

การแปลงข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน  
สำหรับแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

ญาดาภา โชติติลล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สถิติ)

คณะสถิติประยุกต์

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

2555

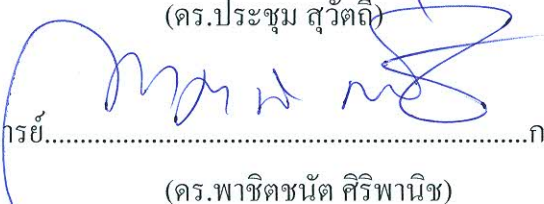
การแปลงข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน  
สำหรับแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์  
ญาดาภา โชติดิกล  
คณะสถิติประยุกต์

---

รองศาสตราจารย์..........ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ดร.พาชิตชนัด ศิริพานิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ)

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ..........ประธานกรรมการ  
(ดร.ประชุม สุวัตถิ)

รองศาสตราจารย์..........กรรมการ  
(ดร.พาชิตชนัด ศิริพานิช)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์..........กรรมการ  
(ดร.ปรีชา วิจิตรธรรมรส)

รองศาสตราจารย์..........รักษาราชการแทนคณบดี  
(ดร.ระวีวรรณ เอื้อพันธ์วิริยะกุล )

ตุลาคม 2555

## บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์	การแปลงข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันสำหรับ แผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์
ชื่อผู้เขียน	นางสาวญาดา โขติติก
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ)
ปีการศึกษา	2555

งานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของวิธีการแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน ด้วยวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์-ค็อกซ์และวิธีการถ่วงน้ำหนัก โดยจำลองข้อมูลในแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ กำหนดปัจจัยการทดลองคงตัวและจำนวนซ้ำในแต่ละวิธีทดลองเท่ากัน โดยกำหนดจำนวนทรีตเมนต์ (k) และจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์ (n) เป็นดังนี้  $(k, n) = (3, 5), (3, 10), (5, 10), (5, 12), (5, 20)$  กำหนดค่าความแปรปรวนแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย (ไม่เกิน 2 เท่าของค่าความแปรปรวนน้อยที่สุด) แตกต่างกันปานกลาง (ไม่เกิน 5 เท่าของค่าความแปรปรวนน้อยที่สุด) และแตกต่างกันมาก (ไม่เกิน 10 เท่าของค่าความแปรปรวนน้อยที่สุด) กำหนดการแจกแจงของตัวแปรตอบสนองเป็นการแจกแจงปกติและการแจกแจงลีออนอร์มอล กระทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์เป็นจำนวน 1,000 รอบ เหน้ในการเปรียบเทียบความสามารถของวิธีการแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน พิจารณาจากสัดส่วนความสำเร็จจากการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนด้วยสถิติทดสอบเลวิน นอกจากนี้ยังทำการทดสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรตอบสนองทั้งก่อนและหลังการแปลงข้อมูลด้วยสถิติทดสอบชาปิโร-วิลค์ ผลการศึกษาพบว่า วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์-ค็อกซ์ทั้งแบบดั้งเดิมและแบบที่ปรับปรุงแล้วสามารถแก้ปัญหาค่าการแจกแจงที่มีลักษณะอื่นให้มีการแจกแจงปกติได้ แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันได้ วิธีการแปลงข้อมูลโดยใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักสามารถแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันได้ แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาค่าการแจกแจงที่มีลักษณะอื่นให้มีการแจกแจงปกติได้ ดังนั้น วิธีที่เหมาะสม คือ วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์-ค็อกซ์แบบดั้งเดิมร่วมกับวิธีการถ่วงน้ำหนัก ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันและช่วยให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

## ABSTRACT

<b>Title of Thesis</b>	The Data Transformation on CRD with Unequal Variance
<b>Author</b>	Miss Yadapa Chotedelok
<b>Degree</b>	Master of Science (Statistics)
<b>Year</b>	2012

---

The objective of this research is to compare the ability of some methods based on Box-Cox and/or weighted transformation, to cope with the problem on heterogeneity of variances. The data are simulated under CRD with the fixed effect model and balanced design. Number of treatments (k) and replications (n) are as follows : (k,n) = (3, 5), (3, 10), (5, 10), (5, 12), (5, 20). Normal and lognormal distribution are considered. The degree of heterogeneity of variance are set at 3 levels, small (less than 2 times of least variance), medium (less than 5 times of least variance), and large (less than 10 times of least variance). Each situation are replicated 1,000 times to compare the ability of those methods, Levene's test is used to test for homogeneity of variance and Shapiro-Wilk's test is used to test for normality. Results of this study revealed that the original Box-Cox transformation and modified Box-Cox transformation can solve the non-normality problem but not the unequal variance problem. On the other hand, weighted method can solve the unequal variance problem but not the normality problem. Findings exhibit the more appropriate way which is applying Box-Cox transformation together with weighted method.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากผู้เขียนได้รับความอนุเคราะห์และความเมตตาจาก รศ.ดร.พาชิตชนัด ศิริพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง อีกทั้งให้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ตลอดมา และช่วยปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนจึงใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงด้วยความเคารพยิ่ง

ขอบพระคุณ ศ.ดร.ประชุม สุวัตถิ และ ผศ.ดร.ปรีชา วิจิตรธรรมรส ที่สละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ช่วยให้คำปรึกษาและพิจารณาตรวจสอบให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์ยิ่งให้แก่ผู้เขียน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะสถิติประยุกต์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานในเรื่องต่างๆ

ขอบพระคุณ น.อ.อนุรักษ์ โชติติลลิก ที่ช่วยชี้แนะและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการเขียนโปรแกรมและเป็นกำลังใจให้กันมาโดยตลอด ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุด ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณและมอบความสำเร็จนี้แก่ ร.ต.ไพโรจน์ และนางสำเนียง โชติติลลิก ผู้ซึ่งเป็นคุณปู่และคุณย่าของผู้เขียน ที่คอยให้การสนับสนุน กระตุ้นเตือน และเป็นแรงบัลดาลใจอันสำคัญตลอดมาจนประสบผลตามที่ตั้งใจ

ญาติติลลิก โชติติลลิก

ตุลาคม 2555

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(9)
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 นิยามคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	5
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
<b>บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย</b>	21
3.1 วิธีที่นำเสนอ	21
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	22
3.3 ผังการดำเนินงาน	26

<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย</b>	28
4.1 การแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติ สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ และการแจกแจงล็อกนอร์มอลและมีความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย	29
4.2 การแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติ สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ และการแจกแจงล็อกนอร์มอลและมีความแปรปรวนแตกต่างกันปานกลาง	33
4.3 การแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติ สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ และการแจกแจงล็อกนอร์มอลและมีความแปรปรวนแตกต่างกันมาก	37
<b>บทที่ 5 สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย</b>	41
5.1 สรุปผล	41
5.2 อภิปรายผล	42
5.3 ข้อเสนอแนะ	44
<b>บรรณานุกรม</b>	46
<b>ภาคผนวก</b>	51
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	65

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะของข้อมูลจากแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์	8
3.1 อัตราส่วนความแปรปรวน	23
4.1 สัดส่วนความสำเร็จซึ่งเป็นผลจากการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน ด้วยสถิติทดสอบชาฟิโร-วิลค์สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบ สนองมีการแจกแจงปกติและลือกนอร์มอลและมีความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย	31
4.2 สัดส่วนความสำเร็จซึ่งเป็นผลจากการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน ด้วยสถิติทดสอบชาฟิโร-วิลค์สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบ สนองมีการแจกแจงปกติและลือกนอร์มอลและมีความแปรปรวนแตกต่างกัน ปานกลาง	35
4.3 สัดส่วนความสำเร็จซึ่งเป็นผลจากการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน ด้วยสถิติทดสอบชาฟิโร-วิลค์สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบ สนองมีการแจกแจงปกติและลือกนอร์มอลและมีความแปรปรวนแตกต่างกันมาก	39

## สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โศกการแจกแจงปกติ	13
2.2	โศกการแจกแจงถ้อยกนอร์มอล	14
3.1	ขั้นตอนการจำลองเพื่อแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากัน ปัญหาการแจกแจงปกติของข้อมูลตอบสนอง และการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จของวิธีที่นำ เสนอกับวิธีอื่นๆ	26

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

แผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) เป็นแผนแบบการทดลองที่ง่ายที่สุด หน่วยทดลองทุกหน่วยมีโอกาสหรือความน่าจะเป็นเท่ากันในการได้รับทริตเมนต์ใดทริตเมนต์หนึ่ง ข้อดีของแผนแบบการทดลองนี้ คือ การวิเคราะห์ข้อมูลมีความยืดหยุ่นสูง จำนวนซ้ำมีขนาดเท่ากันหรือไม่ก็ได้ การวิเคราะห์ข้อมูลทำได้โดยง่ายแม้ว่าจำนวนซ้ำจะมีขนาดไม่เท่ากันในทุกๆ ทริตเมนต์ก็ตาม และการวิเคราะห์ข้อมูลยังคงง่ายแม้ว่าจะมีค่าสูญหายเกิดขึ้นและมีผลกระทบน้อยกว่าแผนแบบการทดลองอื่นๆ (Cochran and Cox, 1957: 95) อีกทั้งยังเหมาะสมกับกรณีที่หน่วยทดลอง (Experimental Unit) มีลักษณะเอกพันธ์ (Homogenous) หรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด โดยการวิเคราะห์ข้อมูลในแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์นี้ควรใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) โดยใช้สถิติทดสอบเอฟ (F-Test) เป็นสถิติที่มีอำนาจการทดสอบสูงและเป็นเทคนิคทางสถิติที่มีความสามารถหลากหลาย (Sprinthall, 2003: 313) ซึ่งการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้มีข้อสมมติเบื้องต้นที่จำเป็น คือ ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระต่อกัน และความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้รับทริตเมนต์เหมือนกันมีค่าคงตัวเท่ากันในทุกทริตเมนต์ (Scheffe', 1959: 55; Johnson and Bhattacharyya, 1987: 582) แต่ในทางปฏิบัติแล้วข้อมูลจากการทดลองที่วัด (Measure) มาได้นั้น เมื่อตรวจสอบแล้วอาจพบว่าข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเบื้องต้นดังกล่าว ซึ่งส่งผลกระทบต่อระดับนัยสำคัญของการทดสอบ และความไวของสถิติทดสอบ (Cochran and Cox, 1957: 91) ดังนั้นผู้วิจัยไม่ควรที่จะฝ่าฝืนนำข้อมูลนั้นมาทำการวิเคราะห์ แต่ควรที่จะหาแนวทางวิธีการแก้ไขเพื่อให้ข้อมูลที่ได้เป็นไปตามข้อสมมติเบื้องต้น หรือใช้วิธีการวิเคราะห์อื่นที่เหมาะสม

ข้อสมมติเบื้องต้นประการหนึ่งที่หากนักวิจัยฝ่าฝืนจะส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและการสรุปผล คือ ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน (Kempthorne, 1952: 156) ซึ่งเป็นปัญหาที่นักวิจัยควรให้ความสำคัญ และเมื่อพิจารณาถึงวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว พบว่า มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษา ค้นคว้า ถึงวิธีการแก้ไขปัญหาวัวหลากหลายวิธี เช่นการเพิ่มขนาดตัวอย่าง การใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric Statistic) และการแปลงข้อมูล ผลงานวิจัยของ Wilcox (1987: 29 - 60) พบว่าเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น ผลกระทบจากความแปรปรวนไม่เท่ากันจะลดลง Lehmann (1975: 58) กล่าวว่า ข้อดีของการทดสอบด้วยสถิติไม่อิงพารามิเตอร์ คือ ไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับกับการแจกแจงของข้อมูล และข้อสมมติเบื้องต้นอื่นๆ เหมือนการทดสอบด้วยสถิติอิงพารามิเตอร์ ดังนั้น เมื่อสถิติทดสอบเอฟไม่เหมาะสม Maxwell and Delaney (2004: 117) และนักสถิติอื่นๆ จึงแนะนำให้ใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ข้อมูล อย่างไรก็ตาม ถ้าข้อมูลมีลักษณะเป็นข้อมูลต่อเนื่อง การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ความถี่หรือลำดับที่ของข้อมูลอาจทำให้สูญเสียสาระสำคัญหรือรายละเอียดของข้อมูลได้ และในทางสถิติก็พิสูจน์ทราบโดยทั่วกันแล้วว่า ถ้าข้อมูลมีลักษณะสอดคล้องกับข้อตกลงของการใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ (Parametric Statistic) หากใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ไปวิเคราะห์ข้อมูลจะทำให้มีอำนาจการทดสอบ (Power of the Test) ต่ำกว่าการใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ (Hollander and Wolfe, 1973) นอกจากนี้ยังพบว่า ถึงแม้การทดสอบแบบไม่ใช้พารามิเตอร์จะเป็นวิธีที่ง่ายในการแก้ปัญหาแต่มีข้อเสีย คือ การทดสอบเหล่านั้นจะมีอำนาจการทดสอบต่ำ มีความเชื่อถือได้น้อย และการทดสอบที่ได้อาจไม่ดีเท่ากับการทดสอบที่ใช้พารามิเตอร์ (มัลลิกา บุนนาค, 2539: 216) ดังนั้น วิธีการแก้ปัญหาก็ได้รับความนิยมนามากจึงเป็นวิธีการแปลงข้อมูล (Data Transformation) และวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ (Box and Cox, 1964) ก็เป็นวิธีการแปลงข้อมูลที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย (Draper and Smith, 1998: 279) มากที่สุดวิธีหนึ่ง รวมไปถึงวิธีการถ่วงน้ำหนัก (Weighted Method) ซึ่งวิธีการนี้จะพบได้มากในการแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากันในเรื่องการวิเคราะห์การถดถอย

การแปลงข้อมูลเป็นการเปลี่ยนมาตรา (Scale) ของข้อมูล ช่วยให้ข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงปกติมีลักษณะเข้าใกล้การแจกแจงปกติ และช่วยลดขนาดของความแปรปรวนลงได้ (Myers and Well, 2003: 223 - 224; Maxwell and Delaney, 2004: 117) โดยเป็นการนำรูปแบบทางคณิตศาสตร์มาใช้เพื่อปรับให้ข้อมูลทุกกลุ่มมีลักษณะตามข้อสมมติเบื้องต้นเสียก่อน จากนั้นจึงจะสามารถนำข้อมูลที่ปรับแล้วไปวิเคราะห์ความแปรปรวนได้โดยวิธีปกติ ซึ่งจะช่วยให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำและน่าเชื่อถือ และนอกจากการแปลงข้อมูลจะช่วยในแก้ปัญหาในเรื่องของการแจกแจงปกติของข้อมูลและช่วยลดขนาดความแปรปรวนลงได้แล้ว การแปลงข้อมูลยังส่งผลต่ออำนาจการทดสอบ คือ ช่วยให้อำนาจการทดสอบเพิ่มขึ้น ซึ่งมีงานวิจัยที่ทำการศึกษ พบว่า สถิติทดสอบที่

วิเคราะห์ด้วยข้อมูลที่ทำการแปลงแล้ว ให้ค่าอำนาจการทดสอบสูงกว่าสถิติทดสอบที่วิเคราะห์ด้วยข้อมูลดิบและการใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Rasmussen and Dunlap, 1991: 809 - 820) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ (Box - Cox Transformation) กับวิธีการถ่วงน้ำหนัก (Weighted Method) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีรูปแบบไม่ยุ่งยากและค่อนข้างสะดวกต่อการคำนวณ เพื่อให้สามารถนำมาปรับใช้ในการแก้ไขปัญหาความไม่เท่ากันของความแปรปรวนได้อย่างเหมาะสมควบคู่ไปกับการรักษาความเป็นปกติ (Normality) ของข้อมูล ซึ่งจะเป็นผลให้สามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้ ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการแปลงข้อมูล โดยมีวัตถุประสงค์ 3 ประการ ดังนี้

- 1) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของวิธีการแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันด้วยวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ และวิธีการถ่วงน้ำหนักในแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์
- 2) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของวิธีการแก้ปัญหาค่าการแจกแจงปกติของตัวแปรตอบสนองด้วยวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ และวิธีการถ่วงน้ำหนักในแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์
- 3) เพื่อพัฒนาวิธีการแปลงข้อมูลให้ได้วิธีที่เหมาะสมกับตัวแปรตอบสนองที่มีความแปรปรวนไม่เท่ากันและไม่มีการแจกแจงปกติ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้ ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการแปลงข้อมูล ซึ่งกระทำภายใต้ขอบเขต ดังนี้

### 1.3.1 การกำหนดแผนแบบการทดลอง และความแตกต่างของความแปรปรวน

ผู้วิจัยสนใจทำการศึกษาค่าข้อมูลในแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยแผนแบบการทดลองนี้มีควมยืดหยุ่นในการวิเคราะห์ข้อมูลสูง คือ จำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทริตเมนต์จะมีขนาดเท่ากันหรือไม่ก็ได้ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยจะไม่มุ่งเน้นในเรื่องจำนวนซ้ำ

ของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์ แต่จะให้ความสำคัญในเรื่องของการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน จึงกำหนดสถานการณ์ในการจำลองข้อมูลให้ปัจจัยการทดลองมีผลกระทบแบบตรึง (Fixed - Effect Model) และมีจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์เท่ากัน (Balanced Design) โดยกำหนดความแปรปรวนในแต่ละทรีตเมนต์ให้มีความแตกต่างกัน

### 1.3.2 วิธีการแปลงข้อมูล

วิธีการแปลงข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลตรงตามที่ต้องการมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การแปลงข้อมูลของ Tukey (1957) การแปลงข้อมูลของ Manly (1976) แต่วิธีการแปลงข้อมูลที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายที่ใช้สำหรับการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและการแก้ปัญหาค่าการแจกแจงปกติ คือ วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์-ค็อกซ์ และวิธีการถ่วงน้ำหนัก เนื่องจากทั้ง 2 วิธีนี้เป็นวิธีการแปลงข้อมูลที่ให้ผลในการแก้ปัญหาได้ดี และมีรูปแบบการแปลงไม่ยุ่งยาก ทำให้สะดวกต่อการคำนวณ และง่ายต่อการทำความเข้าใจ ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้นำมาพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาวิธีการแปลงข้อมูลทั้ง 2 วิธีนี้ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการแก้ปัญหาดังกล่าว

### 1.3.3 เกณฑ์ในการพิจารณา

เกณฑ์สำหรับใช้พิจารณาเปรียบเทียบความสามารถของวิธีการแปลงข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากันและปัญหาค่าการแจกแจงปกติ เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบเท่ากับ 0.05 มี 3 ประการ ดังนี้

- 1) สัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากันจากการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนด้วยสถิติทดสอบเลอวี (Levene's test)
- 2) สัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาคค่าการแจกแจงปกติจากการทดสอบการแจกแจงปกติด้วยสถิติทดสอบชาปิโร - วิลค์ (Shapiro - Wilk's test)
- 3) ทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จของวิธีที่นำเสนอกับวิธีอื่นๆ โดยใช้การทดสอบแซด (z - test)

## 1.4 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในครั้งนี้ มีนิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- 1) แผนแบบการทดลอง (Experimental Design) หมายถึง แผนแบบที่ถูกกำหนดขึ้นให้กับการทดลองเพื่อจัดทรีตเมนต์ให้กับหน่วยทดลอง ทำให้หน่วยทดลองมีการตอบสนองและ

สามารถวัดค่าจากหน่วยทดลองได้ และทำให้การทดลองนั้นๆ ให้สารสนเทศที่สามารถตอบคำถามเกี่ยวกับอิทธิพลของทรีตเมนต์ได้

2) ปัจจัยการทดลองคงที่ หรือตัวแบบคงที่ (Fixed - Effect Model) หมายถึง ในแผนแบบการทดลองที่มีระดับต่างๆ ของทรีตเมนต์เป็นค่าคงที่ซึ่งถูกกำหนดขึ้นอย่างเจาะจง

3) หน่วยทดลอง (Experimental Unit) ได้แก่ หน่วยของวัสดุที่ใช้สำหรับการทดลองกับ ทรีตเมนต์ 1 ทรีตเมนต์

4) ทรีตเมนต์ (Treatment) หมายถึง ระเบียบวิธีอย่างหนึ่ง ซึ่งมีอิทธิพลต่อสิ่งที่ถูกกระทำ หรือสิ่งทดลอง และต้องการวัดอิทธิพลนั้นๆ หรือต้องการเปรียบเทียบอิทธิพลเหล่านั้น

5) การทำซ้ำ (Repeat) หมายถึง การที่ทรีตเมนต์ใดทรีตเมนต์หนึ่งปรากฏในการทดลองมากกว่า 1 ครั้ง หรือปรากฏในหน่วยทดลองมากกว่า 1 หน่วยทดลอง

6) ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) หมายถึง ค่าสังเกตที่วัดจากหน่วยทดลองที่ได้รับ ทรีตเมนต์ที่กำหนด โดยการวัดอิทธิพลของทรีตเมนต์จะวัดผลการตอบสนองต่อทรีตเมนต์ของหน่วยตัวอย่างสุ่ม (Sampling Unit) ซึ่งอาจเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยทดลอง หรืออาจเป็นหน่วยทดลองทั้งหน่วยก็ได้

7) การแปลงข้อมูล (Transformation) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสภาพของข้อมูลที่เราศึกษาให้มีการแจกแจงแบบปกติ หรือทำให้ความแปรปรวนมีค่าเท่ากัน

8) สัดส่วนความสำเร็จ (Proportion of Success) หมายถึง ความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและการแก้ปัญหาค่าแจกแจงปกติ คำนวณได้จากการนับจำนวนครั้งของความสำเร็จหารด้วยจำนวนรอบ

9) การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) หมายถึง การกำหนดเกณฑ์ที่จะนำไปสู่การยอมรับ หรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวนี้มักจะขึ้นอยู่กับตัวสถิติที่ได้จากตัวอย่างสุ่มที่มาจากประชากรที่กำลังศึกษา ดังนั้น จึงอาจเรียกเกณฑ์สำหรับทดสอบสมมติฐานนี้ว่า ตัวสถิติทดสอบ (Test Statistic)

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของวิธีการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันด้วยวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ และวิธีการถ่วงน้ำหนักในแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ซึ่งอยู่ภายใต้สถานการณ์ต่างๆ ที่กำหนดจะสามารถเป็นประโยชน์ให้กับนักวิจัย ดังนี้

- 1) ช่วยเพิ่มทางเลือกให้กับนักวิจัยในการเลือกใช้วิธีสำหรับการแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากันและปัญหาการแจกแจงปกติ เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้หลากหลายยิ่งขึ้น
- 2) เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากันและปัญหาการแจกแจงปกติ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 แผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

แผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ที่ปัจจัยการทดลองมีผลกระทบแบบตรง (Fixed - Effect) และมีจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์เท่ากัน (Balanced Design) มีตัวแบบดังนี้

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$y_{ij}$  คือ ตัวแปรตอบสนองของหน่วยทดลองที่  $j$  ที่ได้รับทรีตเมนต์ที่  $i$

$\mu$  คือ พารามิเตอร์ แทนค่าเฉลี่ยรวม

$\tau_i$  คือ พารามิเตอร์ แทนอิทธิพลจากปัจจัยทดลองที่  $i$  โดยที่  $\sum \tau_i = 0$

$\varepsilon_{ij}$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของหน่วยทดลองที่  $j$  ที่ได้รับทรีตเมนต์ที่  $i$

$k$  คือ จำนวนทรีตเมนต์

$n$  คือ จำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์

ข้อสมมติ คือ ความคลาดเคลื่อน ( $\varepsilon_{ij}$ ) เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 ความแปรปรวนเป็น  $\sigma_i^2$  นั่นคือ  $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma_i^2)$  เมื่อ  $i = 1, 2, \dots, k$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$  หรือในแต่ละทรีตเมนต์  $y_{ij} \sim NID(\mu + \tau_i, \sigma_i^2)$

ลักษณะของข้อมูลจากแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของข้อมูลจากแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

หน่วยทดลอง (Experimental Unit)	ทรีตเมนต์ (Treatment)				
	1	2	3	...	k
1	$y_{11}$	$y_{21}$	$y_{31}$	...	$y_{k1}$
2	$y_{12}$	$y_{22}$	$y_{32}$	...	$y_{k2}$
3	$y_{13}$	$y_{23}$	$y_{33}$	...	$y_{k3}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	$y_{1n}$	$y_{2n}$	$y_{3n}$	...	$y_{kn}$
ผลรวมของตัวแปรตอบสนอง ( $y_{.i}$ )	$y_{.1}$	$y_{.2}$	$y_{.3}$	...	$y_{.k}$
ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง ( $\bar{y}_{.i}$ )	$\bar{y}_{.1}$	$\bar{y}_{.2}$	$\bar{y}_{.3}$	...	$\bar{y}_{.k}$
ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง ในทรีตเมนต์ที่ $i$ ( $s_i^2$ )	$s_1^2$	$s_2^2$	$s_3^2$	...	$s_k^2$

### 2.1.2 การแปลงข้อมูล

การแปลงข้อมูลเป็นการเปลี่ยนแปลงข้อมูลเพื่อช่วยให้ข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงปกติมีลักษณะเข้าใกล้การแจกแจงปกติ และช่วยลดขนาดของความแปรปรวนให้มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งวิธีการแปลงข้อมูลนั้น มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาอยู่หลายวิธีด้วยกัน วิธีการแปลงข้อมูลที่เป็นที่รู้จัก และนักวิจัยหลายท่านให้ความสนใจกันมาก ได้แก่

1) วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ( $BC_N$ ) เป็นวิธีที่นำเสนอโดยบ็อกซ์และค็อกซ์ ในปี 1964 ใช้สำหรับการแก้ปัญหาตัวแปรตอบสนองที่ไม่มีการแจกแจงปกติให้มีลักษณะการแจกแจงปกติ การแปลงดังกล่าวมีรูปแบบ ดังนี้ (Box and Cox, 1964)

$$y_{N_{ij}} = y_{ij}^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{(y_{ij}^\lambda - 1)}{\lambda} & ; \lambda \neq 0 \\ \log y_{ij} & ; \lambda = 0 \end{cases} \quad \text{_____ (2.1)}$$

เมื่อ  $\lambda$  คือ ค่าคงตัวที่ทำให้  $y_{N_{ij}}$  มีสมบัติตามข้อสมมติเบื้องต้นที่กำหนด ซึ่งมี ความแปรปรวนคงตัว และค่าของ  $\lambda$  สามารถประมาณได้ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Method) ดังนี้

$$L_{\max}(\lambda) = -\frac{1}{2}n \log \hat{\sigma}^2(\lambda) + (\lambda - 1) \sum \sum \log y_{ij}$$

เมื่อ  $\hat{\sigma}^2$  คือ ความแปรปรวนที่มีค่าคงตัวเท่ากันทุกทรีดเมนต์

2) วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) เป็นวิธีที่นำเสนอโดยบ็อกซ์และค็อกซ์ พร้อมกับกับวิธี  $BC_N$  ในปี 1964 เป็นการแปลงข้อมูลที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาทั้งในกรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีความแปรปรวนไม่เท่ากันและไม่มีการแจกแจงปกติ การแปลงดังกล่าวมีรูปแบบ ดังนี้ (Box and Cox, 1964)

$$\begin{aligned} \text{จาก (2.1) เมื่อ } \lambda \neq 0; J &= \left| \prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^k \frac{dy_{ij}^{(\lambda)}}{dy_{ij}} \right| \\ &= \left| \prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^k \frac{d}{dy_{ij}} \left( \frac{y_{ij}^{\lambda} - 1}{\lambda} \right) \right| \\ &= \prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^k |y_{ij}^{\lambda-1}| \\ &= \left( \prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^k y_{ij} \right)^{\lambda-1} \\ &= (\hat{y})^{n(\lambda-1)} \\ J^{\frac{1}{n}} &= (\hat{y})^{\lambda-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \lambda = 0; J &= \left| \prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^k \frac{dy_{ij}^{(\lambda)}}{dy_{ij}} \right| \\ &= \left| \prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^k \frac{d \log y_{ij}}{dy_{ij}} \right| \\ &= \prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^k \left( \frac{1}{y_{ij}} \right) \\ &= \frac{1}{\prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^k y_{ij}} \\ &= \frac{1}{\hat{y}^n} \end{aligned}$$

$$J^{\frac{1}{n}} = \frac{1}{\bar{y}}$$

โดยที่  $\bar{y}$  คือ ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของ  $y_{ij}$

$$\text{ให้ } z_{ij}^{(\lambda)} = \frac{y_{ij}^{(\lambda)}}{J^{\frac{1}{n}}}$$

$$y_{NH_{ij}} = z_{ij}^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{(y_{ij}^{\lambda} - 1)}{\lambda \bar{y}^{\lambda-1}} & ; \lambda \neq 0 \\ \bar{y} \log y_{ij} & ; \lambda = 0 \end{cases} \quad \text{_____ (2.2)}$$

เมื่อ  $\lambda$  คือ ค่าคงตัวที่ทำให้  $y_{NH_{ij}}$  มีสมบัติตามข้อสมมติเบื้องต้นที่กำหนด ซึ่งมีความแปรปรวนคงตัว และค่าของ  $\lambda$  สามารถประมาณได้ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด ดังนี้

$$L_{\max}(\lambda | H, N) = -\frac{1}{2} \sum n_i \log(S^{(i)}(\lambda, \mathbf{z}) / n_i) + \log \left[ \frac{\prod \{S^{(i)}(\lambda, \mathbf{z}) / n_i\}^{\frac{1}{2}n_i}}{\{S_v(\lambda, \mathbf{z}) / n\}^{\frac{1}{2}n}} \right]$$

$$\text{เมื่อ } S^{(k)}(\lambda, \mathbf{z}) = \sum_j (z_{ij} - \bar{z})^2$$

$$S_v(\lambda, \mathbf{z}) = \sum_i \sum_j (z_{ij} - \bar{z}_i)^2$$

$\mathbf{z}$  คือ เวกเตอร์ของ  $z_{ij}$

3) วิธีการถ่วงน้ำหนัก (W) เป็นวิธีการแปลงข้อมูลรูปแบบหนึ่ง โดยทำการถ่วงน้ำหนักด้วยส่วนกลับของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละทริตเมนต์ เพื่อให้ตัวแปรตอบสนองในแต่ละทริตเมนต์มีความแปรปรวนใกล้เคียงกัน ช่วยลดปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน (Bowerman, O'Connell and Dickey, 1986: 586-588) การแปลงดังกล่าวมีรูปแบบ ดังนี้

$$y_{W_{ij}} = \frac{y_{ij}}{s_i} \quad \text{_____ (2.3)}$$

เมื่อ  $s_i$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละทริตเมนต์

### 2.1.3 การทดสอบที่เกี่ยวข้อง

วิธีการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนและวิธีการทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลที่ใช้ทดสอบวิธีการแปลงข้อมูลเพื่อเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบความสามารถของวิธีการแปลงข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและการแจกแจงปกติของตัวแปรตอบสนองในงานวิจัยนี้ ได้แก่

1) สถิติทดสอบเลอวีเน่ เสนอโดยเลอวีเน่ ในปี 1960 ใช้สำหรับทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน  $k$  ทริตเมนต์ โดยไม่กำหนดลักษณะการแจกแจงของตัวแปรตอบสนองที่มีสมมติฐาน ดังนี้ (Levene, 1960)

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$$

$$H_1 : \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \text{ โดยที่ } i \neq j \text{ อย่างน้อย 1 คู่}$$

ให้  $W$  แทนสถิติทดสอบ มีรูปแบบการคำนวณ ดังนี้

$$W = \frac{(N-k) \sum_{i=1}^k n (\bar{Z}_i - \bar{Z}_{..})^2}{(k-1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (Z_{ij} - \bar{Z}_i)^2} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $k$  คือ จำนวนทริตเมนต์

$N$  คือ จำนวนซ้ำของหน่วยทดลองทั้งหมด

$n$  คือ จำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทริตเมนต์

$y_{ij}$  คือ ตัวแปรตอบสนองของหน่วยทดลองที่  $j$  ที่ได้รับทริตเมนต์ที่  $i$

$$Z_{ij} = |y_{ij} - \bar{y}_i| \text{ หรือ } |y_{ij} - \tilde{y}_i|$$

โดยที่  $\bar{y}_i$  คือ ตัวแปรตอบสนองเฉลี่ยของทริตเมนต์ที่  $i$

$\tilde{y}_i$  คือ ค่ามัธยฐานของตัวแปรตอบสนองทริตเมนต์ที่  $i$

$$\bar{Z}_{..} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Z_{ij} \text{ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของ } Z_{ij}$$

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{ij} \text{ คือ ค่าเฉลี่ยของ } Z_{ij} \text{ ของทริตเมนต์ที่ } i$$

ปฏิเสธสมมติฐานว่างเมื่อ  $W \geq F_{\alpha, (k-1), (N-k)}$  หรือ เมื่อค่า  $p$  - value ของสถิติทดสอบที่ได้มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด

2) สถิติทดสอบชาไฟโร - วิลค์ เสนอโดยชาไฟโรและวิลค์ ในปี 1965 เป็นสถิติทดสอบที่ใช้สำหรับทดสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรตอบสนอง ในกรณีที่ทราบหรือไม่ทราบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของประชากรก็ได้ แต่ตัวอย่างต้องมีขนาดไม่เกิน 50 หน่วย มีสมมติฐาน ดังนี้ (Shapiro and Wilk, 1965)

$$H_0 : \text{ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ}$$

$$H_1 : \text{ตัวแปรตอบสนองไม่มีการแจกแจงปกติ}$$

ให้  $SW$  แทนสถิติทดสอบ มีรูปแบบการคำนวณ ดังนี้

$$SW = \frac{\left\{ \sum_{l=1}^m a_{n+1-l} (y_{n+1-l} - y_{(l)}) \right\}^2}{\sum_{l=1}^n (y_{(l)} - \bar{y})^2} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์

$$m = \frac{n}{2} \quad \text{เมื่อ } n \text{ เป็นเลขคู่}$$

$$= \frac{n-1}{2} \quad \text{เมื่อ } n \text{ เป็นเลขคี่}$$

$a_l$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากตารางของซาปิโร-วิลค์ เมื่อ  $l = 1, 2, \dots, m$

