การศึกษาความไวเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

นายเกรียงศักดิ์ เกียรติกังวานกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A SENSITIVITY STUDY OF ECONOMIC-BASED EFFICIENCY COMPARISON BETWEEN LATIN SQUARE DESIGN AND RANDOMIZED COMPLETE BLOCK DESIGN

Mr. Kriengsak Kiatkangwankun

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Statistics

Department of Statistics

Faculty of Commerce and Accountancy

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความไวเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์
โดย	นายเกรียงศักดิ์ เกียรติกังวานกุล
สาขา	สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สุพล ดุรงค์วัฒนา

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดนุชา คุณพนิชกิจ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. อรุณี กำลัง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกรียงศักดิ์ เกียรติกังวานกุล : การศึกษาความไวเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์. (A SENSITIVITY STUDY OF ECONOMIC-BASED EFFICIENCY COMPARISON BETWEEN LATIN SQUARE DESIGN AND RANDOMIZED COMPLETE BLOCK DESIGN) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา, 135 หน้า.

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษาความไวและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลอง 2 แผน คือ แผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการจำลองข้อมูลจากเทคนิคมอนติคาร์โลด้วยโปรแกรม S-PLUS 2000 โดยกำหนดให้จำนวนวิธีทดลองที่ใช้ทดลองเท่ากับ 3 5 และ 7 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันเท่ากับ 10% 20% และ 30% ระดับนัยสำคัญที่ศึกษา คือ 0.01 0.05 และ 0.10 กำหนดให้ระดับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการหาหน่วยทดลอง ค่าใช้จ่ายในการให้วิธีทดลอง และค่าเสียโอกาส แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ หมายถึง ค่าต่ำสุดของช่วงค่าใช้จ่ายต่างๆ และระดับสูง หมายถึง ค่าสูงสุดของช่วงค่าใช้จ่ายต่างๆ เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลอง คือ ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองที่ต่ำกว่า จะถือว่ามีประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์มากกว่า โดยทำการศึกษา 2 กรณี คือ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำและกรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง

ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง เมื่อค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ พบว่า ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินต่ำกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ มีเพียงบางกรณีเท่านั้นที่ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินสูงกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เนื่องจากข้อจำกัดด้านระดับความเป็นเสรีของความคลาดเคลื่อนของการทดลองและจำนวนหน่วยทดลองที่น้อยเกินไปสำหรับแผนการทดลองจัตุรัสลาติน เพราะโดยทั่วไปการตรวจสอบอิทธิพลในระดับต่ำจำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองจำนวนมาก จึงส่งผลต่อความสม่ำเสมอในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน และค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง

ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง เมื่อค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง พบว่าทุกกรณีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินต่ำกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เนื่องจากเมื่อพิจารณากรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง แผนการทดลองจัตุรัสลาตินจะมีความละเอียดในการตรวจสอบความแตกต่างมากกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ และการตรวจสอบอิทธิพลในระดับสูงไม่จำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองจำนวนมาก จึงสามารถตรวจสอบความแตกต่างที่มีอยู่ได้ดีกว่า ดังนั้นค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองระหว่าง 2 แผนการทดลอง จึงมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

ภาควิชา สถิติ ลายมือชื่อนิสิต เกรียงศักดิ์ เกียรติกังวานกุล

สาขาวิชา สถิติ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

4782169726 : MAJOR STATISTICS

KEY WORD: LATIN SQUARE DESIGN / RANDOMIZED COMPLETE BLOCK DESIGN / F-TEST / EXPECTED COST OF EXPERIMENTAL DESIGN

KRIENGSAK KIATKANGWANKUN : A SENSITIVITY STUDY OF ECONOMIC-BASED EFFICIENCY COMPARISON BETWEEN LATIN SQUARE DESIGN AND RANDOMIZED COMPLETE BLOCK DESIGN. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. SUPOL DURONGWATTANA, Ph. D., 135 pp.

