.82 $\rightarrow$ p = 0.82

กำหนดให้ $\alpha = 0.05 \rightarrow Z_{0.025} = 1.96$ ให้ e = 0.10

$$n_0 = \frac{1.96^2 \times 0.82(1-0.82)}{0.10^2} = 56.702$$

$$n = \frac{n_0 \times 100}{\text{อัตราการเป็นโรค}}$$

$$n = \frac{56.702 \times 100}{6} = 945.03$$

$$\approx 946 \text{ คน}$$

ในการหาความไวของแบบคัดกรองผู้ป่วยโรคจิตในชุมชนต้องใช้ตัวอย่างในการทดสอบ 946 คน

10.2 การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่มที่ตัวอย่างในแต่ละกลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน

แบบงานวิจัยที่มีการศึกษาในหน่วยศึกษาเดียวกันมากกว่าหนึ่งครั้ง หรือการคัดเลือกกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีเงื่อนไขเชื่อมโยงกันเป็นคู่ๆ เมื่อตัวแปรผลที่ใช้ตอบคำถามหลักเป็นตัวแปรต่อเนื่อง การสรุปผลจะอยู่ในรูปการเปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ย สูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$n/\text{กลุ่ม} = \frac{(Z_\alpha + Z_\beta)^2 \sigma_d^2}{\Delta^2}$$

โดยที่ n = ขนาดตัวอย่าง

α = α error และ β = β error

σ_d^2 = ความแปรปรวนของผลต่าง

Δ = ผลต่างของค่าเฉลี่ย

ตัวอย่างที่ 10.2

ในการทดสอบความแตกต่างของความรู้ก่อนและหลังการได้รับการฝึกอบรมเสริมทักษะชีวิตให้รู้จักปฏิเสธเพื่อนที่ชักชวนให้ทดลองยาเสพติด จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสามารถทำให้ผู้ที่ได้รับการอบรมมีความรู้เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 3.2 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างเท่ากับ 4.3 ถ้าจะทำการศึกษาใหม่ในพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมต่างกันจะใช้จำนวนตัวอย่างเท่าไรในการศึกษา

จะได้ว่า $\sigma_d = 4.3$ $\Delta = 3.2$ กำหนดให้สมมติฐานการทดสอบเป็นแบบด้านเดียวหลังการฝึกอบรมมีความรู้เพิ่มขึ้น

ให้ $\alpha = 0.05 \rightarrow Z_{0.05} = 1.65$ อำนาจการทดสอบ = $0.90 \rightarrow Z_{0.1} = 1.28$

$$n/\text{กลุ่ม} = \frac{(Z_\alpha + Z_\beta)^2 \sigma_d^2}{\Delta^2}$$

$$n/\text{กลุ่ม} = \frac{(1.65 + 1.28)^2 \times 4.3^2}{3.2^2} = 16 \text{ คน}$$

ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความรู้ของการฝึกอบรมเสริมทักษะชีวิตเท่ากับ 16 คน

ข้อควรระวัง ในการคำนวณขนาดตัวอย่าง σ_d^2 กำหนดมาจากค่า s_d^2 จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาค่า s_d^2 คำนวณจากการนำค่าของแต่ละคู่มาหาผลต่าง นำค่าผลต่างที่ได้มาคำนวณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน ไม่ใช่ค่าความแปรปรวน (s^2) ของกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง การนำค่าความแปรปรวนจากรายงานวิจัยมาใช้ในการคำนวณขนาดตัวอย่างต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าเป็น s_d^2 ไม่ใช่ s^2 เพราะทั้ง 2 ตัวมีค่าแตกต่างกัน

ในรายงานวิจัยที่ไม่ได้ให้ค่า s_d^2 แต่ให้ค่า t (dependent t) นักวิจัยสามารถคำนวณค่า s_d^2 ได้จาก $s_d^2 = \bar{d}\sqrt{n}/t$ ถ้าไม่ให้ค่า $\bar{d}$ ให้คำนวณจาก $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$

10.3 การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อการเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างประชากร 2 กลุ่มที่ตัวอย่างในแต่ละกลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน

แบบงานวิจัยที่มีการให้สิ่งทดลองในหน่วยศึกษาเดียวกัน 2 อย่าง เช่น การทดสอบความรู้ก่อน–หลังการศึกษา (before–after study) หรือมีเงื่อนไขจับคู่หน่วยศึกษาระหว่างกลุ่มตัวอย่าง และมีตัวแปรที่ใช้ตอบคำถามหลักเป็นตัวแปรที่เป็นข้อมูลกลุ่มที่สรุปผลในรูปของสัดส่วน สูตรที่ใช้ในการคำนวณขนาดตัวอย่างของ Connett et al คือ

$$n = \frac{\left[Z_\alpha\sqrt{\frac{b}{c}+1} + Z_\beta\sqrt{\left(\frac{b}{c}+1\right) - p\left(\frac{b}{c}-1\right)^2}\right]^2}{p\left(\frac{b}{c}-1\right)^2}$$

โดยที่ n = ขนาดตัวอย่าง

b และ c = จำนวนหน่วยสังเกตในช่อง b และ c

$p = \frac{b}{n}$ หรือ $\frac{c}{n}$ ที่มีค่าเล็ก (ค่า b, c และ n นำมาจากรายงานวิจัยที่ผ่านมา)

ตัวอย่างที่ 10.3

ในการประเมินความรู้เรื่องความปลอดภัยในการขับขี่รถจักรยานยนต์ก่อนและหลังการฝึกอบรมต้องใช้ตัวอย่างขนาดเท่าไร ถ้าผลรายงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงในตารางต่อไปนี้

		หลังฝึกมีความรู้	
		ไม่พอ	พอ
ก่อนฝึกมีความรู้	ไม่พอ	6 a	14 b
	พอ	c 4	d 12

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะได้ว่า b = 14, c = 4, n = a + b + c + d = 36

$$p = \frac{4}{36} = 0.111 \qquad \text{เพราะค่า c เล็กกว่าค่า b}$$

กำหนดให้เป็นการทดสอบด้านเดียว $\alpha = 0.05 \rightarrow Z_{0.05} = 1.65$

อำนาจการทดสอบ $= 0.9 \rightarrow Z_{0.1} = 1.28$

$$n = \frac{\left[Z_\alpha\sqrt{\frac{b}{c}+1} + Z_\beta\sqrt{\left(\frac{b}{c}+1\right) - p\left(\frac{b}{c}-1\right)^2}\right]^2}{p\left(\frac{b}{c}-1\right)^2}$$

$$= \frac{\left[1.65\sqrt{\frac{14}{4}+1} + 1.28\sqrt{\left(\frac{14}{4}+1\right) - 0.111\left(\frac{14}{4}-1\right)^2}\right]^2}{0.111\left(\frac{14}{4}-1\right)^2}$$

= 52 คน

ขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการศึกษาเท่ากับ 52 คน

ค่า $\frac{b}{c}$ เป็นค่าที่นักวิจัยสามารถปรับได้ เช่น จากตัวอย่าง $\frac{b}{c} = \frac{14}{4} = 3.5$ ถ้านักวิจัยคิดว่าวิธีการฝึกอบรมที่ใช้ในการวิจัยจะให้ผลที่ดีกว่าที่เคยมีการสอนในงานวิจัยที่ผ่านมา (ที่นำค่า b, c มาใช้) อาจกำหนดให้ค่า $\frac{b}{c}$ เป็น 4 หรือ 4.5 ก็ได้

10.4 การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อหาปัจจัยเสี่ยง

กรณีการศึกษาแบบกลุ่มติดตามผล (cohort study) แบบภาคตัดขวาง (cross-sectional study) และแบบกลุ่มผู้ป่วย–ไม่ป่วยไม่จับคู่ (unmatched case-control study)

การศึกษาแบบกลุ่มติดตามผล ปัจจัยเสี่ยงถูกวัดออกมาในรูปของ RR

$$RR = \frac{p_1}{p_2}$$

หรือ

$$p_1 = p_2(RR)$$

โดยที่ p_1 = อัตราการเกิดโรคในกลุ่มสัมผัสปัจจัยเสี่ยง

p_2 = อัตราการเกิดโรคในกลุ่มไม่สัมผัสปัจจัยเสี่ยง

ข้อมูลที่ได้มาจากการศึกษาที่ผ่านมา คือ อัตราการเกิดโรคในกลุ่มไม่สัมผัสปัจจัยเสี่ยง (p_2) และค่า RR หรือค่าอัตราการเกิดโรคในกลุ่มสัมผัสปัจจัยเสี่ยง (p_1) แล้วใช้สูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างในการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนระหว่างประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (อธิบายไว้ในหัวข้อ 9.5)

ในกรณีที่ทราบอัตราการเกิดโรคในกลุ่มไม่สัมผัสปัจจัยเสี่ยง (p_2) เพียงค่าเดียว นักวิจัยสามารถกำหนดค่า RR โดยประมาณแล้วนำไปคำนวณค่าขนาดตัวอย่าง ค่า RR ที่กำหนดไม่ควรต่ำกว่า 1.5

$$n/\text{กลุ่ม} = \frac{2(Z_\alpha + Z_\beta)^2\, p(1-p)}{(p_1 - p_2)^2}$$

ในกรณีที่เป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง หรือแบบกลุ่มผู้ป่วย–ไม่ป่วยไม่จับคู่ ปัจจัยเสี่ยงถูกวัดออกมาในรูปของ OR

$$OR = \frac{p_1(1-p_2)}{p_2(1-p_1)}$$

$$p_1 = \frac{ORp_2}{1 - p_2 + (OR)p_2}$$

ข้อมูลที่ได้มาจากการศึกษาที่ผ่านมา คือ อัตราการเกิดโรคในกลุ่มไม่สัมผัสปัจจัยเสี่ยง (p_2) และค่า OR หรือค่าอัตราการเกิดโรคในกลุ่มที่สัมผัสปัจจัยเสี่ยง (p_1) แล้วใช้สูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างในการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนระหว่างประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน

ในกรณีที่ทราบค่าอัตราการเกิดโรคในกลุ่มไม่สัมผัสปัจจัยเสี่ยง (p_2) เพียงค่าเดียว นักวิจัยสามารถประมาณค่า OR แล้วนำไปคำนวณขนาดตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 10.4

ในการศึกษาเพื่อดูว่าแม่ที่เป็นคนเคร่งครัดเป็นปัจจัยป้องกันไม่ให้ลูกเป็นโรคอ้วน จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแม่ที่ไม่เคร่งครัดลูกมีอัตราการเป็นโรคอ้วนร้อยละ 21 ถ้ากำหนดให้ความเสี่ยงของลูกที่จะเป็นโรคอ้วนในแม่ที่เป็นคนเคร่งครัดมีค่า OR เท่ากับ 0.5 (แม่เป็นคนเคร่งครัดลูกจะมีโอกาสเป็นโรคอ้วนน้อยกว่า ค่า OR ต่ำกว่า 1) ในการสำรวจเพื่อดูสาเหตุจากปัจจัยดังกล่าวต้องใช้ตัวอย่างขนาดเท่าไร

จากรายงานวิจัยที่ผ่านมา $p_2 = 0.21$ ค่า OR $= 0.5$

$$p_1 = \frac{ORp_2}{1 - p_2 + (OR)p_2} = \frac{0.5 \times 0.21}{1 - 0.21 + (0.5 \times 0.21)}$$

$$= 0.117$$

$$p = \frac{p_1 + p_2}{2} = \frac{0.117 + 0.21}{2} = 0.164$$

$$\Delta = p_1 - p_2 = 0.117 - 0.21 = -0.093$$

กำหนดให้เป็นการทดสอบสมมติฐานด้านเดียว จะได้ว่า

$\alpha = 0.05 \rightarrow Z_{0.05} = 1.65$ อำนาจการทดสอบ $= 0.90 \rightarrow Z_{0.1} = 1.28$

$$n/\text{กลุ่ม} = \frac{2(Z_\alpha + Z_\beta)^2 p(1 - p)}{(p_1 - p_2)^2}$$

$$= \frac{2(1.65 + 1.28)^2 \times 0.164(1 - 0.164)}{(-0.093)^2}$$

$$= 273$$

ในการศึกษาจะใช้ตัวอย่าง 273 คนต่อกลุ่ม

10.5 การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อหาปัจจัยเสี่ยง กรณีการศึกษาแบบกลุ่มผู้ป่วย-ไม่ป่วยแบบจับคู่

การศึกษาแบบกลุ่มผู้ป่วย–ไม่ป่วยแบบจับคู่ (matched case–control study) ปัจจัยเสี่ยงถูกวัดออกมาในรูปของ OR

$$OR = \frac{b}{c}$$

จากงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการกำหนดค่า OR หรือ b/c และค่า p (ค่า b/n หรือค่า c/n ที่มีขนาดเล็ก) นำค่าที่ได้ไปคำนวณขนาดตัวอย่างจากสูตรคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อการเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างประชากร 2 กลุ่มที่ตัวอย่างในแต่ละกลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน (หัวข้อ 10.3)

10.6 การคำนวณขนาดตัวอย่างในการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ในการศึกษาเพื่อพิสูจน์ว่าตัวแปรต่อเนื่อง 2 ตัวมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ เช่น ในการหาความสัมพันธ์ของปริมาณสุราที่ดื่มกับปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ ค่าสถิติที่ใช้ในการสรุปผลคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) จำนวนขนาดตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบว่า $\rho = 0$ หรือไม่ คำนวณได้จากสูตร

$$n = \left(\frac{Z_\alpha + Z_\beta}{Z_{(r)}}\right)^2 + 3$$

โดยที่ n = ขนาดตัวอย่าง

α = α error และ β = β error

r = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$$Z_{(r)} = \frac{1}{2}\ell n\left(\frac{1+r}{1-r}\right)$$

ตัวอย่างที่ 10.5

การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูแลสุขภาพตนเองกับระดับความรู้ด้านสุขภาพของประชาชน จากรายงานวิจัยในต่างประเทศพบว่ามีค่า $r = 0.5$ ในการทำการศึกษาควรใช้ขนาดตัวอย่างเท่าไร

จากค่า $r = 0.5$, $Z_{(r)} = \frac{1}{2}\ell n\left(\frac{1+0.5}{1-0.5}\right) = 0.5493$ ถ้ากำหนดให้เป็นการทดสอบสมมติฐาน 2 ด้าน ให้ $\alpha = 0.05 \rightarrow Z_{0.025} = 1.96$ ให้อำนาจการทดสอบ $= 0.90 \rightarrow Z_{0.1} = 1.28$

$$\begin{aligned} n &= \left(\frac{Z_{\alpha/2} + Z_\beta}{Z_{(r)}}\right)^2 + 3 \\ &= \left(\frac{1.96 + 1.28}{0.5493}\right)^2 + 3 \\ &= 38 \end{aligned}$$

ในการทดสอบว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันหรือไม่จะต้องใช้ตัวอย่างในการศึกษา 38 คน

10.7 การคำนวณขนาดตัวอย่างในกรณีเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมากกว่า 2 กลุ่ม

การคำนวณขนาดตัวอย่างวิธีนี้ใช้สำหรับงานวิจัยเชิงวิเคราะห์และเชิงทดลองที่ต้องการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่อเนื่องมากกว่า 2 กลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way analysis of variance) ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมากกว่า 2 กลุ่มไม่ได้มีจุดมุ่งหมายที่จะดูว่าค่าเฉลี่ยของทุกกลุ่มแตกต่างกันหรือไม่ แต่ต้องการทราบว่าคู่ที่สนใจหลักแตกต่างกันหรือไม่ หรือต้องการทราบว่ามีคู่ใดแตกต่างกันบ้าง ดังนั้นในการคำนวณขนาดตัวอย่างค่าที่ได้ต้องมาจากการศึกษาที่ผ่านมา คือ ค่าความแปรปรวน และค่าเฉลี่ยความต่างของผล (effect size) ของคู่ที่สนใจหลักในกรณีคู่ที่สนใจหลักมีหลายคู่ ให้นำผลต่างของคู่ที่น้อยที่สุดมาใช้ในการคำนวณขนาดตัวอย่าง สูตรที่ใช้คำนวณขนาดตัวอย่างคือ

$$\phi = \sqrt{\frac{n\Delta^2}{2ks^2}}$$

โดยที่ Δ = ความต่างของผล

k = จำนวนกลุ่ม

s^2 = ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error)

ϕ = Phi (non centrality parameter)

วิธีการคำนวณจะต้องใช้กราฟหรือตารางแสดงค่า ϕ แปรตามอำนาจการทดสอบและ α วิธีการคำนวณจะกำหนดค่า n ขึ้นมาคำนวณค่า ϕ นำไปพิจารณาจากกราฟ ถ้ายังไม่ได้ค่าอำนาจการทดสอบเท่าที่ต้องการให้ปรับค่า n แล้วทำซ้ำจนได้ค่าอำนาจการทดสอบที่ต้องการ ค่า n ที่ทำให้ได้ค่าอำนาจการทดสอบดังกล่าวคือขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ในการคำนวณควรใช้โปรแกรมคำนวณขนาดตัวอย่างจะสะดวกและง่ายกว่าการใช้กราฟ

การคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่สามารถคำนวณด้วยมือได้จะใช้วิธีการเปรียบเทียบกลุ่มย่อยโดยใช้ Bonferroni t test โดยนักวิจัยจะต้องทราบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคู่ที่ต้องการเปรียบเทียบและความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error) การคำนวณจะใช้สูตรการเปรียบเทียบกลุ่มย่อยของ Bonferroni t test ดังนี้

$$n = \frac{2(Z_{\alpha/2c} + Z_{\beta})^2 \sigma^2}{\Delta^2}$$

โดยที่ σ = ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

Δ = ความต่างของผล

α = α error และ β = β error

c = จำนวนคู่ที่ต้องการเปรียบเทียบ

ในกรณีที่ยังไม่มีเป้าหมายชัดเจนว่าจะเปรียบเทียบดูความต่างของคู่ใดบ้าง ค่า c คือจำนวนคู่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด เช่น ในการทดลองที่มี 4 กลุ่ม จำนวนคู่ที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะเท่ากับ 6 คู่ ถ้าให้ c เท่ากับ 6 ขนาดตัวอย่างที่ได้จะเป็นจำนวนใหญ่ที่สุดของการทดลองที่มี 4 กลุ่ม แต่ถ้าต้องการทราบความต่างเพียง 3 คู่ ถ้ากำหนดให้ c เท่ากับจำนวนคู่ที่จะเปรียบเทียบจริง (3 คู่) จะทำให้ได้ขนาดตัวอย่างที่เล็กลง

ตัวอย่างที่ 10.6

ในการศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรง (fitness) จากการออกกำลังกายของคนทำงานในสำนักงาน ทำงานบ้าน และทำงานบริการ โดยดูจากอัตราการเต้นของชีพจร จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าผู้ที่ออกกำลังกายจะมีอัตราการเต้นของชีพจร 120 ครั้ง/นาที SD = 9.5 จงคำนวณขนาดตัวอย่างในการศึกษา

กำหนดให้ความแตกต่างของอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างกลุ่มแตกต่างกันร้อยละ 10

$$\Delta = \frac{120 \times 10}{100} = 12$$

ขนาดตัวอย่างของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 3 กลุ่ม โดยต้องการเปรียบเทียบ 3 คู่ ที่ α = 0.05 อำนาจการทดสอบ = 0.80 โดยใช้สูตร Bonferroni t test ในการคำนวณขนาดตัวอย่างทำได้ดังนี้

$$n = \frac{2(Z_{0.05/2 \times 3} + Z_{0.2})^2\, 9.5^2}{12^2}$$

$$= \frac{2(2.41 + 0.84)^2\, 9.5^2}{12^2}$$

$$= 13.79 \approx 14$$

ต้องใช้จำนวนตัวอย่างในการศึกษากลุ่มละ 14 คน

10.8 การคำนวณขนาดตัวอย่างในการเปรียบเทียบการรอดชีพ

ในงานวิจัยเชิงวิเคราะห์และงานวิจัยเชิงทดลองที่มีตัวแปรผลเป็นระยะเวลาของการปลอดเหตุการณ์หรือการรอดชีพ (survival) จะเปรียบเทียบค่ามัธยฐานการปลอดเหตุการณ์ด้วย log rank test การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อการเปรียบเทียบค่ามัธยฐานระยะเวลาการรอดชีพ (median survival) ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม จะเริ่มต้นโดยการคำนวณจำนวนการเสียชีวิตที่เพียงพอที่จะระบุความต่างจากสูตร

$$d = \frac{4(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2}{\theta_R^2}$$

โดยที่ $\theta_R = \log \psi_R$

$$\psi_R = \frac{\log\left[S_T(t)\right]}{\log\left[S_c(t)\right]}$$

เมื่อ d = จำนวนการเสียชีวิต

θ_R = log (อัตราส่วนการเสี่ยงภยันตราย)

ψ_R = อัตราส่วนการเสี่ยงภยันตราย

$S_T(t)$ = อัตราการรอดชีพของกลุ่มทดลอง

$S_c(t)$ = อัตราการรอดชีพของกลุ่มควบคุม

ในการคำนวณค่า โปรแกรมคำนวณขนาดตัวอย่างจะให้นักวิจัยกำหนดค่ามัธยฐานระยะเวลาการรอดชีพของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ซึ่งต้องนำมาจากการศึกษาที่ผ่านมา กรณีที่หาค่ามัธยฐานระยะเวลาการรอดชีพของกลุ่มทดลองไม่ได้ ให้นักวิจัยประมาณค่าประสิทธิผลของการรักษาในกลุ่มทดลองว่าจะทำให้ค่ามัธยฐานระยะเวลาการรอดชีพเพิ่มขึ้นจากกลุ่มควบคุมเท่าใด

นำค่า d และความน่าจะเป็นของการเสียชีวิตในช่วงระยะเวลาการติดตามผู้ป่วย (Pr. (death)) มาคำนวณขนาดตัวอย่างของจำนวนผู้ป่วยที่นำเข้าศึกษาจากสูตร

$$n = \frac{d}{\text{Pr. (death)}}$$

โดยที่ $\text{Pr. (death)} = 1 - \frac{1}{6}\left[\bar{S}(F) + 4\bar{S}(0.5A + F) + \bar{S}(A + F)\right]$

เมื่อ $\bar{S}(t)$ = การรอดชีพโดยเฉลี่ย (average survival) ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมในช่วงเวลา t

$$= \frac{(S_T(t) + S_c(t))}{2}$$

F = ระยะเวลาการติดตามผู้ป่วย (follow-up time)

A = ระยะเวลาตั้งแต่คัดเลือกผู้ป่วยคนแรกเข้าศึกษาจนถึงผู้ป่วยคนสุดท้าย (accrual time)

F กำหนดจากจุดสิ้นสุด (end point) ของการเปรียบเทียบ ส่วน A จะขึ้นอยู่กับอัตราที่ผู้ป่วยเข้ามาในการศึกษา (จำนวนผู้ป่วยต่อหน่วยเวลา) และระยะเวลาการติดตามผลเมื่อระยะเวลาการติดตามผลเท่ากัน ถ้ากำหนดให้ค่า A สั้น จะต้องใช้ขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น

โปรแกรมคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับการเปรียบเทียบค่ามัธยฐานระยะเวลาการรอดชีพมีทั้งที่เป็นโปรแกรมใช้กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และมีให้บริการบนเว็บเพจ ตัวอย่างการคำนวณด้วยโปรแกรม PS โดยวิลเลียม ดูปองต์ (William D. Dupont) ทำได้ดังนี้ ถ้าค่ามัธยฐานระยะเวลาการรอดชีพในกลุ่มควบคุมเท่ากับ 20 เดือน ในกลุ่มทดลองเท่ากับ 30 เดือน accrual time 15 เดือน follow-up time 24 เดือน คำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม PS โดยกำหนดให้ $\alpha = 0.05$ และอำนาจการทดสอบ = 0.8 จะได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 221 คน/กลุ่ม

10.9 การคำนวณขนาดตัวอย่างในกรณีการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม

ในการสุ่มตัวอย่างที่หน่วยสุ่มเป็นกลุ่มของหน่วยศึกษา ความแปรปรวนที่ใช้คำนวณขนาดตัวอย่าง นอกจากความแปรปรวนระหว่างหน่วยศึกษาแล้ว ยังต้องรวมความแปรปรวนระหว่างหน่วยสุ่มด้วย ในหัวข้อนี้จะอธิบายวิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างจากสูตรคำนวณขนาดตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย แล้วใช้ design effect ปรับให้เป็นขนาดตัวอย่างสำหรับการสุ่มแบบกลุ่ม

10.9.1 การคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับการประมาณค่าอัตราส่วนในกรณีสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม

ในกรณีที่ทำการศึกษาในชุมชน การสุ่มตัวอย่างแบบง่ายเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสม วิธีการสุ่มที่เหมาะสมและนิยมใช้กันมากที่สุด คือ วิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (cluster sampling) เช่น ในการหาอัตราการเสียชีวิตของทารก ถ้าสุ่มตัวอย่างโดยนำรายชื่อหญิงตั้งครรภ์ทั้งหมดมาจับฉลาก คงจะทำได้ยากเพราะต้องหารายชื่อหญิงมีครรภ์ทั้งจังหวัด เมื่อนำมาสุ่มแบบง่ายตัวอย่างที่ได้จะกระจายไปทั้งจังหวัด การไปเก็บข้อมูลทำได้ยาก เสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นการสุ่มแบบกลุ่มที่ใช้หมู่บ้านเป็นหน่วยสุ่มและใช้หญิงตั้งครรภ์ในหมู่บ้านตัวอย่างเป็นหน่วยศึกษา ย่อมทำได้ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า ในการสุ่มแบบกลุ่มความแปรปรวน (variation) ที่เกิดขึ้นในการสุ่มมีอยู่ 2 ส่วน คือ ความแปรปรวนระหว่างบุคคล เป็นความแตกต่างของแต่ละหน่วยศึกษา และความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม เป็นความแตกต่างกันระหว่างหมู่บ้านที่เป็นหน่วยสุ่ม

การสุ่มแบบกลุ่มจะมีความแปรปรวนของการสุ่มมากกว่าการสุ่มแบบง่าย นั่นคือ ความแปรปรวนของการสุ่มแบบกลุ่ม (V_{CLUS}) เท่ากับความแปรปรวนของการสุ่มแบบง่าย (V_{SR}) รวมกับความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (V_B) ดังสมการ

$$V_{CLUS} = V_{SR} + V_B$$

สัดส่วนความแปรปรวนของการสุ่มทั้ง 2 แบบเรียกว่า design effect

$$\text{design effect (D)} = V_{CLUS} / V_{SR}$$

เมื่อความแปรปรวนเพิ่มขึ้นขนาดของตัวอย่างจะใหญ่ขึ้นเป็นสัดส่วนกันโดยตรง ดังนั้นเมื่อทราบว่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้นกี่เท่าก็จะสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นได้ ทำให้การคำนวณขนาดตัวอย่างของการสุ่มแบบกลุ่มคำนวณได้จากสูตรคำนวณขนาดตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบง่ายแล้วปรับด้วยค่า design effect ดังนี้

$$n_{CLUS} = n_{SR} \times D$$

ขนาดของ design effect จะแปรไปตามปัญหาและสภาพของหมู่บ้าน (กลุ่ม) ถ้าความแตกต่างระหว่างกลุ่มไม่มีเลย design effect (V_{CLUS}/V_{SR}) จะมีค่าเท่ากับ 1 ทำให้ขนาดตัวอย่างสำหรับการสุ่มแบบกลุ่มจะเท่ากับขนาดตัวอย่างของการสุ่มแบบง่าย ค่า design effect หาได้จากการศึกษาที่ผ่านมา เช่น ความครอบคลุมของการได้รับวัคซีน = 1.39 อัตราการรู้จัก ผสส./อสม. ของประชาชน = 1.57 อัตราการป่วยโรคอุจจาระร่วงในช่วง 2 สัปดาห์ = 6 เป็นต้น

ในกรณีที่ไม่สามารถหาค่า design effect จากรายงาน นักวิจัยอาจประมาณค่า design effect โดยพิจารณาจากความแตกต่างระหว่างกลุ่มของตัวแปรผลที่ต้องการศึกษาว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยปกติถ้าไม่ใช่เรื่องของการระบาดของโรค design effect จะไม่เกิน 2

ตัวอย่างจากปัญหาเรื่องการศึกษาสาเหตุการเสียชีวิตของทารกในจังหวัดขอนแก่น ขนาดของตัวอย่างที่คำนวณโดยวิธีสุ่มอย่างง่ายได้เท่ากับ 1,825 คน ถ้าในการศึกษาต้องการสุ่มแบบกลุ่มจะต้องเพิ่มจำนวนตัวอย่างโดยการปรับขนาดตัวอย่างด้วยขนาดของ design effect ถ้ากำหนดให้ค่า design effect ของอัตราการเสียชีวิตของทารกเท่ากับ 2 ตัวอย่างทั้งหมดที่จะใช้สุ่มแบบกลุ่ม (n_{CLUS}) จะเป็นเท่าใด

$$n_{CLUS} = n_{SR} \times D$$

$$n_{CLUS} = 1{,}825 \times 2 = 3{,}650$$

ถ้าโดยเฉลี่ยแล้วในแต่ละหมู่บ้านมีหญิงตั้งครรภ์ปีละประมาณ 20 คน

จำนวนหมู่บ้านตัวอย่างทั้งหมด = 3,650/20 = 183 หมู่บ้าน

10.9.2 การคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับการเปรียบเทียบระหว่างประชากร 2 กลุ่มในกรณีสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม

การออกแบบงานวิจัยมีการสุ่มโรงพยาบาลหรือหมู่บ้านเป็นหน่วยสุ่ม สูตรที่ใช้ในการคำนวณขนาดตัวอย่างมีการปรับค่าความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม (intra–cluster correlation (ρ)) เพิ่มเข้าไปในสูตรการคำนวณขนาดตัวอย่าง

ในกรณีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย

$$n_{CLUS} = n(1 + (n - 1)\rho)$$

โดยที่ n = ขนาดตัวอย่างที่คำนวณจากการสุ่มแบบง่าย

ρ = ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม $(0 \le \rho \le 1)$

ค่า ρ หามาจากงานวิจัยที่ผ่านมา

ในกรณีการเปรียบเทียบค่าสัดส่วน

$$n_{CLUS} = n(1 + (n - 1)K)$$

$$K = \frac{1 - \sum_{i=1}^{k} n_i p_i (1 - p_i)}{k(\bar{n} - 1)\bar{p}(1 - \bar{p})}$$

โดยที่ n = ขนาดตัวอย่างที่คำนวณจากการสุ่มแบบง่าย

K = degree of within–cluster dependency $(0 \le k \le 1)$

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i}{k} \qquad \bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i p_i}{i\sum n_i}$$

k = จำนวน cluster

n_i = จำนวนตัวอย่างที่ cluster i

p_i = สัดส่วนของ cluster i

ข้อมูลที่ใช้คำนวณค่า K ได้จากรายงานวิจัยที่ผ่านมา

สรุป

วิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างแบบต่างๆที่นำเสนอสำหรับใช้ในงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ การคำนวณบางวิธีไม่สามารถคำนวณด้วยเครื่องคิดเลข นักวิจัยควรใช้โปรแกรมคำนวณขนาดตัวอย่างช่วยในการคำนวณ ถ้าจะใช้ตารางสำเร็จรูปช่วยในการคำนวณนักวิจัยควรทำความเข้าใจเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างตารางเสียก่อน จึงจะช่วยให้สามารถใช้ตารางได้อย่างถูกต้อง

บทที่ 11

วิธีเลือกใช้สถิติสำหรับแบบงานวิจัย

ในการจัดทำโครงร่างงานวิจัยนอกจากจะต้องมีรายละเอียดของวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลและการประมวลผลข้อมูลแล้ว นักวิจัยจะต้องนำเสนอแผนการวิเคราะห์ข้อมูลให้อยู่ในโครงร่างงานวิจัยด้วย การเลือกใช้สถิติที่ถูกต้องในการสรุปผลการวิจัยที่มีอยู่ในแผนการวิเคราะห์ของโครงร่างงานวิจัยมีความสำคัญมาก เพราะนอกจากจะใช้สถิติดังกล่าวในการคำนวณขนาดตัวอย่างแล้ว สถิติที่ระบุไว้ในแผนการวิเคราะห์ของโครงร่างงานวิจัยยังจะช่วยลดอคติที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลได้อีกด้วย เพราะถ้าไม่ได้มีการวางแผนไว้ก่อนนักวิจัยบางส่วนอาจจะพยายามหาทางวิเคราะห์เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ตนเองต้องการ ทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการสรุปผลมากขึ้น ดังนั้นในการทดลองทางคลินิกจึงกำหนดแนวปฏิบัติไว้ว่าการวิเคราะห์ผลเพื่อตอบคำถามหลักจะต้องดำเนินการวิเคราะห์ตามแผนการวิเคราะห์ที่กำหนดไว้ในโครงร่างงานวิจัยเท่านั้น

สถิติที่เหมาะสมสำหรับแบบงานวิจัยและประเภทตัวแปรผลต่างๆมีรายละเอียดดังนี้

11.1 ข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกสถิติ

ในการที่จะเลือกใช้สถิติให้ถูกต้องนักวิจัยจะต้องทราบข้อมูลต่างๆ ได้แก่ วัตถุประสงค์ของการวิจัย ประเภทข้อมูลตัวแปรผล จำนวนกลุ่มประชากรในการเปรียบเทียบ และแบบงานวิจัยเพื่อพิจารณาความเป็นอิสระของการสุ่มหน่วยศึกษา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยมี 3 ประการ คือ

1) ต้องการประมาณค่าพารามิเตอร์ เช่น อัตราการเป็นวัณโรค ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเด็กแรกเกิด
2) ต้องการหาค่าความสัมพันธ์หรือปัจจัยเสี่ยง
3) ต้องการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ เช่น ผู้ที่ออกกำลังกายสม่ำเสมอจะมีอัตราการเต้นของชีพจรต่ำกว่าผู้ที่ไม่ได้ออกกำลังกาย

ในกรณีที่มีวัตถุประสงค์หลายประการในการศึกษาเดียวกันควรพิจารณาเลือกสถิติสำหรับการตอบแต่ละวัตถุประสงค์

ประเภทข้อมูลตัวแปรผล

ข้อมูลตัวแปรผลแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

1) ข้อมูลกลุ่มที่มีกลุ่มภายในตัวแปร 2 กลุ่มหรือทวิวิภาค (dichotomous outcome)
2) ข้อมูลกลุ่มที่มีกลุ่มภายในตัวแปรมากกว่า 2 กลุ่ม
3) ข้อมูลลำดับ
4) ข้อมูลต่อเนื่อง
5) ระยะเวลาการปลอดเหตุการณ์ (time to event)

จำนวนกลุ่มประชากรหรือกลุ่มที่ต้องการเปรียบเทียบ

จำนวนกลุ่มประชากรที่จะเปรียบเทียบแบ่งออกเป็น

1) ประชากรกลุ่มเดียว (เปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่ามาตรฐานหรือค่าที่กำหนด)
2) ประชากร 2 กลุ่ม
3) ประชากรมากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป

ความเป็นอิสระของการสุ่มหน่วยตัวอย่าง

ปัจจัยสุดท้ายที่ต้องนำมาใช้ในการพิจารณา คือ ความเป็นอิสระของการสุ่มหน่วยตัวอย่างโดยพิจารณาจากแบบงานวิจัยว่ามีการกำหนดวิธีการสุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่มอย่างไร วิธีการสุ่ม

1) เป็นอิสระต่อกัน โดยแต่ละกลุ่มสุ่มหน่วยศึกษาอย่างอิสระ
2) ไม่เป็นอิสระต่อกัน ในกรณีหน่วยศึกษาเดียวกันมีการวัดซ้ำในช่วงเวลาที่ต่างกัน หรือกลุ่มศึกษาเดียวกันได้รับสิ่งทดลองมากกว่าหนึ่งอย่าง หรือในกรณีที่ใช้เงื่อนไขจับคู่ (matching criteria) หน่วยศึกษาระหว่างกลุ่มตัวอย่าง เช่น เป็นเพศเดียวกัน อายุเท่ากัน ฯลฯ

11.2 การเลือกใช้สถิติสำหรับงานวิจัยเชิงพรรณนา

ในงานวิจัยเชิงพรรณนาจะมีประชากรที่ศึกษาเพียงกลุ่มเดียว ตารางที่สร้างขึ้นจะใช้ในการเลือกสถิติที่จะใช้จากวัตถุประสงค์และประเภทข้อมูล โดยมีหลักในการเลือกสถิติที่จะใช้ตามเงื่อนไขดังแสดงในตาราง 11.1

ตาราง 11.1 การเลือกใช้สถิติสำหรับงานวิจัยเชิงพรรณนา

วัตถุประสงค์	ประเภทข้อมูล				
	Categorical 2 group	Categorical > 2 group	Ordinal	Continuous (normal)	Time to event
บรรยายตัวอย่าง	Proportion	Proportion	Median, IQR	Mean, SD	Kaplan Meier
การประมาณค่าและการเปรียบเทียบประชากรกลุ่มเดียว	One sample Z Chi-square or Binomial test	Chi-square	Wilcoxon	One sample t test	-

11.3 การเลือกใช้สถิติสำหรับงานวิจัยเชิงวิเคราะห์

ในงานวิจัยเชิงวิเคราะห์เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หาปัจจัยเสี่ยง หรือปัจจัยการทำนาย โดยมีประชากรที่ศึกษาเพียง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีปัจจัยเสี่ยง กับกลุ่มที่ไม่มีปัจจัยเสี่ยง การวิจัยเชิงวิเคราะห์มีแบบงานวิจัย 3 แบบ คือ แบบภาคตัดขวาง (cross-sectional) แบบกลุ่มผู้ป่วย-ไม่ป่วย (case-control) และแบบกลุ่มติดตามผล (cohort) จึงได้สร้างตารางการเลือกใช้สถิติแยกตามแบบงานวิจัย ความเป็นอิสระของการสุ่มหน่วยตัวอย่าง (ตาราง 11.2-11.5) ในการพิจารณาเลือกใช้สถิติต้องเลือกดูจากตารางที่ตรงกับแบบงานวิจัยและวิธีการสุ่มตัวอย่างที่นักวิจัยใช้ในการทำวิจัย โดยในแต่ละตารางจะเลือกใช้สถิติจากประเภทข้อมูลของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม (ผล)

ตาราง 11.2 การเลือกใช้สถิติสำหรับหาความสัมพันธ์ของการวิจัยเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง

ประเภทข้อมูลตัวแปรปัจจัย	ประเภทข้อมูลตัวแปรผล (outcome)			
	Categorical	Ordinal	Continuous	Time to event
Categorical 2 group	Chi–square Fisher's	Wilcoxon	t test	Cox proportional hazards regression
Categorical > 2 group	Chi–square Fisher's	Kruskal wallis	ANOVA Wilcoxon	Cox proportional hazards regression
Ordinal	Chi–square Fisher's	Spearman rank	Pearson's correlation coefficient (r) Linear regression	Cox proportional hazards regression
Continuous	Logistic Regression	Linear regression	Pearson's correlation coefficient (r) Linear regression	Cox proportional hazards regression

ตาราง 11.3 การเลือกใช้สถิติสำหรับหาปัจจัยเสี่ยงของการวิจัยเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง และแบบกลุ่มผู้ป่วย-ไม่ป่วยไม่จับคู่ (unmatched case-control)

ประเภทข้อมูลตัวแปรปัจจัย	ประเภทข้อมูลตัวแปรผล (outcome)			
	Categorical	Ordinal	Continuous	Time to event
categorical 2 or more group	OR, Logistic regression	–	–	Cox proportional hazards regression
ordinal	OR, Logistic regression	–	–	Cox proportional hazards regression
continuous	OR, Logistic regression	–	–	Cox proportional hazards regression

ตาราง 11.4 การเลือกใช้สถิติสำหรับหาปัจจัยเสี่ยงของการวิจัยเชิงวิเคราะห์ แบบกลุ่มผู้ป่วย-ไม่ป่วยจับคู่ (matched case-control)

ประเภทข้อมูลตัวแปรปัจจัย	ประเภทข้อมูลตัวแปรผล (outcome)			
	Categorical	Ordinal	Continuous	Time to event
Categorical 2 or more group	OR, Conditional logistic regression	–	–	–
Ordinal	OR, Conditional logistic regression	–	–	–
Continuous	OR, Conditional logistic regression	–	–	–

ตาราง 11.5 การเลือกใช้สถิติหาค่าปัจจัยเสี่ยงของการวิจัยเชิงวิเคราะห์แบบกลุ่มติดตามผล

ประเภทข้อมูลตัวแปรปัจจัย	ประเภทข้อมูลตัวแปรผล (outcome)			
	Categorical	Ordinal	Continuous	Time to event
Categorical 2 or more group	RR, Logistic regression	–	–	Cox proportional hazards regression
Ordinal	RR, Logistic regression	–	–	Cox proportional hazards regression
Continuous	RR, Logistic regression	–	–	Cox proportional hazards regression

11.4 การเลือกใช้สถิติสำหรับงานวิจัยเชิงทดลอง

ในงานวิจัยเชิงทดลองสถิติที่ใช้จะเป็นการเปรียบเทียบตัวแปรผลระหว่างประชากร 2 กลุ่ม หรือระหว่างประชากรมากกว่า 2 กลุ่ม โดยจะใช้สถิติตามเงื่อนไขดังนี้

ตาราง 11.6 การเลือกใช้สถิติสำหรับการวิจัยเชิงทดลอง

วัตถุประสงค์	ประเภทข้อมูล (Outcome)			
	Categorical	Ordinal	Continuous	Time to event
เปรียบเทียบ ประชากร 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระต่อกัน	Chi–square Fisher's Z test (Proportion)	Rank sum test	t test	Log–rank Cox proportional hazards regression
เปรียบเทียบประชากร 2 กลุ่มที่ไม่เป็น อิสระต่อกัน	McNemar χ^2	Sign–rank test	t test	Conditional proportional hazards regression
เปรียบเทียบประชากร มากกว่า 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระต่อกัน	Chi–square	Kruskal–wallis	One way ANOVA	Cox proportional hazards regression
เปรียบเทียบประชากร มากกว่า 2 กลุ่ม ที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน	Cochran Q	Friedman	Repeated–measure ANOVA	Conditional proportional hazards regression

สถิติที่แสดงในตาราง 11.1–11.6 เป็นสถิติสำหรับแบบงานวิจัยที่ใช้บ่อยเท่านั้น จะไม่ครอบคลุมการพิจารณาความสัมพันธ์กรณีที่มีตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว เช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (covariate adjustment) การทดสอบความเที่ยง (reliability test) และการทดสอบความสอดคล้อง (test for agreement)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์อาจจะมีการแปลงข้อมูล (transformation) ก่อนการวิเคราะห์ หรือถ้ามีปัญหาเกิดขึ้นในขณะเก็บข้อมูล อาจมีความจำเป็นจะต้องปรับเปลี่ยนสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาและลักษณะของข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้

สรุป

การเลือกใช้สถิติสำหรับสรุปผลการวิจัยมีความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์การวิจัย ประเภทข้อมูล จำนวนกลุ่มและแบบงานวิจัย โดยมีรายละเอียดของเงื่อนไขการเลือกใช้แสดงอยู่ในตาราง 11.1–11.6

นักวิจัยต้องระบุสถิติที่จะใช้วิเคราะห์ผลเพื่อตอบคำถามงานวิจัย โดยเฉพาะในส่วนของการตอบคำถามหลักไว้ในโครงร่างงานวิจัย ในกรณีที่ต้องการใช้สถิติอื่นๆวิเคราะห์เพิ่มเติมนอกเหนือจากที่ได้วางแผนไว้ก็สามารถทำได้ แต่ควรเขียนเพิ่มไว้เป็นเงื่อนไขในแผนการวิเคราะห์ด้วย เช่น จะใช้การทดสอบแบบ t (t test) ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนความรู้หลังการสอน ถ้าพบว่าตัวแปรที่จะทดสอบมีการแจกแจงไม่ปกติ จะต้องทำการแปลงข้อมูลก่อนการทดสอบ และถ้าพบว่าการแปลงข้อมูลไม่สามารถทำให้ตัวแปรมีการแจกแจงปกติได้ จะใช้วิธีการทดสอบด้วยการทดสอบรวมลำดับที่วิลคอกซัน (Wilcoxon rank-sum test)

บทที่ 12

แผนการวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในโครงร่างงานวิจัยและรายงานวิจัย

ในการพิจารณาคุณภาพของโครงร่างงานวิจัยและรายงานวิจัยจำเป็นจะต้องพิจารณาจากการใช้สถิติในขั้นตอนต่างๆ ในบทนี้จะอธิบายวิธีการทางสถิติที่ต้องมีในโครงร่างงานวิจัยและรายงานวิจัย

12.1 สถิติที่ควรมีในการแสดงรายละเอียดในโครงร่างงานวิจัย

ในการจัดทำโครงร่างงานวิจัยนักวิจัยจำเป็นจะต้องมีรายละเอียดของการจัดการข้อมูลและสถิติที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ซึ่งต้องเขียนอธิบายไว้ให้ครบถ้วนและชัดเจนเพียงพอสำหรับการพิจารณาของผู้ให้ทุนและคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โดยควรมีรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการจัดการข้อมูลและสถิติที่จะใช้ดังนี้