$y_{(l)}$  คือ ตัวแปรตอบสนองลำดับ (Order Response Variable)

ปฏิเสธสมมติฐานว่างเมื่อค่าของสถิติทดสอบ  $SW$  มากกว่าค่าวิกฤต หรือค่า  $p$ -value ของสถิติทดสอบที่ได้มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด

3) การทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จ (Proportion of Success) ของวิธีที่นำเสนอกับวิธีอื่นๆ โดยใช้การทดสอบแซด ( $z$ -test) ซึ่งมีสมมติฐานการทดสอบ ดังนี้

$$H_0 : p_1 = p_2$$

$$H_1 : p_1 < p_2 \text{ หรือ } p_1 > p_2$$

ให้  $z$  แทนสถิติทดสอบ มีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$z = \frac{|\hat{p}_1 - \hat{p}_2|}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})(2/1000)}} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $\hat{p}_1$  คือ ค่าสัดส่วนความสำเร็จของวิธีการแปลงข้อมูลที่นำเสนอ

$\hat{p}_2$  คือ ค่าสัดส่วนความสำเร็จของวิธีการแปลงข้อมูลอื่นที่ไม่ใช่วิธีที่

นำเสนอ

$\hat{p}$  คือ ค่าสัดส่วนความสำเร็จเฉลี่ยของ 2 วิธี หาได้จาก

$$\hat{p} = \frac{\hat{p}_1 + \hat{p}_2}{2000}$$

ปฏิเสธสมมติฐานว่างเมื่อค่าของสถิติทดสอบ  $z$  ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1.645

#### 2.1.4 การแจกแจงของข้อมูล

การแจกแจงของตัวแปรตอบสนองที่กำหนดให้เป็นสถานการณ์จำลองในการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของวิธีการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและการแจกแจงปกติด้วยวิธีการแปลงข้อมูลในรูปแบบต่างๆ ได้แก่

## 1) การแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

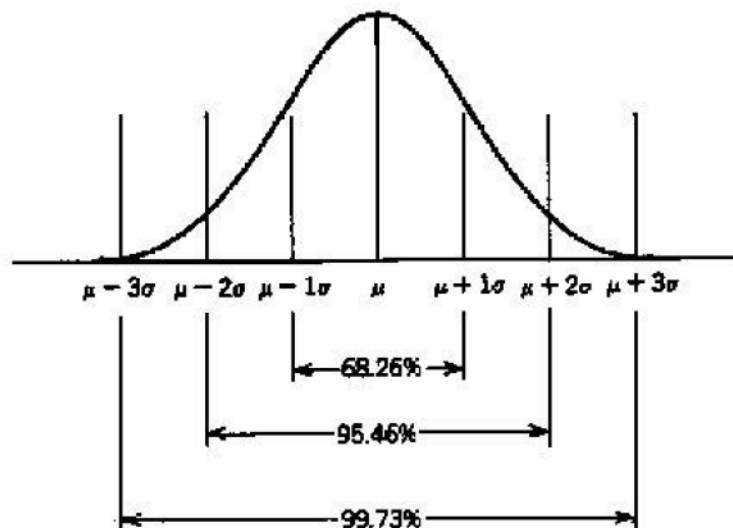
การแจกแจงปกติมีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ย  $\mu$  และความแปรปรวน  $\sigma^2$  คือ

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad ; \quad -\infty < x < \infty, \quad -\infty < \mu < \infty, \quad \sigma^2 > 0$$

สมบัติของการแจกแจงปกติมีดังนี้

- (1) เส้นโค้งมีลักษณะสมมาตร รูปร่างคล้ายระฆังคว่ำ มียอดเดียวอยู่ที่กึ่งกลางของเส้นโค้ง
- (2) ค่าเฉลี่ย มัชยฐาน และฐานนิยมมีค่าเท่ากันอยู่ที่จุดกึ่งกลาง จึงแบ่งพื้นที่ใต้เส้นโค้งปกติออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน
- (3) ปลายทั้งสองข้างของเส้นโค้งจะค่อยๆ ลาดลงสู่แกน X และยื่นออกไปทั้งสองข้างโดยไม่มีที่สิ้นสุดและไม่แตะแกน X และปลายทั้งสองข้างของเส้นโค้งปกติจะมีค่าตั้งแต่  $-\infty$  ถึง  $\infty$  พื้นที่ใต้เส้นโค้งที่อยู่เหนือแกน X จะเท่ากับ 1
- (4) ความโค้งมีค่าเท่ากับ 3 และความเบ้มีค่าเท่ากับ 0
- (5)  $\mu$  และ  $\sigma^2$  เป็นค่าพารามิเตอร์โดยเป็นตัวกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของเส้นและลักษณะของเส้นโค้งว่าเบ้หรือโค้งอย่างไร

ดังภาพ 2.1



ภาพที่ 2.1 โค้งการแจกแจงปกติ

แหล่งที่มา: [http://www.statit.com/support/quality\\_practice\\_tips/estimating\\_std\\_dev.shtml](http://www.statit.com/support/quality_practice_tips/estimating_std_dev.shtml)

## 2) การแจกแจงล็อกนอร์มอล (Log - Normal Distribution)

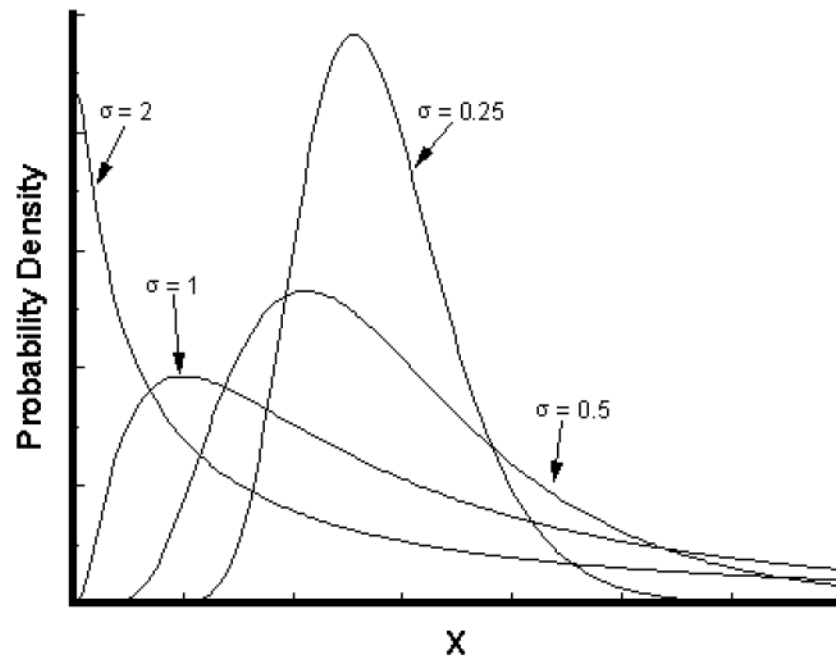
การแจกแจงล็อกนอร์มอลเป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องของตัวแปรสุ่ม ถ้า  $X$  เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปกติแล้ว  $Y = \exp(X)$  มีการแจกแจงล็อกนอร์มอล โดยมีค่าเฉลี่ย  $e^{\mu+\sigma^2/2}$  และความแปรปรวน  $(e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu+\sigma^2}$  และมีฟังก์ชันความหนาแน่นดังนี้

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad ; x > 0$$

โดยที่  $\mu$  คือ พารามิเตอร์แสดงตำแหน่ง และ  $-\infty < \mu < \infty$

$\sigma$  คือ พารามิเตอร์แสดงรูปร่าง และ  $\sigma > 0$

ดั่งภาพ 2.2



ภาพที่ 2.2 โค้งการแจกแจงล็อกนอร์มอล

แหล่งที่มา: <http://www.engineeredsoftware.com/lmar/lognormal.htm>

## 2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน

ในแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์เมื่อนักวิจัยได้ข้อมูลจากการทดลองที่วัดมาได้แล้ว ต้องทำการตรวจสอบข้อสมมติเบื้องต้นเสียก่อน โดยข้อสมมติที่ผู้วิจัยให้ความสนใจในการศึกษาครั้งนี้ คือ ความเท่ากันของความแปรปรวน และข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ซึ่งวิธีการตรวจสอบความเท่ากันของความแปรปรวนนั้นมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาค้นคว้า พัฒนาและปรับปรุงไว้หลากหลายวิธีด้วยกัน Conover, Johnson and Johnson (1981) ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของการทดสอบต่างๆ จำนวน 56 การทดสอบ โดยผลการวิจัยสรุปได้ว่า มีการทดสอบ 3 การทดสอบที่เป็นการทดสอบที่ดีที่สุด คือ มีความแกร่งและมีกำลังการทดสอบสูง โดยการทดสอบของเลอวินเป็นหนึ่งในการทดสอบที่ดีที่สุด

รวิชัย วรพงษ์, สินีนาถ แต่เจริญกุล และชูเกียรติ วิวัฒน์วงศ์เกษม (2547) ทำการศึกษาสถิติทดสอบ 3 วิธี คือ สถิติทดสอบบาร์ตเล็ต สถิติทดสอบเลอวิน และสถิติทดสอบ คีอกเคเรน ภายใต้ผลกระทบของการแจกแจงตัวอย่าง ได้แก่ การแจกแจงปกติ การแจกแจงแกมมา และการแจกแจงไคกำลังสอง ผลกระทบของความแปรปรวน และผลกระทบจากขนาดตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่า สถิติสำหรับทดสอบความแปรปรวนที่มีความเหมาะสมกับการแจกแจงปกติ ได้แก่ สถิติทดสอบบาร์ตเล็ต สถิติทดสอบคีอกเคเรน และสถิติทดสอบเลอวิน ตามลำดับ และเมื่อข้อมูลไม่เป็นการแจกแจงปกติ พบว่า สถิติทดสอบคีอกเคเรนและสถิติทดสอบเลอวินมีความเหมาะสม โดยสถิติทดสอบเลอวินค่อนข้างได้เปรียบเมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็ก

นอกจากนี้ Gorbunova, Lemeshko and Lemeshko (2010) ได้ทำการศึกษาความแกร่งและกำลังการทดสอบของวิธีการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน โดยวิธีการทดสอบที่สนใจศึกษา คือ การทดสอบของฟิชเชอร์ การทดสอบของบาร์ตเล็ต การทดสอบของคีอกเคเรน การทดสอบของฮาร์ตเลย์ และการทดสอบของเลอวิน ผลการศึกษาพบว่า ในกรณีที่ตัวอย่างมีจำนวนมากกว่า 2 กลุ่ม และอยู่ภายใต้ข้อสมมติเบื้องต้นที่ว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติแล้ว การทดสอบของคีอกเคเรนให้กำลังการทดสอบสูงที่สุด รองลงมา คือ การทดสอบของบาร์ตเล็ต การทดสอบของฮาร์ตเลย์ และการทดสอบของเลอวิน แต่ในกรณีที่ข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติการแจกแจงปกติแล้ว การทดสอบที่ดีที่สุด คือ การทดสอบของเลอวิน

### 2.2.2 การทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูล

ข้อสมมติเบื้องต้นอีกข้อหนึ่งที่นักวิจัยต้องทำการตรวจสอบ เนื่องจากเป็นข้อสมมติที่มีความจำเป็น และหลังจากทำการแปลงข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากันแล้ว ข้อสมมตินี้อาจได้รับผลกระทบ คือ ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ โดยวิธีการที่ใช้ทดสอบการแจกแจงปกตินั้นมีอยู่หลากหลายวิธี ด้วยกัน Shapiro and Wilk (1965) ได้นำเสนอกระบวนการทางสถิติที่นำมาใช้ทดสอบการแจกแจงปกติ และทำการเปรียบเทียบสถิติ  $W$  กับตัวสถิติอื่นๆ ซึ่งผลที่ได้คือตัวสถิติ  $W$  เป็นสถิติที่ใช้ทดสอบการแจกแจงปกติได้ดีที่สุดในบรรดาสถิติทดสอบทั้งหมด แต่ต้องใช้กับตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 3 ถึง 50 ให้ค่ากำลังการทดสอบที่ดีกว่า และมีความไวต่อการแจกแจงที่ไม่ใช่การแจกแจงปกติ

ต่อมา Shapiro, Wilk and Chen (1968) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ Empirical Sampling ของความไวของวิธีการทางสถิติ 9 วิธี ในการประเมินการแจกแจงปกติของตัวอย่างสมบูรณ์ โดยสถิติทดสอบทั้ง 9 วิธี ได้แก่ สถิติทดสอบ  $W$  (การทดสอบของชาปิโร - วิลค์) สถิติทดสอบ  $\sqrt{b_1}$  (Standard Third Moment) สถิติทดสอบ  $b_2$  (Standard Fourth Moment) สถิติทดสอบ  $KS$  (สถิติทดสอบของโคลโมโกรอฟ - สเมอร์นอฟ) สถิติทดสอบ  $CM$  (การทดสอบของคราเมอร์ - วอน มิสเชส) สถิติทดสอบ  $WCM$  (การทดสอบของคราเมอร์ - วอน มิสเชสแบบถ่วงน้ำหนัก) สถิติทดสอบ  $D$  (การทดสอบของโคลโมโกรอฟ - สเมอร์นอฟแบบปรับปรุง) สถิติทดสอบ  $CS$  (การทดสอบของไคสแควร์) และสถิติทดสอบ  $u$  (Studentized Range) ผลการศึกษาพบว่า เมื่อการแจกแจงไม่ใช่การแจกแจงปกติ ตัวสถิติทดสอบ  $W$  มีประสิทธิภาพมากกว่าสถิติทดสอบอื่นๆ ที่ทำการศึกษา

Royston (1982) ได้ทำการศึกษาขยายสถิติทดสอบ  $W$  เพิ่มเติมสำหรับใช้ทดสอบการแจกแจงปกติในกรณีตัวอย่างมีขนาดใหญ่ เนื่องจากสถิติทดสอบ  $W$  ที่เสนอโดย Shapiro และ Wilk ในปี 1965 นั้น มีความเหมาะสมในการทดสอบสำหรับกรณีตัวอย่างมีขนาดระหว่าง 3 ถึง 50

สิริทิพ วะสินรัตน์ (2549) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการทดสอบของภาวะรูปสนิทธิโดยสถิติอัตราส่วนภาวะน่าจะเป็น สำหรับการแจกแจงปกติ กับสถิติทดสอบชาปิโร - วิลค์ ในสถานการณ์ต่างๆ โดยผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า กรณีที่ต้องการทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลเมื่อขนาดตัวอย่างไม่เกิน 100 สถิติทดสอบที่เหมาะสมที่สุด คือ สถิติทดสอบชาปิโร - วิลค์ เนื่องจากสามารถควบคุมระดับนัยสำคัญที่เกิดขึ้นจริงได้ดี และมีอำนาจการทดสอบสูง

### 2.2.3 การแปลงข้อมูล

หลังจากที่นักวิจัยได้ทำการตรวจสอบข้อสมมติเบื้องต้นในเรื่องของความเท่ากันของความแปรปรวนและการแจกแจงปกติของข้อมูลแล้ว หากพบว่าความแปรปรวนแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน และข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ นักวิจัยจำเป็นที่จะต้องทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งวิธีการแก้ไขมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การแปลงโดยใช้รากที่สอง (Square Root Transformation) ใช้สำหรับข้อมูลที่มีความแปรปรวนแต่ละกลุ่ม ( $\sigma_i^2$ ) เป็นสัดส่วนกับค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม ( $\mu_i$ ) สูตรทั่วไปของการแปลง คือ  $y^* = \sqrt{y}$  การแปลงข้อมูลโดยใช้ค่าลอการิทึม (Logarithmic Transformation) ใช้สำหรับข้อมูลที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแต่ละกลุ่ม ( $\sigma_i$ ) เป็นสัดส่วนกับค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม ( $\mu_i$ ) สูตรทั่วไปของการแปลง คือ  $y^* = \ln(y)$  การแปลงข้อมูลโดยใช้ค่ามุม (Arcsine Transformation) ใช้สำหรับข้อมูลที่เป็นสัดส่วนกัน สูตรทั่วไปของการแปลง คือ  $y^* = 2 \arcsin \sqrt{y}$  การแปลงโดยใช้ส่วนกลับ (Reciprocal Transformation) ใช้กับข้อมูลที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแต่ละกลุ่ม ( $\sigma_i$ ) เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่ม ( $\mu_i^2$ ) สูตรทั่วไปของการแปลง คือ  $y^* = 1/y$  วิธีการแปลงข้อมูลเหล่านี้เป็นวิธีการแปลงข้อมูลอย่างง่ายที่ใช้สำหรับแปลงข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลมีลักษณะตรงตามข้อกำหนดสมมติเบื้องต้น

วิธีการแปลงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาไว้ Tukey (1957) นำเสนอวิธีการแปลงข้อมูลขึ้น เพื่อแก้ปัญหาข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเบื้องต้น ซึ่งต่อมา Box and Cox (1964) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการแปลงข้อมูล โดยนำเอารูปแบบการแปลงข้อมูลของทุกที่มาพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อแก้ปัญหาข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเบื้องต้น คือ การแจกแจงปกติ และความเท่ากันของความแปรปรวน ต่อมา มีนักวิจัยนำเอาวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ไปพัฒนาเพิ่มเติม โดย Manly (1976) แนะนำทางเลือกเพิ่มเติมต่อจากบ็อกซ์ - ค็อกซ์ เป็นรูปแบบการแปลงข้อมูลที่ใช้ได้ดีในการปรับการแจกแจงแบบเบ้ให้ใกล้เคียงปกติ John and Draper (1980) ได้นำเสนอรูปแบบการแปลงข้อมูล เพื่อแปลงการแจกแจงแบบสมมาตรหางยาวให้ได้การแจกแจงปกติ และยังคงมีงานวิจัยที่นำเอาวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ไปพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับข้อมูล เช่น Bickel and Doksum (1981), Yeo and Johnson (2000) และ Yang (2002) เป็นต้น

งานวิจัยในประเทศไทยเกี่ยวกับการแปลงข้อมูลมีหลายโครงการ เศรษฐา งามจรัส (2544) ได้ทำการศึกษาหารูปแบบการแปลงข้อมูลที่สามารถแปลงข้อมูลที่มีการแจกแจงเอ็กซ์โปเนนเชียล การแจกแจงแกมมา การแจกแจงไคสแควร์ การแจกแจงไวบูลล์ และการแจกแจงล็อกนอร์มอลให้มีการแจกแจงปกติ โดยพิจารณาวิธีการแปลงข้อมูลทั้งหมด 4 รูปแบบ คือ การแปลงข้อมูลโดยวิธีการกำลัง วิธีการของบ็อกซ์ - ค็อกซ์ วิธีการล็อกการิม และการแปลงข้อมูลโดยวิธีการถอดครากที่สี่

ภายใต้สถานการณ์ที่กำหนด ผลการวิจัยพบว่า ในการแปลงข้อมูลที่มีการแจกแจงเอ็กซ์โปเนนเชียล การแจกแจงแกมมา การแจกแจงโคสแควร์ และการแจกแจงไวบูลล์ วิธีการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด คือ วิธีการของบ็อกซ์ - ค็อกซ์ สำหรับการแจกแจงล็อกนอร์มอล วิธีที่เหมาะสมที่สุดในการแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติ คือ วิธีการล็อกการริ่ม

วิจิศา สุนทรวิภาต (2547) ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันของความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุต่างๆ ในตัวแบบถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย โดยใช้ค่าร้อยละการยอมรับสมมติฐานหลักจากการทดสอบของโกลด์เฟลด์ - ควอนท์หลังดำเนินการแก้ปัญหาเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ ซึ่งในกรณีที่เป็นข้อมูลภาคตัดขวางและความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนอยู่ในรูปแบบ  $Var(\varepsilon_i) = \sigma^2 X_i^2$  พบว่า วิธีกำลังสองน้อยที่สุดถ่วงน้ำหนักด้วยค่าน้ำหนักที่แท้จริง และวิธีกำลังสองน้อยที่สุดถ่วงน้ำหนักเมื่อไม่ทราบค่าน้ำหนักที่แท้จริงโดยการประมาณค่าน้ำหนักจากข้อมูลที่แบ่งออกเป็น 3 และ 5 กลุ่ม สามารถแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันของความคลาดเคลื่อนได้

พรพล คงอิม (2548) ทำการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันในความคลาดเคลื่อนของข้อมูลตอบสนองสำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยให้ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติและความแปรปรวนไม่เท่ากัน เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น คือ ค่าสัดส่วนของความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน ค่าสัดส่วนของข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติภายหลังการแปลงข้อมูล ค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่าง และอำนาจการทดสอบของการทดสอบเอฟ ผลการวิจัยพบว่า โดยส่วนใหญ่การแปลงข้อมูลด้วยค่าพารามิเตอร์ยกกำลัง -0.5 และ 0.0 เป็นวิธีการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน แต่พึงระวังปัญหาข้อมูลตอบสนองหลังการแปลงที่ได้จะไม่มีการแจกแจงปกติ เมื่อจำนวนซ้ำในการทดลองมากขึ้น พบว่าการแปลงข้อมูลด้วยพารามิเตอร์ยกกำลัง 0.0 เป็นวิธีการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันในทุกระดับความแตกต่างของอัตราส่วนความแปรปรวน การแปลงข้อมูลด้วยค่าพารามิเตอร์ยกกำลัง 0.5 มีค่าสัดส่วนของข้อมูลภายหลังการแปลงยังคงมีการแจกแจงปกติสูงสุดในทุกกรณี

สภาวะ คำมีแสง (2550) ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลของวิธีแบบสถิติอิงพารามิเตอร์ 2 วิธี ได้แก่ วิธีของทูกี และวิธีของบ็อกซ์ - ค็อกซ์ เมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยให้ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติและความแปรปรวนไม่เท่ากัน ผลการวิจัยพบว่า วิธีของทูกี มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อแปลงข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับอิทธิพลแบบบวก และข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามทั้งข้อสมมติเกี่ยวกับความเท่ากัน

ของความแปรปรวนและอิทธิพลแบบบวก และวิธีของบ็อกซ์ - ค็อกซ์ มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อแปลงข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อสมมติเกี่ยวกับความเท่ากันของความแปรปรวน

Lakhana Wattanacheewakul (2007) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การทดสอบไคส์กัซซูเรโซ และการทดสอบครัสคาล - วอลลิส สำหรับการแจกแจงพาราเรโต โดยเสนอรูปแบบการแปลงข้อมูลเพื่อแปลงข้อมูลที่มีการแจกแจงพาราเรโตให้มีการแจกแจงใกล้เคียงการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนคงที่ ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการแปลงข้อมูลที่น่าเสนอสามารถแก้ปัญหาต่างๆได้ดี

วรรณพร จันโทภาส (2552) ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันของค่าความคลาดเคลื่อน โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดถ่วงน้ำหนักด้วยค่าน้ำหนักที่แท้จริงและไม่ทราบค่าน้ำหนักที่แท้จริง โดยการประมาณค่าน้ำหนักจากข้อมูลที่แบ่งออกเป็น 2, 3 และ 5 กลุ่ม ผลการศึกษาพบว่า ทุกขนาดความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน วิธีกำลังสองน้อยที่สุดถ่วงน้ำหนักเมื่อไม่ทราบค่าน้ำหนักที่แท้จริง โดยการประมาณค่าน้ำหนักจากข้อมูลที่แบ่งออกเป็น 3 และ 5 กลุ่ม สามารถแก้ปัญหาได้ดี ทั้งนี้ในกรณีที่ค่าของตัวแปรอิสระและรูปแบบความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง เมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็กถึงปานกลาง และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับต่ำถึงสูง เมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่ วิธีกำลังสองน้อยที่สุดถ่วงน้ำหนักเมื่อทราบค่าน้ำหนักที่แท้จริง และไม่ทราบค่าที่แท้จริงสามารถแก้ปัญหาได้ดีใกล้เคียงกัน

นอกจากวิธีการแก้ปัญหาข้อมูลไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้นที่ใช้การแปลงข้อมูลโดยอาศัยสถิติอิงพารามิเตอร์แล้ว ยังมีงานวิจัยอีกหลายโครงการที่น่าเสนอวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีปัญหาข้อมูลไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้น โดยนำเอาสถิติไม่อิงพารามิเตอร์มาปรับใช้ในการแก้ปัญหา จริยา เสกสรร (2551) ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทดสอบสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อข้อมูลมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน การทดสอบที่ศึกษา ได้แก่ การทดสอบสตีเวนส์ การทดสอบเวลช์ การทดสอบมัชชาน และการทดสอบวิลค็อกสัน แรงค์ ซัม ผลการศึกษาพบว่า การทดสอบเวลช์ที่มีความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ได้ และมีอำนาจการทดสอบสูงในทุกสถานการณ์ที่ศึกษา

Moder (2010) ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการทดสอบที่ใช้ในกรณีข้อมูลมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ดังนี้ การทดสอบเอฟ การทดสอบเวลช์ วิธี ANOVA ถ่วงน้ำหนัก การทดสอบครัสคาล - วอลลิส การทดสอบเพอร์มิตเทชั่น โดยใช้สถิติเอฟ การทดสอบเพอร์มิตเทชั่น โดยใช้สถิติครัสคาล - วอลลิส และการทดสอบโฮเทลลิง ผลการศึกษาพบว่า การทดสอบโฮเทลลิงสามารถใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่มีความแปรปรวนไม่เท่ากันได้ดีในกรณีจำนวนซ้ำในและทรีตเมนต์คงที่

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในส่วนของการตรวจสอบความเท่ากันของความแปรปรวนวิธีการทดสอบที่มีความเหมาะสมในเกือบทุกกรณี คือ วิธีการทดสอบของเลอวิน สำหรับการแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน วิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย และมีประสิทธิภาพ คือ วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ และวิธีการถ่วงน้ำหนัก และวิธีการทดสอบที่สามารถใช้ได้ดีในการตรวจสอบการแจกแจงปกติของข้อมูล คือ วิธีการทดสอบของซาพิโร - วิลค์

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีวิจัย

แผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์เป็นแผนแบบการทดลองที่ง่ายที่สุด หน่วยทดลองทุกหน่วยมีโอกาสหรือความน่าจะเป็นเท่าๆ กันในการได้รับทริตเมนต์ใดทริตเมนต์หนึ่ง มีความเหมาะสมกับกรณีหน่วยทดลองมีลักษณะคล้ายคลึงกันมากที่สุด โดยข้อมูลในแผนแบบการทดลองนี้ควรนำเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งเทคนิคดังกล่าวมีข้อสมมติเบื้องต้นที่จำเป็น คือ ตัวแปรตอบสนองเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระต่อกัน และความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้รับทริตเมนต์เหมือนกันมีค่าคงตัวเท่ากันทุกทริตเมนต์ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ข้อมูลจากการทดลองที่วัดมาได้มักไม่เป็นไปตามข้อสมมติเบื้องต้นดังกล่าว ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระดับนัยสำคัญของการทดสอบ ความไวของสถิติ และอาจทำให้ผลสรุปที่ได้ไม่ตรงตามความเป็นจริง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาถึงวิธีการแก้ไขปัญหาเมื่อตัวแปรตอบสนองมีลักษณะไม่ตรงตามข้อสมมติเบื้องต้น และพบว่า มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการค้นคว้า ศึกษาวิจัยไว้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาค่าการแจกแจงปกติที่ได้รับความนิยม คือ วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ และวิธีการแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ วิธีการถ่วงน้ำหนัก โดยเป้าหมายในการดำเนินการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คือ การพัฒนาวิธีการแปลงข้อมูลขึ้นมาใหม่เพื่อใช้แก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันร่วมกับการแก้ปัญหาค่าการแจกแจงปกติได้ในคราวเดียว

#### 3.1 วิธีที่นำเสนอ

การวิเคราะห์ข้อมูลจากแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์โดยทั่วไปแล้วจะนำเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนมาใช้ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวนี้มีข้อกำหนด หรือข้อสมมติเบื้องต้นเกี่ยวกับข้อมูลที่นักวิจัยจำเป็นต้องทำการตรวจสอบก่อนนำข้อมูลไปวิเคราะห์ คือ ตัวแปรตอบสนองเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระต่อกัน และความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้รับทริตเมนต์เหมือนกันมีค่าคงตัวเท่ากันทุกทริตเมนต์ หากข้อมูลที่มีอยู่ไม่มีลักษณะเป็นไปตามข้อสมมติเบื้องต้นแล้ว นักวิจัยจะไม่สามารถนำเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลมาใช้ได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจ

ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการแปลงข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติเบื้องต้น ซึ่งจะพิจารณาในส่วนของปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและปัญหาการแจกแจงปกติ โดยดำเนินการภายใต้สมมติฐานของการวิจัย 2 ประการ คือ วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ( $BC_N$ ) ตามสูตรในสมการ (2.1) ไม่สามารถแก้ปัญหาทั้ง 2 อย่างได้ในเวลาเดียวกัน สมมติฐานของการวิจัยประการที่ 2 คือ วิธีการถ่วงน้ำหนักตามสูตรในสมการ (2.3) อาจแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันได้ แต่ถ้าข้อมูลมาจากประชากรที่มีการแจกแจงอื่นที่ไม่ใช่การแจกแจงปกติแล้ว ปัญหาการแจกแจงปกติก็ยังคงอยู่ และส่งผลให้การวิเคราะห์ข้อมูลไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้ จึงเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ควบคู่ไปกับวิธีการถ่วงน้ำหนัก เพื่อต้องการแก้ไขทั้ง 2 ปัญหาไปพร้อมๆ กัน โดยนำเสนอวิธีการแปลงข้อมูล 2 วิธี ดังนี้

1) วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) ซึ่งมีรูปแบบการแปลงข้อมูล ดังนี้

$$y_{WN_{ij}} = \begin{cases} \frac{(y_{w_{ij}}^\lambda - 1)}{\lambda} & ; \lambda \neq 0 \\ \log y_{w_{ij}} & ; \lambda = 0 \end{cases} \quad \text{_____ (3.1)}$$

โดยที่  $y_{w_{ij}}$  คือค่า  $y_{ij}$  ที่ทำการถ่วงน้ำหนักตามสมการ (2.3) แล้วจากนั้นนำมาแปลงข้อมูลโดยใช้การแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ตามสมการ (2.1)

2) วิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) ซึ่งมีรูปแบบการแปลงข้อมูล ดังนี้

$$y_{NW_{ij}} = \frac{y_{N_{ij}}}{s_i} \quad \text{_____ (3.2)}$$

โดยที่  $y_{N_{ij}}$  คือค่า  $y_{ij}$  ที่ได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ตามสมการ (2.1) แล้ว จากนั้นนำไปถ่วงน้ำหนักตามสมการ (2.3)

### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาจะใช้การจำลองเป็นเครื่องมือหนึ่งในการพิจารณาความสามารถของวิธีการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและการแก้ปัญหาค่าการแจกแจงปกติ โดยใช้โปรแกรม SAS ซึ่งเป็นโปรแกรมทางสถิติในการจำลองข้อมูล มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1) กำหนดแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ให้ปัจจัยการทดลองมีผลกระทบแบบตรง จำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์เท่ากัน

2) กำหนดจำนวนทรีตเมนต์ ( $k$ ) และจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์ ( $m$ ) เป็นดังนี้  $(k, m) = (3, 5), (3, 10), (5, 10), (5, 12), (5, 20)$

3) กำหนดค่าความแปรปรวนแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย แตกต่างปานกลาง และแตกต่างกันมาก และกำหนดความแปรปรวนที่มีค่าน้อยที่สุดในทุกระดับความแปรปรวนเป็น 0.25 โดยกำหนดความแตกต่างของความแปรปรวนได้จาก (พุทธธิดา ภูตระกูล, 2552)

$$\psi = \max \left[ \frac{\sigma_i^2}{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2} \right] - \min \left[ \frac{\sigma_i^2}{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2} \right] \quad \text{_____}(3.3)$$

โดยที่  $\sigma_i^2$  คือ ความแปรปรวนในทรีตเมนต์ที่  $i$

ในกรณีที่จำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3 และ 5 สามารถกำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนในแต่ละระดับได้ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนความแปรปรวน

จำนวนทรีตเมนต์	ระดับความแตกต่างของความแปรปรวน	อัตราส่วนความแตกต่างของความแปรปรวน	ค่า $\psi$
3	น้อย	1: 1: 2	0.25
	ปานกลาง	1: 2: 3	0.33
	มาก	1: 3: 6	0.50
5	น้อย	1: 1: 1: 2: 2	0.14
	ปานกลาง	1: 1: 2: 2: 5	0.36
	มาก	1: 1: 2: 2: 10	0.56

4) สร้างอิทธิพลของทรีตเมนต์ ( $\tau_i$ ) ให้มีความแตกต่างกัน โดยพิจารณา  $\sum_{i=1}^k \tau_i = 0$  และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนของทรีตเมนต์ ( $\phi$ ) เป็นตัวกำหนด โดยกำหนดได้จาก (พุทธธิดา ภูตระกูล, 2552)

$$\phi = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^k \tau_i^2}{k\sigma^2}} \quad \text{_____ (3.4)}$$

เมื่อ  $\sigma^2$  คือ ค่าผลรวมของความแปรปรวน  $k$  ทริตเมนต์ โดยสามารถคำนวณจาก

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^k \sigma_i^2$$

ซึ่งจะกำหนดความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของแต่ละทริตเมนต์เป็น 3 ระดับ ดังนี้

(1) ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของทริตเมนต์มีความแตกต่างกันน้อย

ค่า  $\phi$  อยู่ระหว่าง  $[0.0, 1.5)$

(2) ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของทริตเมนต์มีความแตกต่างกันปาน

กลาง ค่า  $\phi$  อยู่ระหว่าง  $[1.5, 3.0)$

(3) ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของทริตเมนต์มีความแตกต่างกันมาก

ค่า  $\phi$  มีค่าตั้งแต่ 3.0 ขึ้นไป

ในกรณีที่จำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 3 สามารถกำหนดค่าอิทธิพลของการทดลองได้