The objective of this research is to study the sensitivity and comparison of economic–based efficiency of 2 experimental designs, Latin Square Design and Randomized Completely Block Design. To generate the data for this study, the Monte Carlo simulation technique is done using S-PLUS 2000 Professional. The number of treatments is specified to be 3, 5 and 7. The coefficient of variation is specified to be 10%, 20% and 30%. The significant levels for this study are 0.01, 0.05 and 0.10. Cost of experimental design is defined as the cost of experimental units, cost of treatments and opportunity cost. The cost of each design is set to have 2 levels, low and high. The low level is the lowest and the high level is the highest of the interval of the cost of experiment. The lower expected cost of experimental designs considered to be more economical efficiency than the higher one. The expected cost of experimental designs when cost of experimental design is low level and high level are measured to compare for both designs. The results of this study can be summarized as follows:

For expected cost based on the expected cost of experimental design when the cost of experimental design is low level, it is founded that, in some cases, Latin Square Design provides higher expected cost of experimental design than the one of Randomized Completely Block. This happens because of less experimental unit and less degree of freedom of error term.

On the other hand, the expected cost of experimental design when the cost of experimental design is high level, Latin Square Design provides less expected cost of experimental design than the one of Randomized Completely Block Design. Since Latin Square Design is more appropriate for the simulation data than Randomized Completely Block Design and in detecting large effects, more replicates are not required. In summary, the expected costs of experimental design are apparently difference.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department	Statistics	Student's signature Kriengsak Kiatkangwankun
Field of study	Statistics	Advisor's signature Supol Durongwattana
Academic year	2006	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ดุรงค์วัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยดีเสมอมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. อรุณี กำลัง ในฐานะประธานกรรมการ และ อาจารย์ ดร. เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาสถิติที่ให้โอกาสทางการศึกษาและประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้เขียนจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ท้ายนี้ ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา และขอบคุณเพื่อนๆที่ให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา นอกจากนี้ยังได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญภาพ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
1.3. ข้อตกลงเบื้องต้น..... 3
1.4. ขอบเขตของการวิจัย..... 3
1.5. เกณฑ์ในการตัดสินใจ..... 6
1.6. คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..... 6
1.7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 7
1.8. วิธีดำเนินการวิจัย..... 7
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎี..... 8
2.1. แผนการทดลองจัตุรัสลาติน..... 8
2.2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองจัตุรัสลาติน..... 10
2.3. การหาค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองสำหรับ
แผนการทดลองจัตุรัสลาติน..... 12
2.4. แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์..... 14
2.5. การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองแบบสุ่ม
ในบล็อกสมบูรณ์..... 16
2.6. การหาค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองสำหรับ
แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์..... 19

หน้า

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย..... 21
3.1. การจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล..... 21
3.2. แผนการดำเนินการวิจัย..... 22
3.3. ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย..... 23
3.4. แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน..... 28
บทที่ 4 ผลการวิจัย..... 33
4.1. ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนการทดลอง ที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากค่าสัดส่วนของการปฏิเสธ สมมติฐานว่าง..... 36
4.2. ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบ ในกรณี วิธีทดลองเท่ากับ 3, 5 และ 7..... 41
4.3. ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนการทดลอง ที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ ในการทดลองกรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ..... 42
4.4. ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนการทดลอง ที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ ในการทดลองกรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง..... 47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 54
5.1. สรุปผลการวิจัย..... 56
5.2. ข้อเสนอแนะ..... 58
รายการอ้างอิง..... 59
บรรณานุกรม..... 60
ภาคผนวก..... 61
ภาคผนวก ก..... 62
ภาคผนวก ข..... 99
ภาคผนวก ค..... 105
ภาคผนวก ง..... 108
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 135

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ลักษณะของข้อมูลแผนการทดลองจัตุรัสลาติน	9
2.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองจัตุรัสลาติน	10
2.3	ผลการทดสอบสมมติฐานและความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน	12
2.4	ลักษณะของข้อมูลแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์	15
2.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์	16
2.6	ผลการทดสอบสมมติฐานและความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน	19
4.1	เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	37
4.2	เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	37
4.3	เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10	38
4.4	เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	38
4.5	เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	39
4.6	เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10	39
4.7	เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	40

ตาราง หน้า

4.8 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 40
4.9 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 41
4.10 เปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3, 5 และ 7 41
4.11 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 43
4.12 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 44
4.13 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 44
4.14 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 45
4.15 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 45
4.16 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 46
4.17 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 46

ตาราง หน้า

4.18 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 47
4.19 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 47
4.20 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 49
4.21 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 49
4.22 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 50
4.23 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 50
4.24 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 51
4.25 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 51
4.26 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 52