12.1.1 การจัดการข้อมูล

ควรมีการอธิบายแผนการจัดการข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดของวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล การตรวจสอบคุณภาพ วิธีการนำข้อมูลเข้า วิธีการตรวจสอบความถูกต้อง ความปลอดภัยของการเก็บรักษาข้อมูล ในกรณีที่มีการเก็บรายชื่อผู้ให้ข้อมูล ควรอธิบายวิธีการรักษาความลับและระบบการเข้าถึงและขอดูข้อมูลว่าผู้ใดมีสิทธิที่จะเข้าถึงข้อมูลได้บ้าง ในกรณีที่เป็นโครงการขนาดใหญ่ควรระบุหน่วยงานที่จะรับผิดชอบบริหารจัดการข้อมูลด้วย

12.1.2 วิธีการคำนวณขนาดตัวอย่าง

ในโครงร่างงานวิจัยจะต้องอธิบายรายละเอียดของวิธีคำนวณขนาดตัวอย่าง โดยระบุสูตรที่ใช้ในการคำนวณ พร้อมระบุเอกสารอ้างอิงที่มาของสูตร และชื่อโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณขนาดของตัวอย่าง นอกจากนี้ ควรให้รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในสูตรการคำนวณ เช่น ค่า p หรือ s^2 ได้มาอย่างไร ค่าความเชื่อมั่น และ/หรือค่าอำนาจการทดสอบกำหนดเท่าใด กำหนดค่าความต่างของผล (effect size) หรือค่าความเที่ยง (precision) ไว้เท่าใด ในกรณีที่มีการปรับขนาดของตัวอย่างเพิ่มขึ้นควรอธิบายเหตุผลและความเหมาะสมของการปรับไว้ด้วย

ตัวอย่างการเขียน การคำนวณขนาดตัวอย่างในการศึกษานี้เพื่อตอบคำถามหลักว่าค่าเฉลี่ยระดับ Hb ของเด็กออทิสติกมีค่าเท่าไร จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Hb ในเด็กออทิสติกเท่ากับ 1.62 g/dL นำมาคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อประมาณค่าเฉลี่ยของ Hb ด้วยสูตร $n = \frac{Z^2_{\alpha/2}\sigma^2}{e^2}$ โดยใช้โปรแกรม EpiCalc2000 กำหนดให้ความกระชับของการประมาณค่าเท่ากับ 0.5 g/dL ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ขนาดตัวอย่างในการศึกษาจะใช้ทั้งหมด 40 คน

12.1.3 แผนการวิเคราะห์ข้อมูล

แผนการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่ในโครงร่างงานวิจัยก็เพื่อแสดงว่านักวิจัยมีความเข้าใจในข้อมูลที่จะเก็บและมีความพร้อมในการวิเคราะห์ข้อมูล ในแผนการวิเคราะห์ข้อมูลไม่ว่าจะเป็นสถิติพรรณนาหรือสถิติอนุมาน ควรนำเสนอเฉพาะสถิติที่มีแผนจะใช้เท่านั้น ไม่ควรกล่าวรวมๆในหลักการ ต้องนำเสนอสถิติที่ใช้สรุปคำถามหลักว่าจะวิเคราะห์ด้วยสถิติอะไร เพราะสถิติดังกล่าวผู้ให้ทุนและคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จะนำไปใช้พิจารณาความเหมาะสมของขนาดตัวอย่าง ความถูกต้องของผลการวิเคราะห์และผลการศึกษา ในการเขียนชื่อสถิติที่ใช้ควรเขียนให้ชัดเจนว่าใช้สถิติอะไร เช่น การทดสอบแบบ t หรือการทดสอบแบบ t ไม่อิสระ (dependent t test) ถ้าสถิติที่ใช้เป็นสถิติที่ไม่ค่อยพบเห็นเป็นประจำควรใส่เอกสารอ้างอิงไว้ด้วย

แผนการวิเคราะห์ข้อมูลที่สมบูรณ์ควรระบุวิธีการตรวจสอบลักษณะการแจกแจงของข้อมูลและข้อมูลที่มีค่าห่างผิดปกติจากกลุ่ม และในกรณีที่พบว่าไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นจะมีวิธีการปรับแก้อย่างไร หรือถ้าปรับแก้ไม่ได้จะใช้สถิติอะไรในการสรุปผล ในกรณีที่พบว่ามีความไม่สมดุลของปัจจัยกวนที่อาจมีผลต่อการสรุปผล ควรอธิบายวิธีการทางสถิติที่จะใช้ในการปรับแก้อิทธิพลของปัจจัยกวนด้วย และในกรณีที่มีข้อมูลที่มีค่าห่างผิดปกติจากกลุ่ม

หรือข้อมูลสูญหายจากการติดตามจะใช้วิธีการวิเคราะห์อย่างไร

ตัวอย่างการเขียน การบรรยายข้อมูลต่อเนื่อง เช่น อายุ น้ำหนัก และระดับ Hb โดยค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่ามัธยฐาน จะจัดกลุ่มทำตารางแจกแจงความถี่ ส่วนข้อมูลกลุ่ม เช่น เพศ เชื้อชาติ ภาวะโภชนาการ จะสรุปลักษณะด้วยตารางแจกแจงความถี่และร้อยละ หาปัจจัยเสี่ยงของระดับ Hb ที่ต่ำกว่าเกณฑ์โดยใช้ OR และ 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ OR และใช้การถดถอยลอจิสติก (logistic regression) ปรับค่าตัวแปรกวนในการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงของระดับ Hb ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ระหว่างเด็กปกติกับเด็กในศูนย์ผู้อพยพ

12.2 การนำเสนอสถิติในรายงานวิจัย

สถิติในรายงานวิจัยจะมีอยู่ใน 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นวิธีการทางสถิติที่อยู่ในวิธีการศึกษา อีกส่วนหนึ่งเป็นสถิติที่เป็นผลของการศึกษา

12.2.1 วิธีการทางสถิติในส่วนของวิธีการศึกษา

รายละเอียดของสถิติในส่วนนี้จะเหมือนกับที่ได้กล่าวไปแล้วในการเขียนแผนการวิเคราะห์ข้อมูล นักวิจัยอาจพบว่ามีรายงานวิจัยบางฉบับเขียนเพียงแต่ว่าข้อมูลที่เก็บมาได้นำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ การบอกว่าใช้โปรแกรมอะไรอย่างเดียวไม่พอ เพราะการระบุชื่อโปรแกรมสามารถประเมินได้ว่าผลการคำนวณมีความเชื่อถือได้ แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าใช้สถิติสรุปผลได้ถูกต้องเหมาะสมหรือไม่ ดังนั้นนักวิจัยควรอธิบายไว้ให้ชัดเจนว่าใช้สถิติอะไรในการสรุปคำถามใด ในกรณีที่ใช้สถิติที่พบได้ไม่บ่อยนักควรระบุเอกสารอ้างอิงหรืออาจเขียนอธิบายวิธีการคำนวณค่าสถิติดังกล่าวไว้ในภาคผนวกให้ชัดเจน เพื่อที่ผู้อื่นจะได้สามารถนำไปทำซ้ำได้ ควรอธิบายวิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างไว้ในรายงานส่วนนี้ด้วย

12.2.2 สถิติในส่วนของผลการศึกษา

ในส่วนนี้นักวิจัยควรนำเสนอผลการวิเคราะห์ต่างๆตามลำดับ ดังนี้

12.2.2.1 ความครบถ้วนของข้อมูล

ควรรายงานผลจำนวนข้อมูลที่เก็บมาได้ อัตราการตกสำรวจหรืออัตราการสูญหายจากการติดตาม พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลและลักษณะของผู้ที่ตกสำรวจหรือ

∫∑∑'Ë12 198 10/7/09, 11:33 AM

สูญหายจากการติดตาม เพื่อให้ผู้อ่านได้นำไปพิจารณาว่าข้อมูลที่ขาดไปเป็นการขาดอย่างสุ่ม หรือมีแนวโน้มว่ากลุ่มที่มีปัญหาคือกลุ่มที่เก็บข้อมูลไม่ได้

12.2.2.2 ผลการประเมินความสอดคล้องของการวัด

ในการศึกษาที่มีผู้เก็บ (ผู้วัด) ข้อมูลหลายคน ถ้าในแผนการศึกษามีการประเมินความสอดคล้อง (agreement) ของผู้วัด ก็ควรนำเสนอผลการทดสอบความสอดคล้องด้วยว่าเป็นอย่างไร

12.2.2.3 การบรรยายลักษณะของตัวอย่าง

การบรรยายลักษณะของตัวอย่างควรทำทั้งในรูปของตารางแจกแจงความถี่หรือกราฟที่สามารถดูแล้วเข้าใจได้ง่าย การเลือกค่าสถิติที่ใช้วัดค่ากลางและการวัดการกระจายจะต้องมีความเหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล การนำเสนอในส่วนนี้ควรจะครอบคลุมทั้งข้อมูลพื้นฐาน ข้อมูลทางคลินิก (clinical data) (ถ้ามี) ปัจจัยต่างๆ และตัวแปรผล ในกรณีที่เป็นการศึกษาเชิงทดลอง การนำเสนอข้อมูลพื้นฐานของหน่วยศึกษาควรนำเสนอในลักษณะของการเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม โดยปกติจะนำเสนอเปรียบเทียบในรูปของร้อยละเท่านั้น แล้วนำค่าร้อยละไปบรรยายว่ามีแนวโน้มแตกต่างกันหรือไม่ ไม่จำเป็นจะต้องทำการทดสอบสมมติฐานว่าข้อมูลพื้นฐานต่างกันหรือไม่

12.2.2.4 การปรับหรือการแปลงค่าข้อมูล

ในกรณีที่มีข้อมูลบางตัวมีค่าผิดปกติจากกลุ่ม มีข้อมูลสูญหาย หรือมีการแปลงข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ ควรมีการรายงานปัญหาที่พบและวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์หรือแก้ไขปัญหาดังกล่าว

12.2.2.5 ผลการทดสอบสมมติฐานหรือผลการเปรียบเทียบ

การสรุปผลการเปรียบเทียบด้วยสถิติควรระบุชื่อสถิติที่ใช้ให้ชัดเจน โดยเฉพาะกรณีที่เป็นการทดสอบแบบ t (t test) ว่าเป็นอิสระ (independent) หรือไม่เป็นอิสระ (dependent) นอกจากจะรายงานค่า P value แล้วจำเป็นจะต้องรายงานผลในรูปของช่วงความเชื่อมั่นด้วย หรือจะรายงานเฉพาะช่วงความเชื่อมั่นอย่างเดียวก็ได้ อีกทั้งควรอภิปรายขนาดความแตกต่างที่พบว่ามีความสำคัญในการนำไปใช้งานหรือไม่

12.2.2.6 รายงานผลกรณีการทดสอบไม่พบความแตกต่าง

การสรุปผลการศึกษากรณีคำถามหลักแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ควรมีการคำนวณค่าอำนาจการทดสอบและค่าช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่าง และนำไปอภิปรายผลร่วมกับความสำคัญในการใช้งาน (clinical หรือ scientific importance)

12.2.2.7 การใช้วิธีการทางสถิติควบคุมผลของปัจจัยกวน

กรณีที่พบว่ามีปัจจัยกวนที่มีผลต่อการเปรียบเทียบ และนักวิจัยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมปรับค่าปัจจัยกวน (covariate adjustment) ในการควบคุมปัจจัยที่มีอิทธิพลควรระบุว่าใช้อะไร เช่น การถดถอยพหุคูณ (multiple regression) การถดถอยลอจิสติก (logistic regression) หรือการถดถอยคอกซ์ (Cox regression) พร้อมอธิบายวิธีการเลือกตัวแปรที่จะนำมาปรับค่าตัวแปรผล

12.2.2.8 การวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ไม่ได้ใช้กันทั่วไป

ในกรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยสถิติมาตรฐานที่มีอยู่ ต้องใช้วิธีการทางสถิติที่พบได้ไม่บ่อยหรือวิธีการทางสถิติเฉพาะ (new approach) ควรอธิบายรายละเอียดของวิธีการวิเคราะห์และสูตรที่ใช้ให้ชัดเจนพอที่ผู้อ่านสามารถเข้าใจและนำไปทำซ้ำได้ หรือผู้ประเมินรายงานวิจัยสามารถที่จะใช้ประเมินความถูกต้องและความเหมาะสมของวิธีการได้

สรุป

วิธีการทางสถิติที่ควรมีในโครงร่างงานวิจัยและรายงานวิจัยที่มีอยู่ในบทนี้เป็นหลักการมาตรฐาน หน่วยงานที่ให้ทุนอาจกำหนดรูปแบบโครงร่างงานวิจัยหรือรายงานวิจัยที่ต้องการให้มีข้อมูลอื่นเพิ่มเติมจากนี้ได้

∫ΣΣ'Ë12 200 10/7/09, 11:33 AM

บทที่ 13

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลต่อเนื่องของประชากรมากกว่า 2 กลุ่ม เช่น ต้องการทราบว่าค่าใช้จ่ายในการดูแลสุขภาพของประชาชนใน 3 อำเภอมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันหรือไม่ ถ้าใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทีละคู่โดยใช้การทดสอบแบบ t (t test) จะต้องเปรียบเทียบกันทั้งหมด 3 ครั้ง คือ อำเภอที่ 1 กับอำเภอที่ 2 อำเภอที่ 1 กับอำเภอที่ 3 และอำเภอที่ 2 กับอำเภอที่ 3 ในการทดลองทีละคู่หลายๆครั้งแล้วนำผลที่ได้มาสรุปรวมกันจะทำให้ความผิดพลาด α มีค่ามากกว่าที่กำหนด เช่น ในการทดสอบ 3 ครั้ง โดยกำหนดให้การทดสอบแต่ละครั้งมีค่า $\alpha = 0.05$ จะสามารถคำนวณค่าความผิดพลาด α ได้ดังนี้

ครั้งที่	การเปรียบเทียบ	ความเชื่อมั่น	โอกาสผิดพลาด α
1	อำเภอที่ 1 กับอำเภอที่ 2	1	5% ของ 1 = 0.05
2	อำเภอที่ 1 กับอำเภอที่ 3	1 – 0.05 = 0.95	5% ของ 0.95 = 0.0475
3	อำเภอที่ 2 กับอำเภอที่ 3	0.95 – 0.0475 = 0.9025	5% ของ 0.9025 = 0.045125
ในการทดสอบ 3 ครั้ง ความผิดพลาด α รวม			= 0.142625

การทดสอบครั้งที่ 1 ความเชื่อมั่นทั้งหมด 1 โอกาสสรุปผิดพลาด 0.05 ทำให้การทดสอบครั้งที่ 2 จะมีความเชื่อมั่นเหลือเพียง 0.95 ในทำนองเดียวกัน ในการทดสอบครั้งที่ 3 จะมีความเชื่อมั่นเหลืออยู่เพียง 0.9025 ถ้านักวิจัยนำผลการทดสอบทั้ง 3 ครั้งมาสรุปรวมกันว่าทั้ง 3 อำเภอมีค่าเฉลี่ยต่างกันหรือไม่ ข้อสรุปรวมที่ได้จะมีโอกาสเกิดความผิดพลาด α = 0.14 ซึ่งสูงกว่า 0.05 ที่กำหนดไว้ ยิ่งถ้ามีจำนวนประชากรที่จะเปรียบเทียบมากกลุ่มเท่าไรก็ยิ่งจะทำให้ความผิดพลาด α มากขึ้นเท่านั้น

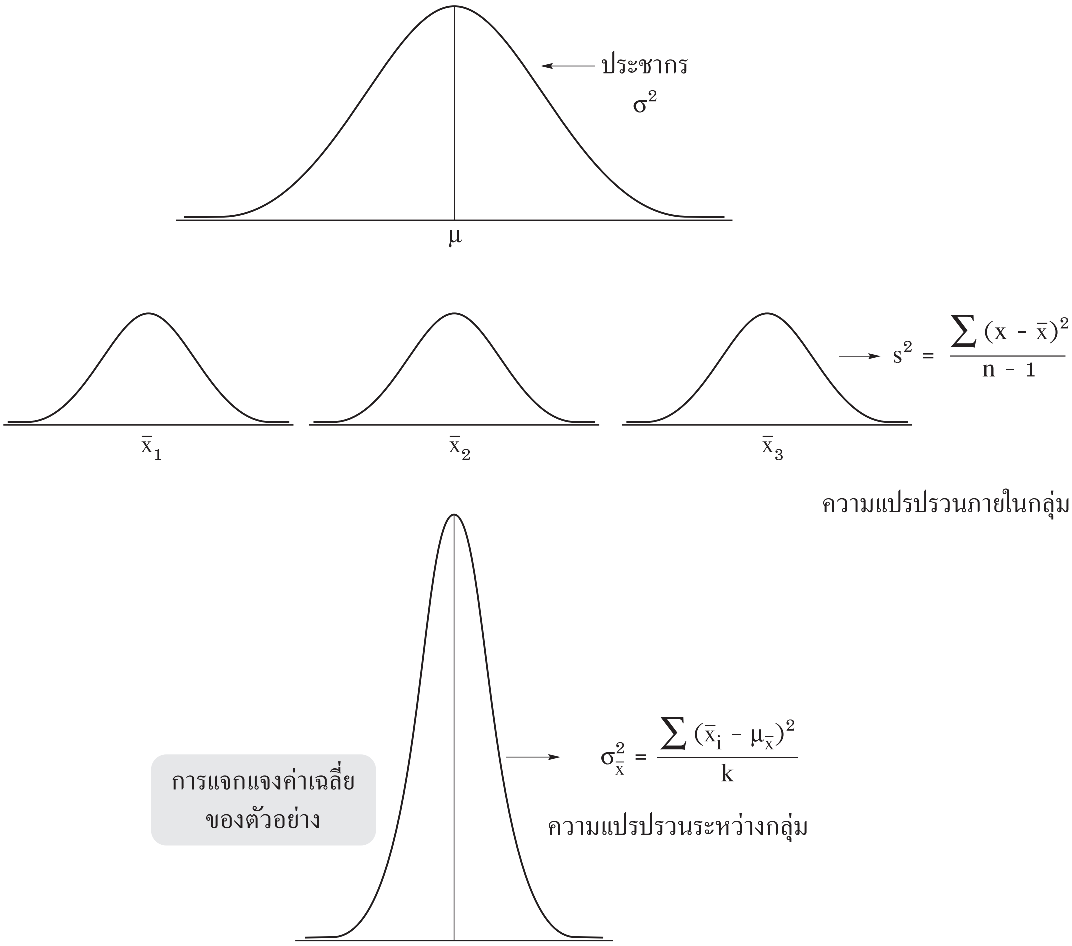
ดังนั้นถ้าจะควบคุมให้ผลสรุปรวมมีค่าความผิดพลาด α เท่ากับ 0.05 นักวิจัยต้องลดค่าความผิดพลาด α ของการทดสอบแต่ละครั้งลง แต่ก็จะทำให้การทดสอบแต่ละคู่มีโอกาสที่จะพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญน้อยลง วิธีการนี้จึงไม่เหมาะสมกับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรมากกว่า 3 กลุ่ม

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) เป็นวิธีการที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป โดยเริ่มต้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรทุกกลุ่มพร้อมกันก่อนว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ เมื่อพบว่าไม่แตกต่างจะสามารถสรุปผลจากการทดสอบเพียงครั้งเดียวและทำให้ค่าความผิดพลาดของการสรุปผลมีค่าไม่เกินค่า α ที่กำหนด ถ้าพบว่าแตกต่างนักวิจัยสามารถเลือกที่จะเปรียบเทียบเฉพาะคู่ที่ต้องการ โดยมีการปรับค่า α หรือปรับวิธีการทดสอบเพื่อให้ผลสรุปรวมของการเปรียบเทียบรายคู่มีความผิดพลาดไม่เกิน α ที่กำหนด

ในการทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะต้องมีความเข้าใจเรื่องแนวคิด วิธีการคำนวณ และวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ตามรายละเอียดดังนี้

13.1 แนวคิดในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

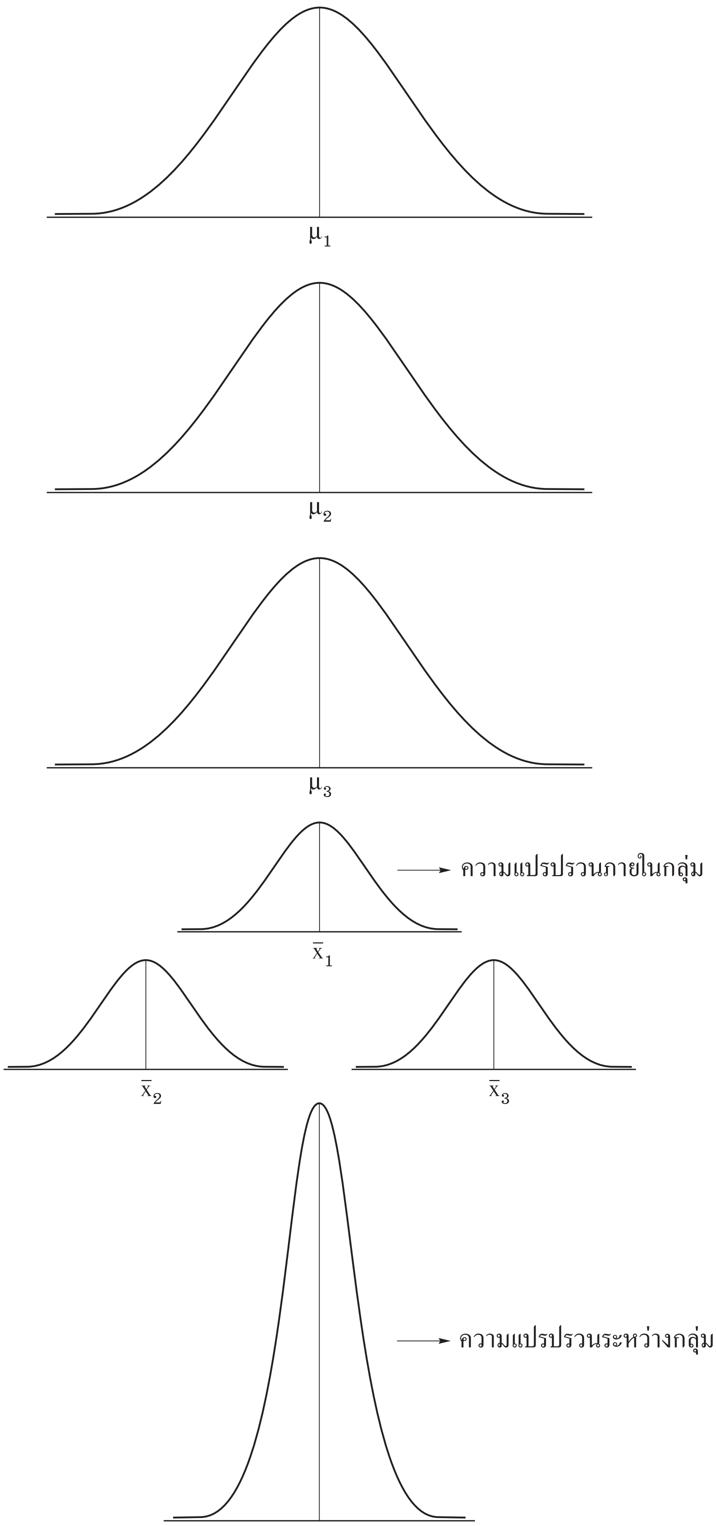
จากลักษณะความแปรปรวนของการแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในภาพ 13.1 ในกรณีที่ตัวอย่างมาจากประชากรเดียวกัน ค่า s^2 เป็นความแปรปรวนระหว่างค่าสังเกตของตัวอย่างแต่ละค่ากับค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง เรียกความแปรปรวนนี้ว่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม (mean square within group (MSW)) ส่วนความแปรปรวนอีกส่วนหนึ่งคือ $\sigma_{\bar{x}}^2$ เป็นความแปรปรวนที่เกิดจาก $\bar{x}$ แต่ละตัวต่างจาก μ ความแปรปรวนในส่วนนี้เรียกว่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (mean square between group (MSB)) ถ้าตัวอย่างถูกสุ่มมาจากประชากรเดียวกันค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มตัวอย่างจะมีค่าเล็กกว่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม มีคำอธิบายอยู่ในเรื่องการแจกแจงของตัวอย่างในบทที่ 3



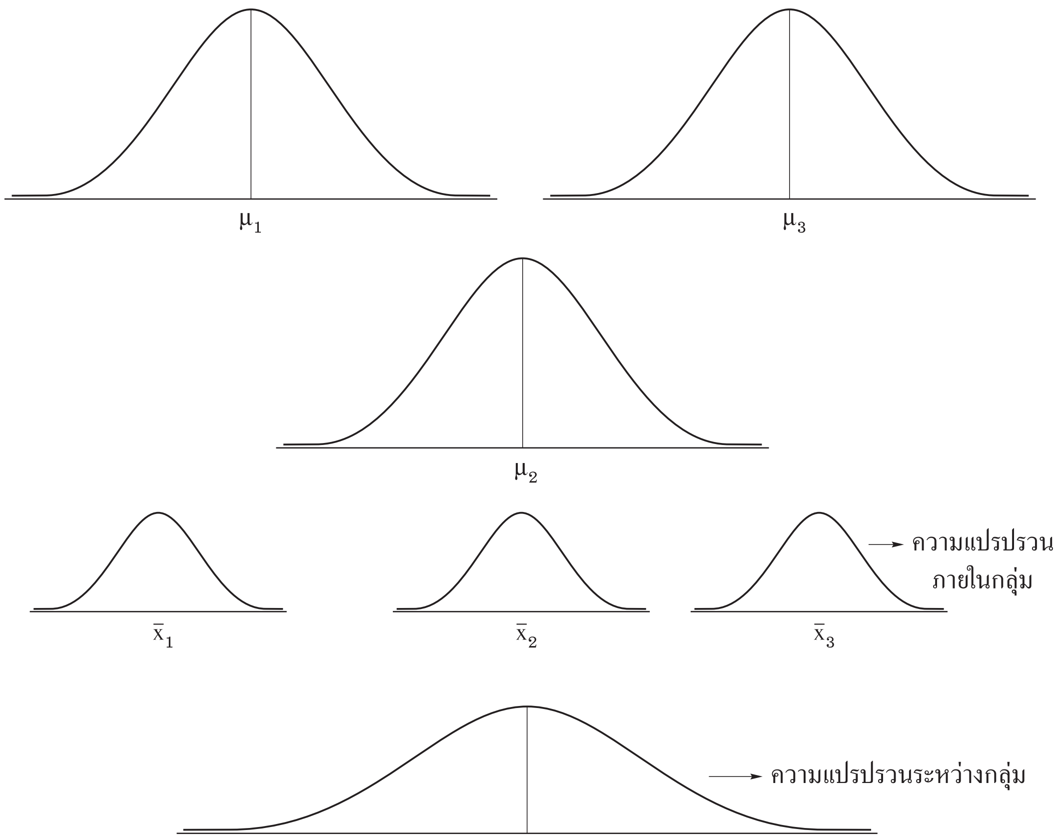
ภาพ 13.1 แสดงความแปรปรวนของการแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

ดังนั้นจึงใช้แนวคิดนี้ในการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากร โดยพิจารณาสรุปผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดจากการเปรียบเทียบความแปรปรวนภายในกลุ่มตัวอย่างกับความแปรปรวนระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ถ้าพบว่าค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่าเล็กกว่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม แสดงว่าค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งหมดสุ่มมาจากประชากรเดียวกัน หรือสุ่มมาจากประชากรที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน ดังแสดงในภาพ 13.2 ถ้าพบว่าค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่าใหญ่กว่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม แสดงว่าตัวอย่างสุ่มมาจากประชากรที่มีค่าเฉลี่ยต่างกัน ดังแสดงในภาพ 13.3

การสรุปดังกล่าวจะเป็นจริงได้ความแปรปรวนของประชากรที่จะนำมาเปรียบเทียบต้องเท่ากัน เพราะถ้าไม่เท่ากันค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่สุ่มได้อาจมีการกระจายมาก เนื่องจากสาเหตุของความแปรปรวนที่ไม่เท่ากันทำให้ค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มใหญ่กว่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม โดยไม่สามารถระบุได้ว่ามาจากการที่ค่าเฉลี่ยต่างกัน หรือมาจากสาเหตุของความแปรปรวนที่ไม่เท่ากัน



ภาพ 13.2 แสดงความแปรปรวนของตัวอย่างที่มาจากประชากรที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน

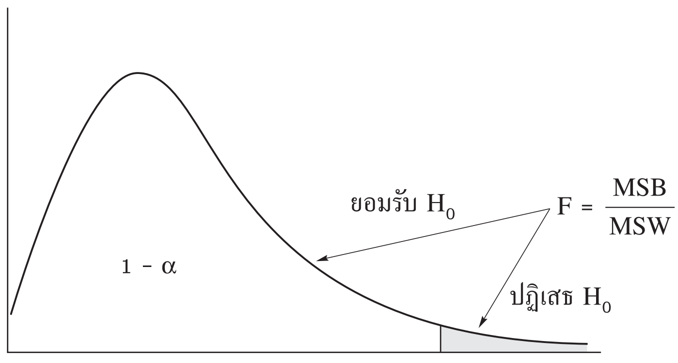


ภาพ 13.3 แสดงความแปรปรวนของตัวอย่างที่มาจากประชากรที่มีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน

จากการเปรียบเทียบความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (MSB) และความแปรปรวนภายในกลุ่ม (MSW) ทำได้โดยคำนวณค่าสัดส่วนของ MSB/MSW ถ้าค่าสัดส่วนของ MSB/MSW มีค่าน้อย แสดงว่าค่า MSB เล็กกว่าค่า MSW ในทางกลับกัน ถ้าพบว่าค่าสัดส่วนของ MSB/MSW มีค่ามาก แสดงว่าค่า MSB ใหญ่กว่าค่า MSW

การทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของความแปรปรวนทำโดยใช้การทดสอบแบบ F (F test)

$$F = \frac{MSB}{MSW}$$



ถ้าพบว่าค่า MSB ใหญ่กว่า MSW เกินกว่าค่าที่กำหนดจะปฏิเสธสมมติฐาน แสดงว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดที่ทดสอบมีอย่างน้อยหนึ่งตัวอย่างมาจากประชากรที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากประชากรอื่น

13.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่จะอธิบายในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way analysis of variance) ใช้สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างประชากร 2 กลุ่มหรือมากกว่า ในกรณีที่เปรียบเทียบประชากร 2 กลุ่ม ค่า P value ที่คำนวณได้จากการทดสอบแบบ F และการทดสอบแบบ t จะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นในกรณีการเปรียบเทียบประชากร 2 กลุ่ม ไม่ว่านักวิจัยจะใช้การทดสอบแบบ F หรือการทดสอบแบบ t ในการสรุปผลการเปรียบเทียบก็จะให้ผลเช่นเดียวกัน

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีข้อตกลงเบื้องต้นในการทดสอบดังนี้

1) ตัวอย่างได้มาอย่างสุ่มและเป็นอิสระต่อกัน
2) ตัวอย่างต้องสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ
3) ประชากรที่นำมาเปรียบเทียบจะต้องมีความแปรปรวนเท่ากัน

ANOVA เป็นคำย่อที่ใช้เรียกวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยย่อมาจาก **an**alysis **o**f **va**riance สัญลักษณ์ในการคำนวณของวิธีวิเคราะห์ ANOVA มีตัวห้อย (subscript) ที่แสดงข้อมูลแต่ละตัวในแต่ละกลุ่มที่ต้องทำความเข้าใจในเบื้องต้น เพื่อช่วยให้เข้าใจสูตรในการคำนวณได้ง่าย

ให้ประชากรที่ต้องการเปรียบเทียบมี k กลุ่ม โดยให้ i เป็นลำดับที่ของกลุ่ม ค่า i จะเริ่มต้นตั้งแต่ 1 ถึง k ในแต่ละกลุ่มที่จำนวนตัวอย่างเท่ากับ n_i ให้ j เป็นลำดับที่ของหน่วยสังเกตในแต่ละกลุ่ม ค่า j จะเริ่มต้นตั้งแต่ 1 ถึง n_i สัญลักษณ์หน่วยสังเกตและค่าสถิติของกลุ่มต่างๆแสดงในตาราง 13.1

ตาราง 13.1 สัญลักษณ์ของหน่วยสังเกตของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

สัญลักษณ์	กลุ่ม			
	1	2	...	k
	x_{11}	x_{21}	...	x_{k1}
	x_{12}	x_{22}	...	x_{k2}
	.	.	...	
	x_{1n_1}	x_{2n_2}	...	x_{kn_k}
$\sum x_{ij}$	$\sum x_{1j}$	$\sum x_{2j}$	...	$\sum x_{nk}$
n_i	n_1	n_2	...	n_k
$\bar{x}_i$	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	...	$\bar{x}_k$
s_i^2	s_1^2	s_2^2	...	s_k^2

ให้คำย่อที่ใช้ในการคำนวณค่าต่างๆในการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีดังนี้

SSW = sum of square within group

MSW = mean square within group

SSB = sum of square between group

MSB = mean square between group

SST = total sum of square

13.2.1 การคำนวณค่าเฉลี่ยกำลังสอง

สูตรคำนวณค่าเฉลี่ยกำลังสอง (mean square) หรือความแปรปรวน คือ

$$s^2 = \frac{\overbrace{\sum (x_i - \bar{x})^2}^{\text{sum of square}}}{\underbrace{n - 1}_{\text{องศาเสรี}}}$$

การคำนวณค่าเฉลี่ยกำลังสองทำได้โดยการนำค่าผลรวมกำลังสองมาหารด้วยองศาเสรี

1) การคำนวณค่าผลรวมกำลังสองภายในกลุ่ม (sum of square within group) ซึ่งเป็นผลรวมของค่า SS ของแต่ละกลุ่ม คำนวณจากสูตร

$$SSW = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n_i} (x - \bar{x}_i)^2 \quad \text{องศาเสรี} = N - k$$

2) การคำนวณค่า MSW โดยสูตร $MSW = \frac{SSW}{N - k}$

3) การคำนวณค่า SSB ซึ่งเป็นค่า SS ที่เกิดจาก $\bar{x}_i$ แต่ละกลุ่มซึ่งกระจายจากค่าเฉลี่ยรวม $\bar{x}$ คำนวณจากสูตร

$$SSB = \sum_{i=1}^{k} n_i(\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad \text{องศาเสรี} = k - 1$$

4) การคำนวณค่า MSB คำนวณจากสูตร $MSB = \frac{SSB}{k - 1}$

5) การคำนวณค่า SST ซึ่งเป็นค่า SS ที่เกิดจาก x_{ij} ของทั้งหมดทุกกลุ่มซึ่งกระจายจากค่าเฉลี่ยรวม $\bar{x}$ คำนวณจากสูตร

$$SST = \sum (x_{ij} - \bar{x})$$

โดยพบว่า SST = SSW + SSB ดังนั้นจะสามารถคำนวณ SSW ได้จากสูตร

$$SSW = SST - SSB$$

เพื่อให้ง่ายในการสรุปผล จึงนำผลการคำนวณทั้งหมดใส่ลงในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีรูปแบบของตารางดังนี้

ตาราง 13.2 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P value
ระหว่างกลุ่ม	SSB	$k-1$	$MSB = \frac{SSB}{k-1}$	$F = \frac{MSB}{MSW}$	
ภายในกลุ่ม	SSW	$N-k$	$MSW = \frac{SSW}{N-k}$		
รวม	**SST**	**$N-1$**			

ตัวอย่างที่ 13.1

ในการประเมินความรู้และทักษะในการป้องกันโรคไข้เลือดออกของแม่บ้าน อสม. และเจ้าหน้าที่สาธารณสุขได้ผลดังแสดงในตารางต่อไปนี้ อยากทราบว่าคะแนนความรู้และทักษะของทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันหรือไม่

แม่บ้าน	อสม.	เจ้าหน้าที่ฯ
4	5	9
3	3	10
1	7	7
0	6	6
2	5	8

ขั้นที่ 1 $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H_A: มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน

ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

ขั้นที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าสถิติ

	แม่บ้าน	อสม.	เจ้าหน้าที่ฯ
	4	5	9
	3	3	10
	1	7	7
	0	6	6
	2	5	8
$\sum x_{ij}$	10	26	40
n_i	5	5	5
$\bar{x}_i$	2.0	5.20	8.0
s_i^2	2.5	2.2	2.5

จากค่า s^2 ของแต่ละกลุ่มพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันจึงเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นว่าทั้ง 3 กลุ่มมีความแปรปรวนเท่ากัน ในกรณีที่ไม่แน่ใจว่าความแปรปรวนทั้ง 3 ตัวมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ สามารถทำการทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนโดยใช้การทดสอบของบาร์ตเล็ตต์ (Bartlett's test)

คำนวณค่า

$$SST = \sum (x_{ij} - \bar{x})^2 = 118.933$$

$$SSB = \sum n(\bar{x}_i - \bar{x})^2 = 90.133$$

$$SSW = SST - SSB = 118.933 - 90.133$$

$$= 28.8$$

นำผลที่คำนวณได้ใส่ลงในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ดังนี้

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P value
ระหว่างกลุ่ม	90.133	2	45.067	18.778	< 0.0001
ภายในกลุ่ม	28.8	12	2.4		
รวม	**118.933**	**14**			

นำค่า F ที่ได้ไปเปิดตาราง ส 4 ที่องศาเสรี (2, 12) ได้ค่า P value < 0.0001

ขั้นที่ 5 ค่า P value (< 0.0001) น้อยกว่าค่า α (0.05) จึงปฏิเสธสมมติฐาน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตัวอย่างมีเหตุผลที่ควรเชื่อได้ว่ามีประชากรอย่างน้อย 1 คู่ที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

13.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่

เมื่อผลการทดสอบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อยหนึ่งคู่ที่มีความแตกต่างกัน จึงต้องทดสอบรายคู่เพื่อดูว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดมีความแตกต่างกันบ้าง วิธีการเปรียบเทียบรายคู่แต่ละวิธีจะนำค่าจำนวนคู่ของการเปรียบเทียบไปใช้คำนวณช่วงความเชื่อมั่นของการเปรียบเทียบด้วย ค่าช่วงความเชื่อมั่นจะกว้างขึ้นตามจำนวนคู่ที่ต้องการเปรียบเทียบ ดังนั้นถ้านักวิจัยมีจุดมุ่งหมายที่จะพิสูจน์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นบางคู่ควรทำเฉพาะจำนวนคู่ที่สนใจ และเลือกวิธีการเปรียบเทียบให้เหมาะสมด้วย

วิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่มีหลายวิธี ในบทนี้จะอธิบายวิธีการที่ใช้แพร่หลาย 3 วิธี คือ

1) **วิธีการทดสอบ t บอนเฟอร์โรนี** (Bonferroni t test) หรือวิธีผลต่างที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุดที่ปรับค่าบอนเฟอร์โรนี (Least Significant Difference with Bonferroni Adjustment) สำหรับการเปรียบเทียบรายคู่ที่มีจำนวนคู่ที่ต้องการเปรียบเทียบไม่มากนัก
2) **วิธีผลต่างที่มีนัยสำคัญอย่างซื่อสัตย์ของทูคีย์** (Tukey's Honestly Significant Difference, HSD) สำหรับการเปรียบเทียบรายคู่ทุกคู่ที่ทุกกลุ่มมีขนาดตัวอย่างเท่ากัน
3) **วิธีของเชฟเฟ** (Scheffe's method) สำหรับการเปรียบเทียบรายคู่หรือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่ม

13.3.1 วิธีการทดสอบ t บอนเฟอร์โรนีหรือวิธีผลต่างที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุดที่ปรับค่าบอนเฟอร์โรนี

วิธีการเปรียบเทียบรายคู่ด้วยวิธีนี้จะใช้สถิติ t เปรียบเทียบโดยใช้ค่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม (MSW) เป็นค่าความแปรปรวนร่วม โดยมีสูตรคำนวณค่าช่วงความเชื่อมั่นดังนี้

$$(1-\alpha)\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ}\ \mu_1 - \mu_2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t_{\frac{\alpha}{2k}(N-k)} \sqrt{\text{MSW}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}$$

สูตรคำนวณช่วงความเชื่อมั่นสำหรับการเปรียบเทียบรายคู่ ค่า α จะต้องมีการปรับเพื่อให้ค่า α รวมของการทดสอบรายคู่ทั้งหมดไม่เกินค่าที่กำหนด การปรับค่า α ที่ใช้คำนวณค่าช่วงความเชื่อมั่นด้วยจำนวนคู่ที่เปรียบเทียบเรียกว่าการปรับค่าบอนเฟอร์โรนี (Bonferroni Adjustment) ค่า α ที่ใช้คำนวณช่วงความเชื่อมั่นจะเท่ากับ α/k โดยที่ k คือจำนวนคู่ที่จะเปรียบเทียบ ขนาดความกว้างของช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณด้วยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนคู่ที่ต้องการเปรียบเทียบ ดังนั้นถ้านักวิจัยมีจุดมุ่งหมายที่จะทดสอบความแตกต่างรายคู่เพียงไม่กี่คู่ วิธีการนี้จะให้ช่วงความเชื่อมั่นที่กระชับ

จากตัวอย่างที่ 13.1 ถ้านักวิจัยสนใจที่จะพิสูจน์ว่าความรู้ของแม่บ้านกับ อสม. ต่างกันหรือไม่เพียงคู่เดียว สามารถคำนวณค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นด้วยวิธีการทดสอบ t บอนเฟอร์โรนี (Bonferroni t test) ได้ดังนี้

$$95\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ}\ \mu_1 - \mu_2 = (2 - 5.2) \pm t_{0.025(12)}\sqrt{2.4\left[\frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right]}$$

$$= -5.335,\ -1.065$$

ในกรณีที่นักวิจัยไม่ได้กำหนดว่าต้องการดูเฉพาะคู่ใดบ้าง โดยปกติจะทดสอบทุกคู่ เพื่อจะดูว่ามีคู่ใดแตกต่างกันบ้าง จากตัวอย่างจำนวนคู่ที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับ 3 ($k = 3$) ค่า α ที่จะใช้คำนวณ 95% ช่วงความเชื่อมั่นจะเท่ากับ $0.05/2(3) = 0.008$ คำนวณค่าช่วงความเชื่อมั่นได้ดังนี้

$$95\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ}\ \mu_1 - \mu_2 = (2 - 5.2) \pm t_{0.016/2(12)}\sqrt{2.4\left[\frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right]}$$

$$= -5.92,\ -0.48$$

จะเห็นได้ว่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นที่ได้จะกว้างกว่าที่ต้องการดูเพียงคู่เดียว

13.3.2 วิธีผลต่างที่มีนัยสำคัญอย่างซื่อสัตย์ของทูคีย์ (HSD)

ในกรณีที่นักวิจัยต้องการดูทุกคู่ว่าคู่ใดมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันบ้าง วิธี HSD จะให้ค่าช่วงความเชื่อมั่นที่กระชับกว่าวิธีการทดสอบ t บอนเฟอร์โรนี การคำนวณช่วงความเชื่อมั่นจะใช้สถิติ q (studentized range statistic) สำหรับการเปรียบเทียบทุกคู่ โดยที่แต่ละกลุ่มจะต้องมีขนาดตัวอย่างเท่ากัน มีสูตรคำนวณช่วงความเชื่อมั่นโดยวิธี HSD ดังนี้

$$(1 - \alpha)\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ}\ \mu_1 - \mu_2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm q_{(k,\ N-k,\ \alpha)}\sqrt{\frac{MSW}{n}}$$

นำค่า k, $N - k$ และ α ไปเปิดตาราง ส 7 หาค่า q เช่น ในกรณี $k = 3$, $N - k = 12$, $\alpha = 0.05$ จะได้ค่า $q = 3.77$

จากตัวอย่างที่ 13.1 ถ้าต้องการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทุกคู่ว่าแตกต่างกันหรือไม่ สามารถคำนวณค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นด้วยวิธี HSD ได้ดังนี้

$$95\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ}\ \mu_1 - \mu_2 = (2.0 - 5.2) \pm q_{(3,\ 12,\ 0.05)}\sqrt{\frac{2.4}{5}}$$

$$= -5.814,\ -0.586$$

ในทำนองเดียวกัน 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ $\mu_1 - \mu_3 = -8.614, -3.386$

และ 95% ช่วงความเชื่อมั่นของ $\mu_2 - \mu_3 = -5.414, -0.186$

จาก 95% ช่วงความเชื่อมั่นที่ได้ทั้ง 3 คู่พบว่าไม่มีค่าศูนย์อยู่ แสดงว่าค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

13.3.3 วิธีของเชฟเฟ

วิธีนี้นอกจากจะใช้เปรียบเทียบรายคู่ที่ขนาดตัวอย่างแต่ละกลุ่มแตกต่างกันได้แล้ว ยังสามารถใช้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่ม ในกรณีที่เปรียบเทียบทุกคู่และแต่ละกลุ่มมีขนาดตัวอย่างเท่ากันวิธีการ HSD จะให้ช่วงความเชื่อมั่นที่กระชับกว่าวิธีของเชฟเฟ การคำนวณช่วงความเชื่อมั่นโดยวิธีของเชฟเฟด้วยสถิติ F มีสูตรคำนวณดังนี้

$$95\%\ \text{ช่วงความเชื่อมั่นของ}\ \mu_1 - \mu_2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm s\sqrt{MSW\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}$$