จาก

$$\tau_i = \sqrt{\frac{k}{2n}} \phi^2 \sigma^2 \times \left[ -\left(\frac{k+1}{2}\right) + i \right] \quad \text{_____ (3.5)}$$

ในกรณีที่จำนวนทริตเมนต์เท่ากับ 5 สามารถกำหนดค่าอิทธิพลของการทดลองได้

จาก

$$\tau_i = \sqrt{\frac{k}{10n}} \phi^2 \sigma^2 \times \left[ -\left(\frac{k+1}{2}\right) + i \right] \quad \text{_____ (3.6)}$$

5) กำหนดค่าเฉลี่ยรวมคงที่  $\mu=3$

6) กำหนดการแจกแจงของตัวแปรตอบสนองเป็นการแจกแจงปกติ และการแจกแจงเล็กน้อย

7) กำหนดระดับนัยสำคัญที่ทำการทดลองเป็น 0.05

8) จำลองข้อมูลตามสถานการณ์ที่กำหนด

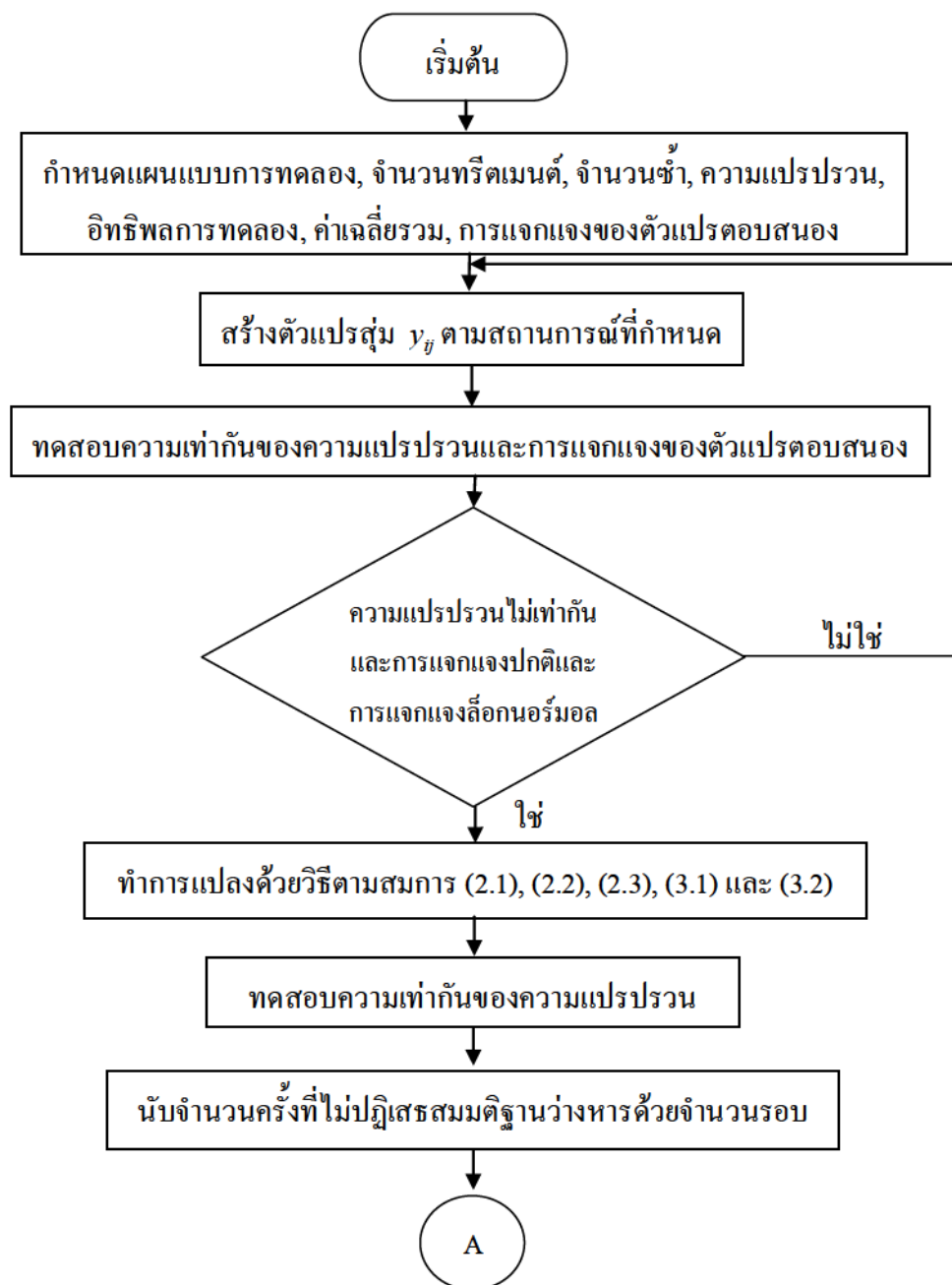
9) นำข้อมูลที่ทำการจำลองได้ไปแปลงโดยวิธีการแปลงข้อมูล โดยใช้รูปแบบการแปลงข้อมูลตามสมการ (2.1), (2.2), (2.3), (3.1) และ (3.2)

10) นำข้อมูลภายหลังการแปลงไปทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนด้วยสถิติทดสอบเลอวินและทดสอบการแจกแจงปกติด้วยสถิติทดสอบชาฟิโร - วิลค์

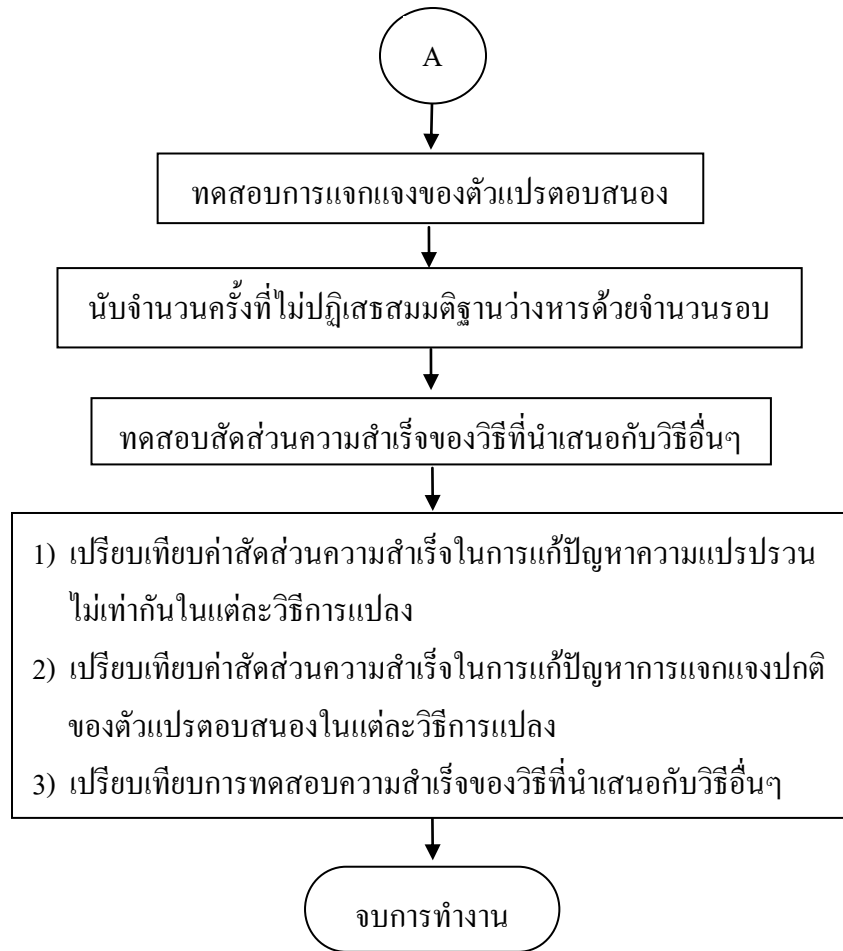
11) กระทำซ้ำ 1,000 รอบในแต่ละสถานการณ์

- 12) คำนวณหาค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน ภายหลังการแปลงข้อมูล โดยการนับจำนวนการไม่ปฏิเสธสมมติฐานว่างหารด้วยจำนวนรอบ
- 13) คำนวณหาค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติของตัวแปรตอบสนองภายหลังการแปลงข้อมูล โดยการนับจำนวนการไม่ปฏิเสธสมมติฐานว่างหารด้วยจำนวนรอบ
- 14) ทดสอบเปรียบเทียบค่าสัดส่วนความสำเร็จของวิธีที่นำเสนอกับวิธีอื่นๆ โดยใช้การทดสอบแซด
- 15) เปรียบเทียบค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงของตัวแปรตอบสนอง และทำการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จของวิธีที่นำเสนอกับวิธีอื่นๆ

### 3.3 ฟังก์ชันดำเนินงาน



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการจำลองเพื่อแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน การแจกแจงปกติของข้อมูลตอบสนอง และการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จของวิธีที่นำเสนอกับวิธีอื่นๆ



ภาพที่ 3.1 (ต่อ)

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของวิธีการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันด้วยวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ และวิธีการถ่วงน้ำหนัก โดยใช้โปรแกรม SAS ซึ่งเป็นโปรแกรมทางสถิติในการจำลองข้อมูล กำหนดจำนวนทรีตเมนต์ ( $k$ ) และจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์ ( $n$ ) เป็นดังนี้  $(k, n) = (3, 5), (3, 10), (5, 10), (5, 12), (5, 20)$  กำหนดค่าความแปรปรวนแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ

4.1 ความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย หมายถึง ที่  $k = 3$  ความแปรปรวนของกลุ่มที่ได้รับทรีตเมนต์ต่างกันมีอัตราส่วน เป็น 1: 1: 2 และที่  $k = 5$  ความแปรปรวนของกลุ่มที่ได้รับทรีตเมนต์ต่างกันมีอัตราส่วนเป็น 1: 1: 1: 2: 2

4.2 ความแปรปรวนแตกต่างกันปานกลาง หมายถึง ที่  $k = 3$  ความแปรปรวนของกลุ่มที่ได้รับทรีตเมนต์ต่างกันมีอัตราส่วนเป็น 1: 2: 3 และที่  $k = 5$  ความแปรปรวนของกลุ่มที่ได้รับทรีตเมนต์ต่างกันมีอัตราส่วนเป็น 1: 1: 2: 2: 5

4.3 ความแปรปรวนแตกต่างกันมาก หมายถึง ที่  $k = 3$  ความแปรปรวนของกลุ่มที่ได้รับทรีตเมนต์ต่างกันมีอัตราส่วนเป็น 1: 3: 6 และที่  $k = 5$  ความแปรปรวนของกลุ่มที่ได้รับทรีตเมนต์ต่างกันมีอัตราส่วนเป็น 1: 1: 2: 2: 10

โดยกำหนดให้ความแปรปรวนน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.25 กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบเป็น 0.05 นอกจากนี้ยังกำหนดการแจกแจงของตัวแปรตอบสนองให้เป็นการแจกแจงปกติและการแจกแจงล็อกนอร์มอล กระจายซ้ำในแต่ละสถานการณ์เป็นจำนวน 1,000 รอบ จากนั้น นำข้อมูลที่จำลองได้ไปแปลงโดยวิธีการแปลงข้อมูลในสมการ (2.1), (2.2), (2.3), (3.1) และ (3.2) นำข้อมูลที่แปลงแล้วไปทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของวิธีการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน โดยเกณฑ์ที่ใช้จะพิจารณาจากสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน การแจกแจงปกติของข้อมูล และการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จของวิธีที่นำเสนอกับวิธีอื่นๆ ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

## 4.1 ระดับความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย

### 4.1.1 การแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ วิธีการแปลงข้อมูลโดยการถ่วงน้ำหนัก ( $W$ ) และวิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จเป็นร้อยละ 100 ทุกกรณี วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N$ ) และวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 80 เกือบทุกกรณี ยกเว้นเมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์เป็น 20 มีค่าสัดส่วนความสำเร็จลดลงเป็นร้อยละ 69.3 และ 61.2 ตามลำดับ วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 90 ทุกกรณี

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงล็อกนอร์มอล วิธีการแปลงข้อมูลโดยการถ่วงน้ำหนัก ( $W$ ) และวิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จเป็นร้อยละ 100 ทุกกรณี วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 80 ทุกกรณี วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 70 เมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์เป็น 5 และ 10 ส่วนในกรณีอื่นๆ วิธีการแปลงข้อมูลนี้ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จน้อยกว่าร้อยละ 60 วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 70 ทุกกรณี

### 4.1.2 การแก้ปัญหาการแจกแจงปกติ

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ ทุกวิธีการแปลงข้อมูลให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 90 ทุกกรณี

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงล็อกนอร์มอล วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ( $BC_N$ ) และวิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 90 ทุกกรณี สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 70 ทุกกรณี วิธีการถ่วงน้ำหนัก ( $W$ ) ส่วนใหญ่จะให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 70 เมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์เป็น 5 และ 10 วิธีการแปลงข้อมูล

แบบบ็อกซ์ - คือกล่องซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) ส่วนใหญ่จะให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 70 เกือบทุกกรณี ยกเว้นเมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์เป็น 20

#### 4.1.3 การทดสอบเปรียบเทียบค่าสัดส่วนความสำเร็จ

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ วิธีการแปลงข้อมูลที่ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติสูงสุด คือ วิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - คือกล่องแล้ว ( $BC_N + W$ ) โดยเมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าสัดส่วนความสำเร็จแล้วพบว่า วิธีการแปลงข้อมูลนี้ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จของการแก้ปัญหาทั้ง 2 ประการ แตกต่างจากค่าสัดส่วนความสำเร็จของวิธีการแปลงข้อมูลอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญเกือบทุกกรณี

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงลิออนอร์มอล วิธีการแปลงข้อมูลที่ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติสูงสุด คือ วิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - คือกล่องแล้ว ( $BC_N + W$ ) โดยเมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จแล้วพบว่า วิธีการแปลงข้อมูลนี้ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จของการแก้ปัญหาทั้ง 2 ประการ แตกต่างจากค่าสัดส่วนความสำเร็จของวิธีการแปลงข้อมูลอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญเกือบทุกกรณี

ผลการศึกษาดังกล่าวที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนความสำเร็จ\*\* ซึ่งเป็นผลจากการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนด้วยสถิติทดสอบเลวินและการทดสอบการแจกแจงปกติด้วยสถิติทดสอบชาปิโร - วิลค์สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติและล็อกนอร์มอล และมีความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย

จำนวนซ้ำ ในทรีตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	การแจกแจงปกติ					การแจกแจงล็อกนอร์มอล					
		BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	
5	ความแปรปรวนทุก ทรีตเมนต์เท่ากัน	0.934	0.902	1.000*	0.910	1.000	0.927	0.800	1.000*	0.846	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทรีตเมนต์ที่ 1	0.955*	0.951	0.941	0.945	0.955	0.949*	0.936	0.901	0.919	0.949
		ทรีตเมนต์ที่ 2	0.966*	0.962	0.954	0.960	0.966	0.957*	0.941	0.904	0.913	0.957
		ทรีตเมนต์ที่ 3	0.963*	0.971	0.950	0.940	0.963	0.948*	0.924	0.839	0.890	0.948
10	ความแปรปรวนทุก ทรีตเมนต์เท่ากัน	0.901	0.852	1.000*	0.945	1.000	0.919	0.715	1.000*	0.830	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทรีตเมนต์ที่ 1	0.958*	0.962	0.954	0.957*	0.958	0.966*	0.937	0.772	0.870	0.966
		ทรีตเมนต์ที่ 2	0.961*	0.961*	0.956	0.958	0.961	0.965*	0.922	0.763	0.833	0.965
		ทรีตเมนต์ที่ 3	0.972*	0.966	0.952	0.962	0.972	0.963*	0.890	0.634	0.783	0.963
10	ความแปรปรวนทุก ทรีตเมนต์เท่ากัน	0.878	0.807	1.000*	0.938	1.000	0.861	0.588	1.000*	0.779	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทรีตเมนต์ที่ 1	0.954	0.954	0.954	0.936	0.951	0.967*	0.940	0.772	0.857	0.966
		ทรีตเมนต์ที่ 2	0.955	0.958*	0.956	0.949	0.959	0.964*	0.923	0.763	0.839	0.962
		ทรีตเมนต์ที่ 3	0.944*	0.952	0.952	0.938	0.944	0.956*	0.923	0.776	0.837	0.957
		ทรีตเมนต์ที่ 4	0.956	0.960*	0.944	0.935	0.959	0.941*	0.864	0.600	0.696	0.941
ทรีตเมนต์ที่ 5		0.963	0.956*	0.942	0.940	0.958	0.952	0.871	0.617	0.763	0.946	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	การแจกแจงปกติ					การแจกแจงสี่กอนอร์มอล					
		BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	
12	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.847	0.800	1.000*	0.948	1.000	0.865	0.565	1.000*	0.805	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.967*	0.962	0.955	0.952	0.968	0.969*	0.934	0.722	0.831	0.969
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.960	0.963*	0.957	0.955	0.964	0.967	0.892	0.678	0.780	0.964
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.953*	0.954*	0.946	0.947	0.953	0.958*	0.899	0.696	0.779	0.959
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.951	0.965	0.955	0.939	0.961	0.953	0.867	0.516	0.668	0.960
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.958*	0.964	0.958*	0.939	0.960	0.964	0.860	0.528	0.672	0.956
20	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.693	0.612	1.000*	0.974	1.000	0.830	0.420	1.000*	0.747	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.950*	0.950*	0.949*	0.942	0.950	0.964*	0.868	0.477	0.666	0.964
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.955*	0.958	0.951	0.951	0.955	0.971*	0.860	0.517	0.682	0.971
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.950*	0.947	0.951*	0.945	0.950	0.959*	0.851	0.467	0.618	0.958
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.963*	0.966	0.952	0.936	0.963	0.953	0.786	0.268	0.473	0.949
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.979*	0.973	0.958	0.951	0.979	0.965	0.757	0.251	0.451	0.949