ตาราง หน้า

4.27 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05..... 52

4.28 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10..... 53

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูป หน้า

4.1 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01..... 63

4.2 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01..... 64

4.3 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05..... 65

4.4 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05..... 66

4.5 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10..... 67

รูป หน้า

4.6 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10..... 68

4.7 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01..... 69

4.8 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01..... 70

4.9 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05..... 71

4.10 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05..... 72

4.11 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10..... 73

รูป หน้า

4.12 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10..... 74

4.13 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01..... 75

4.14 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01..... 76

4.15 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05..... 77

4.16 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05..... 78

4.17 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10..... 79

รูป หน้า

4.18 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10..... 80

4.19 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01..... 81

4.20 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01..... 82

4.21 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05..... 83

4.22 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05..... 84

4.23 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10..... 85

รูป หน้า

4.24 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10..... 86

4.25 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01..... 87

4.26 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01..... 88

4.27 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05..... 89

4.28 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05..... 90

4.29 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10..... 91

รูป หน้า

4.30 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10..... 92

4.31 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01..... 93

4.32 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01..... 94

4.33 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05..... 95

4.34 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05..... 96

4.35 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10..... 97

รูป หน้า

4.36 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10..... 98

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวางแผนการทดลอง (Experimental design) เป็นระเบียบวิธีการทางสถิติวิธีหนึ่ง ที่มีบทบาทสำคัญในด้านต่างๆ เช่น วิศวกรรม การแพทย์ และการเกษตร เป็นต้น โดยอาศัยการทดลองในการศึกษาที่ไม่สามารถใช้เพียงทฤษฎีและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จุดประสงค์เพื่อศึกษาสาเหตุของความแปรผันที่เกิดขึ้น และสร้างแบบจำลองทางเพื่อพยากรณ์ผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

การเลือกใช้แผนการทดลองที่มีความเหมาะสมเป็นสิ่งที่สำคัญเบื้องต้นที่จะต้องคำนึงถึง เนื่องจากการทดลองโดยทั่วไปมักมีปัจจัยแวดล้อมรบกวน ทั้งที่สามารถควบคุมได้และไม่สามารถควบคุมได้ ส่งผลให้ผลการทดลองที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ดังนั้นแผนการทดลองที่เหมาะสมจะต้องสามารถควบคุมสาเหตุของความแปรผันที่เกิดขึ้น แผนการทดลองมีหลากหลายรูปแบบ การศึกษาในครั้งนี้จะพิจารณาแผนการทดลองจุตรัสลาติน (Latin Square Design: LSD) และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD)

แผนการทดลองจัตุรัสลาติน เป็นแผนการทดลองเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองในกรณีที่หน่วยทดลองได้ถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหรือปัจจัยในลักษณะตาราง 2 ทาง ลักษณะทางแถวเรียกว่า ปัจจัยแถว (Row factor) และลักษณะทางคอลัมน์เรียกว่า (Column factor) จุดประสงค์เพื่อขจัดความแปรผันที่ไม่ได้เกิดจากอิทธิพลของวิธีทดลองออกจากการทดลอง ในกรณีที่มีวิธีทดลอง p วิธีทดลอง แผนการทดลองจัตุรัสลาตินนั้นต้องการหน่วยทดลองทั้งหมดเท่ากับ p^2 หน่วยทดลอง โดยที่หน่วยทดลอง p หน่วยแรกจะถูกจำแนกลงใน p บล็อก ตามปัจจัยแรก (ปัจจัยแถว) และหน่วยทดลอง p หน่วยที่เหลือจะถูกจำแนกลงใน p บล็อก ตามปัจจัยคอลัมน์ วิธีทดลองทั้งหมดจะถูกกำหนดให้แต่ละหน่วยทดลอง โดยแต่ละวิธีทดลองจะปรากฏเพียงหนึ่งครั้งในแต่ละแถวและแต่ละคอลัมน์

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เป็นแผนการทดลองเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองในกรณีที่หน่วยทดลองได้ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มหรือปัจจัยตามลักษณะความคล้ายคลึงกัน ที่เรียกว่า บล็อก (Block) วิธีการทดลองทั้งหมดจะถูกกำหนดให้แก่หน่วยทดลองภายในแต่ละบล็อกอย่างสุ่ม จุดประสงค์เพื่อขจัดอิทธิพลอันเนื่องมาจากบล็อกออก

จากการทดลอง การสร้างบล็อกอาศัยหลักเกณฑ์ที่ว่า ความแปรผันภายในแต่ละบล็อกจะมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และความแปรผันระหว่างบล็อกจะมีค่ามากที่สุด นั่นคือหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogeneous) จะถูกจัดอยู่ในบล็อกเดียวกัน และหน่วยทดลองที่อยู่ต่างบล็อกกันจะมีความแตกต่างกันมากที่สุด