เมื่อ $s^2 = (k-1)F_{k-1,\, n-k,\, 1-\alpha}$

จากตัวอย่างที่ 13.1 ในการเปรียบเทียบรายคู่ทุกคู่ด้วยวิธีของเชฟเฟสามารถคำนวณค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นระหว่างกลุ่มที่ 1 กับกลุ่มที่ 2 ได้เท่ากับ −5.93, −0.47 ซึ่งขนาดของช่วงความเชื่อมั่นจะกว้างกว่าที่คำนวณจากวิธี HSD

การแปลผลความแตกต่างกรณีที่ผลการทดสอบรายคู่พบความแตกต่างควรพิจารณาขนาดความแตกต่างที่มีประโยชน์ต่อการใช้งานร่วมด้วย เช่นเดียวกันกับที่ได้อธิบายไว้ การแปลผลการทดสอบสมมติฐานจะทำให้ได้ข้อสรุปที่สามารถนำไปใช้งานได้

สรุป

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมากกว่า 2 กลุ่มจะต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อจะทำให้ผลสรุปมีค่าความผิดพลาด α เท่ากับที่กำหนด การวิเคราะห์ความแปรปรวนทำโดยการทดสอบว่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีขนาดเล็กกว่าความแปรปรวนภายในกลุ่มหรือไม่ ถ้าผลการทดสอบพบว่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีขนาดเล็กกว่าความแปรปรวนภายในกลุ่มจะสรุปว่าตัวอย่างที่ศึกษามาจากประชากรที่มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ในกรณีที่พบว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกันถ้าต้องการทราบว่าคู่ที่ต้องการเปรียบเทียบจะมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันหรือไม่ ให้ทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างคู่ด้วยวิธีการทดสอบ t บอนเฟอร์โรนี ในกรณีขนาดตัวอย่างแต่ละกลุ่มเท่ากันและต้องการเปรียบเทียบทุกคู่ควรเลือกใช้วิธี HSD ที่จะให้ช่วงความเชื่อมั่นที่กระชับที่สุด ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างแต่ละกลุ่มไม่เท่ากันหรือต้องการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มควรใช้วิธีของเชฟเฟ

บทที่ 14

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดซ้ำ

ในการเปรียบเทียบตัวแปรผลที่เป็นตัวแปรต่อเนื่องของประชากร 2 กลุ่มที่มีความสัมพันธ์กันในบทที่ 6 โดยใช้การทดสอบ t แบบไม่อิสระใช้กับแบบงานวิจัยก่อนและหลังทดสอบ (before-after study) หรือแบบงานวิจัยตัดสลับกัน (cross-over study) ในกรณีเดียวกันถ้ามีการวัดผลที่เกิดขึ้นมากกว่า 2 ช่วงเวลา ถ้าใช้การทดสอบ t แบบไม่อิสระทดสอบทีละคู่แล้วนำผลมาสรุปรวมกันก็จะเกิดปัญหาว่าผลสรุปมีความผิดพลาด ค่า α ใหญ่กว่าที่กำหนด วิธีการวิเคราะห์แบบงานวิจัยที่ตัวแปรผลเป็นตัวแปรต่อเนื่องที่มีการวัดซ้ำและมีจำนวนประชากรมากกว่า 2 กลุ่มที่จะอธิบายในบทนี้ คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวกรณีการวัดซ้ำ (repeated measure one-way ANOVA) หรือการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวภายในคน (within subject one-way ANOVA)

14.1 แนวคิดในการทดสอบแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวกรณีการวัดซ้ำ

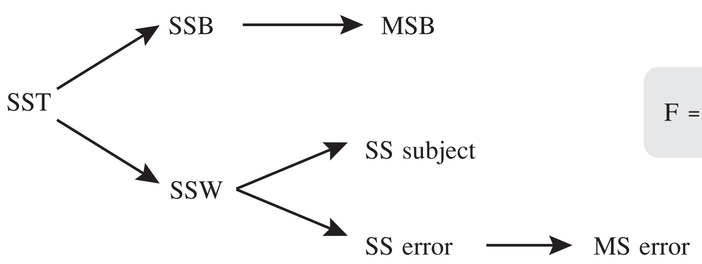
แบบงานวิจัยที่มีการวัดหน่วยสังเกตเดียวกันหลายๆครั้งตามช่วงเวลาในการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว จะนำข้อมูลที่วัดได้ในแต่ละช่วงเวลาเป็นข้อมูลของแต่ละกลุ่มที่ต้องการจะเปรียบเทียบ

ตัวอย่างที่ 14.1

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความรู้เรื่องการเลือกซื้ออาหารอย่างปลอดภัย โดยวัดความรู้ก่อนฝึกอบรม หลังฝึกอบรม และหลังฝึกอบรม 6 เดือน พบว่าความรู้ในแต่ละช่วงเวลาเป็นดังนี้

คนที่	ความรู้ก่อนฝึกอบรม		ความรู้หลังฝึกอบรม	ความรู้หลังฝึกอบรม 6 เดือน	ค่าเฉลี่ย
1	28	T	39	32	33
2	24	R	35	28	29
3	26	A	34	29	29.7
4	31	I	39	26	32
5	24	N	34	24	27.3
6	24	I	35	24	27.6
7	27	N	38	23	29.3
8	25	G	30	23	26
9	24		29	19	24
10	24		32	19	25
$\bar{x}$	25.7		34.5	24.7	28.3

จุดประสงค์ของการทดสอบต้องการทราบว่าคะแนนเฉลี่ยความรู้ของทั้ง 3 ช่วงเวลาแตกต่างกันหรือไม่ ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวจะเปรียบเทียบความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (ระหว่างช่วงเวลา) กับความแปรปรวนภายในกลุ่ม แต่ในกรณีการวัดซ้ำคนเดียวกันถูกวัดความรู้ 3 ช่วงเวลา ทำให้สามารถหาความแปรปรวนภายในคน (within subject) ซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งของภายในกลุ่ม (within group) ดังนั้นในแบบงานวิจัยกรณีที่เป็นการวัดซ้ำจึงสามารถแยกความแปรปรวนได้ดังนี้



$$F = \frac{MSB}{MSE}$$

เมื่อสามารถแบ่งความแปรปรวนภายในกลุ่ม (SSW) ออกเป็น SS subject และ SS error ทำให้ความแปรปรวนที่เกิดจากคนคนเดียวซึ่งถูกวัดหลายครั้งถูกแยกออกจากความแปรปรวนภายในกลุ่ม ทำให้การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาด้วยสถิติ F สามารถใช้ MSE เป็นตัวหาร ซึ่งช่วยให้มีความถูกต้องในการระบุความแตกต่างระหว่างช่วงเวลาได้

14.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวกรณีการวัดซ้ำ

การคำนวณค่าความแปรปรวนและองศาเสรีของส่วนต่างๆทำได้ดังนี้

การคำนวณค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (sum of square between group)

$$SSB = n\sum_{i=1}^{k}(\bar{x}_i - \bar{x})^2 \qquad df = k - 1$$

การคำนวณค่าความแปรปรวนรวม (sum of square total)

$$SST = \sum (x_{ij} - \bar{x})^2$$

การคำนวณค่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม (sum of square within group)

$$SSW = SST - SSB \qquad df = N - k$$

การคำนวณค่าความแปรปรวนภายในคน (sum of square subject)

$$SS_{subject} = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{k}(x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \qquad df = n - 1$$

การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของความแปรปรวน (sum of square error)

$$SSE = SST - SSB - SS_{subject} \text{ หรือ } (SSW - SS_{subject})$$

$$\begin{aligned} df\ (\text{sum of square error}) &= df\ (\text{within}) - df\ (\text{subject}) \\ &= (N - k) - (n - 1) \\ &= N - k - n + 1 \end{aligned}$$

ตาราง 14.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีการวัดซ้ำ

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P value
ระหว่างกลุ่ม (เวลา)	SSB	k – 1	$MSB = \frac{SSB}{k-1}$	$F = \frac{MSB}{MSE}$	
ภายในกลุ่ม	SSW	N – k			
– คน	$SS_{subject}$	n – 1			
– ความคลาดเคลื่อน	SSE	N – k – n + 1	$MSE = \frac{SSE}{N-k-n+1}$		
รวม	**SST**	**N – 1**			

จากข้อมูลของตัวอย่างที่ 14.1 นำมาทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลาได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H_A: มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อยหนึ่งคู่ที่แตกต่างกัน

ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวกรณีการวัดซ้ำ

ขั้นที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าสถิติ

คำนวณค่าผลรวมกำลังสอง (sum of square) องศาเสรี และค่าเฉลี่ยกำลังสอง (mean square) จากสูตร นำผลการคำนวณที่ได้ใส่ลงในตาราง 14.2 ได้ดังนี้

ตาราง 14.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีการวัดซ้ำ

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P value
ระหว่างกลุ่ม	581.6	2	$\frac{5{,}816}{2} = 2{,}908$	$\frac{2{,}908}{5.059} = 57.48$	< 0.0001
ภายในกลุ่ม	316.7	27			
ภายในคน	225.63	9			
ความคลาดเคลื่อน	91.067	18	$\frac{91.067}{18} = 5.059$		
รวม	**898.3**	**29**			

นำค่า F ที่คำนวณได้ไปเปิดตาราง ส 4 ที่องศาเสรี (2, 18) ได้ค่า P value < 0.0001

ขั้นที่ 5 ค่า P value (< 0.0001) น้อยกว่าค่า $\alpha/2$ (0.025) ปฏิเสธสมมติฐาน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตัวอย่างมีเหตุผลที่ควรเชื่อได้ว่าความรู้ของทั้ง 3 ช่วงเวลามีอย่างน้อยหนึ่งช่วงเวลาที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ในกรณีที่นักวิจัยต้องการทราบความแตกต่างระหว่างคู่ สามารถนำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคู่ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ทั้ง LSD และ HSD มาใช้ได้โดยใช้ MSE แทน MSW และ df ของ MSE แทน df ของ MSW

การเปรียบเทียบด้วย LSD กับการปรับค่าบอนเฟอร์โรนี	95% ช่วงความเชื่อมั่นของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย
ก่อนฝึกอบรม VS หลังฝึกอบรม	–11.021, –6.579
หลังฝึกอบรม VS 6 เดือนหลังฝึกอบรม	6.717, 12.823
ก่อนฝึกอบรม VS 6 เดือนหลังฝึกอบรม	–2.471, 4.471

จากผลการเปรียบเทียบพบว่าฝึกอบรมแล้วมีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่หลังจากนั้นอีก 6 เดือนพบว่าลืมความรู้ที่เรียนมาจนมีความรู้ไม่ต่างจากก่อนการฝึกอบรม

สำหรับข้อตกลงเบื้องต้นก็เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว โดยที่แต่ละช่วงเวลาจะต้องมีความแปรปรวนเท่ากัน

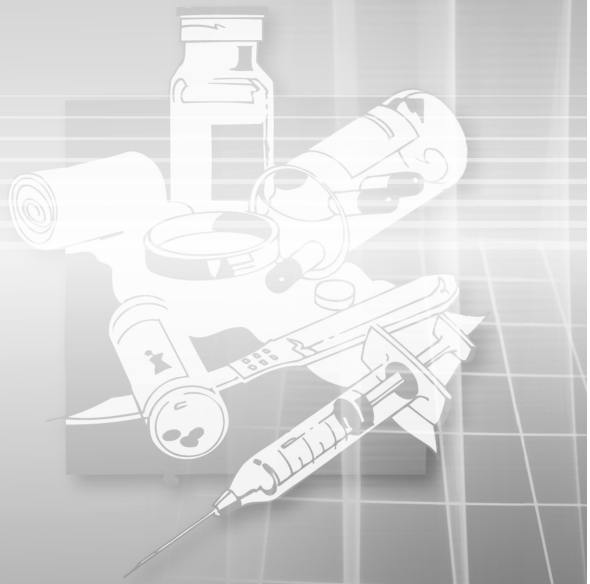
สรุป

การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดซ้ำโดยการแยกความแปรปรวนภายในคนออกจากความแปรปรวนภายในกลุ่ม ทำให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลาได้อย่างแท้จริง

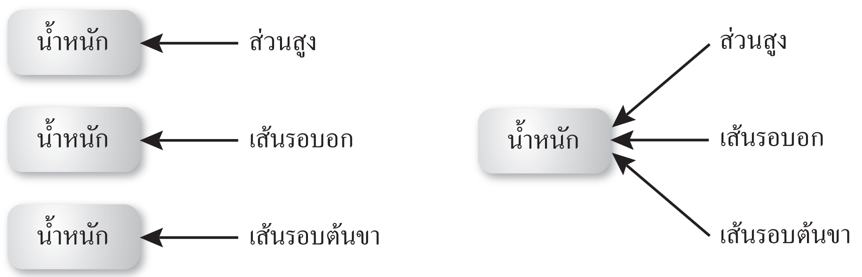
งานวิจัยที่มีการวัดซ้ำมีลักษณะต่างกันไปตามแบบงานวิจัย เช่น balanced repeated measure design with two crossover factors หรือ with one nest factor หรือในกรณีที่พบ unbalanced between time ซึ่งจะมีรูปแบบของการวิเคราะห์ซ้ำที่แตกต่างกันไป

บทที่ 15

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ



ในบทที่ 8 ได้อธิบายการใช้ตัวแบบเชิงเส้นตรงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรต้น 1 ตัว แต่ในธรรมชาติการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามจะเกิดจากอิทธิพลของตัวแปรต้นมากกว่า 1 ตัว เช่น ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักจากตัวแปรส่วนสูง เส้นรอบอก และเส้นรอบต้นขา น้ำหนักตัวนอกจากจะแปรตามส่วนสูงแล้ว ยังแปรตามไขมันในร่างกายด้วย ซึ่งวัดโดยใช้เส้นรอบอกและเส้นรอบต้นขา ถ้านำตัวแปรทั้งสามมารวมกันเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักจะทำให้ได้ผลถูกต้องมากขึ้น แต่ก็มีความซับซ้อนในการวิเคราะห์มากขึ้นด้วย เรียกการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในกรณีที่มีตัวแปรต้นมากกว่า 1 ตัวว่า **การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ** (multiple regression)



การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย **การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ**

ภาพ 15.1 แสดงแนวคิดการวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์ด้วยตัวแบบการถดถอยอย่างง่ายจะดูความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระแต่ละตัว ตัวแปรอิสระแต่ละตัวไม่ว่าจะเป็นส่วนสูง เส้นรอบอก หรือเส้นรอบต้นขา จะมีส่วนในการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักในแง่มุมที่ต่างกัน ซึ่งสามารถเขียนสมการแยกจากกันได้ แต่ในธรรมชาติการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักมีผลมาจากตัวแปรอิสระทั้ง 3 ตัวไม่ใช่ตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพียงตัวเดียว ดังแสดงในภาพ 15.1 การนำตัวแปรอิสระทั้งสามมาสร้างเป็นตัวแบบในการทำนายการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักทำได้ดังนี้

$$y \text{ (น้ำหนัก)} = a + b_1x_1 \text{ (เส้นรอบอก)} + b_2x_2 \text{ (เส้นรอบต้นขา)} + b_3x_3 \text{ (ส่วนสูง)}$$

โดย b_1, b_2 และ b_3 เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระแต่ละตัว

จากตัวแบบที่กำหนดตัวแปรอิสระทั้งสามจะร่วมกันในการทำนายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม ซึ่งแต่ละตัวอาจจะมีส่วนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทางที่ต่างกัน มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่าและเครื่องหมายที่แตกต่างกันไปตามลักษณะอิทธิพลของตัวแปรนั้นๆ ตัวแบบการถดถอยของประชากรสามารถเขียนได้ดังนี้

$$y = \alpha + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \ldots + \beta_kx_k + E$$

เพื่อให้เข้าใจวิธีการสร้างตัวแบบการถดถอยพหุคูณ จะอธิบายวิธีที่ใช้ในการคำนวณ ข้อตกลงเบื้องต้น การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ อำนาจการทำนายของตัวแบบ และวิธีการเลือกตัวแปรอิสระของตัวแบบ

15.1 วิธีการคำนวณและข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

ในการคำนวณค่าเส้นกราฟตัดแกน y และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระแต่ละตัวจะใช้เทคนิคของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดคำนวณค่า a, b_1, b_2, ..., b_k ที่จะทำให้ผลรวมของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง $\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$ มีค่าน้อยที่สุด ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดังกล่าวจะต้องมีข้อตกลงเบื้องต้นของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย ดังนั้นก่อนการวิเคราะห์นักวิจัยควรจะต้องตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นก่อน

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณมีดังนี้

1) เมื่อกำหนดค่า x_i ใดๆ ค่า y ที่ได้จากค่า x_i ที่กำหนดจะเกิดขึ้นอย่างสุ่ม มีความเป็นอิสระต่อกันและมีการแจกแจงปกติ

2) ค่าเฉลี่ย $\mu_{y/x_1, \ldots, x_k}$ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรอิสระทั้งหลาย

$$\mu_{y/x_1, \ldots, x_k} = \alpha + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \ldots + \beta_kx_k \text{ หรือ}$$

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \ldots + \beta_kx_k + E$$

ความแปรปรวน $\sigma^2_{y/x_1, \ldots, x_k}$ มีค่าเท่าๆกันในทุกๆการจัดหมู่ (combination) ของ x ใดๆ

15.2 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

การคำนวณค่า a, b_1, b_2, ..., b_k ของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดได้อธิบายหลักการวิเคราะห์ในบทที่ 8 แล้ว ขั้นตอนในการคำนวณด้วยมือเป็นเรื่องยุ่งยากและใช้เวลามาก โดยปกติจะใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ ในบทนี้จะไม่แสดงวิธีการคำนวณ แต่จะแสดงผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากตัวแบบความสัมพันธ์ของเส้นรอบอก เส้นรอบต้นขา และส่วนสูง ทำการเก็บข้อมูลตัวอย่างผู้ชาย 250 คน นำข้อมูลน้ำหนัก ส่วนสูง เส้นรอบอก และเส้นรอบต้นขามาวิเคราะห์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดได้ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการดังนี้

$$y\ (\text{น้ำหนัก}) = a + b_1x_1\ (\text{เส้นรอบอก}) + b_2x_2\ (\text{เส้นรอบต้นขา}) + b_3x_3\ (\text{ส่วนสูง})$$

$$y = 257.7 + 1.92x_1 + 2.50x_2 + 1.35x_3$$

จากสมการ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยทั้ง 3 ตัวมีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวแปรทั้งสามมีทิศทางเดียวกันในการร่วมกันทำนายน้ำหนักตัว แต่เนื่องจากตัวแบบที่ได้คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ a, b_1, b_2 และ b_3 จึงต้องมีการทดสอบว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสามมีอยู่จริงในประชากรหรือไม่ โดยการทดสอบสมมติฐาน $\beta_i = 0$ โดยใช้สถิติ t ดังนี้

$$t = \frac{b_i}{SE(b_i)}$$

ในการทดสอบจะต้องทดสอบค่า b_i ของตัวแปรอิสระทุกตัว ข้อมูลจากตัวอย่างนำไปคำนวณด้วยโปรแกรมสถิติได้ผลการทดสอบ b_i ดังนี้

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์	t	P value
เส้นรอบอก	β_1	21.8	< 0.0001
เส้นรอบต้นขา	β_2	17.8	< 0.0001
ส่วนสูง	β_3	9.7	< 0.0001

จากค่า P value ที่ได้แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยทุกตัวแตกต่างจากศูนย์ หมายถึงในประชากรตัวแปรทั้งสามที่อยู่ในตัวแบบต่างก็มีผลในการทำนายการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ในกรณีที่พบว่าตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแสดงว่าตัวแปรดังกล่าวไม่มีส่วนร่วมในการทำนายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม ตามปกติควรจะนำตัวแปรดังกล่าวออกจากตัวแบบ ในบางกรณีที่พบว่าตัวแปรมีความสำคัญทางทฤษฎีแต่ผลการทดสอบพบว่าไม่มีนัยสำคัญ นักวิจัยสามารถเก็บตัวแปรดังกล่าวในตัวแบบได้

เมื่อได้ตัวแบบการถดถอยพหุคูณจากข้อมูลตัวอย่าง จะต้องมีการทดสอบว่าตัวแบบดังกล่าวสามารถแสดงความสัมพันธ์ในประชากรได้หรือไม่ การทดสอบตัวแบบจะใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้สถิติ F ผลการทดสอบข้อมูลจากตัวอย่างแสดงในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังนี้

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P value
การถดถอย	196,953.8	3	65,651.3	1,038.5	< 0.0001
เศษเหลือ	15,551.7	246	63.22		
รวม	**212,505.5**	**249**			

จากตารางข้างต้นผลการทดสอบมีค่า P value น้อยกว่าค่า α (0.025) แสดงว่าตัวแบบการถดถอยที่มีตัวแปรอิสระทั้ง 3 ตัวอยู่ในสมการสามารถใช้แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรทั้งสามกับน้ำหนักในประชากรได้

15.3 อำนาจการทำนายของตัวแบบ

ตัวแบบการถดถอยพหุคูณเป็นวิธีการอธิบายความสัมพันธ์ที่มีประโยชน์ แต่ในบางครั้งการมีตัวแปรอิสระมากเกินไปนอกจากไม่ช่วยให้ทำนายผลได้ถูกต้องเพิ่มขึ้น ยังทำให้ตัวแบบมีความซับซ้อนและไม่สะดวกต่อการใช้งาน การพิจารณาจำนวนตัวแปรอิสระที่จะมีในตัวแบบจะพิจารณาจากค่าอำนาจการทำนายของตัวแบบ (R^2) ถ้าการเพิ่มตัวแปรแล้วทำให้ตัวแบบมีค่า R^2 สูงขึ้น ตัวแปรนั้นก็จะถูกเพิ่มเข้าไปในตัวแบบ การวิเคราะห์ข้อมูลจากตัวอย่างพบว่าตัวแบบที่มีเส้นรอบอกอยู่ตัวเดียวให้ค่า R^2 = 79.6% เมื่อเพิ่มเส้นรอบต้นขาและส่วนสูงเข้าไปในตัวแบบพบว่าค่า R^2 เปลี่ยนเป็น 89.9% และ 92.7% ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของค่า R^2 แสดงว่าตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในตัวแบบไปเพิ่มอำนาจการทำนาย

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างมีขนาดเล็ก การเพิ่มตัวแปรต้นเข้าไปในตัวแบบจะทำให้ค่า R^2 ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเกินจริง ดังนั้นจึงมีการปรับค่า R^2 ให้เล็กลง (shrinkage) โดยนำขนาดตัวอย่างและจำนวนตัวแปรอิสระมาใช้คำนวณในการปรับค่า R^2 ค่า R^2 ที่ปรับแล้วเรียกว่า adjusted R^2 ดังนั้นเมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็กการเพิ่มตัวแปรอิสระค่า R^2 จะถูกปรับลดลงมาก ในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดใหญ่พอๆกับจำนวนตัวแปรอิสระในตัวแบบ ค่า adjusted R^2 และ R^2 จะต่างกันน้อยมาก ในการตัดสินใจว่าควรจะเพิ่มตัวแปรต้นเข้าไปในตัวแบบหรือไม่ จึงนิยมพิจารณาจากการเปลี่ยนค่า adjusted R^2 ของตัวแบบ

ในทางทฤษฎีตัวแปรที่มีกรอบทฤษฎีหรือผลการศึกษาว่ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามควรถูกเลือกเข้าไปในตัวแบบ แต่ในการสร้างตัวแบบด้วยข้อมูลตัวอย่างที่มีขนาดเล็กเกินไปอาจไม่พบตัวแปรดังกล่าวในตัวแบบ และถ้ามีการทำซ้ำด้วยข้อมูลชุดใหม่จากตัวอย่างขนาดเล็กอาจได้ตัวแบบที่มีตัวแปรต่างกันและมีค่า R^2 ต่างกันด้วย ดังนั้นขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างตัวแบบจึงมีความสำคัญ

นันนาลลีและเบิร์มสไตน์ (Nunnally and Bermstein, 1994) ให้คำแนะนำว่าอย่างน้อยควรมีขนาดตัวอย่าง 10 ตัวอย่างต่อตัวแปรอิสระ 1 ตัว และถ้าจะให้ได้ตัวแบบที่ค่อนข้างอิ่มตัว โดยเมื่อทำซ้ำตัวแปรที่อยู่ในตัวแบบยังคงเป็นตัวเดิม ควรจะมีขนาดตัวอย่าง 50 ตัวอย่างต่อตัวแปร 1 ตัว

15.4 การเลือกตัวแปรอิสระของตัวแบบ

การเลือกตัวแปรอิสระที่จะอยู่ในตัวแบบเป็นขั้นตอนที่สำคัญอันหนึ่งในการสร้างตัวแบบ โดยปกตินักวิจัยควรจะพยายามเลือกตัวแบบที่มีจำนวนตัวแปรน้อยที่สุดที่สามารถให้ค่า R^2 สูงๆ วิธีการเลือกตัวแปรอิสระของตัวแบบทำได้ 2 วิธี คือ

15.4.1 วิธีการเชิงลำดับชั้น

วิธีการเชิงลำดับชั้น (hierarchical method) เป็นการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในตัวแบบโดยใช้ความรู้ทางทฤษฎีเป็นตัวกำหนดว่าตัวแปรใดควรเข้าไปในตัวแบบ แล้วจึงประเมินค่า adjusted R^2 ของตัวแบบที่ได้ ถ้ามีค่า adjusted R^2 เพิ่มขึ้นตัวแปรดังกล่าวจะถูกเลือกเข้าในตัวแบบ การตัดสินใจเลือกตัวแปรหรือกลุ่มย่อยของตัวแปรว่าตัวแปรใดจะเข้าไปในตัวแบบในลำดับที่เท่าใดจะตัดสินใจด้วยเหตุผลทางทฤษฎี ถึงแม้ว่าในบางครั้งตัวแปรที่เลือกเข้าไปในตัวแบบไม่ทำให้ค่า adjusted R^2 เปลี่ยนแปลง แต่ถ้านักวิจัยคิดว่าตัวแปรดังกล่าวมีความสำคัญทางทฤษฎี นักวิจัยสามารถตัดสินใจให้คงตัวแปรดังกล่าวอยู่ในตัวแบบได้

15.4.2 วิธีการทีละขั้น

วิธีการทีละขั้น (stepwise method) เป็นการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในตัวแบบโดยพิจารณาจากระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่คำนวณได้จากข้อมูลตัวอย่างที่ศึกษา และใช้ระดับความสัมพันธ์เป็นตัวกำหนดว่าตัวแปรใดควรจะเข้าไปในตัวแบบก่อน ซึ่งสามารถทำได้ 3 วิธีดังต่อไปนี้

15.4.2.1 วิธีผลลัพธ์ไปข้างหน้า

วิธีผลลัพธ์ไปข้างหน้า (forward solution) เป็นการเลือกตัวแปรอิสระที่มีค่าความสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงสุดเข้าในตัวแบบก่อน แล้วประเมินค่า adjusted R^2 ของตัวแบบ ถ้ามีค่าที่เพิ่มขึ้นมากกว่าระดับที่กำหนดก็จะนำตัวแปรต้นที่เหลือที่มีความ

สัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงสุดเพิ่มเข้าไปในตัวแบบเรื่อยๆ จนพบว่าค่า adjusted R^2 เพิ่มน้อยกว่าระดับที่กำหนดก็จะหยุด นำตัวแปรล่าสุดออกจากตัวแบบ ตัวแบบที่ได้จะเป็นตัวแบบที่ใช้ในการทำนาย

✚ 15.4.2.2 วิธีผลลัพธ์ย้อนหลัง

การเลือกตัวแปรอิสระโดยวิธีผลลัพธ์ย้อนหลัง (backward solution) นี้ เริ่มโดยการนำตัวแปรอิสระทุกตัวเข้าไปในตัวแบบ ประเมินค่า adjusted R^2 แล้วเริ่มนำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามน้อยที่สุดออกจากตัวแบบก่อน พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า R^2 ถ้าพบว่าค่า adjusted R^2 เปลี่ยนแปลงน้อยมากก็จะนำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์น้อยตัวถัดไปออกจากตัวแบบ ประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงค่า adjusted R^2 ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนพบว่าตัวแปรที่นำออกจากตัวแบบแล้วทำให้ค่า adjusted R^2 เปลี่ยนแปลงมาก จะหยุดการคำนวณ นำตัวแปรตัวสุดท้ายที่นำออกไปกลับคืนเข้ามาในตัวแบบและใช้ตัวแบบที่ได้เป็นตัวแบบที่ใช้ในการทำนาย

✚ 15.4.2.3 วิธีผลลัพธ์ทีละขั้น

วิธีผลลัพธ์ทีละขั้น (stepwise solution) เป็นการรวมเอาทั้งวิธี forward และ backward เข้าด้วยกันโดยเริ่มจากการเลือกตัวแปรอิสระเข้าไปในตัวแบบโดยวิธีการ forward เมื่อได้ตัวแปรเข้าในตัวแบบแล้วจะใช้วิธีการ backward ดูว่าตัวแปรอิสระที่มีอยู่ในตัวแบบตัวใดควรนำออกจากตัวแบบ ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนตัวแบบที่ได้มีค่า adjusted R^2 เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าระดับที่กำหนดจึงหยุดการคำนวณ ตัวแบบที่ได้จะเป็นตัวแบบสำหรับการทำนาย

การเลือกตัวแปรเข้าไปในตัวแบบเป็นขั้นตอนที่สำคัญ ถ้าใช้วิธีการต่างกันอาจจะได้ตัวแบบที่มีตัวแปรอิสระต่างกัน ในปัจจุบันวิธีการ stepwise ได้รับความนิยมน้อยลง เพราะการเลือกตัวแปรโดยตัดสินจากความสัมพันธ์ของข้อมูลจากตัวอย่างที่ศึกษาอาจเปลี่ยนแปลงตามเวลาและความผิดพลาดที่เกี่ยวข้องกับการวัด โดยเฉพาะตัวแปรทางด้านความเชื่อและทัศนคติที่มีความเที่ยงในการวัดต่ำ ในปัจจุบันการเลือกตัวแปรจะใช้วิธีการเลือกทั้ง 2 วิธีร่วมกัน โดยพิจารณาตัวแปรที่จะเข้าไปในตัวแบบโดยใช้เกณฑ์ทางทฤษฎีเป็นหลัก แต่ใช้หลักของ stepwise ร่วมพิจารณาตัวแปรที่ควรอยู่ในตัวแบบด้วย

สรุป

ในการสร้างตัวแบบการถดถอยพหุคูณ นักวิจัยจะต้องมีความรู้ทางทฤษฎีว่าตัวแปรที่นำมาศึกษามีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างไร นอกจากนี้ ยังต้องมีความเข้าใจวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณที่ดีพอเพราะเป็นการวิเคราะห์ที่ค่อนข้างซับซ้อน ผู้วิเคราะห์ต้องมีความรู้ในการกำหนดวิธีและค่าพารามิเตอร์ให้โปรแกรม ถ้าอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์โดยไม่ได้กำหนดค่าใดๆ โปรแกรมจะนำเกณฑ์ตัดสินในการเลือกตัวแปรที่เป็นค่าเริ่มต้นที่กำหนดไว้ในโปรแกรมมาใช้ ซึ่งอาจจะทำให้ได้ตัวแบบซึ่งไม่มีตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในทางทฤษฎีอยู่ในตัวแบบ

ตัวแปรกลุ่มหรืออันดับสามารถนำมาร่วมเป็นตัวแปรอิสระได้ โดยการกำหนดค่ารหัส (dummy coding) และยังสามารถกำหนดตัวแปรที่เป็นปฏิกิริยาสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างตัวแปรอิสระ ซึ่งวิธีการทำอยู่นอกขอบเขตของตำราเล่มนี้

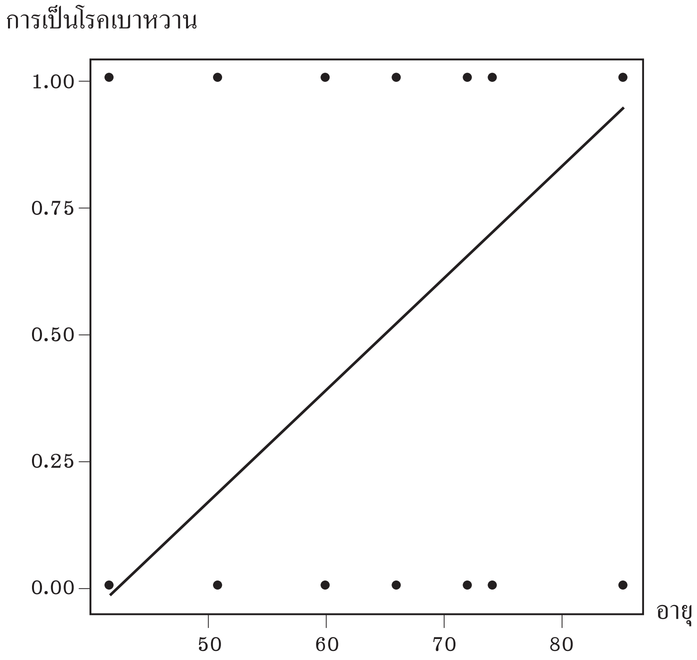
ตัวแบบการถดถอยพหุคูณนอกจากจะใช้ในการทำนายการเกิดเหตุการณ์แล้ว ยังสามารถใช้ในการหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหตุการณ์ และใช้ในการควบคุมปัจจัยกวนในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทดลอง เพื่อใช้แสดงผลเฉพาะที่เกิดจากปัจจัยการทดลองเพียงอย่างเดียว

บทที่ 16

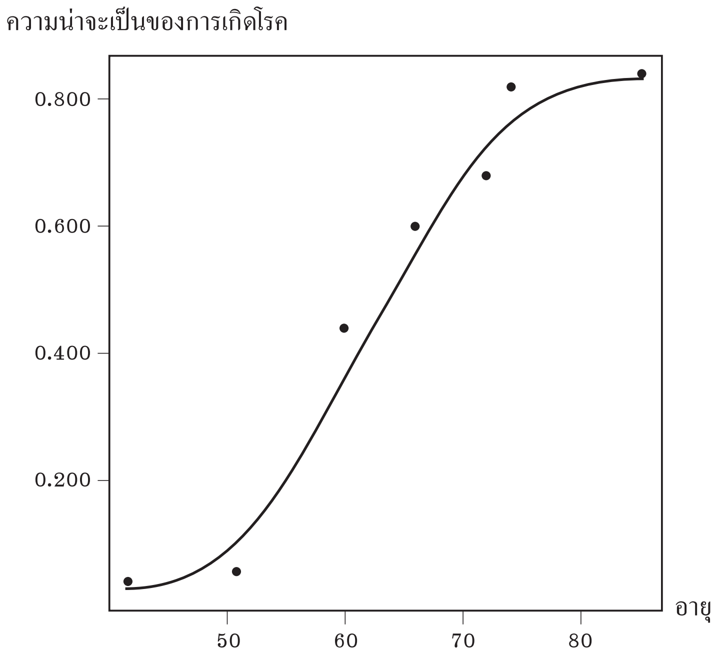
ตัวแบบลอจิสติก

มีงานวิจัยจำนวนมากที่ตัวแปรตามไม่ใช่ตัวแปรต่อเนื่อง ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามจึงไม่สามารถใช้ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงในการวิเคราะห์ได้ โดยเฉพาะงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพที่ตัวแปรตามเป็นตัวแปรทวิวิภาค (dichotomous) เช่น *เป็นโรค/ไม่เป็นโรค หาย/ไม่หาย สำเร็จ/ไม่สำเร็จ* ในการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่เป็นข้อมูลจากตัวแปรทวิวิภาค (dichotomous data) เช่น ในการดูว่าอายุมีความสัมพันธ์กับการเป็นโรคเบาหวานหรือไม่ โดยให้ 1 = เป็นโรคเบาหวาน 0 = ไม่เป็นโรคเบาหวาน นักวิจัยสามารถสร้างกราฟแผนภาพจุด (dot plots) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับการเป็นโรคเบาหวานได้ ดังแสดงในภาพ 16.1 จากภาพแสดงให้เห็นว่าผู้ที่มีอายุมากเป็นโรคเบาหวาน ผู้มีอายุน้อยไม่เป็นโรคเบาหวาน ถ้าใช้กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองบนเส้นกราฟจะไม่มีข้อมูลจริงอยู่เลย

ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้สมการเส้นตรงทำนายความสัมพันธ์นี้ ถ้าเปลี่ยนเป็นใช้ความน่าจะเป็นของการเกิดโรคไปสร้างตัวแบบแสดงความสัมพันธ์กับอายุ จะได้ว่าแกน y เป็นค่าความน่าจะเป็นของการเกิดโรค มีค่าอยู่ระหว่าง 0–1 เมื่อนำมาสร้างกราฟกับอายุจะได้กราฟรูปตัว s ดังแสดงในภาพ 16.2 กราฟที่ได้เหมาะกับข้อมูล สามารถใช้เป็นตัวแบบทำนายความน่าจะเป็นของการเกิดโรคเมื่อทราบอายุได้



ภาพ 16.1 แผนภาพจุดแสดงความสัมพันธ์ของการเกิดโรคเบาหวานกับอายุ



ภาพ 16.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดโรคเบาหวานกับอายุ

16.1 ตัวแบบลอจิสติก

ในหัวข้อนี้จะอธิบายหลักการเบื้องต้นของการสร้างตัวแบบลอจิสติก โดยเริ่มที่ฟังก์ชันที่จะทำให้ความน่าจะเป็น (P) ที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 คือ

$$P = \frac{e^{a + bx}}{1 + e^{a + bx}}$$

ในการสร้างตัวแบบลอจิสติกจะใช้ฟังก์ชันโลกิต $\left[\text{logit}(P) = \ell n\left(\frac{P}{1 - P}\right)\right]$ แปลงค่าความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นของการเกิดโรคที่เป็นรูป s ให้เป็นเส้นตรงโดยใช้ค่า odds $\left(\frac{P}{1 - P}\right)$ เป็นตัวแปรตามแทนค่า P จะได้ว่า

$$\text{odds} = \frac{P}{1 - P} \qquad \text{แทนค่า P ด้วย} \left[P = \frac{e^{a + bx}}{1 + e^{a + bx}}\right]$$

จะได้ว่า $\text{odds} = e^{a + bx}$

เมื่อแปลงค่าด้วย log ฐาน e จะได้สมการของ log(odds) ดังนี้

$$\ell n\left(\frac{1}{1 - P}\right) = a + bx$$

ถ้า P เป็นความน่าจะเป็นของการเกิดโรค $\frac{P}{1 - P}$ จะเป็นค่า odds ของการเกิดโรค จากตัวแบบลอจิสติกค่า $\ell n\left(\frac{P}{1 - P}\right)$ หรือ log(odds) จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปัจจัยอิสระ ทำให้นักวิจัยสามารถใช้ตัวแบบลอจิสติกแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับความน่าจะเป็นของการเกิดโรคได้

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ที่ทำให้ตัวแปรอิสระสามารถทำนายค่า odds ของตัวแปรตามได้ดีที่สุดด้วยวิธีการประมาณค่าความน่าจะเป็นสูงสุด (maximum likelihood estimate) (likelihood คือความน่าจะเป็นของ y เมื่อกำหนด x) ในการคำนวณจะเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ไปทีละค่า เพื่อหาค่าที่ทำให้ Log Likelihood (LL) มีค่าน้อยๆ แสดงว่าใช้ทำนายตัวแปรตามได้ดี แต่ถ้าค่า LL ที่คำนวณได้มีค่าเป็นลบจะทำให้การเปรียบเทียบค่าทำได้ยาก จึงต้องนำค่า –2 มาคูณ LL เพื่อให้ –2LL มีค่าเป็นบวก

ดังนั้นในการพิจารณาว่าตัวแปรอิสระในสมการสามารถใช้ทำนายตัวแปรตามได้หรือไม่ จะพิจารณาจากค่า –2LL ถ้า –2LL มีค่าน้อยๆ แสดงว่าตัวแปรอิสระใช้ทำนายตัวแปรตามได้ดี ถ้า –2LL มีค่ามาก แสดงว่าตัวแปรอิสระนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม จึงไม่สามารถใช้เป็นตัวทำนายได้

ตัวอย่างที่ 16.1

ในการหาความสัมพันธ์ว่าอายุมีความสัมพันธ์กับการเป็นโรคเบาหวานหรือไม่ โดยสุ่มตัวอย่างประชากรจำนวน 120 คน ได้ข้อมูลการเป็นโรคเบาหวานและอายุดังนี้

อายุ	จำนวนคนทั้งหมด	การเป็นโรคเบาหวาน (DM)	
		จำนวนคน	ความน่าจะเป็น
42	30	1	0.033
51	22	1	0.045
60	14	6	0.429
66	17	10	0.588
72	9	6	0.667
74	16	13	0.813
85	12	10	0.833
รวม	**120**	**47**	

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสถิติโดยให้ตัวแปร DM เป็นตัวแปรตาม ตัวแปรอายุเป็นตัวแปรอิสระ ได้ตัวแบบลอจิสติกดังนี้

$$\ell n\left(\frac{P}{1-P}\right) = -8.958 + 0.137\text{Age}$$

16.2 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β)

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเหมือนกับตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นตรง ค่า b_1 ที่คำนวณได้จากข้อมูลในตัวอย่างที่ 16.1 ต้องมีการทดสอบทางสถิติ เพื่อสรุปว่าตัวแปรดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันจริงในประชากร (H_0: $\beta = 0$) โดยใช้การทดสอบวาลด์ (Wald test) ในการทดสอบ

$$\text{สถิติวาลด์} = \left(\frac{b_1}{SE(b_1)}\right)^2$$

สถิติวาลด์ (Wald statistic) มีการแจกแจงแบบไคสแควร์องศาเสรี 1 ข้อมูลจากตัวอย่างที่ 16.1 ได้ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์ของตัวแบบดังนี้

ตาราง 16.1 ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ a และ b ของตัวแบบการถดถอยลอจิสติก

ตัวแปร	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95.0% ช่วงความเชื่อมั่นของ Exp(B)	
							ต่ำกว่า	สูงกว่า
อายุ (b)	0.137	0.024	32.453	1	.000	1.147	1.094	1.203
ค่าคงตัว (a)	–8.958	1.563	33.065	1	.000	.000		

จากผลการทดสอบด้วยสถิติวาลด์ ค่าคงตัว (constant) พบว่ามีค่า P value < 0.0001 แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ a มีค่าต่างจากศูนย์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยปกติค่า a ไม่ใช่ค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร ไม่ว่าจะต่างจากศูนย์หรือไม่ต่างจากศูนย์ก็ต้องมีไว้ในสมการ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ b ของตัวแบบมีค่า P value < 0.0001 แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ b มีค่าต่างจากศูนย์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่าอายุมีความสัมพันธ์กับ ℓn(odds) ของการเป็นโรคเบาหวาน จึงสามารถใช้อายุทำนายโอกาสที่จะเป็นโรคเบาหวานได้

16.3 การประเมินสมรรถนะของตัวแบบ

ในการพิจารณาว่าตัวแบบที่ได้เป็นตัวแบบที่ดีหรือไม่ ในการทำนายมีหลายวิธี ซึ่งในตำราเล่มนี้จะอธิบาย 2 วิธี คือ พิจารณาจากค่า LR (Likelihood Ratio) และร้อยละของการทำนายที่ถูกต้อง

16.3.1 Likelihood Ratio

การประเมินสมรรถนะของตัวแบบพิจารณาจากค่า –2LL ถ้าค่า –2LL มีค่าน้อยที่สุดแสดงว่าตัวแบบเหมาะกับข้อมูลมากที่สุด ในการพิจารณาเลือกตัวแปรอิสระเพิ่มเข้าในตัวแบบจะดูจากการเปลี่ยนแปลงของ –2LL ถ้าตัวแปรที่นำเข้าแล้วทำให้ค่า –2LL เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตัวแปรดังกล่าวก็จะถูกนำเข้าในตัวแบบ โดยพบว่าผลต่างของ LL หรือ Likelihood Ratio (LR) มีการแจกแจงไคสแควร์ที่องศาเสรีเท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระในตัวแบบ จึงใช้สถิติไคสแควร์ในการทดสอบสมมติฐานว่าค่า LL แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

$$\chi^2 = -2(LL_{\text{Beginning model(B)}} - LL_{\text{Ending model(E)}})$$

$$= -2\ell n\left(\frac{\text{Likelihood(B)}}{\text{Likelihood(E)}}\right) \text{ (เพราะ } \ell n \text{ ลบกันเท่ากับ } \ell n \text{ หารกัน)}$$

ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว LL_B จะเป็นค่า LL เมื่อมีค่า a อยู่ในตัวแบบเพียงค่าเดียว และ LL_E จะเป็นค่า LL เมื่อมี a และ b_1 ในตัวแบบ จากข้อมูลตัวอย่าง $-2LL_B = 160.68$ และ $-2LL_E = 101.15$ มีค่า $\chi^2_1 = 59.53$ P value < 0.001 แสดงว่าตัวแปรที่เพิ่มเข้าไปในตัวแบบทำให้ค่า LL เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