\* ค่าสัดส่วนความสำเร็จของแต่ละวิธีการแปลงไม่แตกต่างกับค่าสัดส่วนความสำเร็จของวิธี BC<sub>N</sub>+W

\*\* นับจำนวนการไม่ปฏิบัติสมมติฐานว่างหารด้วยจำนวนรอบ

## 4.2 ระดับความแปรปรวนแตกต่างกันปานกลาง

### 4.2.1 การแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากัน

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ วิธีการแปลงข้อมูลโดยการถ่วงน้ำหนัก (W) และวิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จเป็นร้อยละ 100 ทุกกรณี วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ( $BC_N$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 80 เกือบทุกกรณี ยกเว้นเมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในทริทเมนต์เป็น 20 มีค่าสัดส่วนความสำเร็จลดลงเป็นร้อยละ 61.5 วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 70 เมื่อจำนวนทริทเมนต์เป็น 3 และเมื่อจำนวนทริทเมนต์เป็น 5 มีค่าสัดส่วนความสำเร็จน้อยกว่าร้อยละ 50 วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 90 ทุกกรณี

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงลีอกนอร์มอล วิธีการแปลงข้อมูลโดยการถ่วงน้ำหนัก (W) และวิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จเป็นร้อยละ 100 ทุกกรณี วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ( $BC_N$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 90 เมื่อจำนวนทริทเมนต์เป็น 3 และเมื่อจำนวนทริทเมนต์เป็น 5 จะมีค่าสัดส่วนความสำเร็จน้อยกว่าร้อยละ 60 วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) ส่วนใหญ่จะให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จน้อยกว่าร้อยละ 50 วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 70 ทุกกรณี

### 4.2.2 การแก้ปัญหาคการแจกแจงปกติ

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ ทุกวิธีการแปลงข้อมูลให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 90 ทุกกรณี

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงลีอกนอร์มอล วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ( $BC_N$ ) และวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) ส่วนใหญ่จะให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 80 วิธีการแปลงข้อมูลโดยการถ่วงน้ำหนัก (W) และวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) ส่วนใหญ่จะให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 70 แต่เมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในทริทเมนต์เป็น 20 ค่าสัดส่วนความสำเร็จจะน้อยกว่าร้อยละ 50 วิธีการถ่วงน้ำหนัก

ข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 70 เกือบทุกกรณี

#### 4.2.3 การทดสอบเปรียบเทียบค่าสัดส่วนความสำเร็จ

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ วิธีการแปลงข้อมูลที่ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติได้ดี คือ วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) โดยเมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าสัดส่วนความสำเร็จแล้วพบว่า วิธีการแปลงข้อมูลนี้ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันแตกต่างจากวิธีการแปลงข้อมูลอื่นที่ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทุกกรณี และมีค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติแตกต่างจากวิธีการแปลงข้อมูลอื่นที่ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญเกือบทุกกรณี

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงลิออนอร์มอล วิธีการแปลงข้อมูลที่ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติได้ดี คือ วิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) โดยเมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จแล้วพบว่า วิธีการแปลงข้อมูลนี้ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันแตกต่างจากค่าสัดส่วนความสำเร็จของวิธีการแปลงข้อมูลอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทุกกรณี และส่วนใหญ่จะมีค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติแตกต่างจากวิธีการแปลงข้อมูลอื่นที่ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการศึกษาดังกล่าวที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สัดส่วนความสำเร็จ\*\* ซึ่งเป็นผลจากการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนด้วยสถิติทดสอบเลวินและการทดสอบการแจกแจงปกติด้วยสถิติทดสอบชาปิโร - วิลค์สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติและลือกนอร์มอล และมีความแปรปรวนแตกต่างกันปานกลาง

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	การแจกแจงปกติ					การแจกแจงลือกนอร์มอล					
		BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	
5	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.955	0.866	1.000*	0.952	1.000	0.918	0.734	1.000*	0.895	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.945*	0.953	0.941	0.952	0.945	0.914*	0.944	0.901	0.919	0.914
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.960*	0.966	0.954	0.960*	0.960	0.914*	0.930	0.853	0.888	0.914
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.949*	0.964	0.950*	0.937	0.949	0.872*	0.901	0.793	0.874*	0.872
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.955	0.778	1.000*	0.983	1.000	0.911	0.560	1.000*	0.897	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.952*	0.954*	0.954*	0.963	0.952	0.919*	0.951	0.772	0.894	0.919
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.950*	0.962	0.956	0.967	0.950	0.864*	0.885	0.605	0.742	0.864
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.941*	0.964	0.952	0.953	0.941	0.801*	0.822	0.495	0.731	0.801
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.811	0.449	1.000*	0.940	1.000	0.592	0.270	1.000*	0.798	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.935	0.946	0.954	0.932*	0.932	0.920	0.962	0.772	0.871	0.914
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.942*	0.956	0.956	0.942*	0.940	0.900	0.939	0.763	0.833	0.882
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.936*	0.950	0.952	0.932	0.937	0.838	0.903	0.634	0.749	0.819
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.944*	0.951	0.944*	0.942	0.945	0.776	0.838	0.600	0.680	0.753
ทริตเมนต์ที่ 5	0.935*	0.958	0.942	0.934*	0.935	0.695	0.708	0.328	0.537	0.546		

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	การแจกแจงปกติ					การแจกแจงสี่กอนอร์มอล					
		BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	
12	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.811	0.379	1.000*	0.955	1.000	0.533	0.216	1.000*	0.804	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.941*	0.953	0.955	0.957	0.939	0.929	0.957	0.722	0.838	0.917
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.950*	0.961	0.957	0.950*	0.952	0.875	0.915	0.678	0.779	0.857
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.936*	0.956	0.946	0.955	0.935	0.821	0.873	0.508	0.636	0.779
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.939*	0.954	0.955	0.951	0.939	0.789	0.833	0.516	0.613	0.762
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.932*	0.969	0.958	0.938	0.932	0.690	0.659	0.242	0.438	0.525
20	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.615	0.134	1.000*	0.983	1.000	0.284	0.092	1.000*	0.798	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.894*	0.944	0.949	0.945	0.894	0.916	0.923	0.477	0.636	0.894
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.916*	0.948	0.951	0.950	0.916	0.890	0.889	0.517	0.631	0.868
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.897*	0.948	0.951	0.945	0.897	0.782	0.779	0.252	0.376	0.736
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.904*	0.953	0.952	0.950	0.904	0.738	0.741	0.268	0.362	0.789
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.921*	0.977	0.958	0.955	0.921	0.619	0.393	0.029	0.152	0.332

\* ค่าสัดส่วนความสำเร็จของแต่ละวิธีการแปลงไม่แตกต่างกับค่าสัดส่วนความสำเร็จของวิธี BC<sub>N</sub>+W

\*\* นับจำนวนการไม่ปฏิเสธสมมติฐานว่างหารด้วยจำนวนรอบ

### 4.3 ระดับความแปรปรวนแตกต่างกันมาก

#### 4.3.1 การแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ วิธีการแปลงข้อมูลโดยการถ่วงน้ำหนัก ( $W$ ) และวิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จเป็นร้อยละ 100 ทุกกรณี วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 70 เมื่อจำนวนทริตเมนต์เป็น 3 และเมื่อจำนวนทริตเมนต์เป็น 5 ค่าสัดส่วนความสำเร็จจะน้อยกว่าร้อยละ 50 วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 80 เมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทริตเมนต์เป็น 5 และจำนวนทริตเมนต์เป็น 3 ส่วนในกรณีอื่นๆ จะมีค่าสัดส่วนความสำเร็จน้อยกว่าร้อยละ 50 วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 90 ทุกกรณี

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงลิออนอร์มอล วิธีการแปลงข้อมูลโดยการถ่วงน้ำหนัก ( $W$ ) และวิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จเป็นร้อยละ 100 ทุกกรณี วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 80 เมื่อจำนวนทริตเมนต์เป็น 3 และเมื่อจำนวนทริตเมนต์เป็น 5 ค่าสัดส่วนจะน้อยกว่าร้อยละ 50 วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จน้อยกว่าร้อยละ 50 เกือบทุกกรณี วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 60 ทุกกรณี

#### 4.3.2 การแก้ปัญหาการแจกแจงปกติ

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ ทุกวิธีการแปลงข้อมูลให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 90 ทุกกรณี

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงลิออนอร์มอล วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ( $BC_N$ ) ส่วนใหญ่จะให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 70 ยกเว้น เมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทริตเมนต์เป็น 20 ค่าสัดส่วนความสำเร็จจะน้อยกว่าร้อยละ 50 วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 80 วิธีการแปลงข้อมูลโดยการถ่วงน้ำหนัก ( $W$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จน้อยกว่าร้อยละ 50 เกือบทุกกรณี วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้

กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) และวิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) ส่วนใหญ่จะให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จมากกว่าร้อยละ 70 แต่เมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์เป็น 20 ค่าสัดส่วนความสำเร็จจะน้อยกว่าร้อยละ 50

#### 4.3.3 การทดสอบเปรียบเทียบค่าสัดส่วนความสำเร็จ

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ วิธีการแปลงข้อมูลที่ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาค่าการแจกแจงปกติได้ดี คือ วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) โดยเมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จแล้วพบว่า ส่วนใหญ่วิธีการแปลงข้อมูลนี้ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จของการแก้ปัญหาทั้ง 2 ประการ ไม่แตกต่างจากวิธีการแปลงข้อมูลอื่นที่ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จสูงสุด

กรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงล็อกนอร์มอล พบว่า ไม่มีวิธีการแปลงข้อมูลใดใน 5 วิธีที่ดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันและค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาค่าการแจกแจงปกติได้

ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนความสำเร็จ\*\* ซึ่งเป็นผลจากการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนด้วยสถิติทดสอบเลอวินและการทดสอบการแจกแจงปกติด้วยสถิติทดสอบชาปิโร – วิลค์สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติและลึอกนอร์มอล และมีความแปรปรวนแตกต่างกันมาก

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	การแจกแจงปกติ					การแจกแจงลึอกนอร์มอล					
		BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	
5	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.883	0.834	1.000*	0.971	1.000	0.878	0.568	1.000*	0.834	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.932*	0.985	0.941	0.932*	0.932	0.920*	0.899	0.901	0.935	0.920
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.953*	0.962	0.954*	0.953*	0.953	0.855*	0.924	0.810	0.862	0.855
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.952*	0.960	0.950*	0.933	0.952	0.754*	0.832	0.683	0.806	0.754
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.782	0.440	1.000*	0.972	1.000	0.903	0.316	1.000*	0.872	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.948*	0.947*	0.954	0.961	0.948	0.909*	0.955	0.772	0.933	0.909
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.937*	0.957	0.956	0.948	0.937	0.673*	0.863	0.482	0.700	0.673
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.938*	0.960	0.952	0.950	0.938	0.449*	0.665	0.288	0.541	0.449
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.317	0.187	1.000*	0.968	1.000	0.240	0.132	1.000*	0.615	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.810	0.819	0.954	0.810	0.780	0.912*	0.902	0.772	0.924	0.913
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.950	0.920	0.956	0.950	0.902	0.853	0.948	0.763	0.857	0.844
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.948	0.938	0.952	0.948	0.930	0.732	0.882	0.634	0.719*	0.719
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.942	0.944	0.944	0.942	0.937	0.669	0.789	0.600	0.655	0.665
ทริตเมนต์ที่ 5	0.939	0.956	0.942	0.941	0.922	0.275	0.454	0.142	0.342	0.216		

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	การแจกแจงปกติ					การแจกแจงลิอองอร์มอล					
		BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	
12	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.240	0.078	1.000*	0.962	1.000	0.204	0.079	1.000*	0.632	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.918*	0.949	0.955	0.918*	0.920	0.933	0.686	0.722	0.903	0.927
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.938	0.933	0.957	0.938	0.930	0.815	0.948	0.678	0.806*	0.807
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.947*	0.944	0.946*	0.947*	0.947	0.649	0.869	0.508	0.614	0.638
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.954	0.938	0.955	0.954	0.950	0.624	0.800	0.516	0.583	0.616
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.940	0.960	0.958	0.937*	0.937	0.218	0.428	0.103	0.219	0.164
20	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.061	0.003	1.000*	0.917	1.000	0.053	0.060	1.000*	0.773	1.000	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.925	0.936	0.949	0.929*	0.930	0.900	0.795	0.477	0.963	0.879
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.932*	0.912	0.951	0.933	0.930	0.789	0.946	0.517	0.629	0.771
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.940	0.928	0.951	0.941	0.944	0.513	0.865	0.252	0.338	0.488
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.947*	0.939	0.952	0.950	0.946	0.475	0.821	0.268	0.333	0.462
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.948*	0.976	0.958	0.946*	0.947	0.056	0.444	0.008	0.029	0.020

\* ค่าสัดส่วนความสำเร็จของแต่ละวิธีการแปลงไม่แตกต่างกับค่าสัดส่วนความสำเร็จของวิธี BC<sub>N</sub>+W

\*\* นับจำนวนการไม่ปฏิเสธสมมติฐานว่างหารด้วยจำนวนรอบ

## บทที่ 5

### สรุปและอภิปรายผล

ในงานวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของวิธีการแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากันด้วยวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ และวิธีการถ่วงน้ำหนัก โดยจำลองข้อมูลในแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ กำหนดปัจจัยการทดลองมีผลกระทบแบบตรง จำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์เท่ากัน โดยกำหนดจำนวนทรีตเมนต์ ( $k$ ) และจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์ ( $n$ ) เป็นดังนี้  $(k, n) = (3, 5), (3, 10), (5, 10), (5, 12), (5, 20)$  กำหนดค่าความแปรปรวนแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย แตกต่างปานกลาง และแตกต่างกันมาก โดยกำหนดการแจกแจงของตัวแปรตอบสนองเป็นการแจกแจงปกติ และการแจกแจงลือกนอร์มอล กระทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์เป็นจำนวน 1,000 รอบ และใช้สถิติทดสอบเลวินในการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนด้วย สถิติทดสอบซาพิโร - วิลค์ในการทดสอบการแจกแจงปกติ และทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าสัดส่วนความสำเร็จของวิธีที่นำเสนอกับวิธีอื่นๆ ด้วยสถิติทดสอบแซดเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบความสามารถของวิธีการแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากัน

#### 5.1 สรุปผล

กรณีตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย และการแจกแจงลือกนอร์มอลที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันน้อยและปานกลาง พบว่า วิธีการแปลงข้อมูลที่สามารถแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากันร่วมกับการแก้ปัญหาคการแจกแจงปกติของข้อมูลได้ คือ วิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) กรณีตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันปานกลางและมาก พบว่า วิธีการแปลงข้อมูลที่สามารถแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากันร่วมกับการแก้ปัญหาคการแจกแจงปกติของข้อมูลได้ คือ วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) สำหรับกรณีตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงลือกนอร์มอลที่มีความแปรปรวนแตกต่างกัน

มาก พบว่า ไม่มีวิธีการแปลงข้อมูลใดใน 5 วิธีที่ดำเนินการศึกษาในครั้งนี้มีความเหมาะสมในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันร่วมกับการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติของตัวแปรตอบสนอง

## 5.2 อภิปรายผล

เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน พบว่า เมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติและการแจกแจงล็อกนอร์มอล วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ( $BC_N$ ) และวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) สามารถแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันได้เพียงบางกรณี โดยเมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์ จำนวนทรีตเมนต์ และความแตกต่างของความแปรปรวนเพิ่มมากขึ้น จะเห็นได้ว่า ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากันจะลดลง ส่วนวิธีการถ่วงน้ำหนัก (W) สามารถแก้ปัญหาความแปรปรวนได้ 100% ทุกกรณี โดยที่จำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์ จำนวนทรีตเมนต์ และความแตกต่างของความแปรปรวนไม่มีผลต่อค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวน สำหรับวิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) เป็นวิธีการแปลงข้อมูลที่สามารถแก้ปัญหาความแปรปรวนได้ 100% ทุกกรณี โดยที่จำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์ จำนวนทรีตเมนต์ และความแตกต่างของความแปรปรวนไม่มีผลต่อค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวน เช่นกัน และในส่วนของวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) พบว่า จำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์ และจำนวนทรีตเมนต์ ไม่มีผลต่อค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวน แต่เมื่อความแปรปรวนแตกต่างกันมากขึ้น ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนจะลดลง

เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติ พบว่า เมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ แต่ละวิธีการแปลงข้อมูลจะให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติสูงใกล้เคียงกัน โดยเมื่อพิจารณาในกรณีที่ความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย วิธีการแปลงข้อมูลที่ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติมากที่สุดเป็นส่วนใหญ่ คือวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ( $BC_N$ ) และวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ร่วมกับวิธีการถ่วงน้ำหนัก ( $BC_N + W$ ) เมื่อพิจารณาในกรณีที่ความแปรปรวนแตกต่างกันปานกลาง วิธีการแปลงข้อมูลที่ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติมากที่สุดเป็นส่วนใหญ่ คือวิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) เมื่อพิจารณาในกรณีที่ความแปรปรวนแตกต่างกันมาก เมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละ

ทริตเมนต์น้อยถึงปานกลาง และจำนวนทริตเมนต์น้อย พบว่า วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติมากที่สุด และเมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทริตเมนต์มีขนาดปานกลางถึงมาก จำนวนทริตเมนต์มาก พบว่า วิธีการถ่วงน้ำหนัก (W) ให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติมากที่สุดเป็นส่วนใหญ่ ในกรณีตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงล็อกนอร์มอลที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย วิธีการแปลงข้อมูลที่ทำให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติมากที่สุดเป็นส่วนใหญ่ คือ วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ร่วมกับวิธีการถ่วงน้ำหนัก ( $BC_N + W$ ) สำหรับความแปรปรวนแตกต่างกันปานกลางถึงมาก วิธีการแปลงข้อมูลที่ทำให้ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติมากที่สุดเป็นส่วนใหญ่ คือ วิธีการแปลงแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) และโดยส่วนใหญ่ค่าสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทริตเมนต์ จำนวนทริตเมนต์ และความแตกต่างของความแปรปรวนเพิ่มมากขึ้น

จากผลงานวิจัยของบ็อกซ์ - ค็อกซ์ (Box - Cox, 1964) พบว่า วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ ( $BC_N$ ) เป็นวิธีการแปลงข้อมูลที่ใช้สำหรับการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติ และวิธีการแปลงข้อมูลแบบ บ็อกซ์ - ค็อกซ์ที่ปรับสำหรับกรณีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ( $BC_{NH}$ ) เป็นวิธีการแปลงข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการความแปรปรวนไม่เท่ากันร่วมกับการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติได้ เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ในกรณีการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติ วิธีการแปลงข้อมูลทั้ง 2 วิธีนี้ สามารถแก้ปัญหาการแจกแจงปกติได้เกือบทุกกรณี แต่ในกรณีของการแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากัน วิธีการแปลงข้อมูลทั้ง 2 วิธีนี้ สามารถแก้ปัญหาได้เพียงบางกรณี ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของพรพล คงอิม (พรพล คงอิม, 2548) ที่สรุปได้ว่า การแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์สามารถแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากันได้ในบางกรณี และเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ หากแปลงข้อมูลด้วย  $\lambda = 0.5$  จะได้ตัวแปรตอบสนองที่ยังคงการแจกแจงปกติไว้ได้ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) ซึ่งเป็นวิธีที่น่าเสนอ พบว่า วิธีที่น่าเสนอสามารถแก้ปัญหาทั้ง 2 ประการได้พร้อมๆ กัน และค่อนข้างดีกว่าในเรื่องของการแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของวรรณพร จันโทภาส (วรรณพร จันโทภาส, 2552) ที่สรุปได้ว่า วิธีการถ่วงน้ำหนักสามารถแก้ปัญหาคความแปรปรวนไม่เท่ากันได้ดี นอกจากนี้วิธีที่น่าเสนอยังเป็นวิธีที่สะดวกต่อการคำนวณ ดังนั้น วิธีที่น่าเสนอนี้ จึงอาจใช้เป็นทางเลือกหนึ่งให้กับนักวิจัยในการแปลงข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนได้

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

### 5.3.1 ด้านการนำไปใช้

ในกรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีลักษณะตรงตามสถานการณ์ที่กำหนดในการศึกษารั้งนี้ ผู้วิจัยสามารถนำเอาวิธีการแปลงข้อมูลที่นำเสนอไปใช้ในการแปลงข้อมูลได้ ดังนี้

1) วิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลซึ่งได้จากการแปลงแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์แล้ว ( $BC_N + W$ ) สามารถแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันร่วมกับการแก้ปัญหาค่าการแจกแจงปกติของตัวแปรตอบสนองได้ 3 กรณี คือ

(1) ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย

(2) ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงลอการิธึมปกติที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย

(3) ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงลอการิธึมปกติที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันปานกลาง

2) วิธีการแปลงข้อมูลแบบบ็อกซ์ - ค็อกซ์ซึ่งประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว ( $W + BC_N$ ) สามารถแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันร่วมกับการแก้ปัญหาค่าการแจกแจงปกติของตัวแปรตอบสนองได้ 2 กรณี คือ

(1) ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันปานกลาง

(2) ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันมาก

ส่วนในกรณีที่ตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงลอการิธึมปกติที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันมากควรเลือกใช้วิธีการแปลงข้อมูลอื่นจะมีความเหมาะสมมากกว่า

### 5.3.2 ด้านการทำงานวิจัยครั้งต่อไป

สำหรับงานวิจัยในครั้งต่อไป อาจกำหนดลักษณะของข้อมูลให้เป็นข้อมูลในแผนแบบการทดลองอื่น และทำการจำลองข้อมูลด้วยการแจกแจงในรูปแบบอื่นๆ ที่หลากหลายมากขึ้น กำหนดจำนวนทรีตเมนต์และจำนวนซ้ำของหน่วยทดลองในแต่ละทรีตเมนต์ในขนาดต่างๆ และในส่วนของความแปรปรวนอาจกำหนดความแตกต่างของความแปรปรวนในอัตราส่วนที่ต่างออกไปจาก

งานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อให้ได้ผลสรุปในเรื่องของวิธีการแปลงข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาคอมพิวเตอร์แปรปรวนไม่เท่ากันที่มีความครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

## บรรณานุกรม

- จิริยา เสกสรร. 2551. ผลกระทบของการฝ่าฝืนข้อกำหนดเบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นเอกภาพของความแปรปรวนต่อความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างประชากรสองกลุ่ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- จิราวัลย์ จิตรถเวช. 2552. การวางแผนและการวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพมหานคร: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
- ัชชวาล เรื่องประพันธ์. ม.ป.ป. การทดสอบการแจกแจงปกติด้วย Shapiro - Wilk Test. ค้นวันที่ 10 มีนาคม 2555 จาก <http://home.kku.ac.th/wichuda/BasicStat/Slide/wilk%20test.pdf>
- เชษฐา งามจรัส. 2544. การเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลที่มีลักษณะการแจกแจงเอ็กซ์โปเนนเชียลให้เป็นการแจกแจงปกติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ธวัชชัย วรพงศธร, สินีนาถ แต่เจริญกุล และชูเกียรติ วิวัฒน์วงศ์เกษม. 2547. การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และอำนาจการทดสอบของสถิติ Batlett's test, Levene's Test และ Cochran's test ภายใต้การละเมิดข้อตกลงเบื้องต้น. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 26 (4): 537-5477
- พุทธิธา ภู่อระกุล. 2552. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงข้อมูลแบบ Box - Cox สำหรับแผนแบบการทดลองสุ่มตลอดที่มีความไม่เป็นเอกภาพของความแปรปรวน. ค้นวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2555 จาก <http://www.pt.tsu.ac.th/rdi/ConAll/ORAL19/O19.pdf>
- พรพล คงอิม. 2548. การแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับความไม่เป็นเอกภาพของความแปรปรวนในแผนแบบการทดลองสุ่มตลอด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มัลลิกา บุญนาค. 2539. สถิติเพื่อการตัดสินใจ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- วรรณพร จันโทภาส. 2552. การเปรียบเทียบการทดสอบและวิธีการแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนไม่คงที่ของความคลาดเคลื่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
- วิธิตา สุนทรวิภาต. 2547. การศึกษาเปรียบเทียบวิธีแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่จากสาเหตุต่างๆในการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สภาระ คำมีแสง. 2550. การเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลเมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อสมมติของการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนในแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สิริทิพ วะสินรัตน์. 2549. การเปรียบเทียบการทดสอบของภาวะรูปสถิติโดยสถิติไลค์ลิสต์ เรโซว์สำหรับการแจกแจงปกติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Bickel, P. J. and Doksum, K. A. 1981. An Analysis of Transformations Revisited. **Journal of the American Statistical Association**. 76 (June): 296 - 311. Retrieved November 22, 2011 from <http://www.stat.purdue.edu/~dasgupta/528-6.pdf>
- Bowerman, B. L.; O'Connell, R. T.; Dickey, D. A. 1986. **Linear Statistical Models An Applied Approach**. Boston: PWS Publishes
- Box, G. E. P and Cox, D. R. 1964. An Analysis of Transformations. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**. 26 (2): 211 - 252. Retrieved November 19, 2011 from <http://www.jstor.org/stable/2984418>
- Cochran, W. G. and Cox, G. M. 1957. **Experimental Design**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons
- Conover, W. J.; Johnson, M. E. and Johnson, M. M. 1981. A Comparative Study of Tests for Homogeneity of Variances: With Applications to the Outer Continental Shelf Bidding Data. **Technometrics**. 23 (November): 351 - 361. Retrieved November 20, 2011 from <http://www.jstor.org/stable/1268225>
- Draper, N. R. and Smith, H. 1998. **Applied Regression Analysis**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons
- Gorbunova, A. A.; Lemeshko, B. Y. and Lemeshko, S. B. 2010 . **About Robustness and Power of Variance Homogeneity Tests**. Retrieved November 19, 2011 from [http://ami.nstu.ru/~headrd/seminar/publik\\_html/CDAM\\_2010\\_gorbunova.pdf](http://ami.nstu.ru/~headrd/seminar/publik_html/CDAM_2010_gorbunova.pdf)

- Hollander, M. and Wolfe, D. A. 1973. **Nonparametric Statistic Methods**. 2<sup>nd</sup> ed . New York: John Wiley & Sons, Inc
- John, J. A. and Draper, N. R. 1980. An Alternative Family of Transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**. 29 (2): 190 - 197. Retrieved November 20, 2011 from <http://www.jstor.org/stable/2986305>
- Johnson, R. A. and Bhattacharyya, G. K. 1987. **Statistics Principles and Methods**. 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, Inc
- Kempthorne, O. 1952. **The Design and Analysis of Experiments**. New York: John Wiley & Sons, Inc
- Lakhana Watthanacheewakul. 2007. **Testing Means of Several Pareto Distribution**. Doctoral dissertation, National Institute of Development Administration
- Lehmann, E. L. 1975. **Nonparametrics: Statistical Methods Based on Ranks**. San Francisco: Holden - Day, Inc
- Levene, H. 1960. Robust Tests for Equality of Variances. In **Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling**. Olkin, I. et al. ed. CA: Stanford University. Pp. 278 – 292.
- Lognormal Distribution**. Retrieved October 25, 2012 from <http://www.engineeredsoftware.com/lmar/lognormal.htm>
- Manly, B. F. J. 1976. Exponential Data Transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**. Blackwell Publishing for Royal Statistic Society. 25 (March): 37- 42. Retrieved November 20, 2011 from <http://www.jstor.org/stable/2988129>
- Maxwell, S. E. and Delaney, H. D. 2004. **Designing Experiments and Analyzing Data**. 2<sup>nd</sup> ed. Boston: Lawrence Erlraum Associates, Publisher
- Mayers, J. L. and Well, A. D. 2003. **Research Design and Statistic Analysis**. 2<sup>nd</sup> ed. Mahwah: Lawrence Erlraum Associates, Publisher
- Moder, K. 2010. Alternatives to F – Test in One Way ANOVA in Case of Heterogeneity of Variances (a simulation study). **Psychological Test and Assessment Modeling**. 52 (4): 343 - 353

- NIST/SEMATECH. 2003. Leven Test for Equal of Variances. **Engineering Statistics Handbook**. Retrieved April 25, 2012 from <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35a.htm>
- Normal Distribution**. Retrieved October 25, 2012 from [http://www.statit.com/support/quality\\_practice\\_tips/estimating\\_std\\_dev.shtml](http://www.statit.com/support/quality_practice_tips/estimating_std_dev.shtml)
- Rasmussen, J. L. and Dunlap, W. P. 1991. Dealing with Nonnormal Data: Parametric Analysis of Transformed Data VS Nonparametric Analysis. **Education and Psychological Measurement**. 51 (Winter): 809 - 820.
- Royston, J. P. 1982. An Extension of Shapiro and Wilk's W test for Normality to Large Sample. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)**. 31 (2): 115 - 124. Retrieved November 19, 2011 from <http://www.jstor.org/stable/2347973>
- Scheffe', H. 1959. **The Analysis of Variance**. New York: John Wiley & Sons, Inc
- Shapiro, S. S. and Wilk, M. B. 1965. An Analysis of Variance Test for Normality(Complete Samples). **Biometrika**. 52 (December): 591 - 611. Retrieved May 21, 2012 from <http://www.jstor.org/discover/10.2307/2333709>
- Shapiro, S. S.; Wilk, M. B. and Chen, H. J. 1968. A Comparative Study of Variance Tests for Normality. **The Journal of the American Statistical Association**. 63 (December): 1343 - 1372. Retrieved November 19, 2011 from <http://www.jstor.org/stable/2285889>
- Sprinthall, R. C. 2003. **Basic Statistical Analysis**. 7<sup>th</sup> ed. Boston: Allyn and Bacon
- Tukey, J. W. 1957. On the Comparative Anatomy of Transformations. **The Annals of Mathematical Statistics**. 28 (September): 602 - 632. Retrieved January 24, 2012 from <http://www.jstor.org/stable/2237223>
- Wilcox, R. R. 1987. New Designs in Analysis of Variance. **Annual Review of Psychology**. 38 (February): 29 - 60
- Yang, Z. 2002. A Modified Family of Power Transformations. **Research Collection School of Economics (Open Access)**. Retrieved January 30, 2012 from [http://ink.library.smu.edu.sg/soe\\_research/698](http://ink.library.smu.edu.sg/soe_research/698)

Yeo, I. K. and Jhonson, R. A. 2000. A New Family of Power Transformations to Improve Normality or Symmetry. **Biometrika**. 87 (December): 954 - 959. Retrieved November 20, 2011 from <http://www.jstor.org/stable/2673623>

ภาคผนวก

## ภาคผนวก

ตารางสัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาความแปรปรวนไม่เท่ากัน สัดส่วนความสำเร็จในการแก้ปัญหาการแจกแจงปกติ สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติและลือกนอร์มอล และมีความแปรปรวนแตกต่างกัน

ตารางที่ 1 สัดส่วนความสำเร็จและการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จ โดยการทดสอบแซด ซึ่งใช้วิธีการแปลงข้อมูลแบบ  $BC_N+W$  เป็นเกณฑ์ สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ และมีความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	ค่าสัดส่วนความสำเร็จ					สถิติทดสอบแซด					
		$BC_N$	$BC_{NH}$	W	$W+BC_N$	$BC_N+W$	$BC_N$	$BC_{NH}$	W	$W+BC_N$	$BC_N+W$	
5	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.934	0.902	1.000	0.910	1.000	47.48	71.09	0.00	65.15	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.955	0.951	0.941	0.945	0.955	0.00	2.90	10.17	7.26	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.966	0.962	0.954	0.960	0.966	0.00	2.88	8.66	4.33	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.963	0.971	0.950	0.940	0.963	0.00	5.76	9.40	16.68	-
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.901	0.852	1.000	0.945	1.000	71.84	108.80	0.00	39.46	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.958	0.962	0.954	0.957	0.958	0.00	2.89	2.89	0.72	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.961	0.961	0.956	0.958	0.961	0.00	0.00	3.61	2.17	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.972	0.966	0.952	0.962	0.972	0.00	4.31	14.43	7.19	-
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.878	0.807	1.000	0.938	1.000	89.07	143.64	0.00	44.56	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.954	0.954	0.954	0.936	0.951	2.17	2.17	2.17	10.92	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.955	0.958	0.956	0.949	0.959	2.89	0.72	2.17	7.25	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.944	0.952	0.952	0.938	0.944	0.00	5.81	5.81	4.38	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.956	0.960	0.944	0.935	0.959	2.17	0.72	10.88	17.45	-
ทริตเมนต์ที่ 5		0.963	0.956	0.942	0.940	0.958	3.61	1.45	11.61	13.07	-	

ตารางที่ 1 (ต่อ)