การพิจารณาประสิทธิภาพของแผนการทดลองนั้น นอกจากจะพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนของการทดลองแล้วจำเป็นต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง เพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุดตามหลักการทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นการพิจารณาประสิทธิภาพของแผนการทดลองอาจพิจารณาจากประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์โดยพิจารณาจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองทุกการทดลองจะมีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง เช่น ค่าใช้จ่ายในการหาหน่วยทดลอง กรณีแผนการทดลองจัตุรัสลาตินจะต้องหาหน่วยทดลองที่มีลักษณะสอดคล้องกับปัจจัยแถว และปัจจัยคอลัมน์ที่กำหนดในการทดลอง และกรณีแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะต้องหาหน่วยทดลองที่มีลักษณะสอดคล้องกับปัจจัยบล็อกที่กำหนดในการทดลอง โดยที่หน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจะมีความคล้ายคลึงกันและหน่วยทดลองที่อยู่ต่างบล็อกกันจะมีความแตกต่างกัน จะพบว่าทั้งสองแผนการทดลองจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายเพื่อให้ได้หน่วยทดลองที่มีความสอดคล้องตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในแต่ละแผน นอกจากนี้การทดลองในแต่ละครั้งจะมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการให้วิธีทดลองแก่หน่วยทดลอง และค่าใช้จ่ายจากการสรุปผลการสมมติฐานของการทดลองผิดพลาด สาเหตุของความผิดพลาดอาจเนื่องมาจากการใช้ข้อมูลตัวอย่างมาสรุปผลการทดสอบเพื่ออ้างอิงถึงประชากร ซึ่งผลสรุปของการทดสอบอาจไม่ยอมรับสมมติฐานว่างทั้งที่สมมติฐานว่างเป็นจริง หรือยอมรับสมมติฐานว่างทั้งที่สมมติฐานว่างไม่เป็นจริง ความผิดพลาดของการสรุปผลดังกล่าวอาจก่อให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็นหรือก่อให้เกิดค่าเสียโอกาสจากการตัดสินใจผิดพลาด ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะพิจารณาประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลองมาใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกแผนการทดลองที่มีความเหมาะสม

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความไวและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลอง คือ

1.2.1. แผนการทดลองจัตุรัสลาติน (Latin Square Design : LSD)

1.2.2. แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design RCBD)

1.3. ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1. ศึกษาประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ภายใต้ตัวแบบจัตุรัสลาติน โดยสมมติว่า ปัจจัยที่ศึกษาทั้ง 3 ด้าน คือ ปัจจัยแถว (Row factor) ปัจจัยคอลัมน์ (Column factor) และวิธีทดลอง (Treatment) ทุกด้าน มี p ระดับ วิธีทดลองแต่ละวิธีจะปรากฏขึ้นเพียงครั้งเดียวในแต่ละแถวและคอลัมน์ ดังนั้น จะมีจำนวนหน่วยทดลองในการทดลองหนึ่งๆ เท่ากับ p × p หน่วย ตัวแบบเป็น ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \alpha_k + \varepsilon_{ijk} \qquad ; i, j, k = 1,2, \ldots, p$$

เมื่อ Y_{ijk} คือ ค่าสังเกตของวิธีทดลองที่ i ปัจจัยแถวที่ j และปัจจัยคอลัมน์ที่ k

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของประชากร

τ_i คือ อิทธิพลของวิธีทดลองที่ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัยแถวที่ j

α_k คือ อิทธิพลของปัจจัยคอลัมน์ที่ k

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนของวิธีทดลองที่ i ปัจจัยแถวที่ j และปัจจัยคอลัมน์ที่ k

p คือ จำนวนวิธีทดลอง ปัจจัยแถว และปัจจัยคอลัมน์

1.3.2. ความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ และเป็นอิสระซึ่งกันและกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2

1.3.3. เมื่อ τ_i เป็นอิทธิพลของวิธีทดลอง ที่ i , β_j เป็นอิทธิพลของปัจจัยแถวที่ j และ α_k เป็นอิทธิพลของปัจจัยคอลัมน์ที่ k ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า โดยที่ $\sum_i \tau_i = 0$, $\sum_j \beta_j = 0$ และ $\sum_k \alpha_k = 0$