16.3.2 ความถูกต้องของการทำนาย

จากตัวแบบที่ได้ถ้านักวิจัยสามารถนำข้อมูลอายุจากตัวอย่างมาคำนวณค่า P ด้วยสมการที่สร้างขึ้น ถ้าค่า P ที่คำนวณจากตัวแบบมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 0.5 จะทำนายว่าเป็นโรคเบาหวาน ถ้าน้อยกว่า 0.5 จะทำนายว่าไม่เป็นโรคเบาหวาน ผลการคำนวณจากตัวแบบทำนายจำนวนผู้ที่จะเป็นโรคเบาหวานได้ดังนี้

อายุ	จำนวนคนทั้งหมด	จำนวนคนที่เป็นโรคเบาหวาน	
		สังเกต	ทำนาย
42	30	1	1
51	22	1	3
60	14	6	5
66	17	10	9
72	9	6	6
74	16	13	12
85	12	10	11
รวม	**120**	**47**	**47**

ถ้านำผลการทำนายมาเทียบกับค่าที่ได้จากการสังเกต (observe) ก็จะสามารถคำนวณร้อยละของการทำนายได้ถูกต้อง จากข้อมูลตัวอย่างพบว่าตัวแบบมีผลการทำนายถูกต้อง ดังนี้

สังเกต	ทำนาย		ร้อยละการทำนายถูกต้อง
	0	1	
0	58	15	$\frac{58 \times 100}{73} = 79.5\%$
1	8	39	$\frac{39 \times 100}{47} = 83.0\%$
รวม			$\frac{(58 + 39) \times 100}{(58 + 15 + 8 + 39)} = 80.8\%$

จากตารางพบว่าตัวแบบสามารถทำนายถูกต้องร้อยละ 80.8 ในกรณีที่ไม่ได้กำหนดเกณฑ์ค่า P จะถือว่าถ้าค่า P เท่ากับหรือมากกว่า 0.5 จะทำนายว่าเป็นโรค แต่นักวิจัยสามารถกำหนดเกณฑ์เองได้ เช่น ถ้าให้ P เท่ากับหรือมากกว่า 0.6 ให้ถือว่าเป็นโรค การปรับเกณฑ์จะช่วยหาว่าเกณฑ์ใดที่ตัวแบบทำนายผลได้ถูกต้องมากที่สุด

16.4 ค่าสัมประสิทธิ์ b กับ odds ratio

odds ของการเป็นโรค = $e^{a + bx}$ หรือ = $e^{a} \cdot e^{bx}$ ถ้าค่าของตัวแปรอิสระเพิ่มขึ้น 1 หน่วยจาก x เป็น x + 1 ค่า odds จะเพิ่มขึ้นจาก = $e^{a} \cdot e^{bx}$ เป็น = $e^{a} \cdot e^{b(x+1)}$ หรือ = $e^{a} \cdot e^{bx} \cdot e^{b}$

ดังนั้น $$\text{odds ratio (OR)} = \frac{e^{a} \cdot e^{bx} \cdot e^{b}}{e^{a} \cdot e^{bx}} = e^{b}$$

$$\text{OR} = e^{b}$$

จะได้ว่าเมื่อค่า x เพิ่มขึ้น 1 หน่วยค่า odds ratio จะเพิ่มขึ้น e^{b} เท่า ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่า odds ratio จากค่าสัมประสิทธิ์ b ของตัวแบบการถดถอยลอจิสติกได้ จากตัวอย่างที่ 16.1 ค่า b = 3.4781 จะได้ค่า OR = $2.718^{3.4781}$ = 32.4

ในการพิจารณาว่าค่า odds ratio แตกต่างจาก 1 หรือไม่ ให้พิจารณาจากช่วงความเชื่อมั่น จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่น odds ของอายุ (ช่วงความเชื่อมั่นของ Exp(B)) อยู่ระหว่าง 7.3 ถึง 48.7

นำข้อมูลจากตารางในตัวอย่างที่ 16.1 มาคำนวณ OR ได้ดังนี้

		DM	
		+	-
Age Group	> 60 ปี	39	15
	≤ 60 ปี	8	58

$$OR = \frac{ad}{bc} = \frac{39 \times 58}{8 \times 15} = 18.85$$

การคำนวณค่า OR ด้วยตัวแบบลอจิสติกที่แบ่งอายุเป็นสองกลุ่ม (> 60 ปี และ ≤ 60 ปี) จะได้ค่า b ของกลุ่มอายุเท่ากับ 2.9365 ค่า e^b หรือ OR เท่ากับ 18.85 ซึ่งเท่ากับที่คำนวณได้จากตาราง

ในกรณีที่ตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรลำดับที่หรือตัวแปรต่อเนื่อง ค่า OR จากตัวแบบลอจิสติกจะคำนวณจากค่าความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 หน่วยการวัด ตัวอย่างเช่น ถ้าตัวแปรอิสระคืออายุเป็นปี ค่า OR ที่ได้คือความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 ปี ดังนั้นถ้าในธรรมชาติของการเกิดโรคความเสี่ยงจะเป็นไปตามช่วงอายุควรทำการจัดกลุ่มอายุก่อนแล้วนำกลุ่มอายุที่ได้ไปคำนวณ เช่น ถ้าอยากทราบว่าผู้ที่มีอายุมากกว่า 60 ปีจะมีความเสี่ยงเป็นกี่เท่าเมื่อเทียบกับผู้ที่มีอายุเท่ากับหรือน้อยกว่า 60 ปี

16.5 ตัวแบบลอจิสติกพหุคูณ

ในกรณีที่ตัวแปรอิสระมีมากกว่า 1 ตัว การสร้างตัวแบบใช้หลักการเดียวกันกับตัวแบบการถดถอยพหุคูณ โดยใช้ค่า LL ในการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในตัวแบบ ตัวแปรอิสระที่จะนำมาหาความสัมพันธ์มีสเกลแบบใดก็ได้ ค่า OR ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์ (b_i) ของตัวแปรนั้น ค่า OR ที่ได้เป็นผลของตัวแปรดังกล่าวเพียงตัวแปรเดียว โดยแยกอิทธิพลของตัวแปรอื่นในตัวแบบออกแล้ว

สรุป

ตัวแบบลอจิสติกเป็นตัวแบบที่ใช้มากในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ เพราะตัวแปรตามเป็นตัวแปรทวิวิภาค (dichotomous) และสามารถคำนวณค่า OR ได้โดยตรงจากสมการ นอกจากใช้ในการหาปัจจัยเสี่ยงแล้ว ตัวแบบลอจิสติกยังใช้เป็นตัวแบบสำหรับทำนายการเกิดเหตุการณ์ ใช้ในการควบคุมปัจจัยกวนในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทดลอง หรือการหาปัจจัยเสี่ยง นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติของเครื่องมือการวินิจฉัยทางคลินิกได้อีกด้วย

บทที่ 17

การวิเคราะห์ระยะเวลาการรอดชีพ

ในการศึกษาผลที่เป็นระยะเวลาตั้งแต่เริ่มจนเกิดเหตุการณ์ (ระยะเวลาการปลอดเหตุการณ์) เหตุการณ์ที่กำหนดในการศึกษาอาจจะเป็นการเสียชีวิต การกลับมาเป็นโรค ฯลฯ เช่น ในการศึกษาผลการรักษามะเร็งปากมดลูกระยะที่ 4 โดยพิจารณาว่าผลการรักษาสามารถช่วยให้ผู้ป่วยมีชีวิตอยู่ได้นานเท่าไร ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มรักษาถึงเสียชีวิตเรียกว่าระยะเวลาการรอดชีพ ระยะเวลาที่วัดได้เป็นข้อมูลต่อเนื่องที่มีการแจกแจงเบ้ขวา แต่ไม่สามารถใช้วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้กับข้อมูลต่อเนื่องปกติ เช่น การคำนวณหาค่าเฉลี่ยมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ ทั้งนี้ เพราะในการศึกษาจะมีการกำหนดระยะเวลาการศึกษาไว้ชัดเจน เช่น 3 ปี ในขณะที่การวิเคราะห์เมื่อสิ้นสุดโครงการผู้ป่วยบางส่วนยังไม่เสียชีวิต และถ้าจะรอจนทุกคนเสียชีวิตก็ไม่ทราบว่าจะรออีกนานเท่าใด ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการรอดชีพคำนวณเมื่อสิ้นสุดโครงการจึงทำไม่ได้ และในความเป็นจริงผู้ป่วยที่นำเข้าศึกษาในโครงการจะไม่สามารถเริ่มต้นในวันเดียวกันได้ทั้งหมด จะต้องทยอยเข้ามาในการศึกษา ทำให้ในช่วงเวลาที่กำหนดผู้ป่วยแต่ละคนมีระยะเวลาที่เข้าร่วมในการวิจัยไม่เท่ากัน บางคนสั้นบางคนยาว

วิธีการวิเคราะห์ผลที่เป็นระยะเวลาการรอดชีพทำโดยกำหนดให้การแจกแจงของระยะเวลาการรอดชีพเป็นฟังก์ชันของระยะเวลา t [s(t)] ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นที่แต่ละคนจะมีโอกาสรอดชีพเกินช่วงระยะเวลา t ดังนั้นถ้ากำหนดช่วงระยะเวลาจะสามารถคำนวณสัดส่วนของผู้ที่รอดชีพได้ กราฟที่เขียนจากฟังก์ชัน t [s(t)] เรียกว่าเส้นโค้งการรอดชีพ (survival curve) ใช้แสดงจำนวนการเสียชีวิตตามช่วงเวลาต่างๆ

17.1 เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ระยะเวลาการรอดชีพ

ในช่วงเริ่มต้นของการใช้เทคนิคนี้ในการวิเคราะห์ระยะเวลาการปลอดเหตุการณ์จะมีเหตุการณ์เป็นเรื่องของการเสียชีวิต วิธีการวิเคราะห์นี้จึงถูกเรียกว่าการวิเคราะห์การรอดชีพ (survival analysis)

แต่มีการนำเทคนิคนี้ไปใช้ศึกษาในด้านต่างๆที่ผลไม่ใช่การเสียชีวิต เช่น การกลับมาเป็นโรค อัตราการคงใช้ห่วงอนามัย ความยืนยาวของชีวิตสมรส ระยะเวลาการออกจากงาน ฯลฯ จึงเรียกการวิเคราะห์นี้ว่าการวิเคราะห์ระยะเวลาการปลอดเหตุการณ์ ซึ่งดูจะครอบคลุมทุกเหตุการณ์ แต่ความคุ้นเคยและความนิยมทำให้ยังคงเรียกวิธีการวิเคราะห์นี้ว่าการวิเคราะห์ระยะเวลาการรอดชีพ

ในการศึกษาที่วัดผลเป็นระยะเวลาการรอดชีพ ผู้ป่วยจะเข้ามาในการศึกษาไม่พร้อมกัน ถ้าให้ X เป็นการเกิดเหตุการณ์ (เสียชีวิต) จากภาพ 17.1 จะได้ว่า

ผู้ป่วย A เริ่มเข้าศึกษาเมื่อเริ่มโครงการ และเสียชีวิตในเดือนที่ 9 ของปีที่ 2

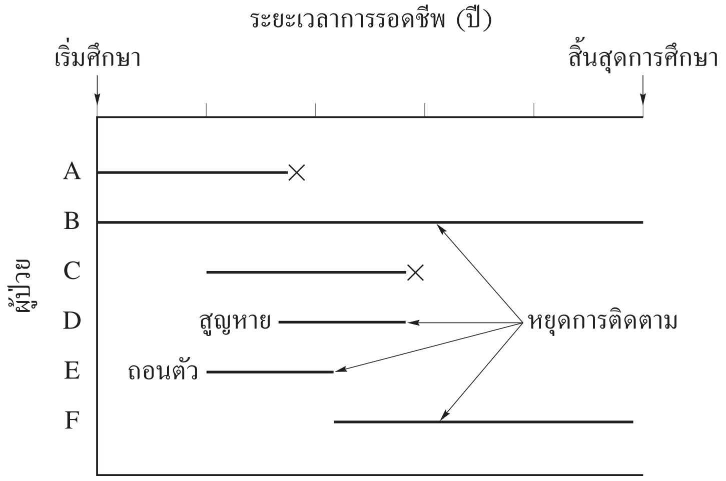
ผู้ป่วย B เริ่มเข้าศึกษาเมื่อเริ่มโครงการ และมีชีวิตอยู่จนสิ้นสุดปีที่ 5

ผู้ป่วย C เข้าศึกษาในเดือนที่ 1 ของปีที่ 2 และเสียชีวิตในเดือนที่ 10 ของปีที่ 3

ผู้ป่วย D เข้าศึกษาในเดือนที่ 9 ของปีที่ 2 และสูญหายจากการติดตามในเดือนที่ 10 ของปีที่ 3

ผู้ป่วย E เข้าศึกษาในเดือนที่ 1 ของปีที่ 2 และขอถอนตัวจากการศึกษาในเดือนที่ 2 ของปีที่ 3

ผู้ป่วย F เข้าศึกษาในเดือนที่ 2 ของปีที่ 3 และมีชีวิตอยู่จนสิ้นสุดปีที่ 5



ภาพ 17.1 แสดงระยะเวลาที่ผู้ป่วยแต่ละคนอยู่ในการศึกษาช่วง 5 ปี

17.1.1 การสังเกตกลุ่มหยุดการติดตาม

จากภาพ 17.1 ผู้ป่วย 6 คน เกิดเหตุการณ์ (เสียชีวิต) เพียง 2 คน ที่เหลือ 4 คน ยังไม่เกิดเหตุการณ์ จะเรียกผู้ป่วยกลุ่มนี้ว่ากลุ่มหยุดการติดตาม (censored observation) อาจมีได้ 3 ลักษณะ คือ ติดตามได้จนสิ้นสุดการศึกษาแล้วยังมีชีวิตอยู่ ติดตามไม่ได้ไม่ทราบว่าเกิดอะไรขึ้น และผู้ที่ประสงค์จะขอถอนตัวจากการศึกษา

17.1.2 ระยะเวลาการรอดชีพ

ในการนับระยะเวลาการรอดชีพ (survival time) จะนับตั้งแต่ผู้ป่วยเริ่มเข้าศึกษาจนถึงการเกิดเหตุการณ์หรือหยุดการติดตามข้อมูล จากภาพ 17.1 นับระยะเวลาการรอดชีพดังแสดงในตาราง

ผู้ป่วย	ระยะเวลาการรอดชีพ (เดือน)	เหตุการณ์ (0 = หยุดการติดตาม, 1 = เสียชีวิต)
A	21	1
B	60	0
C	22	1
D	14	0
E	14	0
F	35	0

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลการปลอดเหตุการณ์มีหลายวิธี เริ่มต้นจากตารางการรอดชีพเป็นตารางแสดงความน่าจะเป็นของการรอดชีพของทุกช่วงเวลาที่กำหนด ฟังก์ชันการรอดชีพแคปแลน–มีเยอร์ (Kaplan–Meier survival function) แสดงความน่าจะเป็นของการรอดชีพ ณ เวลาที่มีการเกิดเหตุการณ์แทนที่จะเป็นช่วงเวลา การเปรียบเทียบเส้นโค้งการรอดชีพและการใช้รูปแบบการถดถอยในการหาความสัมพันธ์ ในบทนี้จะอธิบายหลักการวิเคราะห์ที่ใช้กันมาก 3 วิธี คือ การประมาณการรอดชีพโดยวิธีของแคปแลน–มีเยอร์ (Kaplan–Meier) การเปรียบเทียบเส้นโค้งการรอดชีพโดยใช้ log rank test และหลักการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับระยะเวลาการปลอดเหตุการณ์

17.2 ตัวประมาณค่าผลคูณจำกัดแคปแลน-มีเยอร์

ตัวประมาณค่าผลคูณจำกัดแคปแลน–มีเยอร์ (Kaplan–Meier product–limit estimator) เป็นการประมาณระยะเวลาการรอดชีพ ณ เวลาที่มีการเกิดเหตุการณ์ การคำนวณความน่าจะเป็นของการรอดชีพจากเวลาที่เริ่มต้นศึกษาจนถึงเวลาที่เกิดเหตุการณ์โดยใช้วิธีผลคูณจำกัด (product limit) ตัวอย่างเช่น มีเหตุการณ์เกิดขึ้นในเดือนที่ 1 และ 3 สามารถคำนวณการรอดชีพจนถึงเดือนที่ 3 (ความน่าจะเป็นสะสม) ได้ดังนี้ $S(3) = P(1)P(3)$

ความน่าจะเป็นของการรอดชีพจนถึงเดือนที่ 3 [S(3)] คำนวณโดยใช้กฎการคูณ (multiplicative rule) โดยคำนวณจากผลคูณของโอกาสรอดชีพก่อนเดือนที่ 3 คูณด้วยอัตราการรอดชีพของเดือนที่ 3

ตัวอย่างที่ 17.1

ในการศึกษาการรอดชีพของผู้ป่วยด้วยโรคมะเร็งเม็ดโลหิตระยะสุดท้ายจำนวน 30 คน มีระยะเวลาศึกษา 24 เดือน พบว่ามีจำนวนการเสียชีวิต ณ เดือนต่างๆดังนี้

เดือนที่เสียชีวิต	1	3	4	6	8	10	12	16	17	22	23	24
จำนวนคน	2	3	2	2	4	2	3	1	1	2	2	1

จากข้อมูลการเสียชีวิตของผู้ป่วยด้วยโรคมะเร็งเม็ดโลหิตระยะสุดท้ายสามารถเขียนตารางแสดงความน่าจะเป็นของการรอดชีพได้ดังนี้

ตาราง 17.1 การประมาณความน่าจะเป็นของการรอดชีพด้วยวิธีแคปแลน-มีเยอร์

เดือนที่เกิดเหตุการณ์	จำนวนผู้ป่วย (n_i)	จำนวนการเสียชีวิต (d_i)	โอกาสเสียชีวิต d_i/n_i	โอกาสรอดชีพ $P_i = (1 - d_i/n_i)$	โอกาสรอดชีพสะสม $S_i = (P_i)(P_{i-1})$
1	30	2	0.0667	0.9333	0.9333
3	28	3	0.1071	0.8929	0.8333
4	25	2	0.0800	0.9200	0.7667
6	23	2	0.0870	0.9130	0.7000
8	21	4	0.1905	0.8095	0.5667
10	17	2	0.1176	0.8824	0.5000
12	15	3	0.2000	0.8000	0.4000
16	12	1	0.0833	0.9167	0.3667
17	11	1	0.0909	0.9091	0.3333
22	10	2	0.2000	0.8000	0.2667
23	8	2	0.2500	0.7500	0.2000
24	6	1	0.1667	0.8333	0.1667

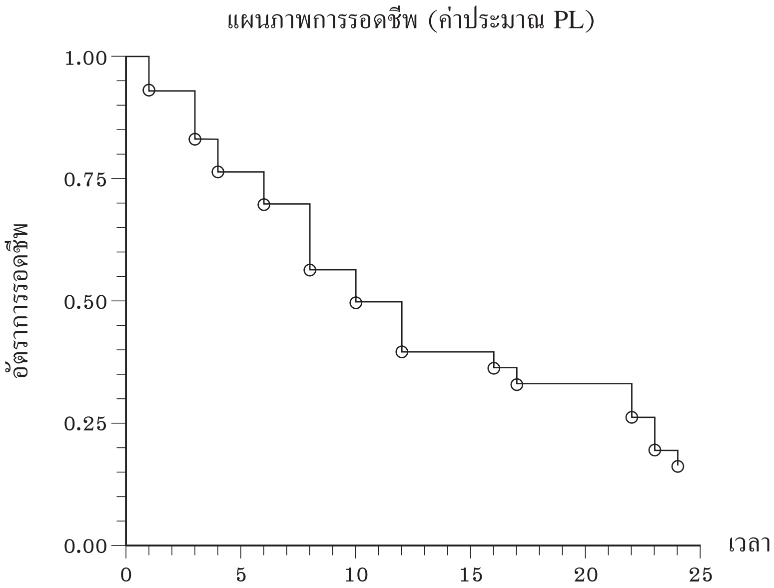
ในการประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่นของอัตราการรอดชีพพบว่าในกรณีตัวอย่างมีขนาดใหญ่การแจกแจงตัวอย่างของอัตราการรอดชีพ S_i มีการแจกแจงปกติมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) เท่ากับ

$$SE(S_i) = S_i \sqrt{\sum \left(\frac{d_i}{n_i(n_i - d_i)} \right)}$$

ดังนั้นจึงประมาณช่วงความเชื่อมั่นของ S_i ของแต่ละช่วงเวลาของการเกิดเหตุการณ์ได้ดังนี้

$$\text{ช่วงความเชื่อมั่นของ } S_i = S_i \pm Z_{\alpha/2} SE(S_i)$$

ถ้านำค่า S_i ไปสร้างกราฟแสดงความน่าจะเป็นของการรอดชีพกับระยะเวลาจะได้เส้นโค้งแคปแลน–มีเยอร์ (Kaplan–Meier curve) แสดงความน่าจะเป็นของการรอดชีพ



ภาพ 17.2 เส้นโค้งการรอดชีพของผู้ป่วยด้วยโรคมะเร็งเม็ดโลหิตระยะสุดท้ายจำนวน 30 ราย

ในการวิเคราะห์ระยะเวลาการรอดชีพ ความน่าจะเป็นของระยะเวลาการรอดชีพที่คำนวณด้วยวิธีแคปแลน–มีเยอร์พร้อมเส้นโค้งการรอดชีพจะถูกใช้ในการพรรณนาลักษณะของระยะเวลาการรอดชีพของตัวอย่างที่ศึกษา

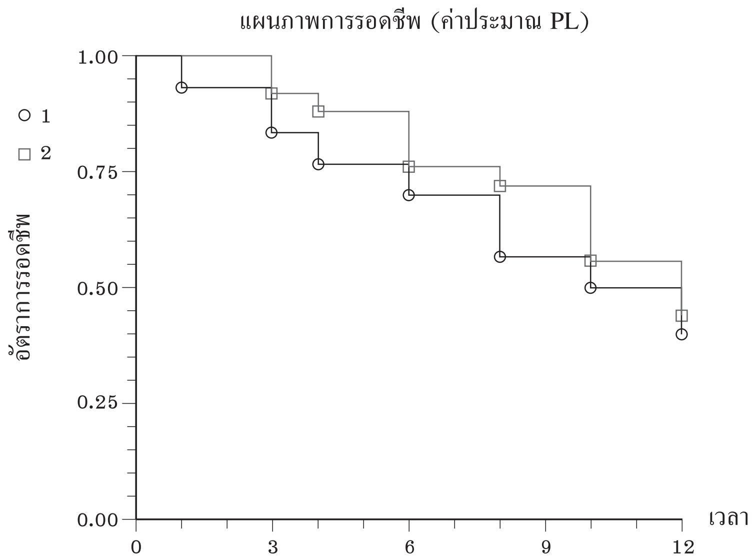
17.3 การเปรียบเทียบระยะเวลาการรอดชีพด้วย log rank test

ระยะเวลาการรอดชีพมีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลหรือเวบูล (weibull) ถ้าการเสียชีวิตตามหน่วยเวลาที่ศึกษาแตกต่างกันมากจะมีการแจกแจงแบบเวบูล ในการเปรียบเทียบการรอดชีพของ 2 กลุ่มจึงไม่สามารถใช้สถิติแบบพาราเมตริก ต้องใช้สถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลหยุดการติดตาม การทดสอบวิลคอกซัน (Wilcoxon test) สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบค่ามัธยฐานของระยะเวลาการรอดชีพ (median survival time) ของ 2 กลุ่มได้ การทดสอบที่นิยมใช้และพบเห็นมากในรายงานวิจัยคือ log rank test

log rank test เป็นวิธีการเปรียบเทียบระยะเวลาการรอดชีพของ 2 กลุ่ม โดยนำอัตราการเสียชีวิตรวมของทั้ง 2 กลุ่มในแต่ละหน่วยเวลามาคำนวณค่าคาดหวังของการเสียชีวิตตามหน่วยเวลาที่ศึกษาของทั้ง 2 กลุ่ม แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่สังเกตด้วยสถิติ χ^2 ถ้าความน่าจะเป็นของการเสียชีวิตตามหน่วยเวลาที่ศึกษาของทั้ง 2 กลุ่มเหมือนกัน ค่า χ^2 ที่ได้จะมีขนาดเล็ก เมื่อนำค่า P value ไปเปรียบเทียบค่า α ที่กำหนดก็สามารถสรุปผลการทดสอบได้ว่าแตกต่างกันหรือไม่

ตัวอย่างที่ 17.2

อยากทราบว่าการดูแลผู้ป่วยด้วยโรคมะเร็งเม็ดโลหิตระยะสุดท้ายของ 2 โรงพยาบาลจะมีระยะเวลาการรอดชีพแตกต่างกันหรือไม่ โดยมีผลการรอดชีพในช่วงระยะเวลา 12 เดือน แสดงในตารางต่อไปนี้



ภาพ 17.3 เปรียบเทียบการรอดชีพของการรักษาผู้ป่วยด้วยโรคมะเร็งเม็ดโลหิตระหว่าง 2 โรงพยาบาล

ตาราง 17.2 การคำนวณค่าคาดหวังการเสียชีวิตตามช่วงเวลา

เดือนที่เกิดเหตุการณ์	จำนวนผู้ป่วย			จำนวนการเสียชีวิต			จำนวนการเสียชีวิตคาดหวัง		
	รพ. 1	รพ. 2	รวม	รพ. 1	รพ. 2	รวม	รพ. 1	รพ. 2	รวม
1	30	25	55	2	0	2	1.0909	0.9091	2
3	28	25	53	3	2	5	2.6415	2.3585	5
4	25	23	48	2	1	3	1.5625	1.4375	3
6	23	22	45	2	3	5	2.5556	2.4444	5
8	21	19	40	4	1	5	2.6250	2.3750	5
10	17	18	35	2	4	6	2.9143	3.0857	6
12	15	14	29	3	3	6	3.1034	2.8966	6
				$O_1 = 18$	$O_2 = 14$	32	$E_1 = 16.49$	$E_2 = 15.51$	32

1) คำนวณจำนวนผู้ป่วยและจำนวนการเสียชีวิตรวมทั้ง 2 โรงพยาบาลของแต่ละเดือน เมื่อนำอัตราการเสียชีวิตรวมไปคำนวณจำนวนการเสียชีวิตคาดหวังของแต่ละโรงพยาบาล

2) จำนวนการเสียชีวิตคาดหวังของแต่ละโรงพยาบาลคำนวณได้ดังนี้

   ก) คำนวณจำนวนการเสียชีวิตคาดหวังของแต่ละหน่วยเวลา โดยใช้อัตราการเสียชีวิตรวมของทั้ง 2 โรงพยาบาลคำนวณด้วยสูตรดังนี้

จำนวนการเสียชีวิตคาดหวังของหน่วยเวลาที่ i ของ รพ. 1	=	อัตราการเสียชีวิตรวมของหน่วยเวลาที่ i	×	จำนวนผู้ป่วยทั้งหมดของ รพ. 1 ของหน่วยเวลาที่ i

   เช่น จำนวนการเสียชีวิตคาดหวังเดือนที่ 3 ของ รพ. 1 = (5/53) × 28 = 2.6415

   จำนวนการเสียชีวิตคาดหวังเดือนที่ 3 ของ รพ. 2 = (5/53) × 25 = 2.3585

   ข) คำนวณเช่นเดียวกันนี้จนครบทุกหน่วยเวลาของทั้ง 2 โรงพยาบาล ผลการคำนวณแสดงในตาราง 17.2 คำนวณจำนวนการเสียชีวิตคาดหวังรวมทุกหน่วยเวลาของแต่ละโรงพยาบาล ผลรวมที่ได้จะเป็นจำนวนการเสียชีวิตคาดหวัง (E_i) ของแต่ละโรงพยาบาล

3) นำค่าสังเกต (O_i) ที่ได้จากการศึกษา และค่าคาดหวัง (E_i) ที่คำนวณได้มาคำนวณค่าสถิติ χ^2 ได้ดังนี้

รพ.	จำนวนการเสียชีวิตจากการสังเกต	จำนวนการเสียชีวิตที่คาดหวัง
1	$O_1 = 18$	$E_1 = 16.49$
2	$O_2 = 14$	$E_2 = 15.51$
รวม	**32**	**32**

$$\chi^2 = \frac{(O_1 - E_1)^2}{E_1} + \frac{(O_2 - E_2)^2}{E_2}$$

$$= \frac{(18 - 16.49)^2}{16.49} + \frac{(14 - 15.51)^2}{15.51}$$

$$= 0.28528$$

$\chi^2_{(1)} = 0.28528$ ได้ค่า P value > 0.05

ค่า P value มากกว่าค่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่าระยะเวลาการรอดชีพของการรักษาโรคมะเร็งเม็ดโลหิตของทั้ง 2 โรงพยาบาลไม่แตกต่างกัน

จากตาราง 2×2 ที่ได้สามารถนำมาคำนวณค่า Odds Ratio แสดงความเสี่ยงเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 โรงพยาบาลได้ด้วยสูตรดังนี้

$$OR = \frac{O_1/E_1}{O_2/E_2} = \frac{18/16.49}{14/15.51} = 1.209$$

สถิติ log rank test ที่ใช้ในการเปรียบเทียบมีวิธีการคำนวณที่นำเสนอโดยนักสถิติหลายคน เช่น แมนเทล (Mantel) เกฮาน (Gehan) คอกซ์ (Cox) ปีโตและปีโต (Peto and Peto) และแอนเดอร์สัน (Anderson) แต่ละคนจะมีรายละเอียดและวิธีการคำนวณที่ต่างกัน โดยมีหลักการและแนวคิดเช่นเดียวกัน วิธีการที่ใช้อธิบายในตัวอย่างที่ 17.2 เป็นของแอนเดอร์สัน ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้แสดงแนวคิดและหลักการที่เข้าใจได้ง่าย

17.4 อัตราการเสี่ยงภยันตรายและตัวแบบสัดส่วนการเสี่ยงภยันตรายของคอกซ์

ในการวิเคราะห์ระยะเวลาการรอดชีพที่พบบ่อยอีกวิธีหนึ่ง คือการวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปของอัตราการเสี่ยงภยันตราย (hazard rate) คำนวณจากจำนวนการเสียชีวิตต่อหน่วยเวลาหารด้วยค่าเฉลี่ยของจำนวนการรอดชีพจนถึงช่วงเวลาที่กำหนด จากการที่พบว่าการรอดชีพมีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลสามารถคำนวณค่าอัตราการเสียชีวิต (H) ได้จากสูตร

$$H = \frac{d}{\sum t + \sum c}$$

เมื่อ d = จำนวนการเกิดเหตุการณ์

$\sum t$ = ผลรวมของระยะเวลาการเกิดเหตุการณ์

$\sum c$ = ผลรวมของระยะเวลาถึงหยุดการติดตาม

อัตราการเสียชีวิตที่ได้จะแปลความหมายเป็นอัตราการเสียชีวิตต่อหน่วยระยะเวลา เช่น ข้อมูลจากตัวอย่างที่ 17.1 คำนวณอัตราการเสียชีวิตด้วยโปรแกรมสถิติ พบว่าเดือนที่ 8 มีค่า H = 0.568 แสดงว่าโรคมะเร็งเม็ดโลหิตระยะสุดท้ายในเดือนที่ 8 ของการรักษาจะมีอัตราการเสียชีวิต 0.568 คนต่อเดือน

จากวิธีการคำนวณอัตราการเสียชีวิตยังพบว่าค่า 1/H เท่ากับค่าเฉลี่ย ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของการรอดชีพได้จากค่าอัตราการเสียชีวิต

ในการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการรอดชีพจะใช้ตัวแบบของการคำนวณแบบ log linear ที่ตัวแปรตามเป็นอัตราการเสียชีวิตจึงไม่ต้องมีข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับลักษณะการแจกแจง วิธีการคำนวณเรียกว่าตัวแบบสัดส่วนการเสี่ยงภยันตราย (proportional hazard model) หรือที่นิยมเรียกกันว่าตัวแบบสัดส่วนการเสี่ยงภยันตรายของคอกซ์ (Cox's proportional hazard model) จากตัวแบบที่ได้สามารถใช้ในการระบุตัวแปรอิสระที่มีผลต่อการรอดชีพ สามารถเปรียบเทียบความเสี่ยงของปัจจัยต่างๆในรูปของอัตราส่วนการเสี่ยงภยันตราย (hazard ratio) เช่น การมีหรือไม่มีปัจจัยจะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดเหตุการณ์มากน้อยเพียงใด ถ้าให้สิ่งทดลอง (treatment) เป็นปัจจัย สามารถเปรียบเทียบการรอดชีพระหว่างสิ่งทดลองได้ นอกจากนี้ ยังใช้วิธีการวิเคราะห์นี้ในการทำการปรับค่าความแปรปรวนรวม (covariate adjustment) เพื่อควบคุมผลกระทบจากตัวแปรกวนได้อีกด้วย

สรุป

วิธีการวิเคราะห์ระยะเวลาการปลอดเหตุการณ์มีรายละเอียดต่างๆมากและมีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หลากหลาย ที่นำเสนอในตำราเล่มนี้เป็นเพียงส่วนที่มีการใช้บ่อย และต้องการให้เข้าใจหลักและวิธีการวิเคราะห์เพื่อให้สามารถอ่านบทความงานวิจัย และสามารถสร้างเส้นโค้งการรอดชีพและการเปรียบเทียบระยะเวลาการรอดชีพของ 2 กลุ่มเบื้องต้นได้ ในกรณีที่การปรับค่าของระยะเวลาถึงหยุดการติดตาม การเปรียบเทียบมากกว่า 2 กลุ่ม หรือการใช้ตัวแบบสัดส่วนการเสี่ยงภยันตราย นักวิจัยควรศึกษาเพิ่มเติมจากตำราการวิเคราะห์ระยะเวลาการรอดชีพ

บทที่ 18

สถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์

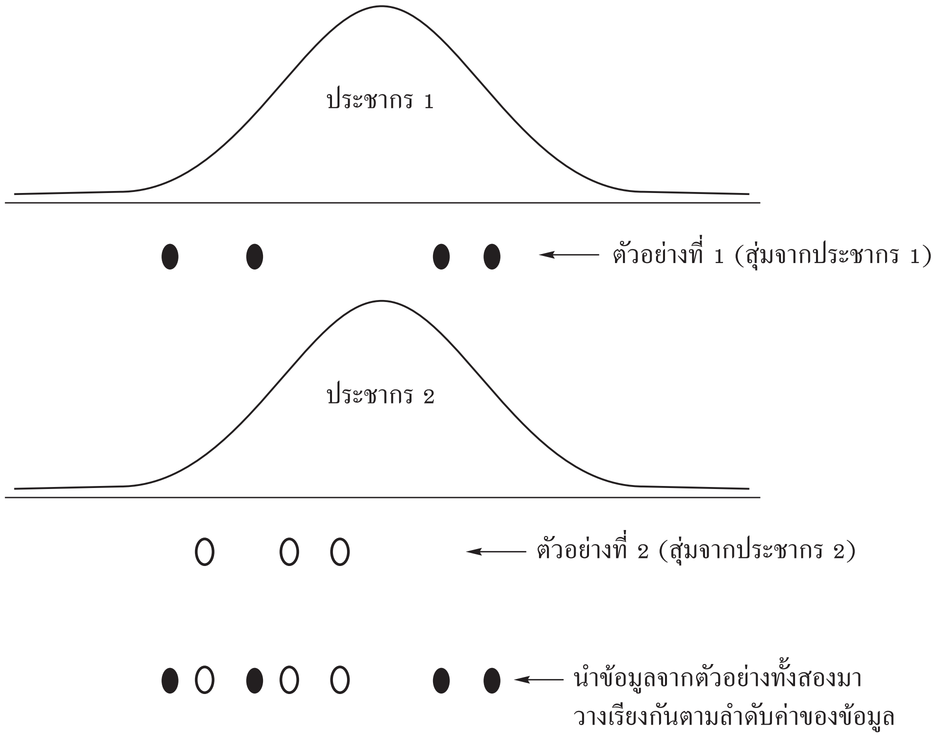
การวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติในบทที่ผ่านมาสถิติที่ใช้ต้องมีข้อตกลงเบื้องต้นว่าข้อมูลสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ ซึ่งจะนำมาใช้ในการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของประชากร เช่น μ หรือ ρ วิธีการดังกล่าวเรียกว่าสถิติแบบพารามิเตอร์ (parametric method) ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการดังกล่าวบางครั้งพบว่าข้อมูลที่เก็บมาประชากรไม่ได้มีการแจกแจงปกติ หรือกรณีตัวอย่างขนาดเล็กไม่สามารถสรุปลักษณะการแจกแจงได้ จึงไม่สามารถใช้การวิเคราะห์แบบพารามิเตอร์ในการสรุปผล นักสถิติจึงได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (non-parametric) ขึ้นเพื่อใช้ในการสรุปผลการวิจัย

แนวคิดในการวิเคราะห์แบบไม่ใช้พารามิเตอร์ คือ การนำลำดับที่ของข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์และสรุปผลแทนค่าของข้อมูลแต่ละตัว ทำให้ไม่ต้องมีข้อตกลงเบื้องต้นของการแจกแจงของประชากร วิธีการคำนวณค่าต่างๆก็สามารถทำได้ง่ายกว่า ได้มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ขึ้นมาใช้จำนวนมาก ในบทนี้จะอธิบายสถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบสมมติฐานข้อมูลต่อเนื่องที่พบบ่อยๆ 4 กรณี คือ การเปรียบเทียบประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระและไม่เป็นอิสระต่อกัน การเปรียบเทียบประชากรมากกว่า 2 กลุ่ม และการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลต่อเนื่อง

18.1 การทดสอบผลรวมลำดับที่วิลคอกซัน

การทดสอบผลรวมลำดับที่วิลคอกซัน (Wilcoxon rank-sum test) เป็นวิธีการทดสอบทางสถิติเพื่อทดสอบว่าตัวอย่างทั้งสองมาจากประชากรที่มีค่ามัธยฐานต่างกันหรือไม่ โดยตัวอย่างทั้งสองต้องเป็นอิสระต่อกัน การทดสอบนี้จะใช้แทนการทดสอบสถิติ t ที่เป็นอิสระต่อกัน (independent t test) ในกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้สถิติทดสอบ t

แนวคิดในการทดสอบแบบผลรวมลำดับที่วิลคอกซันที่แสดงในภาพ 18.1 ถ้าพิจารณาจากลักษณะการแจกแจงของประชากรตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 ค่ามัธยฐานน่าจะไม่ต่างกัน แต่เนื่องจากขนาดตัวอย่างที่สุ่มมาศึกษามีขนาดเล็ก ทำให้ข้อมูลที่สุ่มมาได้มีความแตกต่างกันมาก ถ้านำค่าข้อมูลจากตัวอย่างมาพิจารณาความต่าง จะพบว่าค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกัน แต่ถ้านำข้อมูลทั้ง 2 ตัวอย่างมารวมกันแล้วนำมาจัดลำดับที่ ถ้าพบว่าลำดับที่ของข้อมูลจากตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มอยู่ในตำแหน่งที่สลับกันไปมา แสดงว่าตัวอย่างทั้งสองมาจากประชากรที่มีมัธยฐานเท่ากัน ดังแสดงในภาพ 18.1 ถ้าแต่ละกลุ่มมีตำแหน่งแยกกัน เช่น กลุ่มหนึ่งได้ลำดับต้นๆ อีกกลุ่มหนึ่งได้ลำดับช่วงปลายๆ แสดงว่าตัวอย่างทั้งสองมาจากประชากรที่มีค่ามัธยฐานต่างกัน



ภาพ 18.1 แสดงแนวคิดของการทดสอบโดยใช้ผลรวมลำดับที่วิลคอกซัน

โดยปกติผลรวมของลำดับที่จะเท่ากับ $n(n + 1)/2$ เช่น กรณีที่มีตัวอย่าง 3 ค่า ($n = 3$) ผลรวมของลำดับที่จะเท่ากับ $1 + 2 + 3 = 6$ ถ้าคำนวณจากสูตรก็จะได้ 6 เช่นกัน

$$\text{ผลรวมของลำดับที่} = n(n + 1)/2 = 3(3 + 1)/2 = 6$$

ในการพิจารณาตัวอย่างทั้งสองว่ามาจากประชากรเดียวกันหรือไม่ จะพิจารณาจากค่าความแตกต่างของผลรวมของลำดับที่ที่ได้จากการจัดลำดับที่รวมกัน และจัดลำดับที่เฉพาะกลุ่มของข้อมูล

กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเพียงกลุ่มเดียว ในทางปฏิบัติให้คำนวณจากข้อมูลของกลุ่มที่มีผลรวมของลำดับที่ที่มีค่าน้อย

ให้ T_1 = ผลรวมของลำดับที่ที่ได้จากการจัดลำดับที่รวมของกลุ่มที่มีค่าน้อย

n_1 = ขนาดตัวอย่างของกลุ่มที่มีค่าน้อย

T = ผลต่างของผลรวมลำดับที่ที่ได้จากการจัดลำดับที่รวมกับผลรวมลำดับที่กลุ่มเดียว

จะได้ว่า $T = T_1 - n_1(n_1 + 1)/2$ [$n_1(n_1 + 1)$ เป็นผลรวมของลำดับที่ที่คิดเฉพาะกลุ่มเดียว]

ถ้าค่า T มีขนาดเล็ก ผลรวมของลำดับที่ที่ได้จากการจัดลำดับที่รวมหรือแยกกลุ่มต่างกันไม่มาก แสดงว่าตัวอย่างทั้งสองมาจากประชากรที่มีค่ามัธยฐานที่ต่างกัน ในทำนองเดียวกันถ้าค่า T มีขนาดใหญ่ผลรวมของลำดับที่ต่างกันมาก แสดงว่าตัวอย่างทั้งสองมาจากประชากรที่มีค่ามัธยฐานไม่ต่างกัน ในการตัดสินใจให้นำค่าความน่าจะเป็นของค่า T (ค่า P value) ไปเทียบกับค่าระดับนัยสำคัญ

ในการดำเนินการทดสอบผลรวมลำดับที่วิลคอกซันมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1) นำข้อมูลจากทั้ง 2 ตัวอย่างมารวมกันโดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก
2) ให้ลำดับที่ข้อมูลทุกค่า ในกรณีที่ข้อมูลมีค่าเท่ากันให้นำลำดับที่มาหาค่าเฉลี่ย เช่น

ข้อมูล	ลำดับที่	ลำดับที่เฉลี่ย		ข้อมูล	ลำดับที่	ลำดับที่เฉลี่ย	
78	7	7.5	$\frac{7+8}{2} = 7.5$	69	10	11	
78	8	7.5		69	11	11	$\frac{10+11+12}{3} = 11$
				69	12	11	

3) คำนวณผลรวมของลำดับที่ของแต่ละกลุ่ม
4) ให้ T_1 เป็นผลรวมของลำดับที่ที่ได้จากการจัดลำดับที่รวมของกลุ่มที่มีค่าน้อย
5) คำนวณค่า $T = T_1 - n_1(n_1 + 1)/2$
6) คำนวณค่า P value ของค่า T

18.1.1 การคำนวณค่า P value ของการทดสอบผลรวมลำดับที่วิลคอกซันกรณีตัวอย่างขนาดเล็ก

ในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดเล็ก การคำนวณค่า P value ของสถิติการทดสอบผลรวมลำดับที่วิลคอกซันจะใช้วิธีการคำนวณแบบวิธีแม่นตรง (exact method)

ตัวอย่างที่ 18.1

นักวิจัยต้องการศึกษาว่าผู้ป่วยอัมพาตหลังจากได้รับการสอนและเตรียมผู้ป่วยให้ปรับตัวเพื่อกลับไปอยู่ที่บ้าน ความสามารถในการปรับตัวของหญิงดีกว่าชายหรือไม่ โดยวัดคะแนนปรับตัวได้ดังนี้ จงสรุปผลการศึกษา

กลุ่ม 1 (ชาย)	50	70	60	
กลุ่ม 2 (หญิง)	72	80	55	62

นำข้อมูลมาจัดลำดับที่รวมและแยกกลุ่มได้ดังนี้

เรียงลำดับ	
คะแนน	**ลำดับที่**
50	1
55	2
60	3
62	4
70	5
72	6
80	7

ลำดับที่กลุ่ม 1 (ชาย)	
คะแนน	**ลำดับที่**
50	1
70	5
60	3
รวม (T_1)	**9**

ลำดับที่กลุ่ม 2 (หญิง)	
คะแนน	**ลำดับที่**
72	6
80	7
55	2
62	4
รวม	**19**

วิธีการคำนวณค่า P value ด้วยวิธีความน่าจะเป็นแบบแม่นตรง (exact probability) ทำโดยการนำข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมารวมกัน กลุ่มชาย $n_1 = 3$ กลุ่มหญิง $n_2 = 4$ ข้อมูล 2 กลุ่มรวมกันจะมีข้อมูล $n = 7$ ดังนั้นข้อมูลแต่ละตัวจะมีโอกาสได้ลำดับที่ตั้งแต่ 1 ถึง 7 จากการที่กลุ่มชายมีผลรวมของลำดับที่น้อยกว่า จึงนำจำนวน $n = 3$ มาคำนวณผลรวมลำดับที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด เมื่อ $n = 3$ และลำดับที่ที่เป็นไปได้ตั้งแต่ 1 ถึง 7 รายละเอียดแสดงอยู่ในตาราง 18.1