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	ค่าสัดส่วนความสำเร็จ					สถิติทดสอบแซด					
		BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	
12	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.847	0.800	1.000	0.948	1.000	112.63	149.14	0.00	37.28	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.967	0.962	0.955	0.952	0.968	0.72	4.32	9.38	11.55	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.960	0.963	0.957	0.955	0.964	2.89	0.72	5.05	6.50	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.953	0.954	0.946	0.947	0.953	0.00	0.72	5.08	4.35	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.951	0.965	0.955	0.939	0.961	7.24	2.88	4.34	15.97	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.958	0.964	0.958	0.939	0.960	1.44	2.89	1.44	15.25	-
20	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.693	0.612	1.000	0.974	1.000	236.04	305.72	0.00	18.51	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.950	0.950	0.949	0.942	0.950	0.00	0.00	0.73	5.82	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.955	0.958	0.951	0.951	0.955	0.00	2.17	2.90	2.90	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.950	0.947	0.951	0.945	0.950	0.00	2.17	0.73	3.63	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.963	0.966	0.952	0.936	0.963	0.00	2.16	7.95	19.60	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.979	0.973	0.958	0.951	0.979	0.00	4.30	15.10	20.16	-

ตารางที่ 2 สัดส่วนความสำเร็จและการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จโดยการทดสอบแซด ซึ่งใช้วิธีการแปลงข้อมูลแบบ  $BC_N+W$  เป็นเกณฑ์ สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ และมีความแปรปรวนแตกต่างกันปานกลาง

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	ค่าสัดส่วนความสำเร็จ					สถิติทดสอบแซด					
		$BC_N$	$BC_{NH}$	W	$W+BC_N$	$BC_N+W$	$BC_N$	$BC_{NH}$	W	$W+BC_N$	$BC_N+W$	
5	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.955	0.866	1.000	0.952	1.000	32.20	98.14	0.00	34.37	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.945	0.953	0.941	0.952	0.945	0.00	5.81	2.91	5.08	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.960	0.966	0.954	0.960	0.960	0.00	4.33	4.34	0.00	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.949	0.964	0.950	0.937	0.949	0.00	10.85	0.73	8.74	-
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.955	0.778	1.000	0.983	1.000	32.20	166.56	0.00	12.08	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.952	0.954	0.954	0.963	0.952	0.00	1.45	1.45	7.95	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.950	0.962	0.956	0.967	0.950	0.00	8.68	4.35	12.28	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.941	0.964	0.952	0.953	0.941	0.00	16.67	8.00	8.72	-
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.811	0.449	1.000	0.940	1.000	140.51	457.90	0.00	43.10	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.935	0.946	0.954	0.932	0.932	2.20	10.22	16.03	0.00	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.942	0.956	0.956	0.942	0.940	1.46	11.63	11.63	1.46	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.936	0.950	0.952	0.932	0.937	0.73	9.47	10.92	3.66	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.944	0.951	0.944	0.942	0.945	0.73	4.36	0.73	2.18	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.935	0.958	0.942	0.934	0.935	0.00	19.72	5.11	0.73	-

ตารางที่ 2 (ต่อ)

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	ค่าสัดส่วนความสำเร็จ					สถิติทดสอบแซด					
		BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	
12	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.811	0.379	1.000	0.955	1.000	140.51	529.00	0.00	32.20	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.941	0.953	0.955	0.957	0.939	1.46	10.18	11.63	13.08	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.950	0.961	0.957	0.950	0.952	1.45	6.51	3.62	1.45	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.936	0.956	0.946	0.955	0.935	0.73	15.28	8.02	14.55	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.939	0.954	0.955	0.951	0.939	0.00	10.91	11.63	8.73	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.932	0.969	0.958	0.938	0.932	0.00	26.85	18.92	4.39	-
20	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.615	0.134	1.000	0.983	1.000	303.07	813.46	0.00	12.08	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.894	0.944	0.949	0.945	0.894	0.00	36.90	40.53	37.63	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.916	0.948	0.951	0.950	0.916	0.00	23.45	25.63	27.90	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.897	0.948	0.951	0.945	0.897	0.00	37.56	39.74	35.38	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.904	0.953	0.952	0.950	0.904	0.00	35.97	35.25	33.80	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.921	0.977	0.958	0.955	0.921	0.00	40.67	27.00	24.84	-

ตารางที่ 3 สัดส่วนความสำเร็จและการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จโดยการทดสอบแซด ซึ่งใช้วิธีการแปลงข้อมูลแบบ  $BC_N+W$  เป็นเกณฑ์ สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงปกติ และมีความแปรปรวนแตกต่างกันมาก

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	ค่าสัดส่วนความสำเร็จ					สถิติทดสอบแซด					
		$BC_N$	$BC_{NH}$	W	$W+BC_N$	$BC_N+W$	$BC_N$	$BC_{NH}$	W	$W+BC_N$	$BC_N+W$	
5	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.883	0.834	1.000	0.971	1.000	85.30	122.63	0.00	20.67	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.932	0.985	0.941	0.932	0.932	0.00	38.30	6.58	0.00	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.953	0.962	0.954	0.953	0.953	0.00	6.51	0.72	0.00	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.952	0.960	0.950	0.933	0.952	0.00	5.79	1.45	13.85	-
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.782	0.440	1.000	0.972	1.000	163.38	466.83	0.00	19.95	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.948	0.947	0.954	0.961	0.948	0.00	0.73	4.35	9.41	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.937	0.957	0.956	0.948	0.937	0.00	14.54	13.82	8.02	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.938	0.960	0.952	0.950	0.938	0.00	15.98	10.19	8.74	-
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.317	0.187	1.000	0.968	1.000	595.35	746.44	0.00	22.82	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.810	0.819	0.954	0.810	0.780	23.80	30.85	132.19	23.80	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.950	0.920	0.956	0.950	0.902	35.29	13.34	39.63	35.29	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.948	0.938	0.952	0.948	0.930	13.14	5.86	16.14	13.14	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.942	0.944	0.944	0.942	0.937	3.65	5.11	5.11	3.65	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.939	0.956	0.942	0.941	0.922	12.47	24.82	14.66	13.93	-

ตารางที่ 3 (ต่อ)

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	ค่าสัดส่วนความสำเร็จ					สถิติทดสอบแซด					
		BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	
12	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.240	0.078	1.000	0.962	1.000	682.71	888.56	0.00	27.4	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.918	0.949	0.955	0.918	0.920	1.48	21.22	25.57	1.48	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.938	0.933	0.957	0.938	0.930	5.86	2.20	19.66	5.86	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.947	0.944	0.946	0.947	0.947	0.00	2.18	0.73	0.00	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.954	0.938	0.955	0.954	0.950	2.90	8.74	3.62	2.90	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.940	0.960	0.958	0.937	0.937	2.19	16.71	15.26	0.00	-
20	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.061	0.003	1.000	0.917	1.000	911.85	995.76	0.00	59.98	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.925	0.936	0.949	0.929	0.930	3.67	4.39	13.87	0.73	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.932	0.912	0.951	0.933	0.930	1.47	13.27	15.32	2.20	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.940	0.928	0.951	0.941	0.944	2.92	11.70	5.09	2.19	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.947	0.939	0.952	0.950	0.946	0.73	5.10	4.36	2.91	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.948	0.976	0.958	0.946	0.947	0.73	20.92	7.98	0.73	-

ตารางที่ 4 สัดส่วนความสำเร็จและการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จโดยการทดสอบแซด ซึ่งใช้วิธีการแปลงข้อมูลแบบ  $BC_N+W$  เป็นเกณฑ์ สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงล็อกนอร์มอลและมีความแปรปรวนแตกต่างกันน้อย

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	ค่าสัดส่วนความสำเร็จ					สถิติทดสอบแซด					
		$BC_N$	$BC_{NH}$	W	$W+BC_N$	$BC_N+W$	$BC_N$	$BC_{NH}$	W	$W+BC_N$	$BC_N+W$	
5	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.927	0.800	1.000	0.846	1.000	52.61	149.14	0.00	113.40	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.949	0.936	0.901	0.919	0.949	0.00	9.47	35.31	21.96	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.957	0.941	0.904	0.913	0.957	0.00	11.62	38.87	32.19	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.948	0.924	0.839	0.890	0.948	0.00	17.55	81.58	42.80	-
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.919	0.715	1.000	0.830	1.000	58.50	217.72	0.00	125.73	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.966	0.937	0.772	0.870	0.966	0.00	21.03	147.22	70.88	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.965	0.922	0.763	0.833	0.965	0.00	31.32	153.73	98.49	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.963	0.890	0.634	0.783	0.963	0.00	53.65	260.45	136.28	-
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.861	0.588	1.000	0.779	1.000	101.94	327.07	0.00	165.77	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.967	0.940	0.772	0.857	0.966	0.72	18.84	147.22	80.77	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.964	0.923	0.763	0.839	0.962	1.44	28.42	151.58	91.70	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.956	0.923	0.776	0.837	0.957	0.72	24.81	137.55	89.63	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.941	0.864	0.600	0.696	0.941	0.00	57.34	274.80	191.57	-
ทริตเมนต์ที่ 5		0.952	0.871	0.617	0.763	0.946	4.36	55.67	263.26	140.04	-	

ตารางที่ 4 (ต่อ)

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	ค่าสัดส่วนความสำเร็จ					สถิติทดสอบแซด					
		BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	
12	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.865	0.565	1.000	0.805	1.000	98.90	347.86	0.00	145.21	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.969	0.934	0.722	0.831	0.969	0.00	25.38	190.02	102.91	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.967	0.892	0.678	0.780	0.964	2.16	52.87	223.28	139.39	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.958	0.899	0.696	0.779	0.959	0.72	44.04	204.52	136.60	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.953	0.867	0.516	0.668	0.960	5.06	68.84	365.60	228.95	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.964	0.860	0.528	0.672	0.956	5.78	71.27	351.47	222.67	-
20	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.830	0.420	1.000	0.747	1.000	125.73	486.90	0.00	191.50	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.964	0.868	0.477	0.666	0.964	0.00	70.96	405.84	233.51	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.971	0.860	0.517	0.682	0.971	0.00	82.07	372.32	224.88	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.959	0.851	0.467	0.618	0.958	0.72	79.59	411.46	270.94	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.953	0.786	0.268	0.473	0.949	2.90	123.80	617.50	399.31	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.965	0.757	0.251	0.451	0.949	11.57	147.06	637.38	421.03	-

ตารางที่ 5 สัดส่วนความสำเร็จและการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จโดยการทดสอบแซด ซึ่งใช้วิธีการแปลงข้อมูลแบบ  $BC_N+W$  เป็นเกณฑ์ สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงล็อกนอร์มอลและมีความแปรปรวนแตกต่างกันปานกลาง

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	ค่าสัดส่วนความสำเร็จ					สถิติทดสอบแซด					
		$BC_N$	$BC_{NH}$	W	$W+BC_N$	$BC_N+W$	$BC_N$	$BC_{NH}$	W	$W+BC_N$	$BC_N+W$	
5	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.918	0.734	1.000	0.895	1.000	59.24	202.09	0.00	76.31	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.914	0.944	0.901	0.919	0.914	0.00	22.02	9.65	3.70	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.914	0.930	0.853	0.888	0.914	0.00	11.79	45.91	19.38	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.872	0.901	0.793	0.874	0.872	0.00	21.79	61.25	1.51	-
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.911	0.560	1.000	0.897	1.000	64.41	352.42	0.00	74.82	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.919	0.951	0.772	0.894	0.919	0.00	23.41	113.09	18.58	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.864	0.885	0.605	0.742	0.864	0.00	15.89	213.77	96.31	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.801	0.822	0.495	0.731	0.801	0.00	16.49	268.88	56.58	-
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.592	0.270	1.000	0.798	1.000	323.49	647.98	0.00	150.71	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.920	0.962	0.772	0.871	0.914	4.43	35.06	109.41	32.20	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.900	0.939	0.763	0.833	0.882	13.50	42.26	92.82	37.43	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.838	0.903	0.634	0.749	0.819	14.77	64.04	153.53	55.92	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.776	0.838	0.600	0.680	0.753	18.61	67.42	131.58	61.00	-
ทริตเมนต์ที่ 5		0.695	0.708	0.328	0.537	0.546	133.80	144.71	233.24	8.65	-	

ตารางที่ 5 (ต่อ)

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	ค่าสัดส่วนความสำเร็จ					สถิติทดสอบแซด					
		BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	
12	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.533	0.216	1.000	0.804	1.000	377.32	711.18	0.00	145.99	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.929	0.957	0.722	0.838	0.917	8.84	29.23	152.38	59.66	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.875	0.915	0.678	0.779	0.857	13.68	43.59	144.53	61.01	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.821	0.873	0.508	0.636	0.779	33.22	73.17	238.96	120.26	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.789	0.833	0.516	0.613	0.762	21.69	56.24	217.68	127.11	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.690	0.659	0.242	0.438	0.525	149.74	123.19	323.20	88.68	-
20	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.284	0.092	1.000	0.798	1.000	632.08	869.15	0.00	150.71	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.916	0.923	0.477	0.636	0.894	16.36	21.52	356.26	208.66	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.890	0.889	0.517	0.631	0.868	16.60	15.85	298.36	193.65	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.782	0.779	0.252	0.376	0.736	37.35	34.95	487.05	341.48	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.738	0.741	0.268	0.362	0.789	41.29	38.82	506.89	398.12	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.619	0.393	0.029	0.152	0.332	294.37	71.65	504.35	258.76	-

ตารางที่ 6 สัดส่วนความสำเร็จและการทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนความสำเร็จโดยการทดสอบแซด ซึ่งใช้วิธีการแปลงข้อมูลแบบ  $BC_N+W$  เป็นเกณฑ์ สำหรับวิธีการแปลงข้อมูลแต่ละวิธีเมื่อตัวแปรตอบสนองมีการแจกแจงล็อกนอร์มอลและมีความแปรปรวนแตกต่างกันมาก

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	ค่าสัดส่วนความสำเร็จ					สถิติทดสอบแซด					
		$BC_N$	$BC_{NH}$	W	$W+BC_N$	$BC_N+W$	$BC_N$	$BC_{NH}$	W	$W+BC_N$	$BC_N+W$	
5	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.878	0.568	1.000	0.834	1.000	89.07	345.13	0.00	122.63	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.920	0.899	0.901	0.935	0.920	0.00	0.02	14.09	11.02	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.855	0.924	0.810	0.862	0.855	0.00	0.07	34.89	5.34	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.754	0.832	0.683	0.806	0.754	0.00	0.08	59.25	41.65	-
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.903	0.316	1.000	0.872	1.000	70.35	596.45	0.00	93.60	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.909	0.955	0.772	0.933	0.909	0.00	33.71	105.71	17.69	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.673	0.863	0.482	0.700	0.673	0.00	153.36	177.77	23.05	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.449	0.665	0.288	0.541	0.449	0.00	204.71	187.57	92.49	-
10	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.240	0.132	1.000	0.615	1.000	682.71	816.06	0.00	394.19	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.912	0.902	0.772	0.924	0.913	0.74	8.17	108.67	8.12	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.853	0.948	0.763	0.857	0.844	6.91	77.72	63.92	9.97	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.732	0.882	0.634	0.719	0.719	10.80	128.87	73.10	0.00	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.669	0.789	0.600	0.655	0.665	3.46	102.87	57.81	8.71	-
ทริตเมนต์ที่ 5	0.275	0.454	0.142	0.342	0.216	84.21	290.81	123.69	168.70	-		

ตารางที่ 6 (ต่อ)

จำนวนซ้ำ ในทริตเมนต์	สมมติฐานการทดสอบ	ค่าสัดส่วนความสำเร็จ					สถิติทดสอบแซด					
		BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	BC <sub>N</sub>	BC <sub>NH</sub>	W	W+BC <sub>N</sub>	BC <sub>N</sub> +W	
12	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.204	0.079	1.000	0.632	1.000	725.66	886.88	0.00	288.18	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.933	0.686	0.722	0.903	0.927	4.40	189.83	159.71	17.75	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.815	0.948	0.678	0.806	0.807	6.28	106.48	105.90	0.79	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.649	0.869	0.508	0.614	0.638	9.70	188.24	121.47	21.46	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.624	0.800	0.516	0.583	0.616	7.19	154.68	94.12	30.15	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.218	0.428	0.103	0.219	0.164	87.38	343.17	118.06	88.88	-
20	ความแปรปรวนทุก ทริตเมนต์เท่ากัน	0.053	0.060	1.000	0.773	1.000	923.10	913.25	0.00	170.56	-	
	ตัวแปรตอบสนองมี การแจกแจงปกติ	ทริตเมนต์ที่ 1	0.900	0.795	0.477	0.963	0.879	15.75	64.95	345.34	61.92	-
		ทริตเมนต์ที่ 2	0.789	0.946	0.517	0.629	0.771	14.42	133.61	223.88	120.05	-
		ทริตเมนต์ที่ 3	0.513	0.865	0.252	0.338	0.488	24.99	324.22	274.40	165.08	-
		ทริตเมนต์ที่ 4	0.475	0.821	0.268	0.333	0.462	13.43	317.05	227.10	144.71	-
		ทริตเมนต์ที่ 5	0.056	0.444	0.008	0.029	0.020	130.59	622.53	71.71	40.66	-

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ ชื่อสกุล

นางสาวณาดากา โชติฉิลก

ประวัติการศึกษา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต

มหาวิทยาลัยบูรพา

ปีที่สำเร็จการศึกษา พ.ศ. 2552

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์

วารสารพัฒนบริหารศาสตร์ ปีที่ 54 ฉบับที่

3/2557 (กรกฎาคม - กันยายน 2557) การ

แปลงข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาคอมพิวเตอร์

เท่ากันสำหรับแผนแบบการทดลองแบบสุ่ม

สมบูรณ์