1.4. ขอบเขตของการวิจัย

ในการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยประชากรจะศึกษาในกรณีที่ข้อมูลเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น โดยใช้ตัวสถิติทดสอบแบบ ANOVA F-Test โดยกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการศึกษาดังต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4.1. กำหนดตัวแบบเป็นวิธีทดลองคงที่ (Fixed-effect model) และไม่มีการทำซ้ำ (Replication)

1.4.2. ความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ และเป็นอิสระซึ่งกันและกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ σ^2

1.4.3. กำหนดจำนวนของปัจจัยในแผนการทดลองจัตุรัสลาติน ดังนี้

- จำนวนวิธีทดลอง (i) เท่ากับ 3, 5 และ 7
- จำนวนปัจจัยแถว (j) เท่ากับ 3, 5 และ 7
- จำนวนปัจจัยคอลัมน์ (k) เท่ากับ 3, 5 และ 7

ดังนั้น จำนวนหน่วยทดลองเท่ากับ 9, 25 และ 49 หน่วย ตามลำดับ

1.4.4. สร้างอิทธิพลของวิธีทดลอง (τ_i) ให้แตกต่างกัน โดยพิจารณา $\sum_i \tau_i = 0$ และใช้ Φ เป็นตัวกำหนด ดังนี้

$$\Phi^{1} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{p} \tau_i^2}}{\sigma}$$

(Φ แทน สัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบน)

ซึ่งจะกำหนดกลุ่มความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1.4.4.1. ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง มีความแตกต่างกันน้อย ค่า Φ อยู่ระหว่าง [0, 1.5)

1.4.4.2. ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง มีความแตกต่างกันปานกลาง ค่า Φ อยู่ระหว่าง [1.5, 3.0)

1.4.4.3. ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง มีความแตกต่างกันมาก ค่า Φ มีค่าตั้งแต่ 3 ขึ้นไป

1.4.5. สร้างอิทธิพลของปัจจัยแถว (β_j) และปัจจัยคอลัมน์ (α_k) ให้แตกต่างกัน โดยพิจารณา $\sum_j \beta_j = 0$ และ $\sum_k \alpha_k = 0$ ตามลำดับ โดยกำหนดความแตกต่างที่ $\Phi = 1.5$ ได้ดังนี้

$$\Phi = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^{p} \beta_j^2}}{\sigma} \qquad \text{และ} \qquad \Phi = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{p} \alpha_k^2}}{\sigma}$$

1.4.6. กำหนดให้ข้อมูลมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of variation : C.V. (%)) ในระดับต่างๆ คือ 10%, 20% และ 30% กำหนดให้ค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากันทุกกลุ่ม (μ) เท่ากับ 50 จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ

---

[1] Winer, B. J., Statistical principle in experimental design, 2nd ed.(New York: McGraw-Hill, 1974), p. 221.

1.4.7. กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.01, 0.05 และ 0.10

1.4.8. การจำลองในแต่ละสถานการณ์ของการทดลองกระทำซ้ำ 1000 รอบ

1.4.9. การกำหนดระดับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองโดยศึกษาจากการวิจัย

- การใช้ถั่วท่าพระสไตโลเลี้ยงแพะเนื้อ[2]

โดยสนใจระดับค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองศึกษา 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง ซึ่งมีเกณฑ์การกำหนดระดับค่าใช้จ่ายต่างๆ ดังนี้

ระดับต่ำ คือ ค่าต่ำสุดของช่วงค่าใช้จ่ายต่างๆ

ระดับสูง คือ ค่าสูงสุดของช่วงค่าใช้จ่ายต่างๆ

1.4.9.1. กำหนดระดับค่าใช้จ่ายในการหาหน่วยทดลองต่อ 1 หน่วยทดลอง โดยมีค่าใช้จ่ายอยู่ระหว่าง 1365.60 – 1478.40 บาท ดังนี้

ระดับต่ำ 1365.60 บาท

ระดับสูง 1478.40 บาท

1.4.9.2. กำหนดระดับค่าใช้จ่ายในการให้วิธีทดลองต่อ 1 หน่วยทดลอง โดยมีค่าใช้จ่ายอยู่ระหว่าง 152.46 – 205.74 บาท ดังนี้

ระดับต่ำ 152.46 บาท

ระดับสูง 205.74 บาท

โดยกำหนดสัดส่วนราคาของแต่ละวิธีทดลองในทุกระดับราคาดังนี้

กรณี 3 วิธีทดลอง คือ วิธีทดลองที่ 1 : วิธีทดลองที่ 2 : วิธีทดลองที่ 3

เท่ากับ 1 : 1.25 : 1.5

กรณี 5 วิธีทดลอง คือ วิธีทดลองที่ 1 : วิธีทดลองที่ 2 : วิธีทดลองที่ 3 : วิธีทดลองที่ 4 : วิธีทดลองที่ 5