นำผลรวมของลำดับที่ (T_1) ของแต่ละตัวอย่างมาทำตารางแจกแจงความถี่ และคำนวณค่าความน่าจะเป็นของการได้ผลรวมที่ค่าต่างๆ รายละเอียดแสดงในตาราง 18.2 เช่น โอกาสที่จะมีผลรวม T_1 เท่ากับ 6 มีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 1/35 = 0.029 คำนวณค่าความน่าจะเป็นสะสม (Cum. Pr.) และค่า $T = T_1 - n_1(n_1 + 1)/2$ จะทำให้ทราบค่าความน่าจะเป็นหรือค่า P value ของทุกค่าของ T

ค่า P value ของการทดสอบผลรวมลำดับที่วิลคอกซันของค่า n_1 n_2 และ T ต่างๆ ได้คำนวณไว้ในตาราง ส 5

ข้อมูลจากตัวอย่างนี้ผลรวมของลำดับที่ที่มีค่าน้อย คือ กลุ่มชาย $T_1 = 9$ $n_1 = 3$ นำมาคำนวณค่า

$$\begin{aligned} T &= T_1 - n_1(n_1 + 1)/2 \\ &= 9 - 3(3 + 1)/2 \\ &= 3 \end{aligned}$$

จากตาราง 18.2 ค่า T = 3 มีค่า Cum. Pr. = 0.20 ดังนั้นผลการทดสอบด้วยการทดสอบผลรวมลำดับที่วิลคอกซันจะมีค่า P value = 0.200 ถ้ากำหนดค่า $\alpha = 0.05$ ค่า P value มากกว่าค่า α ผลการทดสอบสมมติฐานไม่ปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่ามัธยฐานของประชากรชายและหญิงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงมีเหตุผลเพียงพอที่จะเชื่อได้ว่าชายและหญิงมีการปรับตัวไม่แตกต่างกัน

ตาราง 18.1 แสดงผลรวมลำดับที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด เมื่อ n = 3
และลำดับที่ที่เป็นไปได้ตั้งแต่ 1-7

	ลำดับที่							ผลรวมลำดับที่ (T_1)
	1	2	3	4	5	6	7	
1	X	X	X					6
2	X	X		X				7
3	X	X			X			8
4	X	X				X		9
5	X	X					X	10
6	X		X	X				8
7	X		X		X			9
8	X		X			X		10
9	X		X				X	11
10	X			X	X			10
11	X			X		X		11
12	X			X			X	12
13	X				X	X		12
14	X				X		X	13
15	X					X	X	14
16		X	X	X				9

ตาราง 18.1 (ต่อ)

	ลำดับที่							ผลรวมลำดับที่ (T_1)
	1	2	3	4	5	6	7	
17		X	X		X			10
18		X	X			X		11
19		X	X				X	12
20		X		X	X			11
21		X		X		X		12
22		X		X			X	13
23		X			X	X		13
24		X			X		X	14
25		X				X	X	15
26			X	X	X			12
27			X	X		X		13
28			X	X			X	14
29			X		X	X		14
30			X		X		X	15
31			X			X	X	16
32				X	X	X		15
33				X	X		X	16
34				X		X	X	17
35					X	X	X	18

ตาราง 18.2 แสดงค่าความน่าจะเป็นของค่า T

ผลรวมลำดับที่ (T_1)	ความถี่	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	$T = T_1 - n_1(n_1 + {}_1)/2$
6	1	0.029	0.029	0
7	1	0.029	0.057	1
8	2	0.057	0.114	2
9	3	0.086	0.200	3
10	4	0.114	0.314	4
11	4	0.114	0.429	5
12	5	0.143	0.571	6
13	4	0.114	0.686	7
14	4	0.114	0.800	8
15	3	0.086	0.886	9
16	2	0.057	0.943	10
17	1	0.029	0.971	11
18	1	0.029	1.000	12
รวม	**35**	**1**	**-**	

18.1.2 การทดสอบผลรวมลำดับที่วิลคอกซัน กรณีตัวอย่างขนาดใหญ่

ในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดใหญ่ แต่ละกลุ่มมีขนาดตัวอย่างมากกว่า 6 พบว่าการแจกแจงตัวอย่างของ T_i มีการแจกแจงปกติโดยมี

$$\mu_{T_i} = n_1(n_1 + n_2 + 1)/2 \quad \text{และ} \quad SE_{T_i} = \sqrt{n_1 n_2(n_1 + n_2 + 1)/12}$$

ในการทดสอบสมมติฐานจึงใช้สถิติ Z ดังนี้

$$Z = \frac{T_1 - n(n_1 + n_2 + 1)/2}{\sqrt{n_1 n_2(n_1 + n_2 + 1)/12}}$$

ตัวอย่างที่ 18.2

ในการทดสอบความเชื่อมั่นในตนเองระหว่างหญิงกับชายว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตาราง จงสรุปผลการศึกษาที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เพศ	คะแนนความเชื่อมั่น								
ชาย	15	21	32	40	49	50	52	65	
หญิง	8	10	12	19	25	34	36	48	56

นำข้อมูลมาคำนวณค่า T_i ของการทดสอบผลรวมลำดับที่วิลคอกซันได้ดังนี้

ชาย		หญิง	
คะแนน	ลำดับที่	คะแนน	ลำดับที่
15	4	8	1
21	6	10	2
32	8	12	3
40	11	19	5
49	13	25	7
50	14	34	9
52	15	36	10
65	17	48	12
		56	16
รวม (T_2) = 88		รวม (T_1) = 65	

H_0: $M_ช = M_ญ$ H_A: $M_ช \neq M_ญ$ กำหนดให้ $\alpha = 0.05$

$$Z = \frac{T_1 - n_1(n_1 + n_2 + 1)/2}{\sqrt{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)/12}} = \frac{65 - 9(9 + 8 + 1)/2}{\sqrt{9 \times 8(9 + 8 + 1)/12}} = -1.54$$

นำค่า $Z = -1.54$ ไปหาค่า P value ได้เท่ากับ 0.062 ซึ่งค่า P value ที่ได้มีค่ามากกว่าค่า α (0.025)

ผลการทดสอบสมมติฐานยอมรับ H_0 แสดงว่าค่ามัธยฐานของประชากรชายและหญิงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงมีเหตุผลเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าชายและหญิงมีความเชื่อมั่นในตนเองไม่แตกต่างกัน

18.2 การทดสอบเครื่องหมายแบบวิลคอกซัน

เป็นการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลต่อเนื่อง 2 กลุ่มที่ตัวอย่างทั้งสองมาจากประชากรที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน การทดสอบนี้ใช้แทนการทดสอบ t แบบไม่อิสระ ในกรณีที่การแจกแจงของข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้การทดสอบ t แบบไม่อิสระ

การทดสอบเครื่องหมายแบบวิลคอกซัน (Wilcoxon signed–rank test) จะใช้ลำดับที่ของผลต่างของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมาคำนวณความต่าง โดยมีวิธีการคำนวณค่าผลรวมของลำดับของผลต่างดังนี้

1) หาค่าความแตกต่างของข้อมูลแต่ละคู่
2) นำผลต่างที่ได้มาจัดลำดับที่โดยคิดเฉพาะค่าผลต่างโดยไม่คิดเครื่องหมาย เช่น –1 จะได้ลำดับน้อยกว่า –3 (เพราะเมื่อไม่คิดเครื่องหมาย 1 จะน้อยกว่า 3) ในกรณีที่ผลต่างเป็นศูนย์ให้ตัดข้อมูลดังกล่าวออกจากการคำนวณ ทำให้จำนวนคู่ของข้อมูลลดลง
3) คำนวณผลรวมของลำดับกลุ่มบวก (T^+) และกลุ่มลบ (T^-) แยกจากกัน
4) นำค่า T^- หรือ T^+ ที่มีค่าน้อยไปคำนวณค่า P value

18.2.1 การคำนวณค่า P value ของการทดสอบเครื่องหมายแบบวิลคอกซันกรณีตัวอย่างขนาดเล็ก

ในกรณีตัวอย่างมีขนาดเล็ก $n < 8$ คู่ จะคำนวณค่า P value แบบความน่าจะเป็นแบบแม่นตรง (exact probability) แนวคิดวิธีการคำนวณจะเป็นเช่นเดียวกันกับของการทดสอบผลรวมลำดับที่วิลคอกซันที่ได้อธิบายแล้ว ถ้าไม่มีความแตกต่างผลรวม T^+ และ T^- จะมีค่าใกล้เคียงกัน ได้มีการคำนวณค่า P value ของการทดสอบเครื่องหมายแบบวิลคอกซันของค่า T^+ (หรือ T^-) ที่มีค่าน้อยที่ค่า n ต่างๆไว้ในตาราง ส 6 ดังนั้นเมื่อคำนวณค่า T^+ หรือ T^- ที่มีค่าน้อยได้แล้วให้นำค่าดังกล่าวและค่า n ซึ่งนับเฉพาะคู่ที่มีผลต่างไม่เท่ากับศูนย์ไปเปิดตารางหาค่า P value

ตัวอย่างที่ 18.3

ในการศึกษาประสิทธิภาพของการพิมพ์เมื่อมีการปรับแสงสว่างให้เหมาะสมกับงานของพนักงานพิมพ์ 5 คน ทั้งก่อนและหลังการปรับแสงสว่างได้ผลดังแสดงในตาราง จงสรุปผลการศึกษา

	ก่อน	หลัง	ผลต่าง	ลำดับที่	
				-	+
1	16	20	−4	4.5	
2	12	13	−1	1.5	
3	10	6	4		4.5
4	20	19	1		1.5
5	13	11	2		3
				$T^- = 6$	$T^+ = 9$

ผลการคำนวณพบว่า $T^- = 6$ มีค่าน้อย จึงนำค่า $T^- = 6$ และ $n = 5$ ไปเปิดตาราง ส 6 ได้ค่า P value = 0.4063 ค่า P value ที่ได้มีค่ามากกว่าค่า α (0.05) ผลการทดสอบสมมติฐานยอมรับ H_0 แสดงว่าค่ามัธยฐานของคะแนนการพิมพ์ก่อนและหลังปรับแสงสว่างแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงมีเหตุผลเพียงพอที่จะเชื่อได้ว่าผลการพิมพ์ก่อนและหลังการปรับแสงสว่างไม่แตกต่างกัน

18.2.2 การทดสอบเครื่องหมายแบบวิลคอกซัน กรณีตัวอย่างขนาดใหญ่

ในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดใหญ่ ≥ 8 คู่ พบว่าการแจกแจงตัวอย่างผลรวมของลำดับที่ของผลต่างในกลุ่มบวก (หรือกลุ่มลบ) มีการแจกแจงปกติ โดยมี

$$\mu_{T_d} = \frac{n(n+1)}{4} \quad \text{และ} \quad SE_{T_d} = \sqrt{\frac{(2n+1)n(n+1)}{24}}$$

ในการทดสอบสมมติฐานจึงใช้สถิติ Z ดังนี้

$$Z = \frac{T_d - n(n+1)/4}{\sqrt{(2n+1)n(n+1)/24}}$$

ตัวอย่างที่ 18.4

ในการศึกษาเปรียบเทียบคะแนนกิจกรรมของทารก (infant activity scores) ระหว่างวันที่ 2 กับวันที่ 14 ว่ามีค่าแตกต่างกันหรือไม่ ได้ผลการศึกษาดังนี้

ทารกคนที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่ 2	30	12	19	38	10	14	25	20	11	8
วันที่ 14	14	34	22	29	17	28	14	39	42	31

นำข้อมูลมาคำนวณค่าสถิติ T_d ของวิลคอกซันดังนี้

คนที่	คะแนนกิจกรรม		d	ลำดับที่	
	วันที่ 2	วันที่ 14		-	+
1	30	14	16		6
2	12	34	−22	8	
3	19	22	−3	1	
4	38	29	9		3
5	10	17	−7	2	
6	14	28	−14	5	
7	25	14	11		4
8	20	39	−19	7	
9	11	42	−31	10	
10	8	31	−23	9	
		รวม		42	13

$$Z = \frac{13 - 10(10 + 1)/4}{\sqrt{(2 \times 10 + 1)10(10 + 1)/24}}$$

$$Z = -1.48 \rightarrow \text{P value} = 0.0694$$

ผลการทดสอบ P value > α (0.025) ยอมรับ H_0 แสดงว่าคะแนนกิจกรรมของทารกระหว่างวันที่ 2 กับวันที่ 14 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

18.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวครัสคาล-วอลลิส

เป็นสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลลำดับที่มากกว่า 2 กลุ่ม การทดสอบนี้จะใช้แทนการทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น

วิธีการคำนวณค่าสถิติ H ทำได้ดังนี้

1) นำข้อมูลจากทุกตัวอย่างมารวมกันโดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก จัดลำดับที่ให้แก่ข้อมูลทุกตัว
2) คำนวณผลรวมของลำดับที่แยกตามกลุ่ม
3) นำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสูตรเพื่อคำนวณค่า H (Kruskal–Wallis Statistic)

$$H = \frac{12}{N(N+1)}\left(\sum \frac{T_i^2}{n_i}\right) - 3(N+1)$$

4) นำค่าที่คำนวณได้ไปเปิดตาราง ส 7 เพื่อหาค่า P value
5) นำค่า P value ที่ได้เปรียบเทียบกับค่า α ที่กำหนดเพื่อสรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

ในกรณีที่ปฏิเสธสมมติฐานแสดงว่ามีอย่างน้อย 1 คู่ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ถ้านักวิจัยมีแผนการวิเคราะห์ที่จะดูความแตกต่างระหว่างคู่ใด จะต้องทดสอบความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธีการแบบดันน์ (Dunn Procedure) หรือการทดสอบผลรวมลำดับที่วิลคอกซัน ทดสอบความแตกต่างระหว่างคู่นั้น โดยปรับค่า α ให้สอดคล้องกับจำนวนคู่ที่ต้องการเปรียบเทียบ

ถ้าพบว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบมีค่าเท่ากัน (tied observation) ตั้งแต่ 2 ค่าขึ้นไป โดยปกติในการให้ลำดับที่จะให้ลำดับที่เฉลี่ยที่เป็นค่าข้อมูลเท่ากัน ในการทดสอบนี้อาจมีผลกระทบทำให้ค่า H ที่คำนวณได้เล็กกว่าที่ควรจะเป็น ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการปรับค่า H ที่คำนวณไปปรับค่าผลกระทบจากการที่ข้อมูลมีค่าเท่ากันตามสูตรดังนี้

$$H_{adj} = \frac{H}{1 - \left(\frac{\sum (T_j^3 - t_j)}{N^3 - N}\right)}$$

โดยที่ t_j เป็นจำนวนข้อมูลที่มีค่าเท่ากันชุดที่ j

โดยปกติในการคำนวณค่า H จะไม่ค่อยมีการปรับค่า tied observation เพราะค่า H ที่ได้มีค่าต่างจากเดิมน้อยมาก ในกรณีที่มี tied observation 25% เมื่อปรับแล้วทำให้ค่า H เพิ่มขึ้นไม่ถึง 10%

ในกรณีที่ขนาดตัวอย่างทุกกลุ่มมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 5 การแจกแจงของสถิติ H จะมีลักษณะการแจงแบบ χ^2 ที่องศาเสรี k – 1 จึงสามารถนำค่าสถิติ H ที่คำนวณได้ไปหาค่า P value จากตารางการแจกแจง χ^2

ตัวอย่างที่ 18.5

ในการประเมินความรู้และทักษะในการป้องกันโรคไข้เลือดออกของแม่บ้าน อสม. และเจ้าหน้าที่สาธารณสุขได้ผลดังแสดงในตาราง จงสรุปว่าความรู้และทักษะของประชากรทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันหรือไม่

ชาวบ้าน	ลำดับที่	อสม.	ลำดับที่	เจ้าหน้าที่	ลำดับที่
2	3.5	5	7.5	9	14
3	5.5	3	5.5	10	15
1	2	7	12	7	12
0	1	6	9.5	6	9.5
2	3.5	5	7.5	7	12
$T_1 = 15.5$ $n_1 = 5$		$T_2 = 42$ $n_2 = 5$		$T_3 = 62.5$ $n_3 = 5$	

นำค่า T_i และ n_i จากที่คำนวณได้แทนค่าลงในสูตรคำนวณค่า H ได้ดังนี้

$$H = \frac{12}{N(N+1)}\left[\sum \frac{T_i^2}{n_i}\right] - 3(N+1)$$

$$= \frac{12}{15(15+1)}\left[\frac{15.5^2}{5} + \frac{42^2}{5} + \frac{62.5^2}{5}\right] - 3(15+1)$$

$$= 11.10$$

สถิติ H มีการแจกแจงไคสแควร์ (χ^2) ที่องศาเสรี $k - 1 = 3 - 1 = 2$ นำค่า $\chi^2_{(2)} = 11.10$ ไปเปิดตารางหาค่าความน่าจะเป็น ได้ค่าความน่าจะเป็น P value < 0.005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า α (0.05) ผลการทดสอบปฏิเสธสมมติฐานแสดงว่าชาวบ้าน อสม. และเจ้าหน้าที่มีอย่างน้อย 1 คู่ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การเปรียบเทียบระหว่างคู่ด้วยวิธีการแบบดันน์มีสูตรคำนวณดังนี้

$$Z = \frac{\left|\bar{R}_i - \bar{R}_j\right|}{\sqrt{\frac{N(N+1)}{12}\left[\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}\right]}}$$

โดยที่ $\left|\bar{R}_i - \bar{R}_j\right|$ = ผลต่างสัมบูรณ์ของค่าตำแหน่งเฉลี่ยของกลุ่มที่ i กับ j

N = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

n_i และ n_j = จำนวนตัวอย่างของกลุ่ม i และ j

การตัดสินให้นำค่า P value มาเทียบกับ $\alpha^* = \frac{\alpha}{k(k-1)}$

จากตัวอย่าง ถ้าต้องการเปรียบเทียบรายคู่ทั้ง 3 คู่ คำนวณค่าสถิติได้ดังนี้

ชาวบ้านกับ อสม. $$Z_{12} = \frac{\left|\frac{15.5}{5} - \frac{42}{5}\right|}{\sqrt{\frac{15(15+1)}{12}\left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)}}$$

$$= 1.87 \quad \text{P value 2 ด้าน} = 0.061$$

ชาวบ้านกับเจ้าหน้าที่ $Z_{13} = 3.32$ P value 2 ด้าน $= 0.0009$

อสม. กับเจ้าหน้าที่ $Z_{23} = 1.45$ P value 2 ด้าน $= 0.15$

ถ้ากำหนดให้ $\alpha = 0.05$ คำนวณค่า α^* สำหรับการเปรียบเทียบ 3 คู่ได้ดังนี้

$$\alpha^* = \frac{0.05}{3(3-1)} = 0.008$$

จากค่า P value และค่า α^* ที่คำนวณได้พบว่าความรู้และทักษะของชาวบ้านกับเจ้าหน้าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

18.4 สหสัมพันธ์ลำดับที่สเปียร์แมน

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่อเนื่องโดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) มีการแจกแจงปกติสองตัวแปร (bivariate normal distribution) ในกรณีที่ข้อมูลของตัวแปรทั้งสองไม่ได้มีการแจกแจงปกติ ไม่สามารถใช้สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation) หาค่าสัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ได้ จะต้องเปลี่ยนค่าข้อมูลให้เป็นข้อมูลลำดับที่แล้วนำลำดับที่มาหาค่าความสัมพันธ์แทน

สหสัมพันธ์ลำดับที่สเปียร์แมน (Spearman rank correlation) เป็นวิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวที่เป็นข้อมูลลำดับที่ หลักการและแนวคิดของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นเช่นเดียวกันกับของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) ที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 8 โดยที่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่สเปียร์แมน (Spearman rank correlation coefficient) แสดงค่าความสัมพันธ์สูงสุดที่ +1 หรือ –1 ในกรณีที่มีความสัมพันธ์กัน ลำดับที่ของตัวแปร x และตัวแปร y ในคู่เดียวกันจะมีลำดับที่เดียวกัน ในทางกลับกันถ้าตัวแปร x และ y ไม่มีความสัมพันธ์กันจะทำให้ลำดับที่ในคู่เดียวกันมีค่าต่างกันมาก ดังนั้นในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่สเปียร์แมน (r_s) จึงใช้วิธีคิดและการแปลความหมายของค่าสัมประสิทธิ์เช่นเดียวกันกับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันโดยมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)}$$

วิธีการคำนวณค่า r_s ทำได้ดังนี้

1) นำข้อมูลของทั้ง 2 ตัวแปรมาเรียงลำดับแยกกันในแต่ละตัวแปร
2) คำนวณค่าผลต่างของลำดับที่ (d_i) ของข้อมูลแต่ละคู่ d_i = (ลำดับที่ x_i – ลำดับที่ y_i) ทำจนครบทุกคู่ (n)
3) นำค่า d_i^2 และ n ที่ได้มาแทนค่าลงในสูตร

ตัวอย่างที่ 18.6

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความรู้กับคะแนนการปฏิบัติตนในเรื่องการป้องกันไข้เลือดออกว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ได้ผลการศึกษาดังนี้

คนที่	1	2	3	4	5	6	7	8
คะแนนความรู้	30	24	42	39	45	40	20	28
คะแนนการปฏิบัติตน	12	16	10	8	14	7	13	12

นำข้อมูลมาคำนวณค่า r_s ได้ดังนี้

คนที่	ความรู้		การปฏิบัติตน		d_i	d_i^2
	คะแนน	ลำดับที่	คะแนน	ลำดับที่		
1	30	5	12	4.5	0.5	0.25
2	24	7	16	1	6	36
3	42	2	10	6	–4	16
4	39	4	8	7	–3	9
5	45	1	14	2	–1	1
6	40	3	7	8	–5	25
7	20	8	13	3	5	25
8	28	6	12	4.5	1.5	2.25
					$\sum d_i^2$	114.5

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)} = 1 - \frac{6 \times 114.5}{8(8^2-1)} = -0.363$$

ผลการคำนวณพบว่าคะแนนความรู้และการปฏิบัติตนในเรื่องการป้องกันโรคไข้เลือดออกมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่สเปียร์แมนเท่ากับ 0.363 ซึ่งมีความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำ

ในกรณีที่นักวิจัยต้องการทดสอบสมมติฐานว่าในประชากรมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ($\rho_s = 0$ หรือไม่) สามารถทำได้เช่นเดียวกันกับการทดสอบ ρ ในกรณีขนาดตัวอย่างมากกว่าหรือเท่ากับ 10 พบว่าการแจกแจงของ r_s มีการแจกแจงแบบ t มี SE = $\sqrt{\dfrac{1 - r_s^2}{n - 2}}$

ในการทดสอบสมมติฐาน (H_0: $\rho_s = 0$) มีสูตรคำนวณค่าสถิติ t ดังนี้

$$t = \frac{r_s\sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r_s^2}}$$

ถ้า $n < 10$ การทดสอบสมมติฐานให้นำค่า r_s ที่คำนวณได้ไปเปิดตารางค่าวิกฤตสำหรับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่สเปียร์แมน (critical values for Spearman rank correlation coefficient) เพื่อหาค่า P value จากตัวอย่าง $n = 8$, $r_s = 0.363$ เปิดตารางจากหนังสือของรอสเนอร์ (Rosner) ได้ค่า P value > 0.1

สรุป

สถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ใช้ได้ดีกับข้อมูลลำดับที่ ในกรณีข้อมูลต่อเนื่องการวิเคราะห์ด้วยสถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์จะมีอำนาจการทดสอบ (power of test) ต่ำกว่าแบบพารามิเตอร์ ถ้านำวิธีการทั้ง 2 วิธีมาวิเคราะห์ข้อมูลชุดเดียวกัน สถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์จะใช้ขนาดตัวอย่างที่ใหญ่กว่าในการแสดงความแตกต่างของการเปรียบเทียบ และจากการที่สถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ใช้เฉพาะลำดับที่ของข้อมูลในการวิเคราะห์ ทำให้ไม่สามารถใช้ขนาดความต่างของข้อมูลมาร่วมในการสรุปผล

จากข้อจำกัดดังกล่าว เมื่อนำวิธีการวิเคราะห์แบบไม่ใช้พารามิเตอร์ไปใช้กับข้อมูลต่อเนื่องจึงควรใช้เป็นวิธีเสริมในกรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์แบบพารามิเตอร์ได้เท่านั้น ไม่ใช่เป็นทางเลือกในการวิเคราะห์

∫∑∑'Ë18(242-257) 257 28/3/15, 16:13

บทที่ 19

การวางแผนประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

การวางแผนประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลควรทำในขั้นของการเขียนโครงร่างงานวิจัย และทบทวนอีกครั้งในขณะวางแผนก่อนเริ่มทำการเก็บข้อมูล ในกรณีที่เก็บข้อมูลมากเกินความต้องการในการศึกษาจะมีผลกระทบต่อเงิน เวลา และคุณภาพของข้อมูล ถ้าพิจารณาจากรายงานวิจัยและแบบเก็บข้อมูลพบว่ามีนักวิจัยจำนวนไม่น้อยที่เก็บข้อมูลมาจำนวนมาก แต่เวลาใช้จริงใช้เพียง 20–30% ของข้อมูลที่เก็บมาเท่านั้น ทำให้เกิดการสูญเปล่าของเวลาและเงินจำนวนไม่น้อย การวางแผนการวิเคราะห์จะช่วยทำให้นักวิจัยทราบว่าข้อมูลที่เก็บมานั้นเพียงพอและตรงกับที่ต้องการใช้ในการตอบคำถามงานวิจัยหรือไม่ นอกจากนี้ ยังช่วยกำหนดรหัสได้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ ช่วยทำให้วิเคราะห์และจัดทำรายงานได้เร็วขึ้น การวางแผนประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลจะต้องประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆดังต่อไปนี้

19.1 การออกแบบรหัส

การวางแผนการประมวลผลข้อมูลเริ่มตั้งแต่การออกแบบรหัสสำหรับฟอร์มหรือแบบสอบถาม การควบคุมคุณภาพของการเก็บข้อมูล และการนำเข้าข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์

การออกแบบรหัส คือการแปลงข้อมูลที่ต้องการประมวลหรือวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปของรหัสที่ง่ายสำหรับการประมวลผล ทำให้สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วและประหยัดเนื้อที่ของอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูล เช่น ให้ตัวเลขตัวเดียวแทนชื่อคณะ 1 = คณะวิทยาศาสตร์ 2 = คณะเกษตรศาสตร์

19.1.1 การกำหนดรหัส

อักขระแบ่งได้ 3 ชนิด คือ ตัวเลข ตัวอักษร และอักขระพิเศษ แต่โดยปกติรหัสจะกำหนดจากตัวเลขหรือตัวอักษรเท่านั้น จึงจะกล่าวถึงรหัสที่เป็นตัวเลขและตัวอักษรดังต่อไปนี้

ก) รหัสตัวเลข รหัสตัวเลขแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) เลขจำนวนเต็ม (integer) เป็นรหัสตัวเลขที่กำหนดเป็นเลขจำนวนเต็มเท่านั้น
2) เลขจำนวนจริง (real number) เป็นรหัสตัวเลขที่ให้มีจุดทศนิยมได้ เช่น น้ำหนัก (กก.) 45.2, 50.7, 41.8, 45.0, 43.5 เป็นต้น

ข) รหัสตัวอักษร รหัสตัวอักษรจะใช้เป็นอักษรตัวเดียวหรือเป็นข้อความ ควรใช้อักขระภาษาอังกฤษเพราะโปรแกรมสถิติจะแสดงผลข้อความในรายงานได้ถูกต้อง เช่น Male = ชาย Female = หญิง

ในการที่จะกำหนดรหัสเป็นเลขจำนวนเต็ม เลขจำนวนจริง หรือตัวอักษร ขึ้นอยู่กับว่าวิธีใดสามารถนำเข้าข้อมูลได้สะดวกและรวดเร็วกว่ากัน เช่น ถ้าเป็นตัวเลขจะทำได้เร็วกว่าตัวอักษร แต่รหัสที่เป็นข้อความสามารถสื่อความหมายได้ดีกว่า เช่น Male แทนชาย เป็นต้น โปรแกรมสถิติสามารถมีคำอธิบายค่ารหัสในรายงานผลการวิเคราะห์ ทำให้นิยมกำหนดรหัสเป็นตัวเลข เพราะนอกจากจะนำเข้าข้อมูลได้เร็วกว่าแล้วยังมีความผิดพลาดในการนำเข้าน้อยกว่าด้วย

19.1.2 การกำหนดรูปแบบรหัส

การกำหนดรูปแบบรหัสทำได้ 2 แบบ คือ

19.1.2.1 จำนวนหลักคงที่

จำนวนหลักคงที่เป็นการกำหนดให้ค่าข้อมูลของตัวแปรแต่ละตัวมีจำนวนหลัก (หรือจำนวนอักษร) เท่ากัน เช่น รหัสของเลขประจำตัวมีตั้งแต่หมายเลข 1 ถึง 500 ถ้าเขียนแบบปกติหมายเลข 1–9 มีตัวเลขหลักเดียว 10–99 มีตัวเลข 2 หลัก 100–500 มีตัวเลข 3 หลัก ทำให้ข้อมูลเลขประจำตัวของแต่ละคนมีจำนวนหลักไม่เท่ากัน ถ้าเขียนเป็นรหัสแบบจำนวนหลักคงที่ จะต้องเขียนอยู่ในรูป 001 002 003 ..... 500 ซึ่งทุกตัวประกอบด้วยตัวเลข 3 หลักเท่ากัน โดยความหมายของตัวเลขไม่เปลี่ยนแปลง

19.1.2.2 จำนวนหลักไม่คงที่

จำนวนหลักไม่คงที่เป็นการกำหนดรหัสให้เป็นไปตามการเขียนปกติ โดยไม่จำเป็นต้องมีจำนวนหลักเท่ากันทุกหน่วยสังเกต เช่น รายได้พิเศษต่อเดือน 800 1,000 12,500

รูปแบบรหัสที่นิยมใช้กันมาก คือ จำนวนหลักคงที่ เพราะในช่วงการเก็บบันทึกข้อมูลสามารถตรวจสอบความครบถ้วนถูกต้องได้ง่าย การมีจำนวนหลักคงที่ทำให้การนำเข้าข้อมูลด้วยวิธีการพิมพ์ไม่สับสนเรื่องความครบถ้วนของจำนวนช่องกรอกข้อมูลของแต่ละตัวแปร เมื่อแปลงข้อมูลเป็นข้อความ (text file) ความยาวแต่ละชุดข้อมูลหรือระเบียน (record) จะเท่ากัน ตัวแปรเดียวกันจะมีตำแหน่งที่ตรงกัน

19.1.3 การกำหนดหมายเลขชุดข้อมูล

แบบสอบถามแต่ละชุดจะต้องกำหนดหมายเลขกำกับไว้ด้วย (identification number) เพื่อใช้เป็นเลขอ้างอิงว่าข้อมูลที่นำเข้าในแต่ละชุดมาจากแบบสอบถามชุดใด ถ้าไม่มีหมายเลขกำกับแบบสอบถามโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะไม่ทราบว่าข้อมูลชุดใดเป็นของแบบสอบถามชุดใด นักวิจัยใหม่ๆมักจะลืมกำหนดช่องรหัสดังกล่าวในแบบสอบถาม ทำให้ต้องเสียเวลามาเพิ่มช่องใส่รหัสทุกชุดภายหลัง

19.1.4 การออกแบบรหัสข้อมูลเชิงปริมาณ

การออกแบบรหัสข้อมูลเชิงปริมาณโดยปกติข้อมูลเชิงปริมาณจะอยู่ในรูปของตัวเลขจึงเก็บเป็นค่าได้โดยตรง ในกรณีที่นำข้อมูลเชิงปริมาณมาจัดเป็นกลุ่มๆ และกำหนดเป็นรหัสของกลุ่ม เช่น อายุ 1 = 0–1, 2 = 5–9, 3 = 10–15 ควรทำในขั้นตอนการวิเคราะห์ ไม่ควรเก็บข้อมูลเป็นรหัสของกลุ่ม เพราะจะทำให้รายละเอียดของข้อมูลหายไป ถ้าต้องการจัดกลุ่มแบบใหม่หรือหาค่าเฉลี่ยจะทำไม่ได้

19.1.5 การออกแบบรหัสข้อมูลเชิงคุณภาพ

การออกแบบรหัสข้อมูลเชิงคุณภาพ ข้อมูลเชิงคุณภาพควรกำหนดให้อยู่ในรูปของรหัสตัวเลข เช่น 1 = ไม่ชอบ 2 = เฉยๆ 3 = ชอบ แล้วมาทำคำอธิบายค่ารหัสของตัวแปรด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล

19.1.6 การกำหนดจำนวนหลักตัวเลขของรหัส

การกำหนดจำนวนหลักตัวเลขของรหัสแต่ละตัวแปร นักวิจัยจะต้องนึกถึงคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดว่ามีจำนวนเท่าใด ถ้าไม่เกิน 10 คำตอบ ก็ใช้รหัส 1 หลัก ถ้าไม่เกิน 100 คำตอบ ก็ใช้รหัส 2 หลัก เช่น แบ่งอาชีพได้ 15 อาชีพ รหัสที่ใช้ควรเป็น 2 หลัก ตั้งแต่ 01 02 ... 15 เป็นต้น

19.1.7 การกำหนดรหัสตัวเลขในกรณีมีหลายคำตอบ

การกำหนดรหัสตัวเลขควรกำหนดเรียงกันไปตามลำดับจากน้อยไปหามาก เช่น 01 02 03 ... 15 ไม่ควรข้ามหรือเว้นว่างไว้ เพราะจะทำให้เกิดการผิดพลาดในการเข้ารหัสและการอ่านผลได้

19.1.8 การกำหนดรหัสประเภทไม่ตอบ ไม่ทราบ และไม่เข้าข่าย

ควรกำหนดรหัสประเภทไม่ตอบ ไม่ทราบ และไม่เข้าข่ายไว้ในรายการคำตอบดังนี้

1) ไม่ตอบ เกิดจากการที่ผู้ตอบปฏิเสธที่จะตอบคำถามในบางข้อ หรือกรณีที่แบบสอบถามที่ส่งทางไปรษณีย์แล้วผู้ตอบเว้นบางข้อว่างไว้ ซึ่งสามารถนำข้อที่ตอบมาประมวลผลได้โดยไม่ต้องทิ้งไปทั้งชุด
2) ไม่ทราบ เกิดขึ้นในกรณีที่ผู้ให้สัมภาษณ์จำไม่ได้ หรือผู้อื่นตอบคำถามแทน เพราะผู้ให้สัมภาษณ์ไม่อยู่ เช่น ถามว่าภรรยาหมดประจำเดือนเมื่ออายุเท่าไร ในกรณีที่ภรรยาไม่อยู่และสามีไม่ทราบ
3) ไม่เข้าข่าย รหัสประเภทนี้เกิดขึ้นในกรณีที่มีการข้ามข้อหรือเว้นคำถามในกรณีเฉพาะ ตัวอย่างเช่น

19. ปัจจุบันท่านหรือสามีกำลังใช้วิธีคุมกำเนิดหรือไม่

[ ] 1 ใช้ [ ] 2 ไม่ใช้ → ข้ามไปข้อ 22

20. ท่านหรือสามีกำลังคุมกำเนิดด้วยวิธีใด

[ ] 1 ยาเม็ดคุมกำเนิด	[ ] 4 ทำหมันหญิง	[ ] 7 ไม่ทราบ
[ ] 2 ห่วงอนามัย	[ ] 5 ทำหมันชาย	[ ] 8 ไม่ตอบ
[ ] 3 ยาฉีด	[ ] 6 ถุงยางอนามัย	[ ] 9 ไม่เข้าข่าย

การกำหนดรหัสไม่เข้าข่ายจะทำให้ยอดรวมจำนวนคำตอบเท่ากับจำนวนชุดแบบสอบถามพอดี ทำให้ตรวจสอบความครบถ้วนได้ง่าย สำหรับการกำหนดรหัสไม่ทราบไม่ตอบ และไม่เข้าข่ายนิยมกำหนดเป็นตัวเลขสูงสุดตามจำนวนหลักของรหัส เช่น 8, 9, 98, 99 ทั้งนี้ เพื่อที่จะเหลือเลขสำหรับรหัสคำตอบอื่นๆให้มากที่สุด และเพื่อให้ง่ายต่อการจำในการลงรหัสและแปลผล เช่น ไม่เข้าข่ายทุกข้อเป็นรหัส 9 หรือ 99 เหมือนกันทุกข้อ ไม่ตอบใช้รหัส 8 หรือ 88 ทุกข้อ เป็นต้น

19.1.9 การกำหนดรหัสคำถามเปิด หรือครึ่งปิดครึ่งเปิด

การออกแบบรหัสในคำถามเปิด หรือครึ่งปิดครึ่งเปิด เช่น

21. ในระยะให้นมบุตรท่านกินอาหารเป็นพิเศษหรือไม่

[ ] ไม่กิน [ ] กิน (ระบุ) ....

22. เหตุใดท่านจึงไม่ไปรับบริการที่สถานีอนามัย ....

ในการออกแบบรหัสคำถามประเภทนี้นักวิจัยจำเป็นจะต้องอ่านดูคำตอบของแบบสอบถามทั้งหมด (ถ้าไม่มากนัก) หรือนำแบบสอบถามจำนวนหนึ่งมาอ่านดูคำตอบ จัดทำกลุ่มคำตอบ และกำหนดรหัสคำตอบ การจัดกลุ่มคำตอบจากแบบสอบถามบางส่วนอาจจะต้องมีการเพิ่มกลุ่มคำตอบถ้าพบว่ากลุ่มคำตอบที่มีอยู่ไม่ครอบคลุม ดังนั้นในการกำหนดจำนวนหลักของรหัสคำตอบในกรณีนี้ จะต้องมีการกำหนดจำนวนหลักของเลขรหัสเผื่อสำหรับรหัสที่อาจมีเพิ่มขึ้นด้วย เช่น ถ้าจัดกลุ่มคำตอบจากแบบสอบถามบางส่วนได้ 8 กลุ่ม ควรที่จะกำหนดรหัสเผื่อไว้เป็น 2 หลัก เพราะถ้ามีคำตอบเพิ่มขึ้นอีก 2 กลุ่ม จะได้มีช่องพอที่จะกำหนดรหัสเพิ่ม

19.1.10 การออกแบบรหัสกรณีที่ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ

การออกแบบรหัสกรณีที่ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ ให้แยกคำตอบแต่ละคำตอบไปตั้งเป็นคำถามแยกเป็นข้อๆ

23. ท่านเลี้ยงลูกด้วยนมอะไร (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

[ ] นมแม่ [ ] นมข้นหวาน

[ ] นมผง [ ] นมสดหรือนมระเหยน้ำ

ให้แยกคำตอบแต่ละคำตอบไปตั้งเป็นคำถามที่ตอบว่าใช่/ไม่ใช่ และให้รหัสแยกเป็นคำตอบแต่ละข้อ ในกรณีที่ต้องการทราบคำตอบผสมกันจะสามารถสร้างตัวแปรขึ้นวิเคราะห์หาคำตอบจากรหัสที่แยกแต่ละคำตอบได้

23.1 ท่านเลี้ยงลูกด้วยนมแม่หรือไม่	[ ] 0 ใช่	[ ] 1 ไม่ใช่
23.2 ท่านเลี้ยงลูกด้วยนมผงหรือไม่	[ ] 0 ใช่	[ ] 1 ไม่ใช่
23.3 ท่านเลี้ยงลูกด้วยนมข้นหวานหรือไม่	[ ] 0 ใช่	[ ] 1 ไม่ใช่
23.4 ท่านเลี้ยงลูกด้วยนมสดหรือนมระเหยน้ำหรือไม่	[ ] 0 ใช่	[ ] 1 ไม่ใช่

19.1.11 การกำหนดแบบลงรหัส

การกำหนดแบบลงรหัส ทำได้ 2 วิธี คือ

19.1.11.1 ใช้แบบสอบถามเป็นแบบลงรหัส

ใช้แบบสอบถามเป็นแบบลงรหัสโดยกำหนดให้มีช่องลงรหัสอยู่ด้านขวามือของแบบสอบถามตรงกับตัวคำถาม การลงรหัสด้วยวิธีนี้ใช้พนักงานเป็นผู้ลงรหัสโดยการเขียนเลขรหัสลงในช่องรหัสด้านขวามือ จึงอาจเกิดความผิดพลาดที่เกิดจากการจำรหัสของคำตอบผิด หรือเขียนเลขรหัสผิด เพื่อการป้องกันไม่ให้จำรหัสของคำตอบผิดพลาดควรพิมพ์เลขรหัสของคำตอบแต่ละข้อลงหน้าคำตอบในคำถามแต่ละข้อ และควรมีการตรวจสอบความถูกต้องของการลงรหัสด้วย

			สำหรับเจ้าหน้าที่ลงรหัส
(19) ปัจจุบันท่านหรือสามีกำลังใช้วิธีคุมกำเนิดหรือไม่			V 19 [ ]
[ ] 1 ใช้	[ ] 2 ไม่ใช้ → ข้ามไปข้อ 22		
(20) ท่านหรือสามีกำลังคุมกำเนิดด้วยวิธีใด			V 20 [ ]
[ ] 1 ยาเม็ดคุมกำเนิด	[ ] 4 ทำหมันหญิง	[ ] 7 ไม่ทราบ	
[ ] 2 ห่วงอนามัย	[ ] 5 ทำหมันชาย	[ ] 8 ไม่ตอบ	
[ ] 3 ยาฉีด	[ ] 6 ถุงยางอนามัย	[ ] 9 ไม่เข้าข่าย	

19.1.11.2 ใช้โปรแกรมนำเข้าข้อมูลกำหนดรหัส

ใช้โปรแกรมนำเข้าข้อมูลทำการกำหนดรหัสในขณะนำเข้า โดยปกติโปรแกรมฐานข้อมูลหรือโปรแกรมสถิติจะมีส่วนที่เป็นเครื่องมือการนำเข้าข้อมูล สามารถใช้สร้างแบบฟอร์มให้มีลักษณะเหมือนแบบเก็บข้อมูล มีช่องให้ทำเครื่องหมายใส่ตัวเลข หรือกรอกตัวอักษรได้เช่นเดียวกับแบบฟอร์มเก็บข้อมูล รหัสคำตอบจะถูกกำหนดในขณะสร้างแบบนำเข้าข้อมูล ในขณะนำเข้าข้อมูลโปรแกรมจะแปลงสัญลักษณ์ เครื่องหมาย ตัวเลข หรือตัวอักษรที่พิมพ์เข้าไปเปลี่ยนเป็นรหัสตามที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ การลงรหัสด้วยวิธีนี้นักวิจัยต้องมีความรู้หรือหาผู้มีความรู้ในการใช้โปรแกรมทำแบบนำเข้าข้อมูล การนำเข้าข้อมูลด้วยวิธีนี้จะไม่มีข้อผิดพลาดในการลงรหัส

การเลือกวิธีการลงรหัสขึ้นอยู่กับวิธีการนำเข้าข้อมูลด้วย ถ้านำเข้าโดยใช้เครื่องอ่านข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ (electronic data capture) ซึ่งทำโดยมีเครื่องอ่านแบบฟอร์ม แล้วมีโปรแกรมแปลภาพที่อ่านได้เป็นรหัสคำตอบ ใช้หลักการทำงานเช่นเดียวกันกับเครื่องตรวจข้อสอบ หรือเป็นแบบฟอร์มให้คีย์คำตอบลงบนเว็บเพจ ทั้ง 2 วิธีจะใช้โปรแกรมนำเข้าข้อมูลเป็นตัวกำหนดรหัส

19.1.12 คู่มือลงรหัส

ในแบบเก็บข้อมูลแต่ละชุดจะต้องทำคู่มือลงรหัส (code book) เพื่อให้พนักงานลงรหัสใช้เป็นคู่มือในการลงรหัส และเป็นคู่มือสำหรับอธิบายรายละเอียดของรหัสที่เก็บในแฟ้มข้อมูลให้แก่ผู้ที่จะทำการวิเคราะห์หรือผู้ที่จะนำข้อมูลไปใช้ โดยมีรายละเอียดของคำอธิบายตัวแปรดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ลำดับที่	ชื่อตัวแปร	เลขที่สดมภ์	จำนวนสดมภ์	ประเภทอักขระ	จำนวนทศนิยม	รหัส
1	ID	1–4	4	ตัวเลข	0	เลขลำดับแบบสอบถาม
2	AGE	5–6	2	ตัวเลข	0	อายุเป็นปี
3	SEX	7	1	ตัวเลข	0	1 = ชาย, 2 = หญิง
4	HEIGHT	8–10	3	ตัวเลข	0	ความสูงเป็นเซนติเมตร
5	INCOME	11–14	4	ตัวเลข	0	รายได้เป็นหน่วยต่อ 100 บาท
6	DIA_BP	15–18	4	ตัวเลข	1	ความดัน Diastolic เป็น mmHg
7	DRUG_U	19–39	20	ตัวอักษร		ชื่อยาที่ใช้เป็นประจำ

- ชื่อตัวแปร ควรเขียนเป็นภาษาอังกฤษเพื่อให้โปรแกรมสถิติแสดงชื่อตัวแปรได้ถูกต้อง
- เลขที่สดมภ์ แสดงตำแหน่งของข้อมูลของแต่ละตัวแปรที่เก็บอยู่ในรูปแฟ้มข้อความ
- จำนวนสดมภ์ ใช้ระบุจำนวนหลักของข้อมูลที่เป็นตัวเลข หรือจำนวนตัวอักษรของข้อมูลที่เป็นข้อความ
- ประเภทอักขระ ใช้บอกชนิดของรหัสหรือข้อมูลว่าเป็นประเภทตัวเลข หรือตัวอักษร
- จำนวนทศนิยม ใช้บอกจำนวนทศนิยมว่ามีกี่ตำแหน่ง ในกรณีเป็นเลขจำนวนเต็ม จำนวนทศนิยมจะเท่ากับศูนย์ (0)
- รหัส เป็นคำอธิบายว่าเลขรหัสแต่ละตัวมีความหมายว่าอะไร

19.1.13 การลงรหัสโดยใช้พนักงานลงรหัส

พนักงานลงรหัสควรจะได้รับการอบรมและฝึกทำจนเข้าใจดีก่อนที่จะเริ่มทำงาน การตรวจสอบการลงรหัสมีความจำเป็นที่จะต้องทำถ้าต้องการข้อมูลที่มีคุณภาพสูง เพราะการตรวจสอบความถูกต้องของการลงรหัสด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำไม่ได้ทั้งหมด ในบางกรณีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตรวจสอบให้ไม่ได้ ตัวอย่างเช่น รหัสของคำถามเรื่องครอบครัวของท่านมีการกำจัดหนูในบ้านด้วยวิธีใด รหัสคำตอบที่ได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 4 ถ้าเกิน 4 แสดงว่าลงรหัสผิด โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะตรวจสอบได้ว่ามีข้อมูลชุดใดบ้างที่รหัสในข้อดังกล่าวมีค่าเกิน 4 แต่ถ้ามีการลงรหัสสลับหมายเลขภายใน 1–4 เช่น ตอบว่าเลี้ยงแมว แต่ลงรหัส 3 ซึ่งเป็นรหัสของยาเบื่อ โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะตรวจสอบให้ไม่ได้ ความผิดพลาดนี้จะต้องใช้คนตรวจสอบ โดยปกติควรมีการสุ่มตรวจสอบ

40. ครอบครัวของท่านมีการกำจัดหนูในบ้านด้วยวิธีใด

[ ] 0 ไม่มีหนู	[ ] 3 ใช้ยาเบื่อ
[ ] 1 ไม่ได้กำจัด	[ ] 4 ใช้กับดัก
[ ] 2 เลี้ยงแมว	

19.2 การนำเข้าข้อมูลและการตรวจสอบความถูกต้อง

การนำเข้าข้อมูลที่นิยมใช้กันในปัจจุบันทำได้ 2 วิธี คือ การนำเข้าจากแบบสอบถามหรือแบบฟอร์มโดยพิมพ์รหัสเข้าทางแป้นพิมพ์ และการใช้เครื่องอ่านข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ โดยวิธีนำเข้าข้อมูลด้วยเครื่องอ่านข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์จะลดความผิดพลาดในการลงรหัสและการคีย์ข้อมูล

ในการตรวจสอบความถูกต้องของการนำเข้าข้อมูลด้วยวิธีพิมพ์เข้าทางแป้นพิมพ์ ทำได้ใน 2 ขั้นตอนดังนี้ ใช้โปรแกรมตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลขณะนำเข้า และการนำเข้า 2 ครั้ง (double entry)

การใช้โปรแกรมตรวจสอบความถูกต้องของการนำเข้าเพื่อตรวจสอบค่าข้อมูลในแต่ละช่องคำตอบที่นำเข้าว่ามีค่าข้อมูลถูกต้องหรือไม่ เช่น คำตอบมีอยู่ 4 ตัวเลือก ให้รหัสตัวเลือกตั้งแต่ 1–4 โปรแกรมจะตรวจสอบ ถ้าพบว่าข้อมูลที่นำเข้าจากคำตอบดังกล่าวอยู่ระหว่าง 1–4 จะให้ผ่านการตรวจ ถ้ามีการพิมพ์ผิดสลับระหว่าง 2 กับ 3 โปรแกรมให้ผ่านการตรวจเช่นกัน ดังนั้นการตรวจสอบความถูกต้องด้วยวิธีนี้ยังอาจมีความผิดพลาดเหลืออยู่ นอกจากนี้ ยังตรวจสอบความสอดคล้องของข้อคำตอบทางตรรกะ เช่น ถ้าตอบว่าไม่เคยป่วยจะต้องไม่มีคำตอบเรื่องวิธีการรักษา ในงานวิจัยที่ต้องการความถูกต้องของข้อมูลสูงๆควรเพิ่มวิธีการตรวจสอบด้วยวิธีการนำข้อมูลเข้า 2 ครั้ง โดยพนักงาน 2 คน แล้วนำมาให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลนำเข้าทั้ง 2 ชุด จะสามารถลดความผิดพลาดลงได้อีกระดับหนึ่ง คงเหลือเฉพาะส่วนที่พนักงาน 2 คนพิมพ์ผิดเหมือนกันซึ่งมีโอกาสน้อยมาก

สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของการนำเข้าด้วยเครื่องอ่านข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ ทำโดยใช้โปรแกรมตรวจสอบความสอดคล้องของข้อคำตอบทางตรรกะในขณะนำเข้า

ความถูกต้องของการนำเข้าข้อมูลทางแป้นพิมพ์สามารถทำให้ได้มาตรฐานนานาชาติซึ่งผิดได้ไม่เกิน 1 ใน 1,000 ตัวอักษร ด้วยการกำหนดแนวมาตรฐานในการนำเข้าข้อมูล (SOP) ส่วนความเร็วและค่าใช้จ่ายจะแปรตามวิธีการนำเข้า ปริมาณข้อมูล และระดับความผิดพลาดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

19.3 การวางแผนวิเคราะห์ข้อมูล

การวางแผนวิเคราะห์ข้อมูลเริ่มตั้งแต่การจัดทำตารางหุ่น การวางแผนพรรณนาข้อมูล การเลือกสถิติที่ใช้ในการสรุปคำตอบของงานวิจัย การกำหนดจำนวนครั้ง และช่วงเวลาที่จะวิเคราะห์ข้อมูล รวมทั้งการวางแผนแก้ไขปัญหาการวิเคราะห์เมื่อมีปัญหาในขั้นตอนการเก็บข้อมูล

19.3.1 การจัดทำตารางหุ่น

ในการจัดทำตารางหุ่น (dummy table) จะช่วยให้ทราบว่าคำถามแต่ละข้อที่ถามมาต้องการนำมาอธิบายหรือแสดงในลักษณะใด เช่น แสดงด้วยตารางแจกแจงความถี่ทางเดียว หรือแสดงด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เช่น

ตารางแสดงการแจกแจงของกลุ่มอายุ (ตัวแปรที่ 3)

กลุ่มอายุ	จำนวน	
	คน	ร้อยละ
< 1		
1–4		
5–9		
:		
80–84		
> 84		
รวม		

ตารางแสดงการเกิดอุบัติเหตุแยกตามเพศ

เพศ	ได้รับอุบัติเหตุ	
	เคย	ไม่เคย
ชาย		
หญิง		

ตารางหุ่นที่สร้างขึ้นจะช่วยให้ทราบว่า

1) ข้อมูลที่ได้จากตารางต่างๆสามารถตอบคำถามที่ต้องการทราบครบหรือไม่
2) มีตารางใดถูกใช้ในการตอบคำถาม มีตารางใดไม่ถูกใช้
3) รหัสที่กำหนดไว้สามารถสร้างตารางคำตอบที่ต้องการได้หรือไม่

ข้อมูลทั้ง 3 ส่วนนี้จะนำไปใช้ปรับแบบสอบถามและแบบลงรหัส

19.3.2 การจัดกลุ่มคำตอบข้อมูลเชิงปริมาณ

ในการทำตารางหุ่นมักจะมีคำถามเสมอว่าควรจัดกลุ่มคำตอบอย่างไร เช่น อายุหรือรายได้ จึงขอเสนอแนวทางในการใช้จัดกลุ่มคำตอบข้อมูลเชิงปริมาณ ซึ่งมีหลักพิจารณา 4 ประการ คือ

1) ใช้หลักเกณฑ์ทางวิชาการในการแบ่งกลุ่ม เช่น ความดันโลหิตสูงกว่า 140 เป็นกลุ่มความดันโลหิตสูง ความดันโลหิตต่ำกว่าหรือเท่ากับ 140 เป็นกลุ่มความดันโลหิตปกติ

2) ใช้การแบ่งกลุ่มตามเป้าหมายของระบบบริการ เช่น อายุ ถ้าต้องการศึกษาจำนวนผู้มารับบริการจำแนกตามกลุ่มอายุจะแบ่งกลุ่มอายุตามปัญหาการเจ็บป่วยออกเป็น < 1, 1–4, 5–9, 10–14, ... > 60
3) แบ่งกลุ่มให้เป็นช่วงเท่าๆกัน เพื่อจะดูลักษณะการแจกแจง เช่น ถ้าต้องการดูการกระจายของประชากรตามช่วงอายุต่างๆ (โครงสร้างอายุของประชากร) จะแบ่งอายุออกเป็นกลุ่มละ 5 ปีเท่าๆกัน
4) ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นหลักแล้วนำเอาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่ม การแบ่งแบบนี้มีจุดมุ่งหมายจะจัดข้อมูลเป็นกลุ่มๆ โดยอิงจากลักษณะการกระจายภายในกลุ่ม เช่น กลุ่มสูง กลาง ต่ำ

ข้อมูลเชิงปริมาณแต่ละตัวอาจมีการแบ่งกลุ่มได้หลายแบบตามวัตถุประสงค์ของการใช้ข้อมูล เช่น อายุ นักวิจัยอาจต้องการจัดกลุ่มเป็น 2 แบบ แบบแรกจัดกลุ่มตามระบบบริการสาธารณสุข และแบบที่ 2 จัดให้เป็นช่วงเท่าๆกัน เพื่อดูโครงสร้างอายุของประชากร ในแผนการวิเคราะห์นักวิจัยต้องวางแผนว่าจะจัดกลุ่มตัวแปรดังกล่าวกี่แบบ แต่ละแบบแบ่งอย่างไร

19.3.3 การจัดกลุ่มคำตอบข้อมูลเชิงคุณภาพ

ข้อมูลเชิงคุณภาพมีหลักเกณฑ์ในการจัดกลุ่มคำตอบดังนี้
1) จะต้องมีหลักเกณฑ์แน่นอนในการจำแนกประเภทของกลุ่มข้อมูล กลุ่มคำตอบที่จัดขึ้นจะต้องมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน
2) กลุ่มคำตอบที่จัดขึ้นในแต่ละคำถามควรจะต้องครอบคลุมคำตอบทุกคำตอบ
3) จำนวนกลุ่มคำตอบในกรณีที่เป็นความเห็นไม่ควรมีน้อยเกินไป เพราะจะทำให้ไม่สามารถมองเห็นภาพที่แท้จริงของคำตอบทั้งหมดได้ ในทางปฏิบัติจะจัดกลุ่มคำตอบเป็นกลุ่มเล็ก ทำให้มีจำนวนกลุ่มคำตอบมาก หากเมื่อประมวลทั้งหมดแล้วพบว่ามีจำนวนกลุ่มมากเกินไปจึงค่อยย้อนกลับมาพิจารณารวมกลุ่มข้อมูลบางกลุ่มที่คล้ายกันเข้าด้วยกัน

19.3.4 การวางแผนเลือกใช้สถิติสำหรับสรุปผลการศึกษา

การวางแผนเลือกใช้สถิติที่เหมาะสมสำหรับสรุปผลการศึกษามีความสำคัญ เพราะนอกจากจะทำให้สรุปผลได้ตรงกับคำตอบที่ต้องการทราบแล้ว ยังสามารถช่วยลดอคติในการวิเคราะห์ข้อมูล และจะต้องใช้สถิติดังกล่าวในการคำนวณขนาดตัวอย่างด้วย

ในการเลือกใช้สถิติให้ถูกต้องนักวิจัยจะต้องทราบข้อมูลดังต่อไปนี้

1) วัตถุประสงค์ของการวิจัย
2) ตัวแปรผลเป็นข้อมูลประเภทใด
3) มีกลุ่มประชากรในการเปรียบเทียบกี่กลุ่ม
4) แบบงานวิจัยเพื่อพิจารณาความเป็นอิสระของหน่วยศึกษา

รายละเอียดวิธีการเลือกใช้สถิติอธิบายไว้แล้วในบทที่ 11

19.3.5 การวางแผนเพื่อรับมือกับปัญหาที่อาจเกิดขึ้น

ในการดำเนินงานวิจัยเรามักจะพบปัญหาต่างๆเช่นเดียวกับการดำเนินงานอื่นๆ นักวิจัยควรวางแผนว่าจะแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างไร ปัญหาที่พบบ่อยๆในการทำวิจัยมีดังนี้

1) ข้อมูลไม่ครบ หรือผู้ตอบไม่ยอมตอบคำถามบางส่วน
2) ผู้ป่วยขาดหายจากการติดตาม หรือหน่วยตัวอย่างตกสำรวจ
3) ผู้ป่วยขอย้ายข้ามไปอยู่กลุ่มทดลองหรือกลุ่มควบคุม
4) ผู้ป่วยไม่ยินยอมรับการรักษา เช่น กินยาไม่ครบจำนวนตามที่กำหนด
5) ผู้ป่วยได้รับการรักษา หรือการช่วยเหลือเพิ่มเติมจากที่กำหนดไว้ในแผนการวิจัย
6) ผู้ป่วยเสียชีวิตด้วยสาเหตุอื่นในขณะทำการรักษา
7) ปัจจัยกวนมีผลกระทบต่อผลการทดลองใน 2 กลุ่มไม่เท่ากัน

ปัญหาต่างๆเหล่านี้มักพบเสมอในการทำวิจัย เมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นจะทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนจากอคติ หรืออาจเก็บข้อมูลไม่ได้ (ข้อมูลสูญหาย) ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อน ถึงแม้มีการป้องกันที่ดีแล้ว แต่ในบางครั้งยังคงมีปัญหาเกิดขึ้น ปัญหาที่เกิดขึ้นบางสาเหตุมีวิธีแก้ไข บางสาเหตุแก้ไขไม่ได้ ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลสูญหาย วิธีการที่ดีที่สุดคือวางแผนป้องกันไม่ให้มีข้อมูลสูญหาย การวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจะใช้สถิติที่ค่อนข้างยุ่งยาก ในบางครั้งต้องสร้างวิธีการเฉพาะขึ้นมาวิเคราะห์ ดังนั้นการวางแผนป้องกันไม่ให้เกิดปัญหา นอกจากจะช่วยลดการเกิดปัญหาแล้ว ยังสามารถลดอคติในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ด้วย

19.3.6 การกำหนดช่วงเวลาในการทำการวิเคราะห์

โครงการระยะยาวที่มีแผนวิเคราะห์ครึ่งโครงการจะต้องระบุว่าควรจะทำในช่วงใด และใครเป็นผู้ดำเนินการ ใครควรจะเป็นผู้ทราบผลการวิเคราะห์บ้าง ในการวิเคราะห์ครึ่งโครงการจะช่วยทำให้ทราบแนวโน้มของผลการศึกษา แต่ถ้าให้ผู้ที่ดำเนินการวิจัยบางคน

ทราบอาจมีผลทำให้เกิดอคติในการทำงานวิจัยในส่วนที่เหลือได้ นักวิจัยควรกำหนดช่วงเวลาที่จะทำการวิเคราะห์เมื่อสิ้นสุดโครงการ เพราะในการวิเคราะห์และเขียนรายงานเป็นช่วงที่ต้องการเวลาทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะนักสถิติและนักวิจัยที่ต้องมีเวลาทำงานด้วยกันในช่วงดังกล่าว การวางแผนกำหนดช่วงเวลาไว้ก่อนจะช่วยให้นักวิจัยสามารถจัดเวลาล่วงหน้าและช่วยให้การเขียนรายงานวิจัยเสร็จตามกำหนด

19.4 การขอบริการทางด้านการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

ในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล ผู้ดำเนินการนอกจากต้องมีความรู้ทางด้านสถิติแล้วควรมีความรู้และทักษะในเรื่องการใช้โปรแกรมฐานข้อมูลและโปรแกรมสถิติด้วย โดยปกติในการฝึกอบรมนักวิจัยจะได้รับการสอนวิชาสถิติและฝึกใช้โปรแกรมสถิติประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล ในกรณีที่นักวิจัยไม่ได้ทำการวิเคราะห์เองควรมีการวางแผนด้วยว่าใครจะเป็นผู้ดำเนินการ จะใช้โปรแกรมอะไรมีค่าใช้จ่ายเท่าใด เพื่อนำมาตั้งงบประมาณค่าใช้จ่ายได้ถูกต้อง ในกรณีที่ไม่มีนักสถิติร่วมอยู่ในโครงการวิจัย และนักวิจัยไม่มั่นใจการใช้สถิติ หรือต้องการขอคำปรึกษาจากนักสถิติ ควรไปขอรับคำปรึกษาตั้งแต่ในช่วงเริ่มพัฒนาโครงร่างงานวิจัย เพราะบางปัญหาที่พบในการวิเคราะห์ต้องแก้ไขในขั้นตอนของการเก็บข้อมูล

สรุป

การวางแผนประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้อธิบายไว้ในบทนี้ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาสถิติโดยตรง แต่จากประสบการณ์ในการทำงานและการให้คำปรึกษาด้านการวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผล พบว่าคุณภาพของข้อมูลเป็นปัญหาสำคัญของการวิเคราะห์ข้อมูลวิจัย และมีความเกี่ยวพันไปถึงการแปลผล จึงได้อธิบายวิธีการดำเนินการไว้ในตำราเล่มนี้ด้วย

การนำเข้าและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเป็นส่วนที่สำคัญมากของการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้เวลาประมาณร้อยละ 50-80 ของเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด และเป็นส่วนที่ใช้ทรัพยากรมากที่สุด

บทที่ 20

การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นและการแปลงค่าข้อมูล

ข้อมูลที่นำเข้าและตรวจสอบความถูกต้องของการนำเข้าเรียบร้อยแล้วต้องเริ่มด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น (exploratory data analysis) เพื่อพรรณนาลักษณะต่างๆของข้อมูล โดยเฉพาะตัวแปรที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วยสถิติอนุมานที่มีข้อตกลงเบื้องต้นว่าจะต้องมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ ถ้าดูจากการวิเคราะห์เบื้องต้นว่ามีลักษณะการแจกแจงไม่ใช่การแจกแจงปกติ ต้องทำการทดสอบลักษณะการแจกแจง ถ้าพบว่าไม่ใช่การแจกแจงปกตินักวิจัยควรแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติก่อนทำการวิเคราะห์

20.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติพรรณนา

การใช้สถิติพรรณนาทำตารางความถี่ แผนภูมิ และคำนวณค่าสถิติต่างๆ เพื่อให้ทราบลักษณะการแจกแจง รูปร่างการแจกแจง ค่ากลาง ค่าการกระจาย และข้อมูลที่มีค่าห่างผิดปกติจากกลุ่ม จากผลการวิเคราะห์จะช่วยให้นักวิจัยเข้าใจธรรมชาติของข้อมูลว่ามีลักษณะอย่างไร เหมือนกันกับที่ผู้อื่นเคยศึกษามาแล้วหรือไม่ ช่วยในการตรวจสอบลักษณะการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือข้อตกลงเบื้องต้นของการใช้สถิติอนุมานหรือไม่ ช่วยในการเลือกใช้ค่าสถิติและแผนภูมิในการนำเสนอข้อมูล นอกจากนี้ ยังช่วยในการแปลผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติพรรณนามีดังนี้

20.1.1 การพิจารณาลักษณะการแจกแจงของข้อมูล

เริ่มต้นด้วยการพิจารณาลักษณะการแจกแจงของข้อมูลด้วยฮิสโทแกรม แผนภาพลำต้นและใบ หรือแผนภาพจุด

จากแผนภูมิที่ได้ นักวิจัยจะเห็นรูปร่างการแจกแจงว่าสมมาตรหรือไม่ มีฐานนิยมหนึ่งค่าหรือหลายค่า ลักษณะการกระจายของข้อมูลมีแบบแผนเป็นอย่างไร เช่น กระจายสมมาตรจากค่าเฉลี่ย ข้อมูลเกาะกันเป็นกลุ่มๆ (cluster) เช่น ในการถามว่าท่านมีรายจ่ายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพเดือนละเท่าไร แนวโน้มคำตอบที่ได้จะเกาะกันเป็นกลุ่มๆ เช่น 50 100 หรือ 200 เป็นต้น หรือในกรณีข้อมูลไม่ต่อเนื่องหรือข้อมูลลำดับที่ แผนภาพจุดจะแสดงลักษณะการเกาะกลุ่มหรือกระจุกตัวของค่าข้อมูลได้ดีกว่าแผนภูมิแบบอื่น

การที่นักวิจัยได้มีโอกาสดูรูปร่างและการกระจายตัวของข้อมูลทุกตัวแปรอย่างละเอียดจะช่วยให้นักวิจัยเข้าใจลักษณะและธรรมชาติของข้อมูล นอกจากนี้ การแจกแจงข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำไปตรวจสอบว่ามีความผิดปกติจากที่เคยทราบหรือไม่ โดยการนำไปเปรียบเทียบกับการแจกแจงที่ควรจะเป็น เช่น รายได้ปกติจะเบ้ขวา ถ้าจากตัวอย่างที่ศึกษาการแจกแจงไม่เบ้ขวา ควรมีการตรวจสอบความถูกต้องของการเก็บและการประมวลผลข้อมูล นอกจากนี้ต้องพยายามพิจารณาว่ามีสาเหตุอะไรที่ทำให้การแจกแจงเป็นเช่นนั้น

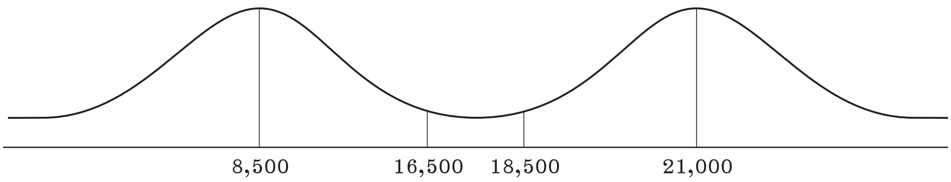
20.1.2 การพิจารณาข้อมูลที่มีค่าห่างผิดปกติจากกลุ่ม

นักวิจัยพิจารณาค่าข้อมูลที่มีค่าห่างผิดปกติจากกลุ่ม (outlier) ได้จากแผนภาพบอกซ์และเส้นปลายรูปเหลี่ยม (box and whisker plots) ข้อมูลที่มีค่ามากกว่า Q_3 + 1.5 (IQR) และค่าที่น้อยกว่า Q_1 – 1.5 (IQR) จะถูกกำหนดให้เป็นค่าที่ห่างผิดปกติจากกลุ่ม ในกรณีที่ข้อมูลมีค่าเกิน ±3 IQR จะถือว่าเป็นค่าที่ห่างผิดปกติจากกลุ่มมาก (extreme) ในการวิเคราะห์เบื้องต้นถ้าพบว่ามีข้อมูลที่มีค่าห่างผิดปกติจากกลุ่มในตัวแปรใด ต้องตรวจสอบความถูกต้องของการบันทึกค่าข้อมูลนั้น ทั้งในแบบเก็บข้อมูลและในแฟ้มข้อมูล เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกขั้นตอนมีความถูกต้อง ถ้าข้อมูลมีค่าห่างผิดปกติจากกลุ่มจริงห้ามตัดข้อมูลดังกล่าวออกจากการวิเคราะห์ ควรเพิ่มการวิเคราะห์เพื่อดูผลกระทบของค่าข้อมูลที่ห่างผิดปกติจากกลุ่ม ดังเช่นในการทดสอบสมมติฐาน ให้ทำทั้งกรณีมีและไม่มีค่าผิดปกติรวมอยู่ด้วย ถ้าให้ผลสอดคล้องกันจะทำให้นักวิจัยสามารถสรุปด้วยความมั่นใจว่าไม่มีผลกระทบจากค่าที่ผิดปกตินั้น

20.1.3 การพิจารณาค่ากลาง

การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงของข้อมูล นักวิจัยทราบจากภาพแล้วว่าค่ากลางมีค่าอยู่ประมาณช่วงคะแนนใด ข้อมูลมีการกระจายหรือมีรูปร่างอย่างไร ข้อมูลนี้ช่วยในการตัดสินใจเลือกค่าสถิติที่เหมาะสมในการพรรณนาข้อมูล

ค่ากลางที่นิยมใช้มากที่สุดตามลำดับ คือ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม การเลือกค่ากลางต้องเหมาะสมกับประเภทข้อมูลและรูปร่างการแจกแจงของข้อมูล ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ในกรณีที่ข้อมูลมีฐานนิยม 2 ค่า ดังตัวอย่างจากข้อมูลรายได้ของข้าราชการมหาวิทยาลัย พบว่ามีค่าเฉลี่ย 16,500 บาท ค่ามัธยฐาน 18,500 บาท และมีค่าฐานนิยม 2 ค่าที่ 8,500 บาท และ 21,000 บาท ดังในภาพ 20.1



ภาพ 20.1 แสดงการแจกแจงรายได้ของตัวอย่างข้าราชการมหาวิทยาลัย

เมื่อพิจารณาค่ากลางดังกล่าวพบว่าข้อมูลเงินเดือนน่าจะมาจากประชากร 2 กลุ่ม ที่ต่างกัน คือ ข้าราชการสายอาจารย์ และข้าราชการสายสนับสนุน ค่ากลางที่คำนวณได้เป็นค่ากลางรวมกันของตัวอย่าง 2 กลุ่มจะให้ภาพที่ไม่ถูกต้อง จึงควรแยกข้าราชการออกตามสายงาน แล้วคำนวณค่าเฉลี่ย มัธยฐาน และฐานนิยมแยกแต่ละกลุ่ม ผลการคำนวณใหม่ทำให้ได้ค่ากลางที่สะท้อนความเป็นจริงมากกว่า

สำหรับค่าวัดการกระจายต้องสอดคล้องกับสถิติที่ใช้วัดค่ากลาง ถ้าใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัววัดค่ากลางจะใช้ความแปรปรวนหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานวัดการกระจาย และใช้ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (inter-quartile range) วัดการกระจายกรณีแสดงค่ากลางด้วยค่ามัธยฐาน ส่วนค่าพิสัยนั้นไม่นิยมใช้ในการแสดงค่าการกระจายเพราะให้รายละเอียดของการกระจายได้น้อย

20.1.4 การตรวจดูความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปร

การตรวจดูความสัมพันธ์ของ 2 ตัวแปรควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแสดงลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูล

1) ถ้าตัวแปรทั้งสองเป็นข้อมูลต่อเนื่อง ให้ใช้แผนภาพการกระจาย (scatter plots) ดูแบบแผนความสัมพันธ์
2) ถ้าตัวแปรทั้งสองเป็นข้อมูลแจงนับหรือข้อมูลลำดับที่ ให้ใช้ตารางสองทางแสดงลักษณะความสัมพันธ์
3) ถ้าตัวแปรตัวที่ 1 เป็นข้อมูลแจงนับหรือข้อมูลลำดับที่ อีกตัวแปรหนึ่งเป็นข้อมูลต่อเนื่อง จะใช้แผนภาพจุด (dot plots) หรือแผนภาพบอกซ์และเส้นปลายรูปเหลี่ยม (box and whisker plots) ของตัวแปรตามแยกตามกลุ่มของตัวแปรตัวที่ 1 ซึ่งจากแผนภูมิและตารางที่สร้างขึ้นช่วยให้นักวิจัยเห็นทั้งลักษณะและขนาดความสัมพันธ์

20.1.5 การตรวจดูว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติหรือไม่

นักวิจัยสามารถพิจารณาเบื้องต้นจากรูปร่างการแจกแจงของข้อมูลจากฮิสโทแกรม แผนภาพจุด หรือแผนภาพบอกซ์และเส้นปลายรูปเหลี่ยม โดยนำค่าความเบ้และความโด่งมาร่วมพิจารณาด้วย

ในการดูลักษณะการแจกแจงจากฮิสโทแกรมหรือแผนภาพจุดเพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติหรือไม่ ถ้าการแจกแจงเบ้มากจะมองเห็นได้ชัดเจน แต่ในกรณีที่ตัวอย่างขนาดเล็กหรือเบ้น้อยๆ ถ้าดูแล้วไม่มั่นใจว่าการแจกแจงเป็นปกติหรือไม่ นักวิจัยควรทำแผนภาพความน่าจะเป็นปกติ (normal probability plots) หรือแผนภาพปกติ (normal plots) โดยที่แกนหนึ่งจะเป็นค่าสังเกต อีกแกนหนึ่งจะเป็นค่า Z ของค่าสังเกต ในกรณีที่การแจกแจงปกติกราฟจะเป็นเส้นตรง โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติมีคำสั่งให้สร้างแผนภาพปกติ ในบางครั้งดูจากภาพแล้วเห็นเส้นค่อนข้างตรงอาจมีปัญหาในการสรุปว่าการแจกแจงปกติหรือไม่ อีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบ คือ การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงของข้อมูล ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

20.2 การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงของข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานเพื่อดูว่าข้อมูลมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติหรือไม่ มีอยู่ 3 วิธี คือ การทดสอบภาวะสารูปสนิทดีไคสแควร์ (chi-square goodness-of-fit) การทดสอบ

∫ΣΣ'Ë20 274 30/7/09, 4:10 PM

โคลโมโกรอฟ-สมีร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov test) และการทดสอบแชปีโร-วิลก์ (Shapiro-Wilk test) วิธีการของโคลโมโกรอฟ-สมีร์นอฟเหมาะสำหรับข้อมูลขนาดเล็ก (n = 5 ถึง 50) ส่วนการทดสอบภาวะสารูปสนิทดีไคสแควร์ใช้ได้กับข้อมูลขนาดกลางขึ้นไป (n > 50) การตรวจสอบทั้ง 2 วิธีให้ผลการตรวจสอบที่ไม่ไว การแจกแจงต้องไม่ปกติอย่างชัดเจนจึงพบความแตกต่าง สำหรับการทดสอบแชปีโร-วิลก์ใช้ได้กับทั้งตัวอย่างขนาดเล็กและขนาดใหญ่ (n = 3 ถึง 2,000) การตรวจสอบมีความไวมากกว่า ถ้าการแจกแจงไม่ใช่การแจกแจงปกติจะสามารถระบุความแตกต่างได้ดีกว่า 2 วิธีแรก ดังนั้นในปัจจุบันจึงนิยมใช้การทดสอบแชปีโร-วิลก์ในการทดสอบ

การทดสอบแชปีโร-วิลก์หรือการทดสอบ W เป็นการทดสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติหรือไม่ โดยมีสูตรการคำนวณค่า W ดังนี้

$$W = \left(\sum a_i x_{(i)}\right)^2 \Big/ \left(\sum (x_i - \bar{x})^2\right)$$

โดยมี a_i เป็นค่าสัมประสิทธิ์และ $x_{(i)}$ เป็น largest order statistic ในการคำนวณค่าสถิติ W นักวิจัยต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติที่เป็นมาตรฐานจะมีคำสั่งให้คำนวณค่าสถิติ W ส่วนวิธีการสรุปผลการทดสอบเหมือนกับการทดสอบอื่นๆ คือ ดูค่า P value เทียบกับค่าระดับนัยสำคัญ

ตัวอย่างในการทดสอบประเมินความรู้เรื่องปริมาณธาตุเหล็กในผักชนิดต่างๆของหญิงมีครรภ์จำนวน 10 ราย มีคะแนนความรู้ดังนี้ 1 4 2 8 18 9 7 3 2 และ 5 จงคำนวณค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่นของระดับความรู้

จากข้อมูลที่ได้พบว่าข้อมูลค่อนข้างกระจายมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.74 ซึ่งค่อนข้างใหญ่ (เกิน 25%) เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย จึงควรมีการทดสอบดูว่ามีการแจกแจงปกติหรือไม่ ผลการทดสอบด้วยวิธีแชปีโร-วิลก์พบว่า

$$W = 0.83489 \quad \text{P value} = 0.0383$$

ค่า P value ที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่า α (0.05) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการแจกแจงไม่ใช่การแจกแจงปกติ จึงควรมีการแปลงค่าข้อมูลก่อนที่จะคำนวณค่า 95% ช่วงความเชื่อมั่น

20.3 การแปลงค่าเพื่อปรับข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติ

ในกรณีที่พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงที่ไม่ใช่การแจกแจงปกติ นักวิจัยควรแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติก่อนที่จะวิเคราะห์ด้วยสถิติอนุมาน การแปลงค่าเป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เปลี่ยนข้อมูลจากหน่วยวัดหนึ่งไปเป็นอีกหน่วยวัดหนึ่ง เช่น น้ำหนักมีหน่วยวัดเป็นกรัมสามารถเปลี่ยนหน่วยวัดจากกรัมเป็น log ของกรัม [log (กรัม)] ค่าแปลงที่ได้สามารถเปลี่ยนกลับได้ค่าเดิมทุกครั้ง ดังนั้น

การแปลงค่าจึงใช้การเปลี่ยนหน่วยวัดของข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบอื่นเป็นอีกหน่วยวัดหนึ่ง ซึ่งทำให้ข้อมูลแปลงมีการแจกแจงปกติ นำข้อมูลแปลงมาใช้ในการทดสอบสมมติฐานหรือประมาณค่า นำผลสรุปที่ได้มาตอบคำถามงานวิจัย ในกรณีการประมาณค่าเมื่อได้ค่าช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลแปลง นักวิจัยสามารถแปลงค่าช่วงความเชื่อมั่นกลับไปสู่หน่วยวัดเดิมอีกครั้งหนึ่ง

แนวคิดของการแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติ คือการพยายามเปลี่ยนหน่วยวัดที่จะทำการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนไม่ให้สัมพันธ์กัน เพื่อให้เข้าใจในส่วนนี้ให้ย้อนกลับไปดูเรื่องการแจกแจงของตัวอย่าง ซึ่งพบว่าในกรณีที่ตัวอย่างสุ่มมาจากประชากรปกติ เมื่อขนาดตัวอย่างเปลี่ยนค่า $\sigma_{\bar{x}}^2$ จะเปลี่ยนตามขนาดตัวอย่าง แต่ค่า $\mu_{\bar{x}}$ คงที่ ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่า $\mu_{\bar{x}}$ และ $\sigma_{\bar{x}}^2$ จะไม่สัมพันธ์กัน ดังนั้นจึงใช้แนวคิดนี้ในการแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติ ในตำราเล่มนี้จะอธิบายวิธีการแปลงข้อมูลต่อเนื่องให้มีการแจกแจงปกติ 4 วิธี คือ วิธีลอการิทึม (logarithmic) วิธีรากที่สอง (square root) วิธีส่วนกลับ (reciprocal) และวิธีกำลังสอง (square)

20.3.1 การแปลงค่าเชิงลอการิทึม

ในกรณีข้อมูลมีการกระจายมาก ความแปรปรวนมีขนาดใหญ่ การแจกแจงเบ้ขวามากๆ หรือในกรณีเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพบว่าค่าความแปรปรวนของตัวอย่างแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน แต่ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (coefficient of variation) (สัดส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ย) มีค่าเท่ากันหรือใกล้กัน ควรแปลงค่าข้อมูลโดยแปลงเป็นค่า log ดังนี้

$$x' = \log(x)$$

ล็อกสเกล (log scale) จะลดขนาดความห่างของข้อมูลลงทำให้ค่าความแปรปรวนลดลง มีผลทำให้การแจกแจงเบ้ขวาเปลี่ยนเป็นการแจกแจงปกติได้ ในกรณีที่หน่วยวัดเดิมมีค่าน้อยกว่า 1 ค่า log ที่ได้จะเป็นค่าลบ ดังนั้นในทางปฏิบัติให้เพิ่มค่า x โดยการบวกค่าคงตัวใดๆเข้าไปทุกค่าของ x ซึ่งค่าคงตัวนี้ควรมากกว่าค่าที่น้อยที่สุดของ x จะได้ว่า

$$x' = \log(x + a) \qquad \text{เช่น} \quad x' = \log(x + 1)$$

ในการแปลงข้อมูล นักวิจัยควรสร้างเป็นตัวแปรใหม่ ไม่ควรไปเปลี่ยนค่าในตัวแปรที่มีอยู่เดิม เพราะตัวแปรดังกล่าวอาจนำไปใช้วิเคราะห์ร่วมกับตัวแปรอื่นๆอีก เช่น สร้างตัวแปรใหม่ x_log มีค่า log(x + a) เป็นต้น เมื่อแปลงค่าแล้วควรตรวจสอบดูด้วยว่าค่าแปลงที่ได้มีการแจกแจงปกติหรือไม่

20.3.2 การแปลงค่ารากที่สอง

การแปลงค่าด้วยรากที่สองจะใช้กับข้อมูลที่ค่าความแปรปรวนมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนไป ข้อมูลลักษณะนี้เป็นข้อมูลที่มีการแจกแจงปัวซง ซึ่งพบได้บ่อยในข้อมูลทางด้านชีววิทยาและการศึกษาทางด้านระบาดวิทยาของโรคที่พบได้น้อย เช่น จำนวนผู้ป่วยด้วยโรคสมองอักเสบในแต่ละปี ข้อมูลประเภทนี้จะมีลักษณะเบ้เพียงเล็กน้อย การแปลงค่าให้มีการแจกแจงปกติทำโดยเปลี่ยนหน่วยวัดเป็นรากที่สองได้ดังนี้

$$x' = \sqrt{x}$$

ในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดเล็กและค่าข้อมูลบางค่าเป็นศูนย์ จะต้องเพิ่มค่าคงตัวให้แก่ค่า x โดยพบว่า

$$x' = \sqrt{x + 0.5}$$

จะช่วยให้ความแปรปรวนของข้อมูลแปลงมีความเสถียร ในกรณีที่ต้องการแปลงค่ากลับไปหน่วยวัดเดิมทำได้โดยสมการดังนี้

$$x = (x')^2 - 0.5$$

20.3.3 การแปลงค่าข้อมูลส่วนกลับและการแปลงค่ากำลังสอง

ถ้านักวิจัยพบว่าการแจกแจงของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential) หรือในการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่พบว่าในแต่ละกลุ่มส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีสัดส่วนเป็นสองเท่าของค่าเฉลี่ยควรแปลงค่าด้วยการแปลงค่าข้อมูลส่วนกลับ (reciprocal transformation) ดังนี้

$$x' = \frac{1}{x}$$

ในกรณีที่ค่าข้อมูลบางค่าเป็นศูนย์ให้บวก 1 กับค่าข้อมูลทุกตัวจะได้ว่า

$$x' = \frac{1}{x + 1}$$

ในกรณีที่การแจกแจงเบ้ซ้าย หรือในการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่พบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงเมื่อค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น การแปลงค่าควรแปลงด้วยวิธีกำลังสอง

$$x' = x^2$$

ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มหรือมากกว่า นอกจากจะทดสอบว่าความแปรปรวนต่างกันหรือไม่แล้ว ควรทดสอบดูว่าลักษณะการแจกแจงเป็นปกติหรือไม่ ในการแปลงค่าเพื่อให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ควรพิจารณาลักษณะของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน เลือกวิธีการแปลงที่เหมาะสมกับลักษณะข้อมูล หลังจากแปลงค่าแล้วควรมีการตรวจสอบดูด้วยว่าข้อมูลที่แปลงได้มีการแจกแจงปกติหรือไม่

สรุป

การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นนอกจากจะช่วยในการพรรณนาข้อมูลแล้ว ยังช่วยในการตรวจสอบค่าข้อมูลที่ผิดปกติและตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของลักษณะการแจกแจง ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบลักษณะการแจกแจงโดยเฉพาะ ควรทำแผนภาพความน่าจะเป็นปกติ (normal probability plots) หรือทำการทดสอบสมมติฐานลักษณะการแจกแจง

การแปลงค่าข้อมูลเป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เปลี่ยนหน่วยการวัดซึ่งสามารถแปลงไปและแปลงกลับมาได้ค่าเดิม โปรแกรมสถิติมีฟังก์ชันการแปลงข้อมูล ในทางปฏิบัติให้ใช้ฟังก์ชันที่มีอยู่ในโปรแกรมโดยตรง

ภาคผนวก

ตาราง ส 1 การแจกแจงปกติมาตรฐาน

Z	Area Between Mean and Z	Area Beyond Z	Z	Area Between Mean and Z	Area Beyond Z	Z	Area Between Mean and Z	Area Beyond Z
0.00	0.0000	0.5000	0.35	0.1368	0.3632	0.70	0.2580	0.2420
0.01	0.0040	0.4960	0.36	0.1406	0.3594	0.71	0.2611	0.2389
0.02	0.0080	0.4920	0.37	0.1443	0.3557	0.72	0.2642	0.2358
0.03	0.0120	0.4880	0.38	0.1480	0.3520	0.73	0.2673	0.2327
0.04	0.0160	0.4840	0.39	0.1517	0.3483	0.74	0.2704	0.2296
0.05	0.0199	0.4801	0.40	0.1554	0.3446	0.75	0.2734	0.2266
0.06	0.0239	0.4761	0.41	0.1591	0.3409	0.76	0.2764	0.2236
0.07	0.0279	0.4721	0.42	0.1628	0.3372	0.77	0.2794	0.2206
0.08	0.0319	0.4681	0.43	0.1664	0.3336	0.78	0.2823	0.2177
0.09	0.0359	0.4641	0.44	0.1700	0.3300	0.79	0.2852	0.2148
0.10	0.0398	0.4602	0.45	0.1736	0.3264	0.80	0.2881	0.2119
0.11	0.0438	0.4562	0.46	0.1772	0.3228	0.81	0.2910	0.2090
0.12	0.0478	0.4522	0.47	0.1808	0.3192	0.82	0.2939	0.2061
0.13	0.0517	0.4483	0.48	0.1844	0.3156	0.83	0.2967	0.2033
0.14	0.0557	0.4443	0.49	0.1879	0.3121	0.84	0.2995	0.2005
0.15	0.0596	0.4404	0.50	0.1915	0.3085	0.85	0.3023	0.1977
0.16	0.0636	0.4364	0.51	0.1950	0.3050	0.86	0.3051	0.1949
0.17	0.0675	0.4325	0.52	0.1985	0.3015	0.87	0.3078	0.1922
0.18	0.0714	0.4286	0.53	0.2019	0.2981	0.88	0.3106	0.1894
0.19	0.0753	0.4247	0.54	0.2054	0.2946	0.89	0.3133	0.1867
0.20	0.0793	0.4207	0.55	0.2088	0.2912	0.90	0.3159	0.1841
0.21	0.0832	0.4168	0.56	0.2123	0.2877	0.91	0.3186	0.1814
0.22	0.0871	0.4129	0.57	0.2157	0.2843	0.92	0.3212	0.1788
0.23	0.0910	0.4090	0.58	0.2190	0.2810	0.93	0.3238	0.1762
0.24	0.0948	0.4052	0.59	0.2224	0.2776	0.94	0.3264	0.1736
0.25	0.0987	0.4013	0.60	0.2257	0.2743	0.95	0.3289	0.1711
0.26	0.1026	0.3974	0.61	0.2291	0.2709	0.96	0.3315	0.1685
0.27	0.1064	0.3936	0.62	0.2324	0.2676	0.97	0.3340	0.1660
0.28	0.1103	0.3897	0.63	0.2357	0.2643	0.98	0.3365	0.1635
0.29	0.1141	0.3859	0.64	0.2389	0.2611	0.99	0.3389	0.1611
0.30	0.1179	0.3821	0.65	0.2422	0.2578	1.00	0.3413	0.1587
0.31	0.1217	0.3783	0.66	0.2454	0.2546	1.01	0.3438	0.1562
0.32	0.1255	0.3745	0.67	0.2486	0.2514	1.02	0.3461	0.1539
0.33	0.1293	0.3707	0.68	0.2517	0.2483	1.03	0.3485	0.1515
0.34	0.1331	0.3669	0.69	0.2549	0.2451	1.04	0.3508	0.1492

ตาราง ส 1 (ต่อ)

Z	Area Between Mean and Z	Area Beyond Z	Z	Area Between Mean and Z	Area Beyond Z	Z	Area Between Mean and Z	Area Beyond Z
1.05	0.3531	0.1469	1.40	0.4192	0.0808	1.75	0.4599	0.0401
1.06	0.3554	0.1446	1.41	0.4207	0.0793	1.76	0.4608	0.0392
1.07	0.3577	0.1423	1.42	0.4222	0.0778	1.77	0.4616	0.0384
1.08	0.3599	0.1401	1.43	0.4236	0.0764	1.78	0.4625	0.0375
1.09	0.3621	0.1379	1.44	0.4251	0.0749	1.79	0.4633	0.0367
1.10	0.3643	0.1357	1.45	0.4265	0.0735	1.80	0.4641	0.0359
1.11	0.3665	0.1335	1.46	0.4279	0.0721	1.81	0.4649	0.0351
1.12	0.3686	0.1314	1.47	0.4292	0.0708	1.82	0.4656	0.0344
1.13	0.3708	0.1292	1.48	0.4306	0.0694	1.83	0.4664	0.0336
1.14	0.3729	0.1271	1.49	0.4319	0.0681	1.84	0.4671	0.0329
1.15	0.3749	0.1251	1.50	0.4332	0.0668	1.85	0.4678	0.0322
1.16	0.3770	0.1230	1.51	0.4345	0.0655	1.86	0.4686	0.0314
1.17	0.3790	0.1210	1.52	0.4357	0.0643	1.87	0.4693	0.0307
1.18	0.3810	0.1190	1.53	0.4370	0.0630	1.88	0.4699	0.0301
1.19	0.3830	0.1170	1.54	0.4382	0.0618	1.89	0.4706	0.0294
1.20	0.3849	0.1151	1.55	0.4394	0.0606	1.90	0.4713	0.0287
1.21	0.3869	0.1131	1.56	0.4406	0.0594	1.91	0.4719	0.0281
1.22	0.3888	0.1112	1.57	0.4418	0.0582	1.92	0.4726	0.0274
1.23	0.3907	0.1093	1.58	0.4429	0.0571	1.93	0.4732	0.0268
1.24	0.3925	0.1075	1.59	0.4441	0.0559	1.94	0.4738	0.0262
1.25	0.3944	0.1056	1.60	0.4452	0.0548	1.95	0.4744	0.0256
1.26	0.3962	0.1038	1.61	0.4463	0.0537	1.96	0.4750	0.0250
1.27	0.3980	0.1020	1.62	0.4474	0.0526	1.97	0.4756	0.0244
1.28	0.3997	0.1003	1.63	0.4484	0.0516	1.98	0.4761	0.0239
1.29	0.4015	0.0985	1.64	0.4495	0.0505	1.99	0.4767	0.0233
1.30	0.4032	0.0968	1.65	0.4505	0.0495	2.00	0.4772	0.0228
1.31	0.4049	0.0951	1.66	0.4515	0.0485	2.01	0.4778	0.0222
1.32	0.4066	0.0934	1.67	0.4525	0.0475	2.02	0.4783	0.0217
1.33	0.4082	0.0918	1.68	0.4535	0.0465	2.03	0.4788	0.0212
1.34	0.4099	0.0901	1.69	0.4545	0.0455	2.04	0.4793	0.0207
1.35	0.4115	0.0885	1.70	0.4554	0.0446	2.05	0.4798	0.0202
1.36	0.4131	0.0869	1.71	0.4564	0.0436	2.06	0.4803	0.0197
1.37	0.4147	0.0853	1.72	0.4573	0.0427	2.07	0.4808	0.0192
1.38	0.4162	0.0838	1.73	0.4582	0.0418	2.08	0.4812	0.0188
1.39	0.4177	0.0823	1.74	0.4591	0.0409	2.09	0.4817	0.0183

ตาราง ส 1 (ต่อ)

Z	Area Between Mean and Z	Area Beyond Z	Z	Area Between Mean and Z	Area Beyond Z	Z	Area Between Mean and Z	Area Beyond Z
2.10	0.4821	0.0179	2.45	0.4929	0.0071	2.80	0.4974	0.0026
2.11	0.4826	0.0174	2.46	0.4931	0.0069	2.84	0.4977	0.0023
2.12	0.4830	0.0170	2.47	0.4932	0.0068	2.86	0.4979	0.0021
2.13	0.4834	0.0166	2.48	0.4934	0.0066	2.88	0.4980	0.0020
2.14	0.4838	0.0162	2.49	0.4936	0.0064	2.90	0.4981	0.0019
2.15	0.4842	0.0158	2.50	0.4938	0.0062	2.92	0.4982	0.0018
2.16	0.4846	0.0154	2.51	0.4940	0.0060	2.94	0.4984	0.0016
2.17	0.4850	0.0150	2.52	0.4941	0.0059	2.96	0.4985	0.0015
2.18	0.4854	0.0146	2.53	0.4943	0.0057	2.98	0.4986	0.0014
2.19	0.4857	0.0143	2.54	0.4945	0.0055	3.00	0.4987	0.0013
2.20	0.4861	0.0139	2.55	0.4946	0.0054	3.02	0.4987	0.0013
2.21	0.4864	0.0136	2.56	0.4948	0.0052	3.04	0.4988	0.0012
2.22	0.4868	0.0132	2.57	0.4949	0.0051	3.06	0.4989	0.0011
2.23	0.4871	0.0129	2.58	0.4951	0.0049	3.08	0.4990	0.0010
2.24	0.4875	0.0125	2.59	0.4952	0.0048	3.10	0.4990	0.0010
2.25	0.4878	0.0122	2.60	0.4953	0.0047	3.12	0.4991	0.0009
2.26	0.4881	0.0119	2.61	0.4955	0.0045	3.14	0.4992	0.0008
2.27	0.4884	0.0116	2.62	0.4956	0.0044	3.16	0.4992	0.0008
2.28	0.4887	0.0113	2.63	0.4957	0.0043	3.18	0.4993	0.0007
2.29	0.4890	0.0110	2.64	0.4959	0.0041	3.20	0.4993	0.0007
2.30	0.4893	0.0107	2.65	0.4960	0.0040	3.22	0.4994	0.0006
2.31	0.4896	0.0104	2.66	0.4961	0.0039	3.24	0.4994	0.0006
2.32	0.4898	0.0102	2.67	0.4962	0.0038	3.26	0.4994	0.0006
2.33	0.4901	0.0099	2.68	0.4963	0.0037	3.28	0.4995	0.0005
2.34	0.4904	0.0096	2.69	0.4964	0.0036	3.30	0.4995	0.0005
2.35	0.4906	0.0094	2.70	0.4965	0.0035	3.32	0.4995	0.0005
2.36	0.4909	0.0091	2.71	0.4966	0.0034	3.34	0.4996	0.0004
2.37	0.4911	0.0089	2.72	0.4967	0.0033	3.36	0.4996	0.0004
2.38	0.4913	0.0087	2.73	0.4968	0.0032	3.38	0.4996	0.0004
2.39	0.4916	0.0084	2.74	0.4969	0.0031	3.40	0.4997	0.0003
2.40	0.4918	0.0082	2.75	0.4970	0.0030	3.42	0.4997	0.0003
2.41	0.4920	0.0080	2.76	0.4971	0.0029	3.44	0.4997	0.0003
2.42	0.4922	0.0078	2.77	0.4972	0.0028	3.46	0.4997	0.0003
2.43	0.4925	0.0075	2.78	0.4973	0.0027	3.48	0.4997	0.0003
2.44	0.4927	0.0073	2.79	0.4974	0.0026	3.50	0.4998	0.0002

ตาราง ส 2 การแจกแจง t

df	ระดับนัยสำคัญ					
	0.1	**0.05**	**0.025**	**0.01**	**0.005**	**0.0005**
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.656	636.578
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.600
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.768
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.689
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.660
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
Infinity	1.282	1.645	1.960	2.327	2.576	3.291

ตาราง ส 3 การแจกแจงไคสแควร์

df	ระดับนัยสำคัญ									
	0.995	**0.99**	**0.975**	**0.9**	**0.5**	**0.1**	**0.05**	**0.025**	**0.01**	**0.005**
1	0.00	0.00	0.00	0.02	0.45	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.21	1.39	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.11	0.22	0.58	2.37	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.21	0.30	0.48	1.06	3.36	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	0.83	1.61	4.35	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	2.20	5.35	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.83	6.35	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	3.49	7.34	13.36	15.51	17.53	20.09	21.95
9	1.73	2.09	2.70	4.17	8.34	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	4.87	9.34	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	5.58	10.34	17.28	19.68	21.92	24.73	26.76
12	3.07	3.57	4.40	6.30	11.34	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	7.04	12.34	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	7.79	13.34	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.26	8.55	14.34	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	9.31	15.34	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	10.09	16.34	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	10.86	17.34	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.91	11.65	18.34	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	12.44	19.34	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.03	8.90	10.28	13.24	20.34	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	10.98	14.04	21.34	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.20	11.69	14.85	22.34	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.89	10.86	12.40	15.66	23.34	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	16.47	24.34	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	13.84	17.29	25.34	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	14.57	18.11	26.34	36.74	40.11	43.19	46.96	49.65
28	12.46	13.56	15.31	18.94	27.34	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	19.77	28.34	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.79	14.95	16.79	20.60	29.34	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	29.05	39.34	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	37.69	49.33	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49
70	43.28	45.44	48.76	55.33	69.33	85.53	90.53	95.02	100.43	104.21
100	67.33	70.06	74.22	82.36	99.33	118.50	124.34	129.56	135.81	140.17

ตาราง ส 4 การแจกแจง F

α = 0.05

ตัวส่วน df	ตัวเศษ df 1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96

ตาราง ส 4 (ต่อ)

$\alpha = 0.05$

ตัวส่วน df	ตัวเศษ df 10	12	15	20	24	30	40	60	∞
1	241.88	243.90	245.95	248.02	249.05	250.10	251.14	252.20	253.25
2	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
26	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75
27	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73
28	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71
29	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70
30	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68
40	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58
60	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47
120	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35

ตาราง ส 4 (ต่อ)

α = 0.025

ตัวส่วน df	ตัวเศษ df 1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	647.79	799.48	864.15	899.60	921.83	937.11	948.20	956.64	963.28
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47
4	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90
5	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68
6	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82
8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44
13	6.41	4.97	4.35	4.00	3.77	3.60	3.48	3.39	3.31
14	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21
15	6.20	4.77	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12
16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05
17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98
18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93
19	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84
21	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80
22	5.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76
23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70
25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68
26	5.66	4.27	3.67	3.33	3.10	2.94	2.82	2.73	2.65
27	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.80	2.71	2.63
28	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.90	2.78	2.69	2.61
29	5.59	4.20	3.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33
120	5.15	3.80	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.30	2.22

ตาราง ส 4 (ต่อ)

α = 0.025

ตัวส่วน	ตัวเศษ df								
df	10	12	15	20	24	30	40	60	∞
1	968.63	976.72	984.87	993.08	997.27	1001.40	1005.6	1009.7	1014.0
2	39.40	39.41	39.43	39.45	39.46	39.46	39.47	39.48	39.49
3	14.42	14.34	14.25	14.17	14.12	14.08	14.04	13.99	13.95
4	8.84	8.75	8.66	8.56	8.51	8.46	8.41	8.36	8.31
5	6.62	6.52	6.43	6.33	6.28	6.23	6.18	6.12	6.07
6	5.46	5.37	5.27	5.17	5.12	5.07	5.01	4.96	4.90
7	4.76	4.67	4.57	4.47	4.41	4.36	4.31	4.25	4.20
8	4.30	4.20	4.10	4.00	3.95	3.89	3.84	3.78	3.73
9	3.96	3.87	3.77	3.67	3.61	3.56	3.51	3.45	3.39
10	3.72	3.62	3.52	3.42	3.37	3.31	3.26	3.20	3.14
11	3.53	3.43	3.33	3.23	3.17	3.12	3.06	3.00	2.94
12	3.37	3.28	3.18	3.07	3.02	2.96	2.91	2.85	2.79
13	3.25	3.15	3.05	2.95	2.89	2.84	2.78	2.72	2.66
14	3.15	3.05	2.95	2.84	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55
15	3.06	2.96	2.86	2.76	2.70	2.64	2.59	2.52	2.46
16	2.99	2.89	2.79	2.68	2.63	2.57	2.51	2.45	2.38
17	2.92	2.82	2.72	2.62	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32
18	2.87	2.77	2.67	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.26
19	2.82	2.72	2.62	2.51	2.45	2.39	2.33	2.27	2.20
20	2.77	2.68	2.57	2.46	2.41	2.35	2.29	2.22	2.16
21	2.73	2.64	2.53	2.42	2.37	2.31	2.25	2.18	2.11
22	2.70	2.60	2.50	2.39	2.33	2.27	2.21	2.14	2.08
23	2.67	2.57	2.47	2.36	2.30	2.24	2.18	2.11	2.04
24	2.64	2.54	2.44	2.33	2.27	2.21	2.15	2.08	2.01
25	2.61	2.51	2.41	2.30	2.24	2.18	2.12	2.05	1.98
26	2.59	2.49	2.39	2.28	2.22	2.16	2.09	2.03	1.95
27	2.57	2.47	2.36	2.25	2.19	2.13	2.07	2.00	1.93
28	2.55	2.45	2.34	2.23	2.17	2.11	2.05	1.98	1.91
29	2.53	2.43	2.32	2.21	2.15	2.09	2.03	1.96	1.89
30	2.51	2.41	2.31	2.20	2.14	2.07	2.01	1.94	1.87
40	2.39	2.29	2.18	2.07	2.01	1.94	1.88	1.80	1.72
60	2.27	2.17	2.06	1.94	1.88	1.82	1.74	1.67	1.58
120	2.16	2.05	1.94	1.82	1.76	1.69	1.61	1.53	1.43

ตาราง ส 5 การแจกแจงสะสมของสถิติผลรวมลำดับที่วิลคอกซัน

n_1	t	$n_2 = 3$	$n_2 = 4$	$n_2 = 5$	$n_2 = 6$	$n_2 = 7$	$n_2 = 8$	$n_2 = 9$	$n_2 = 10$	$n_2 = 11$	$n_2 = 12$
3	0	0.0500	0.0286	0.0179	0.0119	0.0083	0.0061	0.0045	0.0035	0.0027	0.0022
	1	0.1000	0.0571	0.0357	0.0238	0.0167	0.0121	0.0091	0.0075	0.0055	0.0044
	2	0.2000	0.1143	0.0714	0.0476	0.0333	0.0242	0.0182	0.0140	0.0110	0.0088
	3	0.3500	0.2000	0.1250	0.0833	0.0583	0.0424	0.0318	0.0245	0.0192	0.0154
	4	0.5000	0.3143	0.1964	0.1310	0.0917	0.0667	0.0500	0.0385	0.0302	0.0242
	5	0.6500	0.4286	0.2857	0.1905	0.1333	0.0970	0.0727	0.0559	0.0440	0.0352
	6	0.8000	0.5714	0.3929	0.2738	0.1917	0.1394	0.1045	0.0804	0.0632	0.0505
	7	0.9000	0.6857	0.5000	0.3571	0.2583	0.1879	0.1409	0.1084	0.0852	0.0681
	8	0.9500	0.8000	0.6071	0.4524	0.3333	0.2485	0.1864	0.1434	0.1126	0.0901
	9	1.0000	0.8857	0.7143	0.5476	0.4167	0.3152	0.2409	0.1853	0.1456	0.1165
	10		0.9429	0.8036	0.6429	0.5000	0.3879	0.3000	0.2343	0.1841	0.1473
	11		0.9714	0.8750	0.7262	0.5833	0.4606	0.3636	0.2867	0.2280	0.1824
	12		1.0000	0.9286	0.8095	0.6667	0.5394	0.4318	0.3462	0.2775	0.2242
	13			0.9643	0.8690	0.7417	0.6121	0.5000	0.4056	0.3297	0.2681
	14			0.9821	0.9167	0.8083	0.6848	0.5682	0.4685	0.3846	0.3165
	15			1.0000	0.9524	0.8667	0.7515	0.6364	0.5315	0.4423	0.3670
	16				0.9762	0.9083	0.8121	0.7000	0.5944	0.5000	0.4198
	17				0.9881	0.9417	0.8606	0.7591	0.6538	0.5577	0.4725
	18				1.0000	0.9667	0.9030	0.8136	0.7133	0.6154	0.5275

ตาราง ส 5 (ต่อ)

n_1	t	$n_2 = 4$	$n_2 = 5$	$n_2 = 6$	$n_2 = 7$	$n_2 = 8$	$n_2 = 9$	$n_2 = 10$	$n_2 = 11$	$n_2 = 12$
4	0	0.0143	0.0079	0.0048	0.0030	0.0020	0.0014	0.0010	0.0007	0.0005
	1	0.0286	0.0159	0.0095	0.0061	0.0040	0.0028	0.0020	0.0015	0.0011
	2	0.0571	0.0317	0.0190	0.0121	0.0081	0.0056	0.0040	0.0029	0.0022
	3	0.1000	0.0556	0.0333	0.0212	0.0141	0.0098	0.0070	0.0051	0.0038
	4	0.1714	0.0952	0.0571	0.0364	0.0242	0.0168	0.0120	0.0088	0.0066
	5	0.2429	0.1429	0.0857	0.0545	0.0364	0.0252	0.0180	0.0132	0.0099
	6	0.3429	0.2063	0.1286	0.0818	0.0545	0.0378	0.0270	0.0198	0.0148
	7	0.4429	0.2778	0.1762	0.1152	0.0768	0.0531	0.0380	0.0278	0.0209
	8	0.5571	0.3651	0.2381	0.1576	0.1071	0.0741	0.0529	0.0388	0.0291
	9	0.6571	0.4524	0.3048	0.2061	0.1414	0.0993	0.0709	0.0520	0.0390
	10	0.7571	0.5476	0.3810	0.2636	0.1838	0.1301	0.0939	0.0689	0.0516
	11	0.8286	0.6349	0.4571	0.3242	0.2303	0.1650	0.1199	0.0886	0.0665
	12	0.9000	0.7222	0.5429	0.3939	0.2848	0.2070	0.1518	0.1128	0.0852
	13	0.9429	0.7937	0.6190	0.4636	0.3414	0.2517	0.1868	0.1399	0.1060
	14	0.9714	0.8571	0.6952	0.5364	0.4040	0.3021	0.2268	0.1714	0.1308
	15	0.9857	0.9048	0.7619	0.6061	0.4667	0.3552	0.2697	0.2059	0.1582
	16	1.0000	0.9444	0.8238	0.6758	0.5333	0.4126	0.3177	0.2447	0.1896
	17		0.9683	0.8714	0.7364	0.5960	0.4699	0.3666	0.2857	0.2231
	18		0.9841	0.9143	0.7939	0.6586	0.5301	0.4196	0.3304	0.2604
	19		0.9921	0.9429	0.8424	0.7152	0.5874	0.4725	0.3766	0.2995
	20		1.0000	0.9667	0.8848	0.7697	0.6448	0.5275	0.4256	0.3418
	21			0.9810	0.9182	0.8162	0.6979	0.5804	0.4747	0.3852
	22			0.9905	0.9455	0.8586	0.7483	0.6334	0.5253	0.4308
	23			0.9952	0.9636	0.8920	0.7930	0.6823	0.5744	0.4764
	24			1.0000	0.9788	0.9232	0.8350	0.7303	0.6234	0.5236

ตาราง ส 5 (ต่อ)

n_1	t	$n_2 = 5$	$n_2 = 6$	$n_2 = 7$	$n_2 = 8$	$n_2 = 9$	$n_2 = 10$
5	0	0.0040	0.0022	0.0013	0.0008	0.0005	0.0003
	1	0.0079	0.0043	0.0025	0.0016	0.0010	0.0007
	2	0.0159	0.0087	0.0051	0.0031	0.0020	0.0013
	3	0.0278	0.0152	0.0088	0.0054	0.0035	0.0023
	4	0.0476	0.0260	0.0152	0.0093	0.0060	0.0040
	5	0.0754	0.0411	0.0240	0.0148	0.0095	0.0063
	6	0.1111	0.0628	0.0366	0.0225	0.0145	0.0097
	7	0.1548	0.0887	0.0530	0.0326	0.0210	0.0140
	8	0.2103	0.1234	0.0745	0.0466	0.0300	0.0200
	9	0.2738	0.1645	0.1010	0.0637	0.0415	0.0276
	10	0.3452	0.2143	0.1338	0.0855	0.0559	0.0376
	11	0.4206	0.2684	0.1717	0.1111	0.0734	0.0496
	12	0.5000	0.3312	0.2159	0.1422	0.0949	0.0646
	13	0.5794	0.3961	0.2652	0.1772	0.1199	0.0823
	14	0.6548	0.4654	0.3194	0.2176	0.1489	0.1032
	15	0.7262	0.5346	0.3775	0.2618	0.1818	0.1272
	16	0.7897	0.6039	0.4381	0.3108	0.2188	0.1548
	17	0.8452	0.6688	0.5000	0.3621	0.2592	0.1855
	18	0.8889	0.7316	0.5619	0.4165	0.3032	0.2198
	19	0.9246	0.7857	0.6225	0.4716	0.3497	0.2567
	20	0.9524	0.8355	0.6806	0.5284	0.3986	0.2970
	21	0.9722	0.8766	0.7348	0.5835	0.4491	0.3393
	22	0.9841	0.9113	0.7841	0.6379	0.5000	0.3839
	23	0.9921	0.9372	0.8283	0.6892	0.5509	0.4296
	24	0.9960	0.9589	0.8662	0.7382	0.6014	0.4765
	25	1.0000	0.9740	0.8990	0.7824	0.6503	0.5235

ตาราง ส 6 การแจกแจงสะสมของสถิติทดสอบเครื่องหมายแบบวิลคอกซัน

t \ n	1	2	3	4	5	6	7
0	0.5000	0.2500	0.1250	0.0625	0.0313	0.0156	0.0078
1	1.0000	0.5000	0.2500	0.1250	0.0625	0.0313	0.0156
2	0.0000	0.7500	0.3750	0.1875	0.0938	0.0469	0.0234
3	0.0000	1.0000	0.6250	0.3125	0.1563	0.0781	0.0391
4	0.0000	0.0000	0.7500	0.4375	0.2188	0.1094	0.0547
5	0.0000	0.0000	0.8750	0.5625	0.3125	0.1563	0.0781
6	0.0000	0.0000	1.0000	0.6875	0.4063	0.2188	0.1094
7	0.0000	0.0000	0.0000	0.8125	0.5000	0.2813	0.1484
8	0.0000	0.0000	0.0000	0.8750	0.5937	0.3438	0.1875
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.9375	0.6875	0.4219	0.2344
10	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.7812	0.5000	0.2891
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8437	0.5781	0.3438
12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9062	0.6562	0.4063
13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9375	0.7187	0.4688
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9687	0.7812	0.5312

t \ n	8	9	10	11	12	13	14
0	0.0039	0.0020	0.0010	0.0005	0.0002	0.0001	0.0001
1	0.0078	0.0039	0.0020	0.0010	0.0005	0.0002	0.0001
2	0.0117	0.0059	0.0029	0.0015	0.0007	0.0004	0.0002
3	0.0195	0.0098	0.0049	0.0024	0.0012	0.0006	0.0003
4	0.0273	0.0137	0.0068	0.0034	0.0017	0.0009	0.0004
5	0.0391	0.0195	0.0098	0.0049	0.0024	0.0012	0.0006
6	0.0547	0.0273	0.0137	0.0068	0.0034	0.0017	0.0009
7	0.0742	0.0371	0.0186	0.0093	0.0046	0.0023	0.0012
8	0.0977	0.0488	0.0244	0.0122	0.0061	0.0031	0.0015
9	0.1250	0.0645	0.0322	0.0161	0.0081	0.0040	0.0020
10	0.1563	0.0820	0.0420	0.0210	0.0105	0.0052	0.0026
11	0.1914	0.1016	0.0527	0.0269	0.0134	0.0067	0.0034
12	0.2305	0.1250	0.0654	0.0337	0.0171	0.0085	0.0043
13	0.2734	0.1504	0.0801	0.0415	0.0212	0.0107	0.0054
14	0.3203	0.1797	0.0967	0.0508	0.0261	0.0133	0.0067
15	0.3711	0.2129	0.1162	0.0615	0.0320	0.0164	0.0083
16	0.4219	0.2480	0.1377	0.0737	0.0386	0.0199	0.0101
17	0.4727	0.2852	0.1611	0.0874	0.0461	0.0239	0.0123

ตาราง ส 6 (ต่อ)

t \ n	8	9	10	11	12	13	14
18	0.5273	0.3262	0.1875	0.1030	0.0549	0.0287	0.0148
19	0.5781	0.3672	0.2158	0.1201	0.0647	0.0341	0.0176
20	0.6289	0.4102	0.2461	0.1392	0.0757	0.0402	0.0209
21	0.6797	0.4551	0.2783	0.1602	0.0881	0.0471	0.0247
22	0.7266	0.5000	0.3125	0.1826	0.1018	0.0549	0.0290
23	0.7695	0.5449	0.3477	0.2065	0.1167	0.0636	0.0338
24	0.8086	0.5898	0.3848	0.2324	0.1331	0.0732	0.0392
25	0.8437	0.6328	0.4229	0.2598	0.1506	0.0839	0.0453
26	0.8750	0.6738	0.4609	0.2886	0.1697	0.0955	0.0520
27	0.9023	0.7148	0.5000	0.3188	0.1902	0.1082	0.0594
28	0.9258	0.7520	0.5391	0.3501	0.2119	0.1219	0.0676
29	0.9453	0.7871	0.5771	0.3823	0.2349	0.1397	0.0765
30	0.9609	0.8203	0.6152	0.4155	0.2593	0.1527	0.0863
31	0.9727	0.8496	0.6523	0.4492	0.2847	0.1698	0.0969
32	0.9805	0.8750	0.6875	0.4829	0.3110	0.1879	0.1083
33	0.9883	0.8984	0.7217	0.5171	0.3386	0.2072	0.1206
34	0.9922	0.9180	0.7539	0.5508	0.3667	0.2274	0.1338
35	0.9961	0.9355	0.7842	0.5845	0.3955	0.2487	0.1479
36	1.0000	0.9512	0.8125	0.6177	0.4250	0.2709	0.1629
37	0.0000	0.9629	0.8389	0.6499	0.4548	0.2939	0.1788
38	0.0000	0.9727	0.8623	0.6812	0.4849	0.3177	0.1955
39	0.0000	0.9805	0.8838	0.7114	0.5151	0.3424	0.2131
40	0.0000	0.9863	0.9033	0.7402	0.5452	0.3677	0.2316
41	0.0000	0.9902	0.9199	0.7676	0.5750	0.3934	0.2508
42	0.0000	0.9941	0.9346	0.7935	0.6045	0.4197	0.2708
43	0.0000	0.9961	0.9473	0.8174	0.6333	0.4463	0.2915
44	0.0000	0.9980	0.9580	0.8398	0.6614	0.4730	0.3129
45	0.0000	1.0000	0.9678	0.8608	0.6890	0.5000	0.3349
46	0.0000	0.0000	0.9756	0.8799	0.7153	0.5270	0.3574
47	0.0000	0.0000	0.9814	0.8970	0.7407	0.5537	0.3804
48	0.0000	0.0000	0.9863	0.9126	0.7651	0.5803	0.4039
49	0.0000	0.0000	0.9902	0.9263	0.7881	0.6066	0.4276
50	0.0000	0.0000	0.9932	0.9385	0.8098	0.6323	0.4516
51	0.0000	0.0000	0.9951	0.9492	0.8303	0.6576	0.4758
52	0.0000	0.0000	0.9971	0.9585	0.8494	0.6823	0.5000

ตาราง ส 6 (ต่อ)

t \ n	15	16	17	18	19	20
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0003	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
6	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
7	0.0006	0.0003	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
8	0.0008	0.0004	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000
9	0.0010	0.0005	0.0003	0.0001	0.0001	0.0000
10	0.0013	0.0007	0.0003	0.0002	0.0001	0.0000
11	0.0017	0.0008	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001
12	0.0021	0.0011	0.0005	0.0003	0.0001	0.0001
13	0.0027	0.0013	0.0007	0.0003	0.0002	0.0001
14	0.0034	0.0017	0.0008	0.0004	0.0002	0.0001
15	0.0042	0.0021	0.0010	0.0005	0.0003	0.0001
16	0.0051	0.0026	0.0013	0.0006	0.0003	0.0002
17	0.0062	0.0031	0.0016	0.0008	0.0004	0.0002
18	0.0075	0.0038	0.0019	0.0010	0.0005	0.0002
19	0.0090	0.0046	0.0023	0.0012	0.0006	0.0003
20	0.0108	0.0055	0.0028	0.0014	0.0007	0.0004
21	0.0128	0.0065	0.0033	0.0017	0.0008	0.0004
22	0.0151	0.0078	0.0040	0.0020	0.0010	0.0005
23	0.0177	0.0091	0.0047	0.0024	0.0012	0.0006
24	0.0206	0.0107	0.0055	0.0028	0.0014	0.0007
25	0.0240	0.0125	0.0064	0.0033	0.0017	0.0008
26	0.0277	0.0145	0.0075	0.0038	0.0020	0.0010
27	0.0319	0.0168	0.0087	0.0045	0.0023	0.0012
28	0.0365	0.0193	0.0101	0.0052	0.0027	0.0014
29	0.0416	0.0222	0.0116	0.0060	0.0031	0.0016
30	0.0473	0.0253	0.0133	0.0069	0.0036	0.0018
31	0.0535	0.0288	0.0153	0.0080	0.0041	0.0021
32	0.0603	0.0327	0.0174	0.0091	0.0047	0.0024
33	0.0677	0.0370	0.0198	0.0104	0.0054	0.0028
34	0.0757	0.0416	0.0224	0.0118	0.0062	0.0032

ตาราง ส 6 (ต่อ)

t \ n	15	16	17	18	19	20
35	0.0844	0.0467	0.0253	0.0134	0.0070	0.0036
36	0.0938	0.0523	0.0284	0.0152	0.0080	0.0042
37	0.1039	0.0583	0.0319	0.0171	0.0090	0.0047
38	0.1147	0.0649	0.0357	0.0192	0.0102	0.0053
39	0.1262	0.0719	0.0398	0.0216	0.0115	0.0060
40	0.1384	0.0795	0.0443	0.0241	0.0129	0.0068
41	0.1514	0.0877	0.0492	0.0269	0.0145	0.0077
42	0.1651	0.0964	0.0544	0.0300	0.0162	0.0086
43	0.1796	0.1057	0.0601	0.0333	0.0180	0.0096
44	0.1947	0.1156	0.0662	0.0368	0.0201	0.0107
45	0.2106	0.1261	0.0727	0.0407	0.0223	0.0120
46	0.2271	0.1372	0.0797	0.0449	0.0247	0.0133
47	0.2444	0.1489	0.0871	0.0494	0.0273	0.0148
48	0.2622	0.1613	0.0950	0.0542	0.0301	0.0164
49	0.2807	0.1742	0.1034	0.0594	0.0331	0.0181
50	0.2997	0.1877	0.1123	0.0649	0.0364	0.0200
51	0.3193	0.2019	0.1218	0.0708	0.0399	0.0220
52	0.3394	0.2166	0.1317	0.0770	0.0437	0.0242
53	0.3599	0.2319	0.1421	0.0837	0.0478	0.0266
54	0.3808	0.2477	0.1530	0.0907	0.0521	0.0291
55	0.4020	0.2641	0.1645	0.0982	0.0567	0.0319
56	0.4235	0.2809	0.1764	0.1061	0.0616	0.0348
57	0.4452	0.2983	0.1889	0.1144	0.0668	0.0379
58	0.4670	0.3161	0.2019	0.1231	0.0723	0.0413
59	0.4890	0.3343	0.2153	0.1323	0.0782	0.0448
60	0.5110	0.3529	0.2293	0.1419	0.0844	0.0487
61	0.5110	0.3718	0.2437	0.1519	0.0909	0.0527
62	0.5548	0.3910	0.2585	0.1624	0.0978	0.0570
63	0.5765	0.4104	0.2738	0.1733	0.1051	0.0615
64	0.5980	0.4301	0.2895	0.1846	0.1127	0.0664
65	0.6192	0.4500	0.3056	0.1964	0.1206	0.0715
66	0.6401	0.4699	0.3221	0.2086	0.1290	0.0768
67	0.6606	0.4900	0.3389	0.2211	0.1377	0.0825
68	0.6807	0.5100	0.3559	0.2341	0.1467	0.0884
69	0.7003	0.5301	0.3733	0.2475	0.1562	0.0947

ตาราง ส 6 (ต่อ)

t \ n	15	16	17	18	19	20
70	0.7193	0.5500	0.3910	0.2613	0.1660	0.1012
71	0.7378	0.5699	0.4088	0.2754	0.1762	0.1081
72	0.7556	0.5896	0.4268	0.2899	0.1868	0.1153
73	0.7729	0.6090	0.4450	0.3047	0.1977	0.1227
74	0.7894	0.6282	0.4633	0.3198	0.2090	0.1305
75	0.8053	0.6471	0.4816	0.3353	0.2207	0.1387
76	0.8204	0.6657	0.5000	0.3509	0.2327	0.1471
77	0.8349	0.6839	0.5184	0.3669	0.2450	0.1559
78	0.8486	0.7017	0.5367	0.3830	0.2576	0.1650
79	0.8616	0.7191	0.5550	0.3994	0.2706	0.1744
80	0.8738	0.7359	0.5732	0.4159	0.2839	0.1841
81	0.8853	0.7523	0.5912	0.4325	0.2974	0.1942
82	0.8961	0.7681	0.6090	0.4493	0.3113	0.2045
83	0.9062	0.7834	0.6267	0.4661	0.3254	0.2152
84	0.9156	0.7981	0.6441	0.4831	0.3397	0.2262
85	0.9243	0.8123	0.6611	0.5000	0.3543	0.2375
86	0.9323	0.8258	0.6779	0.5169	0.3690	0.2490
87	0.9397	0.8387	0.6944	0.5339	0.3840	0.2608
88	0.9465	0.8511	0.7105	0.5507	0.3991	0.2729
89	0.9527	0.8628	0.7262	0.5675	0.4144	0.2853
90	0.9584	0.8739	0.7415	0.5841	0.4298	0.2979
91	0.9635	0.8844	0.7563	0.6006	0.4453	0.3108
92	0.9681	0.8943	0.7707	0.6170	0.4609	0.3238
93	0.9723	0.9036	0.7847	0.6331	0.4765	0.3371
94	0.9760	0.9123	0.7981	0.6491	0.4922	0.3506
95	0.9794	0.9205	0.8111	0.6647	0.5078	0.3643
96	0.9823	0.9281	0.8236	0.6802	0.5235	0.3781
97	0.9840	0.9351	0.8355	0.6953	0.5391	0.3921
98	0.9872	0.9417	0.8470	0.7101	0.5547	0.4062
99	0.9892	0.9477	0.8579	0.7246	0.5702	0.4204
100	0.9910	0.9533	0.8683	0.7387	0.5856	0.4347
101	0.9925	0.9584	0.8782	0.7525	0.6009	0.4492
102	0.9938	0.9630	0.8877	0.7659	0.6160	0.4636
103	0.9949	0.9673	0.8966	0.7789	0.6310	0.4782
104	0.9958	0.9712	0.9050	0.7914	0.6457	0.4927
105	0.9966	0.9747	0.9129	0.8036	0.6603	0.5073

ตาราง ส 7 ความน่าจะเป็นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ครัสคาล-วอลลิส

n_1	n_2	n_3	H	P value	n_1	n_2	n_3	H	P value
2	1	1	2.7000	.500	4	3	1	5.8333	.021
								5.2083	.050
2	2	1	3.6000	.200				5.0000	.057
								4.0556	.093
2	2	2	4.5714	.067					
			3.7143	.200	4	3	2	6.4444	.009
								6.3000	.011
3	1	1	3.2000	.300				5.444	.046
								5.400	.051
3	2	1	4.2857	.100				4.5111	.098
			3.8571	.133					
					4	3	3	6.7455	.010
3	2	2	5.3572	.029				6.7091	.013
			4.7143	.048				5.7909	.046
			4.5000	.067				5.7273	.050
			4.4643	.105				4.7091	.092
								4.7000	.101
3	3	1	5.1429	.043					
			4.5714	.100	4	4	1	6.6667	.010
			4.0000	.129				6.1667	.022
								4.9667	.048
3	3	2	6.2500	.011				4.8667	.054
			5.3611	.032				4.1667	.082
			5.1389	.061				4.0667	.102
			4.5556	.100					
			4.2500	.121	4	4	2	7.0364	.006
								8.8727	.011
3	3	3	7.2000	.004				5.4545	.046
			6.4889	.001				5.2364	.052
			5.6889	.029				4.5545	.098
			5.6000	.050				4.4455	.103
			5.0667	.086					
			4.6222	.100	4	4	3	7.1439	.010
								7.1364	.011
4	1	1	3.5714	.200				5.5985	.049
								5.5758	.051
4	2	1	4.8214	.057				4.5455	.099
			4.5000	.076				4.4773	.102
			4.0179	.114					
					4	4	4	7.6538	.008
4	2	2	6.0000	.014				7.5385	.011
			5.3333	.033				5.6923	.049
			5.1250	.052				5.6538	.054
			4.4538	.100				4.6539	.097
			4.1667	.105				4.5001	.104

ตาราง ส 7 (ต่อ)

n_1	n_2	n_3	H	P value	n_1	n_2	n_3	H	P value
5	1	1	3.8571	.143	5	4	2	5.2682	.050
								4.5609	.098
5	2	1	5.2500	.036				4.5182	.101
			5.0000	.048					
			4.4500	.071	5	4	4	7.7604	.009
			4.2000	.095				7.7440	.011
			4.0500	.119				5.6571	.049
								5.6176	.050
5	2	2	6.5333	.008				4.6187	.100
			6.1333	.013				4.5527	.102
			5.1600	.034					
			5.0400	.056	5	5	1	7.3091	.009
			4.3733	.090				6.8364	.011
			4.2933	.112				5.1273	.046
								4.9091	.053
5	3	1	6.4000	.012				4.1091	.086
			4.9600	.048				4.0364	.105
			4.8711	.052					
			4.0178	.095	5	5	2	7.3385	.010
			3.8400	.123				7.2692	.010
								5.3385	.047
5	3	2	6.9091	.009				5.2462	.051
			6.8281	.010				4.6231	.097
			5.2509	.049				4.5077	.100
			5.1055	.052					
			4.6509	.091	5	5	3	7.5780	.010
			4.4945	.101				7.5429	.010
								5.7055	.046
5	3	3	7.0788	.009				5.6264	.051
			6.9818	.011				4.5451	.100
			5.6485	.049				4.5363	.102
			5.5152	.051					
			4.5333	.097	5	5	4	7.8229	.010
			4.4121	.109				7.7914	.010
								5.6657	.049
5	4	1	6.9545	.008				5.6429	.050
			6.8400	.011				4.5229	.100
			4.9855	.044				4.5200	.101
			4.8600	.056					
			3.9873	.098	5	5	5	8.0000	.009
			3.9600	.102				7.9800	.010
								5.7800	.049
5	4	2	7.2045	.009				5.6600	.051
			7.1182	.010				4.5600	.100
			5.2727	.049				4.5000	.102

ตาราง ส 8 สถิติ $q_{k,\ df}$ (จุดร้อยละของพิสัยสติวเดนไทซ์)

$\alpha = 0.05$

df \ k	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	18.00	27.00	32.80	37.10	40.40	43.10	45.40	47.40	49.10
2	6.08	8.33	9.80	10.90	11.70	12.40	13.00	13.50	14.00
3	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46
4	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.35	7.60	7.83
5	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99
6	3.46	4.34	4.90	5.30	5.63	5.90	6.12	6.32	6.49
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92
9	3.20	3.95	4.41	4.76	5.02	5.24	5.43	5.59	5.74
10	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60
11	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.39
13	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20
16	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15
17	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.70	4.86	4.99	5.11
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07
19	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04
20	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92
30	2.89	3.49	3.85	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.82
40	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.73
60	2.83	3.40	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65
120	2.80	3.36	3.68	3.92	4.10	4.24	4.36	4.47	4.56
∞	2.77	3.31	3.63	3.86	4.03	4.17	4.29	4.39	4.47

ตาราง ส 8 (ต่อ)

α = 0.05

df \ k	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	50.60	52.00	53.20	54.30	55.40	56.30	57.20	58.00	58.80	59.60
2	14.40	14.70	15.10	15.40	15.70	15.90	16.10	16.40	16.60	16.80
3	9.72	9.95	10.20	10.30	10.50	10.70	10.80	11.00	11.10	11.20
4	8.03	8.21	8.37	8.52	8.66	8.79	8.91	9.03	9.13	9.23
5	7.17	7.32	7.47	7.60	7.72	7.83	7.93	8.03	8.12	8.21
6	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14	7.24	7.34	7.43	7.51	7.59
7	6.30	6.43	6.55	6.66	6.76	6.85	6.94	7.02	7.10	7.17
8	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48	6.57	6.65	6.73	6.80	6.87
9	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28	6.36	6.44	6.51	6.58	6.64
10	5.72	5.83	5.93	6.03	6.11	6.19	6.27	6.34	6.40	6.47
11	5.61	5.71	5.81	5.90	5.98	6.06	6.13	6.20	6.27	6.33
12	5.51	5.61	5.71	5.80	5.88	5.95	6.02	6.09	6.15	6.21
13	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79	5.86	5.93	5.99	6.05	6.11
14	5.36	5.46	5.55	5.64	5.71	5.79	5.85	5.91	5.97	6.03
15	5.31	5.40	5.49	5.57	5.65	5.72	5.78	5.85	5.90	5.96
16	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59	5.66	5.73	5.79	5.84	5.90
17	5.21	5.31	5.39	5.47	5.54	5.61	5.67	5.73	5.79	5.84
18	5.17	5.27	5.35	5.43	5.50	5.57	5.63	5.69	5.74	5.79
19	5.14	5.23	5.31	5.39	5.46	5.53	5.59	5.65	5.70	5.75
20	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43	5.49	5.55	5.61	5.66	5.71
24	5.01	5.10	5.18	5.26	5.32	5.38	5.44	5.49	5.55	5.59
30	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21	5.27	5.33	5.38	5.43	5.47
40	4.82	4.90	4.98	5.04	5.11	5.16	5.22	5.27	5.31	5.36
60	4.73	4.81	4.88	4.94	5.00	5.06	5.11	5.15	5.20	5.24
120	4.64	4.71	4.78	4.84	4.90	4.95	5.00	5.04	5.09	5.13
∞	4.55	4.62	4.68	4.74	4.80	4.85	4.89	4.93	4.97	5.01

บรรณานุกรม

อรุณ จิรวัฒน์กุล และคณะ. **รายงานการสำรวจความเจ็บป่วยของผู้ป่วยนอกในสี่จังหวัดของประเทศไทย.** ขอนแก่น: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2544.

Abramson, J.H. **Making Sense of Data: A Self-Instruction Manual on the Interpretation of Epidemiological Data**. New York: Oxford University Press, 1994.

Afifi, A.A., and Clark, V. **Computer Aided Multivariate Analysis.** Belmont California: Lifetime Learning Publications, 1984.

Altman, D.G. **Practical Statistics for Medical Research.** London: Chapman & Hall, 1991.

________. "Statistical Reviewing for Medical Journals." **Stat Med** 17 (1998): 2661–2674.

________. "Statistics in Medical Journals." **Stat Med** 1 (1982): 59–71.

________. "Statistics in Medical Journals: Developments in the 1980s." **Stat Med** 10 (1991): 1897–1913.

________. "Statistics in Medical Journals: Some Recent Trends." **Stat Med** 19 (2000): 3275–3289.

________. "Statistics in the Medical Literature: 3." **Stat Med** 18 (1999): 487–490.

Altman, D.G., and others. **Statistics with Confidence: Confidence Interval and Statistical Guidelines**. London: British Medical Journal, 2000.

Ambrosius, W.T., and Manatunga, A.K. "Intensive Short Courses in Biostatistics for Fellows and Physicians." **Stat Med** 21 (2002): 2739–2756.

Anderson, A.J.B. **Interpreting Data: A First Course in Statistics**. London: Chapman & Hall, 1990.

Appleton, D.R. "What Statistics Should We Teach Medical Undergraduates and Graduates?" **Stat Med** 9 (1990): 1013–1021, discussion 1023–1029.

Armstrong, G.K., and Walters, S.J. "Discussion: Does EBM Offer the Best Opportunity Yet for Teaching Medical Statistics?" **Stat Med** 21 (2002): 979–981.

Astin, J.; Jenkins, T.; and Moore, L. "Medical Students' Perspective on the Teaching of Medical Statistics in the Undergraduate Medical Curriculum." **Stat Med** 21 (2002): 1003–1006.

Bland, J.M. "Computer Simulation of a Clinical Trial as an Aid to Teaching the Concept of Statistical Significance." **Stat Med** 5 (1986): 193–197.

Bland, M. **An Introduction to Medical Statistics**. New York: Oxford University Press, 1995.

Bruce, J.C.; Bond, S.T.; and Jones, M.E. "Teaching Epidemiology and Statistics by Distance Learning." **Stat Med** 21 (2002): 1009–1020.

Charpak, Y.; Blery, C.; and Chastang, C. "Designing a Study for Evaluating a Protocol for the Selective Performance of Preoperative Tests." **Stat Med** 6 (1987): 813-822.

Chen, T.T. "A Review of Methods for Misclassified Categorical Data in Epidemiology." **Stat Med** 8 (1989): 1095-1106, discussion 1107-1108.

Clayden, A.D. "Who Should Teach Medical Statistics, When, How and Where Should It Be Taught?" **Stat Med** 9 (1990): 1031-1037, discussion 1039-1044.

Cohen, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Science**. New York: Academic Press, Inc., 1977.

Cohen, L., and Holliday, M. **Practical Statistics for Students: An Introductory Text**. London: Paul Chapman Publishing, Ltd., 1998.

Collett, D. **Modelling Survival Data in Medical Research**. London: Chapman & Hall, 1994.

Connett, J.E.; Smith, J.A.; and McHugh, R.B. "Sample Size and Power for Pair-Matched Case-Control Studies." **Stat Med** 6 (1987): 53-59.

Crichton, N.J., and Emerson, P.A. "A Probability-Based Aid for Teaching Medical Students a Logical Approach to Diagnosis." **Stat Med** 6 (1987): 805-811.

Dawson-Saunders, B., and Trapp, R.G. **Basic and Clinical Biostatistics**. London: Prentice-Hall International, Inc., 1990.

Demets, D.L. "Practical Aspects in Data Monitoring: a Brief Review." **Stat Med** 6 (1987): 753-760.

Derr, J. **Statistical Consulting: A Guide to Effective Communication**. California: Duxbury Press, 2000.

Dixon, W.J., and Massey, F.J. Jr. **Introduction to Statistical Analysis**. Auckland: McGraw-Hill, Inc., 1983.

Doll, R.; Payne, P.; and Waterhouse J.A.H. "Cancer Incidence in Five Continents." Volume 1, Geneva, UICC, Springer Berlin, 1966.

Donner, A. "Approaches to Sample Size Estimation in the Design of Clinical Trials-a Review." **Stat Med** 3 (1984): 199-214.

Dunn, G., and Everitt, B. **Clinical Biostatistics: An Introduction to Evidence-Based Medicine**. London: Edward Arnold, 1995.

Elston, R.C., and Johnson, W.D. **Essentials of Biostatistics**. Philadelphia: F.A. Davis Company, 1994.

Evans, S.J. "Statistics for Medical Students in the 1990's: How Should We Approach the Future?" **Stat Med** 9 (1990): 1069-1075, discussion 1077-1078.

Everitt, B.S. **Statistical Methods in Medical Investigations**. London: Edward Arnold, 1994.

________. **The Analysis of Contingency Tables**. London: Chapman & Hall, 1977.

Everitt, B.S., and Dunn Graham. **Statistical Analysis of Medical Data: New Development.** London: Arnold, 1998.

Everitt, B.S., and Hay, D.F. **Talking About Statistics: A Psychologist's Guide to Data Analysis**. London: Edward Arnold, 1992.

Everitt, B.S., and Pickles, A. **Statistical Aspects of the Design and Analysis of Clinical Trials**. London: Imperial College Press, 1999.

Fayers, P. "Approaches to Sample Size Estimation in the Design of Clinical Trials-a Review by A. Donner, **Statistics in Medicine**, 3 (1984): 199-214." **Stat Med** 12 (1993): 1643.

Fayers, P.M.; Ashby, D.; and Parmar, M.K. "Tutorial in Biostatistics Bayesian Data Monitoring in Clinical Trials." **Stat Med** 16 (1997): 1413-1430.

Fienberg, S.E. **The Analysis of Cross-Classified Categorical Data**. Massachusetts: The MIT Press, 1985.

Fleiss, J.L. **Statistical Methods for Rate and Proportions**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

________. **The Design and Analysis of Clinical Experiments**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1986.

Gilmour, H. "Discussion: Teaching Epidemiology and Statistics by Distance Learning." **Stat Med** 21 (2002): 1021-1022.

Glantz, S.A. **Biostatistics**. New York: McGraw-Hill, 1989.

Glantz, S.A., and Slinker, B.K. **Primer of Applied Regression and Analysis of Variance.** New York: McGraw-Hill, 1990.

Grafen, A., and Hails, R. **Modern Statistics for the Life Science**. New York: Oxford University Press, 2002.

Greenland, S. "Tests for Interaction in Epidemiologic Studies: A Review and a Study of Power." **Stat Med** 2 (1983): 243-251.

Hamilton, L.C. **Statistics with STATA**. Ontario: Duxbury, 2003.

Hardin, J.W., and Hilbe, J.M. **Generalized Estimating Equations**. London: Chapman & Hall/CRC, 2003.

Hopkins, K.D., and Glass, G.V. **Basic Statistics for the Behavioral Science**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1978.

Ingelfinger, J.A., and others. **Biostatistics in Clinical Medicine**. New York: Macmillan Publishing Co. Inc., 1983.

Kaplan, R.M. **Basic Statistics for the Behavioral Sciences**. Massachusetts: Allyn and Bacon, Inc., 1987.

Katz, M.H. **Multivariable Analysis: A Practical Guide for Clinicians**. New York: Cambridge University Press, 1999.

Kleinbaum, D.G. **Survival Analysis: A Self-Learning Text**. New York: Springer, 1996.

Kleinbaum, D.G., and Klein, M. **Logistic Regression: A Self-Learning Text**. New York: Springer, 2002.

Kleinbaum, D.G., and others. **Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods**. California: Duxbury Press, 1998.

Knapp, R.G., and Miller III, M.C. **Clinical Epidemiology and Biostatistics**. Maryland: Williams & Wilkins, 1992.

Koosis, D.J. **Statistics: A Self-Teaching Guide**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1997.

Korn, E.L., and Graubard, B.I. **Analysis of Health Surveys**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999.

Kuebler, R.R., and Smith, H. Jr. **Statistics: A Beginning**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1976.

Kuzma, J.W., and Bohnenblust, S.E. **Basic Statistics for the Health Sciences**. Massachusetts: McGraw-Hill, 2001.

Lachin, J.M. **Biostatistical Methods: The Assessment of Relative Risk**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.

________. "Power and Sample Size Evaluation for the McNemar Test with Application to Matched Case-Control Studies." **Stat Med** 11 (1992): 1239-1251.

Lang, T.A., and Secic, M. **How To Report Statistics in Medicine: Annotated Guidelines for Authors, Editors, and Reviewers**. Philadelphia: American College of Physicians, 1997.

Lesser, M.L., and Parker, R.A. "The Biostatistician in Medical Research: Allocating Time and Effort." **Stat Med** 14 (1995): 1683-1692.

Levy, P.S., and Lemeshow, S. **Sampling of Population: Methods and Application**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991.

Lewis, P.A., and Charny, M. "The Cardiff Health Survey: Teaching Survey Methodology by Participation." **Stat Med** 6 (1987): 869-874.

Little, R.J.A., and Rubin, D.B. **Statistical Analysis with Missing Data**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1987.

MacFarlane, S.B., and Moody, J.B. "Neonatal Mortality in San Serriffe: a Game for Teaching Survey Methods." **Stat Med** 1 (1982): 205–216.

Magnusson, D., and Bergman, L.R. **Data Quality in Longitudinal Research**. New York: Cambridge University Press, 1993.

Makuch, R. "Approaches to Sample Size Estimation in the Design of Clinical Trials–a Review." **Stat Med** 4 (1985): 247.

Maltby, J., and Day, L. **Early Success in Statistics**. London: Prentice–Hall, 2002.

Marjorie, A. Pett. **Nonparametric Statistics for Health Care Research: Statistics for Small Samples and Unusual Distributions**. London: Sage Publications, 1997.

Mattson, D.E. **Statistics: Difficult Concepts, Understandable Explanations.** St. Louis: The C.V. Mosby Company, 1981.

Morris, R.W. "Does EBM Offer the Best Opportunity Yet for Teaching Medical Statistics?" **Stat Med** 21 (2002): 969–977.

Mother, D.; Dulbery, C.S.; and Wells, G.A. "Statistical Power, Sample Size, and Their Reporting in Randomized Controlled Trials." JAMA 272(2), (July 13, 1994).

Munro, B.H. **Statistical Methods for Health Care Research**. Philadelphia: Lippincott, 2001.

Murray, G.D. "How We Should Approach the Future." **Stat Med** 9 (1990): 1063–1068.

Newcombe, R.G. "Evaluation of Statistics Teaching Given to Medical Undergraduates." **Stat Med** 9 (1990): 1045–1055, discussion 1057–1062.

Newman, G.B. "Workshop on Teaching Statistics to Medical Undergraduates." **Stat Med** 10 (1991): 801–802.

Newman, S.C. **Biostatistical Methods in Epidemiology**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

Newton, R.R., and Rudestam, K.E. **Your Statistical Consultant: Answers to Your Data Analysis Question**. London: Sage Publications, 1999.

Norman, G.R., and Streiner, D.L. **Biostatistics The Bare Essentials.** London: B.C. Decker, Inc., 2000.

Normand, S.L., and Zou, K.H. "Sample Size Considerations in Observational Health Care Quality Studies." **Stat Med** 21 (2002): 331–345.

Pagano, M., and Gauvreau, K. **Principles of Biostatistics**. California: Duxbury Press, 1993.

Pocock, S.J. "Life As an Academic Medical Statistician and How to Survive it." **Stat Med** 14 (1995): 209–222.

Retherford, R.D., and Choe, M.K. **Statistical Models for Causal Analysis**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1993.

Riffenburgh, R.H. **Statistics in Medicine**. California: Academic Press, 1999.

Rondel, R.K.; Varley, S.A.; and Webb, C.F. **Clinical Data Management**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.

Rosenberger, W.F., and Lachin, J.M. **Randomization in Clinical Trials: Theory and Practice**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

Rosner, B. **Fundamentals of Biostatistics**. Massachusetts: PWS-Kent Publishing Company, 1990.

Scheaffer, R.L., and others. **Activity-Based Statistics: Student Guide**. New York: Springer, 1996.

Selvin, S. **Practical Biostatistical Methods**. California: Duxbury Press, 1995.

Shott, S. **Statistics for Health Professionals**. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1990.

Shuster, J.J. **Sample Size Guidelines for Clinical Trials**. Florida: CRC Press, Inc., 1993.

Simpson, J.M. "Teaching Statistics to Non-Specialists." **Stat Med** 14 (1995): 199-208.

Sutra, S., and others. "The Pattern of Diarrhea in Children in Khon Kaen, Northeastern Thailand: The Incidence and Seasonal Variation of Diarrhea." **Southeast Asian J Trop Med Public Health** 21(4)(1990): 586-593.

Taylor, J.K. **Statistical Techniques for Data Analysis**. Michigan: Lewis Publishers, Inc., 1990.

Trumbo, B.E. **Learning Statistics with Real Data**. California: Duxbury Press, 2002.

Utts, J.M. **Seeing Through Statistics**. California: Duxbury Press, 1999.

Vail, A. "Experiences of a Biostatistician on a U.K. Research Ethics Committee." **Stat Med** 17 (1998): 2811-2814.

Wong, W.K., and Lachenbruch, P.A. "Tutorial in Biostatistics: Designing Studies for Dose Response." **Stat Med** 15 (1996): 343-359.

Zar, J.H. **Biostatistical Analysis**. London: Prentice-Hall, 1996.

การออกแบบแบบสอบถามสำหรับงานวิจัย

ผู้เขียน รองศาสตราจารย์อรุณ จิรวัฒน์กุล
เหมาะสำหรับ นักศึกษา ครู อาจารย์ นักวิจัย นักบริหาร นักการตลาด และผู้ที่ต้องทำงานเกี่ยวข้องกับการสร้างแบบสอบถามเพื่อการวิจัย
ขนาด 6" x 8" กระดาษปรู๊ฟ
ราคา 100 บาท จำนวนหน้า 144 หน้า

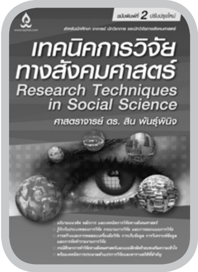
หนังสือ **การออกแบบแบบสอบถามสำหรับงานวิจัย** เล่มนี้เขียนขึ้นจากประสบการณ์ของผู้เขียนทั้งในฐานะนักวิจัยและที่ปรึกษาโครงการวิจัยจำนวนมากมากว่า 30 ปี เนื้อหาภายในเล่มให้ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบแบบสอบถามที่ถูกต้องและเหมาะสมเพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่มีคุณภาพที่สุด เนื้อหาครอบคลุมเรื่อง *ลักษณะของแบบสอบถาม ประเภทของข้อมูล รูปแบบและวิธีเขียนคำถาม วิธีกำหนดการตอบคำถาม การเขียนข้อคำถาม การออกแบบหน้ากระดาษ การออกแบบรหัสสำหรับประมวลผล การทดสอบแบบสอบถาม การเขียนคำถามที่ช่วยกระตุ้นความจำในการถามเหตุการณ์ย้อนหลัง หลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้แบบสอบถามในงานวิจัย*

การออกแบบแบบสอบถามสำหรับงานวิจัย เล่มนี้ใช้ภาษาที่เข้าใจง่ายและอธิบายอย่างเป็นลำดับขั้นตอน สามารถศึกษาได้เองและนำไปใช้ได้จริง จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการให้ผลการวิจัยถูกต้อง เชื่อถือได้ และตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

เทคนิคการวิจัยทางวิทยาศาสตร์

ผู้เขียน ศาสตราจารย์ ดร. สิน พันธุ์พินิจ
เหมาะสำหรับ นักศึกษาระดับปริญญาตรี-โท อาจารย์ นักวิชาการ และนักวิจัยในสายวิทยาศาสตร์
ขนาด 7" x 10" กระดาษปอนด์
ราคา 370 บาท จำนวนหน้า 572 หน้า

ตำรา **เทคนิคการวิจัยทางวิทยาศาสตร์** เล่มนี้ให้ความรู้เกี่ยวกับการวิจัยทางวิทยาศาสตร์อย่างครบถ้วนทั้งด้านแนวคิด ทฤษฎี และการปฏิบัติ เนื้อหาภายในเล่มประกอบด้วย สารัตถะทางการวิจัย สาขาของการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการวิจัย การออกแบบการวิจัย ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนาและสถิติอนุมาน การทดสอบสมมติฐาน หลักการออกแบบการทดลอง แบบแผนการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ แบบแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ แบบแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก แบบแผนการทดลองลาตินสแควร์ แบบแผนการทดลองแฟกทอเรียล แบบแผนการทดลองสปลิตพล็อต แบบแผนการทดลองประเภทบล็อกไม่สมบูรณ์ และการประยุกต์เทคโนโลยีสารสนเทศในการวิจัย เนื้อหาอธิบายด้วยภาษาที่เข้าใจง่าย สามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง นอกจากนี้ ในภาคผนวกยังให้ความรู้เรื่องการเขียนข้อเสนอโครงการเพื่อขอทุนวิจัยและการเขียนบรรณานุกรมในรายงานการวิจัยทางวิทยาศาสตร์อีกด้วย นับว่า **เทคนิคการวิจัยทางวิทยาศาสตร์** เป็นตำราและคู่มือการทำงานวิจัยสายวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ ให้ทั้งพื้นฐานไปจนถึงเทคนิคต่าง ๆ จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ต้องทำการวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นักศึกษาในทุกระดับทั้งปริญญาตรีและปริญญาโท อาจารย์ นักวิชาการ ตลอดจนนักวิจัย



เทคนิคการวิจัยทางสังคมศาสตร์

ผู้เขียน ศาสตราจารย์ ดร. สิน พันธุ์พินิจ
เหมาะสำหรับ นักศึกษา อาจารย์ นักวิชาการ และนักวิจัยทางสังคมศาสตร์
ขนาด 7" x 10" กระดาษปอนด์
ราคา 340 บาท จำนวนหน้า 504 หน้า

ในปัจจุบันสังคมไทยมีความซับซ้อนมากขึ้น ปัญหาสังคมเพิ่มทวีอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางสังคม อาทิ ปัญหาสถาบันครอบครัวล่มสลาย ปัญหาโสเภณีเด็ก ปัญหาประชาชนติดยาเสพติด ปัญหาการฉ้อราษฎร์บังหลวง ฯลฯ ภารกิจที่สำคัญยิ่งประการหนึ่งของครู อาจารย์ และนักวิชาการก็คือ การทำวิจัยเพื่อค้นหาคำตอบของปัญหาต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาและการแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืน

ตำรา **เทคนิคการวิจัยทางสังคมศาสตร์** เล่มนี้ เป็นตำราที่ให้ความรู้ทั้งด้านทฤษฎีและด้านการปฏิบัติในการวิจัยทางสังคมศาสตร์อย่างครบถ้วน เนื้อหาภายในเล่มประกอบด้วย สารัตถะทางการวิจัย ประเภทของการวิจัยทางสังคมศาสตร์ กระบวนการวิจัย การออกแบบการวิจัย ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การทดสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ การวิจัยเชิงประเมินผล การเขียนโครงการวิจัย การเขียนรายงานและการเผยแพร่ผลการวิจัย รวมถึงกรณีศึกษาการทำวิจัยทางสังคมศาสตร์ นอกจากนี้ ในภาคผนวกท้ายเล่มยังได้รวบรวมเทคนิคการประมวลตัวแปรการวิจัยและตารางสถิติต่าง ๆที่จำเป็นในการทำวิจัยอีกด้วย ดังนั้นตำราเล่มนี้จึงเป็นทั้งตำราและคู่มือการทำงานวิจัยทางสังคมศาสตร์อย่างสมบูรณ์

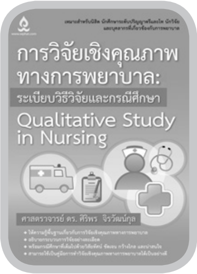
สถิติเบื้องต้นสำหรับการวิจัย

ผู้เขียน รองศาสตราจารย์ ดร. นพพร ธนะชัยขันธ์
เหมาะสำหรับ นักศึกษาระดับปริญญาตรี-โทและผู้ที่ต้องทำวิจัย
ใช้ได้กับวิชาสถิติเบื้องต้นสำหรับการวิจัยของทุกสถาบัน
ขนาด 7" x 10" กระดาษปอนด์
ราคา 245 บาท จำนวนหน้า 360 หน้า

ตำรา **สถิติเบื้องต้นสำหรับการวิจัย** เล่มนี้เน้นการเตรียมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม Excel และการนำเสนอผลการวิเคราะห์ ทั้งสถิติเชิงพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน ฐานนิยม พิสัย ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความแปรปรวน เป็นต้น และสถิติเชิงอนุมาน เช่น การประมาณค่า การทดสอบสมมติฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวน สหสัมพันธ์และการถดถอย แต่ละบทมีคำถามท้ายบทพร้อมเฉลยคำตอบ

นอกจากนี้ ยังมีภาคผนวกเพื่ออ้างอิงและเสริมความรู้ ได้แก่ การใช้โปรแกรม Excel สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ตารางสถิติสำเร็จรูปเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ข้อมูล และการหาคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Excel เขียนด้วยภาษาที่เข้าใจง่าย สามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง เหมาะสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี-โท ตลอดจนนักวิจัยทางวิชาการหลายแขนง อาทิ สาขาวิชาการศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาการจัดการ และสาขาวิชาสังคมศาสตร์ เป็นต้น

อนึ่ง ตำราเล่มนี้ยังเหมาะสำหรับใช้เป็นคู่มือในการฝึกอบรมด้านสถิติเบื้องต้นหรือสถิติเบื้องต้นสำหรับการวิจัยอีกด้วย เนื่องจากมีเนื้อหาที่กระชับ มีตัวอย่างให้ฝึกปฏิบัติ รวมทั้งมีจุดเด่นคือใช้กับโปรแกรม Excel ที่แพร่หลาย และเรียนรู้ได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมทางสถิติที่มีราคาแพง



การวิจัยเชิงคุณภาพทางการพยาบาล: ระเบียบวิธีวิจัยและกรณีศึกษา

ผู้เขียน ศาสตราจารย์ ดร. ศิริพร จิรวัฒน์กุล

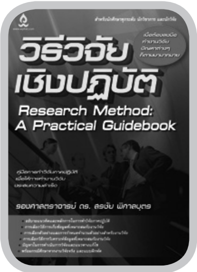
เหมาะสำหรับ นิสิต นักศึกษาระดับปริญญาตรีและโท นักวิจัย และบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการพยาบาล

ขนาด 6" x 8" กระดาษปอนด์

ราคา 170 บาท จำนวนหน้า 320 หน้า

ตำรา **การวิจัยเชิงคุณภาพทางการพยาบาล: ระเบียบวิธีวิจัยและกรณีศึกษา** เล่มนี้เขียนขึ้นโดยบุคลากรผู้เชี่ยวชาญในการสอนและการทำวิจัยเชิงคุณภาพทางการพยาบาลมานานปี มีเนื้อหาเกี่ยวกับการทำวิจัยเชิงคุณภาพทางการพยาบาลอย่างละเอียด อาทิ การทำวิจัยเชิงคุณภาพกับวิชาชีพการพยาบาล ลักษณะของการวิจัยเชิงคุณภาพ โครงร่างการวิจัยและจริยธรรมการวิจัย การเข้าสนามของนักวิจัย หลักการสังเกตและการบันทึกภาคสนาม การเก็บข้อมูลจากข้อมูลเอกสาร การสัมภาษณ์ และการสนทนากลุ่ม การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัย การวิจัยเชิงปฏิบัติการ การเขียนรายงานและการเผยแพร่งานวิจัย นอกจากนี้ยังมีตัวอย่างการวิจัยเชิงคุณภาพพร้อมกรณีศึกษาเกี่ยวกับงานด้านการพยาบาลที่น่าสนใจอีกด้วย เนื้อหาเขียนด้วยภาษาที่เข้าใจง่าย สามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง

เหมาะสำหรับใช้เป็นคู่มือในการทำวิจัยเชิงคุณภาพทางการพยาบาลอันเป็นสาขาหนึ่งของการทำวิจัยเชิงคุณภาพด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์กับการทำวิจัยเชิงคุณภาพด้านสังคมศาสตร์และศึกษาศาสตร์ได้อีกด้วย



วิธีวิจัยเชิงปฏิบัติ

ผู้เขียน รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย พิศาลบุตร

เหมาะสำหรับ นักศึกษาทุกระดับ นักวิชาการ และนักวิจัย

ขนาด 7" x 10" กระดาษปอนด์

ราคา 320 บาท จำนวนหน้า 380 หน้า

การทำวิจัยให้สำเร็จเป็นเรื่องไม่ยาก แต่การทำวิจัยให้มีคุณภาพไม่ใช่เรื่องง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่เริ่มทำงานวิจัย ปัญหาต่าง ๆที่ผู้วิจัยมักประสบ อาทิ ไม่ทราบว่าจะเริ่มต้นงานวิจัยอย่างไรดี ควรดำเนินการวิจัยอย่างไรจึงจะบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยควรจะใช้วิธีใด และเมื่อวิเคราะห์ผลได้แล้วก็ยังอาจประสบปัญหาอีกว่าจะสรุปผลและนำเสนอผลงานวิจัยอย่างไรดี ฯลฯ ปัญหาต่าง ๆเหล่านี้เป็นปัญหาที่ตำราวิจัยหรือตำราสถิติศาสตร์โดยทั่วไปมิได้กล่าวถึงเนื่องจากตำราส่วนใหญ่มักจะเน้นความรู้ในเชิงทฤษฎี แต่ปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาในเชิงปฏิบัติซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์ในการทำงานวิจัยมาช่วย

ตำรา **วิธีวิจัยเชิงปฏิบัติ** เล่มนี้ให้ทั้งแนวคิดและความรู้ในการทำวิจัยภาคปฏิบัติ ซึ่งเขียนขึ้นจากประสบการณ์ในการทำงานวิจัยและการสอนของผู้เขียนมากว่า 20 ปี เนื้อหาภายในเล่มอธิบายเกี่ยวกับการทำการวิจัยในเชิงปฏิบัติตั้งแต่เริ่มต้น อันได้แก่ การวางแผนและออกแบบงานวิจัย เทคนิคการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปฏิบัติ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปฏิบัติ การประมาณค่าเชิงปฏิบัติ การทดสอบสมมติฐานเชิงปฏิบัติ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และการพยากรณ์เชิงปฏิบัติ การนำเสนอข้อมูลสถิติ และสรุปปัญหาสำคัญที่ผู้ทำการวิจัยมักประสบ นอกจากนี้ยังมีกรณีศึกษาที่นำมาจากงานวิจัยจริง เพื่อให้ผู้อ่านเห็นปัญหาต่าง ๆที่เกิดขึ้นเมื่อทำการวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหาเหล่านั้น รวมทั้งยังมีแบบฝึกหัดท้ายเล่มเพื่อให้ทบทวนความรู้และความเข้าใจของตนเองอีกด้วย ดังนั้นตำราเล่มนี้จึงเป็นคู่มือสำหรับนักศึกษาทุกระดับ นักวิชาการ และนักวิจัยเพื่อให้สามารถทำงานวิจัยได้สำเร็จและมีผลงานวิจัยที่มีคุณภาพ

การวิจัยตลาด

ผู้เขียน **รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย พิศาลบุตร**
เหมาะสำหรับ **นักศึกษาระดับปริญญาตรี-โท เนื้อหาครอบคลุมหลักสูตรของมหาวิทยาลัยราชภัฏและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล**
ขนาด 7" x 10" **กระดาษปอนด์**
ราคา 175 บาท **จำนวนหน้า 216 หน้า**

ผู้ประกอบการธุรกิจยุคใหม่ที่ทันสมัยจะต้องมีวิสัยทัศน์ในการคาดคะเนความต้องการของตลาดทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เพื่อจะได้ผลิตสินค้าหรือให้บริการได้ตรงกับพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย การทำวิจัยตลาดจะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถเข้าใจและคาดคะเนความต้องการของผู้บริโภค เพื่อการวางแผนและตัดสินใจในการดำเนินธุรกิจได้อย่างถูกต้อง ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มกำไรให้แก่ธุรกิจโดยตรง

ตำรา **การวิจัยตลาด** เล่มนี้รวบรวมความรู้เกี่ยวกับการทำวิจัยตลาดที่สำคัญและจำเป็นอย่างครบถ้วน อธิบายเทคนิคและขั้นตอนการทำวิจัยตลาดอย่างละเอียด เริ่มตั้งแต่ความรู้พื้นฐานไปจนถึงหลักการและวิธีการปฏิบัติเพื่อให้ได้มาซึ่งงานวิจัยตลาดที่มีคุณภาพและเชื่อถือได้ สามารถนำไปใช้ในการวางแผนและตัดสินใจ รวมทั้งแก้ปัญหาต่าง ๆ ทางธุรกิจอย่างได้ผล รายละเอียดของเนื้อหาภายในเล่มประกอบด้วย บทบาทและความสำคัญของการวิจัยตลาดที่มีต่อธุรกิจ ความสำเร็จของธุรกิจและพฤติกรรมของผู้บริโภค การทำวิจัยตลาด การเก็บรวบรวมข้อมูลการตลาด การวิเคราะห์ข้อมูลด้านการตลาด และตัวอย่างงานวิจัยตลาด นอกจากนี้ ยังมีกิจกรรมท้ายบทให้ฝึกฝนเพื่อเสริมความเข้าใจในการทำวิจัยตลาดแต่ละขั้นตอนอีกด้วย เนื้อหาเรียบเรียงอย่างเป็นระบบด้วยภาษาที่เข้าใจง่าย โดยผู้เขียนที่มีประสบการณ์ด้านการทำงานวิจัยและการสอนวิชาการวิจัยตลาดในมหาวิทยาลัยมานานปี เหมาะสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาโท ตลอดจนผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการตลาดที่ต้องการนำผลการวิจัยตลาดมาใช้ในการทำงาน

คู่มือการทำวิจัยตลาดเชิงปฏิบัติ

ผู้เขียน **รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย พิศาลบุตร**
เหมาะสำหรับ **นักศึกษา นักวิจัย นักการตลาด และนักธุรกิจ**
ขนาด 6" x 8" **กระดาษปอนด์**
ราคา 170 บาท **จำนวนหน้า 192 หน้า**

ในสภาวการณ์ทางธุรกิจในปัจจุบันซึ่งมีการแข่งขันสูง ความสำเร็จหรือความล้มเหลวของธุรกิจขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ประกอบการ ไม่ว่าจะเป็นการลงทุนในธุรกิจใหม่ การขยายธุรกิจเดิม หรือการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับธุรกิจ ผลการวิจัยตลาดที่ผ่านการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์อย่างเป็นระบบจึงมีบทบาทสำคัญต่อการตัดสินใจและวางแผนทางธุรกิจ

คู่มือการทำวิจัยตลาดเชิงปฏิบัติ เป็นตำราที่รวบรวมความรู้ที่สำคัญด้านการวิจัยตลาด อาทิ การวิเคราะห์โอกาสทางธุรกิจ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของธุรกิจ ปัญหาหรือเรื่องที่ควรทำวิจัยตลาด วิธีการและขั้นตอนในการทำวิจัยตลาด และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ทั้งเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ รวมถึงตัวอย่างงานวิจัยและแนวคิดในการทำวิจัยตลาดของสินค้าและบริการที่สามารถนำไปปรับใช้ได้จริง ด้วยเนื้อหาที่กระชับ เน้นส่วนที่จำเป็นต่อการทำวิจัย และการอธิบายอย่างเป็นขั้นตอน ทำให้ **คู่มือการทำวิจัยตลาดเชิงปฏิบัติ** เล่มนี้เป็นผู้ช่วยที่ดีในการทำวิจัยตลาด เหมาะสำหรับนักศึกษา นักวิจัย และผู้ที่ต้องการผลการวิจัยตลาดไปใช้ในธุรกิจ เช่น นักการตลาด นักธุรกิจ เป็นต้น

การวิจัยทางธุรกิจ

ผู้เขียน รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย พิศาลบุตร
เหมาะสำหรับ นักศึกษาระดับปริญญาตรี-โท เนื้อหาครอบคลุมหลักสูตรของมหาวิทยาลัยราชภัฏและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ขนาด 7" x 10" กระดาษปอนด์
ราคา 180 บาท จำนวนหน้า 228 หน้า

ตำรา **การวิจัยทางธุรกิจ** เล่มนี้ให้ความรู้เกี่ยวกับวิธีการทำวิจัยทางธุรกิจที่ทันสมัยและครบถ้วน เนื้อหาภายในเล่มประกอบด้วยเทคนิคและขั้นตอนการทำวิจัยธุรกิจอย่างละเอียด เริ่มตั้งแต่ความรู้พื้นฐานไปจนถึงหลักการและวิธีปฏิบัติจนได้งานวิจัยที่มีความเชื่อถือได้ สามารถนำไปแก้ปัญหาต่าง ๆทางธุรกิจ ได้แก่ ความสำคัญและประโยชน์ของการวิจัยทางธุรกิจ วิธีการทำวิจัยทางธุรกิจ เครื่องมือและวิธีเก็บรวบรวมข้อมูลทางธุรกิจ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติกับการวิจัยทางธุรกิจ คอมพิวเตอร์กับการวิจัยทางธุรกิจ และการเขียนรายงานการวิจัยและการประเมินผลงานวิจัย นอกจากนี้ ยังมีกิจกรรมท้ายบทให้ฝึกฝนเพื่อเสริมความเข้าใจในการทำวิจัยแต่ละขั้นตอนอีกด้วย ตำราเล่มนี้เรียบเรียงขึ้นด้วยภาษาที่กระชับ เข้าใจง่าย โดยผู้เขียนที่มีประสบการณ์ในการทำงานวิจัยและการสอนวิชาวิธีวิจัยทางธุรกิจในมหาวิทยาลัยมานานปี เหมาะสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาโท ตลอดจนผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการทำวิจัยทางธุรกิจทั่วไปที่ต้องการผลงานวิจัยที่มีคุณภาพมาใช้ในการดำเนินธุรกิจขององค์กรให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

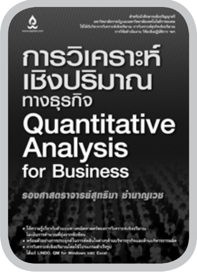
การวิจัยดำเนินงาน

ผู้เขียน รองศาสตราจารย์สุทธิมา ชำนาญเวช
เหมาะสำหรับ นักศึกษาระดับปริญญาตรี-โท และนักบริหารสายวิศวกรรม
ขนาด 7" x 10" กระดาษปอนด์
ราคา 260 บาท จำนวนหน้า 396 หน้า

การวิจัยดำเนินงาน เป็นกระบวนการที่ใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ ทฤษฎีความน่าจะเป็นและสถิติ ทฤษฎีโครงข่าย และการจำลองแบบระบบด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการตัดสินใจแก้ปัญหาด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะปัญหาด้านบริหารการผลิต อาทิ ปัญหาการจัดวัตถุดิบป้อนเข้าสู่ระบบ ปัญหาด้านการกระจายสินค้าไปยังที่ต่าง ๆ ปัญหาด้านการเก็บรักษาพัสดุคงคลัง ปัญหาด้านการจัดบริการให้แก่ลูกค้าในระบบแถวคอย เป็นต้น ปัจจุบันหน่วยงานหลายฝ่ายในองค์การ ไม่ว่าจะเป็นองค์การธุรกิจหรือไม่ก็ตาม อาทิ ฝ่ายบริหาร ฝ่ายผลิต ฝ่ายวิจัยและวางแผน ฝ่ายบุคคล ฝ่ายจัดซื้อ ฝ่ายพัสดุคงคลัง ฯลฯ ล้วนแล้วแต่ต้องอาศัยการวิจัยดำเนินงานเพื่อช่วยในการจัดการและการตัดสินใจเพื่อให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพสูงสุด

ตำรา **การวิจัยดำเนินงาน** เล่มนี้ให้ความรู้เกี่ยวกับหลักการและเทคนิคต่าง ๆที่ใช้ในการวิจัยดำเนินงาน ได้แก่ การแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น (linear programming) และการประยุกต์ ตัวแบบการขนส่ง (transportation model) ตัวแบบการกำหนดงาน (assignment model) การวางแผนและการควบคุมโครงการโดยใช้ PERT และ CPM ตัวแบบแถวคอย (queuing model) ตัวแบบพัสดุคงคลัง (inventory model) และตัวแบบการจำลองสถานการณ์ (simulation model) โดยเนื้อหาในแต่ละบทอธิบายด้วยภาษาที่เข้าใจง่าย เน้นที่ความเข้าใจในหลักการ การวิเคราะห์ และการนำไปใช้ในการจัดการและตัดสินใจ อีกทั้งยังให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปด้านการวิจัยดำเนินงาน อันได้แก่ LINDO, QM for Windows และ Excel

นอกจากนี้ ยังมีตัวอย่างการประยุกต์กับปัญหาทั้งด้านการผลิตและอุตสาหกรรมการผลิต ตำราเล่มนี้เหมาะสำหรับผู้ที่อยู่ในสายวิศวกรรม สายการบริหารการผลิต และสายวิทยาศาสตร์ รวมทั้งใช้เป็นตำราเรียนในวิชาการวิจัยดำเนินงาน การวิจัยดำเนินงานเบื้องต้น วิทยาการจัดการ การวิจัยขั้นดำเนินงาน วิจัยเชิงปฏิบัติการ การวิเคราะห์เชิงปริมาณ ฯลฯ



การวิเคราะห์เชิงปริมาณทางธุรกิจ

ผู้เขียน รองศาสตราจารย์สุทธิมา ชำนาญเวช
เหมาะสำหรับ นักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ใช้ได้กับวิชาการวิเคราะห์เชิงปริมาณ การวิเคราะห์ธุรกิจเชิงปริมาณ การวิจัยดำเนินงาน วิจัยเชิงปฏิบัติการ ฯลฯ
ขนาด 7" x 10" กระดาษปรู๊ฟ
ราคา 170 บาท จำนวนหน้า 312 หน้า

ตำรา **การวิเคราะห์เชิงปริมาณทางธุรกิจ** เล่มนี้ให้ความรู้เกี่ยวกับตัวแบบทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ อันได้แก่ ตัวแบบการตัดสินใจ (decision model) ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น (linear programming) การแก้ปัญหาตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น ตัวแบบการขนส่ง (transportation model) ตัวแบบการกำหนดงาน (assignment model) ตัวแบบพัสดุคงคลัง (inventory model) การวางแผนและการควบคุมโครงการด้วย PERT/CPM ตัวแบบแถวคอย (queuing model) ทฤษฎีเกม (game theory) ตัวแบบมาร์คอฟ (Markov model) ตัวแบบการจำลองสถานการณ์ (simulation model) อีกทั้งยังให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปด้านการวิเคราะห์เชิงปริมาณ อันได้แก่ LINDO, QM for Windows และ Excel พร้อมตัวอย่างการประยุกต์เทคนิคการวิเคราะห์เชิงปริมาณทั้งด้านธุรกิจและด้านการผลิต

อธิบายด้วยภาษาที่เข้าใจง่าย เน้นที่ความเข้าใจในตัวแบบ หลักการ การวิเคราะห์ ประโยชน์และข้อจำกัดของตัวแบบต่าง ๆ และการนำไปใช้ในการจัดการและการตัดสินใจ ไม่เน้นการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อน เนื้อหาครอบคลุมหลักสูตรระดับปริญญาตรีมหาวิทยาลัยราชภัฏและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล สามารถใช้เป็นตำราเรียนวิชาการวิเคราะห์เชิงปริมาณ การวิเคราะห์เชิงปริมาณทางธุรกิจ การวิเคราะห์ธุรกิจเชิงปริมาณ การวิจัยดำเนินงาน วิจัยเชิงปฏิบัติการ ฯลฯ

สถิติธุรกิจ

ผู้เขียน รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย พิศาลบุตร
เหมาะสำหรับ นักศึกษาระดับปริญญาตรี
ขนาด 7" x 10" กระดาษปรู๊ฟ
ราคา 250 บาท จำนวนหน้า 412 หน้า

ตำรา **สถิติธุรกิจ** เล่มนี้มีเนื้อหาครอบคลุมหลักสูตรวิชาสถิติธุรกิจระดับปริญญาตรีที่ใช้ในมหาวิทยาลัยทั้งของรัฐและเอกชนเกือบทุกแห่ง เนื้อหาภายในเล่มให้ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีและวิธีการเชิงสถิติต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจและวางแผนทางธุรกิจ ได้แก่ สถิติกับการตัดสินใจทางธุรกิจ ความน่าจะเป็นและการนำไปใช้ประโยชน์ทางธุรกิจ การสำรวจตัวอย่าง การประมาณค่า การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ การวิเคราะห์ความแปรปรวน การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์เบื้องต้น การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ การวิเคราะห์อนุกรมเวลา การวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ในรูปความถี่ การทดสอบสมมติฐานที่ไม่ใช้พารามิเตอร์ เลขดัชนี และการตัดสินใจเชิงสถิติ โดยเนื้อหาในแต่ละบทอธิบายด้วยภาษาที่เข้าใจง่าย พร้อมตัวอย่างการประยุกต์ทางธุรกิจมากมาย ทั้งยังมีแบบฝึกหัดท้ายบทเพื่อเสริมความเข้าใจ และกิจกรรมในชั้นเรียนของทุกบทเพื่อการสร้างเสริมนักศึกษาในการเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้อีกด้วย

ตำรา **สถิติธุรกิจ** เล่มนี้จึงเป็นตำราที่ครบครันทั้งด้านเนื้อหาและตัวอย่างการประยุกต์ เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการปรับพื้นฐานวิชาสถิติธุรกิจและสถิติวิเคราะห์ทั้งในระดับอาชีวศึกษา ปริญญาตรี และปริญญาโท เพื่อให้เกิดความเข้าใจจนถึงขั้นนำไปใช้ประโยชน์ได้

การสร้างและประมวลผลข้อมูลจากแบบสอบถาม

ผู้เขียน	**รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย พิศาลบุตร** **รองศาสตราจารย์เสาวรส ใหญ่สว่าง** **และรองศาสตราจารย์ปรีชา อัศวเดชานุกร**
เหมาะสำหรับ	**นิสิต นักศึกษา อาจารย์ นักวิจัย บุคลากรด้านการวิจัยและพัฒนาของหน่วยงานของรัฐและธุรกิจเอกชน และผู้สนใจทั่วไป**
ขนาด 7" x 10"	**กระดาษปอนด์**
ราคา 230 บาท	**จำนวนหน้า 316 หน้า**

ปัจจุบันการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้วิธีสำรวจเป็นที่รู้จักและทำกันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นองค์กรทางธุรกิจหรือหน่วยงานของรัฐ เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของหน่วยงาน ตลอดจนการปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือการสร้างนวัตกรรมเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้สินค้าหรือบริการต่าง ๆ

อย่างไรก็ดี การได้มาซึ่งข้อมูลจากการสำรวจที่มีคุณภาพไม่ใช่เรื่องง่าย องค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของข้อมูลคือแบบสอบถาม แบบสอบถามที่ดีจะทำให้ผู้วิเคราะห์วิจัยได้รับข้อมูลที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้ตรงตามความต้องการ และประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมข้อมูล ตำรา **การสร้างและประมวลผลข้อมูลจากแบบสอบถาม** เล่มนี้จะช่วยแนะนำวิธีการที่เหมาะสมและถูกต้องในการสร้างแบบสอบถามและการประมวลผลข้อมูลจากแบบสอบถามที่สร้างขึ้น โดยเริ่มตั้งแต่ แนวคิดและขั้นตอนในการสร้างแบบสอบถาม การวัดค่าของข้อมูล การออกแบบตารางสถิติเพื่อรายงานผลการวิจัย และการประมวลผลข้อมูลจากแบบสอบถามด้วยโปรแกรม SPSS และ Microsoft Excel ซึ่งได้อธิบายขั้นตอนต่าง ๆ ในการประมวลผลโดยละเอียดพร้อมภาพประกอบ เช่น การเตรียมข้อมูลและการจัดกระทำกับข้อมูล การสร้างตารางแจกแจงความถี่ การหาค่าสถิติต่าง ๆ การทดสอบสมมติฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบไคสแควร์ และการวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์ ฯลฯ นอกจากนี้ ยังมีกรณีศึกษา 2 เรื่องที่แสดงขั้นตอนอย่างละเอียดในการประมวลผลข้อมูลจากแบบสอบถาม ตั้งแต่การสร้างแบบสอบถามไปจนถึงการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS

ตำรา **การสร้างและประมวลผลข้อมูลจากแบบสอบถาม** นี้เหมาะสำหรับนิสิต นักศึกษา อาจารย์ นักวิจัย รวมถึงบุคลากรที่ทำงานด้านการวิจัย การพัฒนา และการวางแผนของหน่วยงานของรัฐและองค์กรธุรกิจต่าง ๆ ที่ต้องการนำข้อมูลจากการสำรวจไปใช้ในการพัฒนาองค์กรหรือกิจการของตน ตลอดจนผู้สนใจทั่วไป

สถิติ ทาง วิทยาศาสตร์สุขภาพ เพื่อการวิจัย

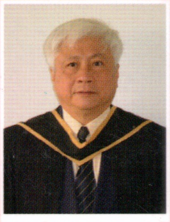
ตำรา **สถิติทางวิทยาศาสตร์สุขภาพเพื่อการวิจัย** เล่มนี้เขียนขึ้นจากประสบการณ์ในการเป็นผู้สอน นักวิจัย นักสถิติ และผู้อ่านพิจารณาการใช้สถิติในบทความวิจัยของวารสารวิชาการ เนื้อหาภายในเล่มให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้สถิติต่างๆสำหรับงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ อาทิ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสถิติสำหรับงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ การพรรณนาลักษณะตัวอย่าง ความน่าจะเป็นและช่วงความเชื่อมั่น การทดสอบสมมติฐาน การเปรียบเทียบผลลัพธ์ การหาความสัมพันธ์ของตัวแปร การคำนวณขนาดตัวอย่าง วิธีเลือกใช้สถิติสำหรับแบบงานวิจัย สถิติที่ควรมีในโครงร่างงานวิจัย การวิเคราะห์ความแปรปรวน การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ การวิเคราะห์ระยะเวลาการรอดชีพ สถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ การวางแผนประมวลผล การวิเคราะห์ข้อมูล และการแปลงค่าข้อมูล เนื้อหาเขียนอย่างเป็นระบบ ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย มีภาพประกอบเป็นจำนวนมากเพื่อเสริมความเข้าใจ อีกทั้งเนื้อหาเชื่อมโยงเข้ากับแบบงานวิจัย รวมทั้งมีการแปลผลที่สอดคล้องกับการนำไปใช้ในชีวิตจริง ตำราเล่มนี้จึงเหมาะสำหรับผู้ที่เริ่มต้นศึกษาวิชาสถิติด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ ตลอดจนนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและนักวิจัยที่ต้องทำงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ

วิทยพัฒน์ ร่วม อนุรักษ์ธรรมชาติ
ด้วยการใช้หมึกพิมพ์จากน้ำมันถั่วเหลือง

ตำราเล่มนี้เหมาะสำหรับระดับ
- ปวส.
- ปริญญาตรี
- ปริญญาโท

www.wphat.com

เกี่ยวกับผู้เขียน



รองศาสตราจารย์อรุณ จิรวัฒน์กุล

การศึกษา
- วิทยาศาสตรบัณฑิต (อาชีวอนามัย) คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
- วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ชีวสถิติ) คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
- Master of Science (Clinical Epidemiology) McMaster University, Canada

ประสบการณ์
- อาจารย์สอนวิชา ชีวสถิติ วิธีวิทยาการวิจัย ให้แก่นักศึกษาไทยและนานาชาติ
- นักวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ มีผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการทั้งในประเทศและระดับนานาชาติ
- ที่ปรึกษาด้านสถิติโครงการวิจัยและวิชาการด้านการสำรวจให้แก่หน่วยงานต่างๆ
- ผู้เขียนบทความประจำ **มุมสถิติ** ในวารสารวิชาการกระทรวงสาธารณสุข
- ผู้อ่านพิจารณาและที่ปรึกษาด้านสถิติของวารสารวิชาการต่างๆ
- ที่ปรึกษาระยะสั้นของธนาคารโลกในด้านการสำรวจอนามัยและการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับโครงการ ICE ณ ประเทศลาว ในปี พ.ศ. 2537
- ได้รับรางวัลผลงานวิจัยดีเด่นด้านพัฒนาคุณภาพชีวิต จากมูลนิธิอนุสรณ์หม่อมงามจิตต์ บุรฉัตร ในปี พ.ศ. 2539
- ศิษย์เก่าดีเด่นคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ปี พ.ศ. 2546

ปัจจุบัน
ดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาชีวสถิติและประชากรศาสตร์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สถิติทางวิทยาศาสตร์สุขภาพเพื่อการวิจัย

หมวด การวิจัย/สถิติศาสตร์

ISBN 978-616-7136-02-8

9 786167 136028

ราคา 230 บาท