เท่ากับ 1 : 1.25 : 1.5 : 1.75 : 2

กรณี 7 วิธีทดลอง คือ วิธีทดลองที่ 1 : วิธีทดลองที่ 2 : วิธีทดลองที่ 3 : วิธีทดลองที่ 4 : วิธีทดลองที่ 5 : วิธีทดลองที่ 6 : วิธีทดลองที่ 7

เท่ากับ 1 : 1.25 : 1.5 : 1.75 : 2 : 2.25 : 2.5

1.4.9.3. กำหนดระดับค่าเสียโอกาสจากการปฏิเสธสิ่งที่ถูกต้องต่อ 1 หน่วยทดลอง เท่ากับ ราคาของวิธีทดลองที่มีราคาสูงที่สุด – ราคาของวิธีทดลองที่ 1 (กำหนดให้ราคาของวิธีทดลองที่ 1 ถูกที่สุด)

---

[2] พิสุทธิ์ สุขเกษม, สถิต มั่งมีชัย และภิรมย์ บัวแก้ว, การใช้ถั่วท่าพระสไตโลเลี้ยงแพะเนื้อ. (กรุงเทพมหานคร: กรมปศุสัตว์, 2547), หน้า 230.

1.4.9.4. กำหนดระดับค่าเสียโอกาสจากการยอมรับสิ่งที่ไม่ถูกต้องต่อ 1 หน่วยทดลอง เท่ากับ ผลตอบแทนจากการเลี้ยง ต่อ 1 หน่วยทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 173.95 – 299.89 บาท ดังนี้

ระดับต่ำ 173.95 บาท

ระดับสูง 299.89 บาท

1.4.10. ในการวิจัยครั้งนี้สร้างแบบการจำลองข้อมูลโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) เขียนด้วยโปรแกรม S-PLUS 2000

1.5. เกณฑ์ในการตัดสินใจ

การวิจัยครั้งนี้ถือว่า ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายในการทดลองเป็นดัชนีสำคัญที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกแผนการทดลอง โดยถือว่าแผนการทดลองใดที่มีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายในการทดลองต่ำกว่าเป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ สำหรับแต่ละสถานการณ์ที่กำหนดในขอบเขตการวิจัย

1.6. คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.6.1. ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I error) หมายถึง ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานว่างเมื่อสมมติฐานว่างนั้นเป็นจริง

1.6.2. ความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II error) หมายถึง ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานว่างเมื่อสมมติฐานว่างนั้นไม่เป็นจริง

1.6.3. ค่า p-value หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ตัวสถิติทดสอบจะมีค่ามากกว่า น้อยกว่า หรือเท่ากับค่าสถิติทดสอบที่ได้จากตัวอย่าง เป็นค่าที่จะนำไปเปรียบเทียบกับค่า α เพื่อตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานว่าง

1.6.4. ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ หมายถึง ประสิทธิภาพที่พิจารณาด้านค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง โดยแผนการทดลองใดที่มีค่าใช้จ่ายในการทดลองต่ำกว่าแสดงว่าแผนการทดลองนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า

1.6.5. ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง (Expected cost of experimental design) หมายถึง ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่จะใช้ในการทดลองทั้งหมด เช่น ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการหาหน่วยทดลอง ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการให้วิธีทดลองกับหน่วยทดลอง และค่าเสียโอกาสจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดสอบสมมติฐาน

1.7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

1.7.2. สามารถนำประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์มาใช้ในการพิจารณาคัดเลือกแผนการทดลองที่เหมาะสม

1.7.3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองในแผนการทดลองอื่นๆ

1.8. วิธีดำเนินการวิจัย

1.8.1. สร้างข้อมูลตัวแปรตามที่มีการแจกแจงแบบปกติตามข้อกำหนดในขอบเขตการวิจัยโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล

1.8.2. ทดสอบสมมติฐานความแตกต่างระหว่างวิธีทดลองโดยวิธีทดสอบเอฟ

1.8.3. คำนวณค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่าง

1.8.4. คำนวณค่าความผิดพลาดประเภทที่สอง และอำนาจการทดสอบ

1.8.5. คำนวณค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองที่กำหนด

1.8.6. เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายของแผนการทดลองทั้ง 2 แผนการทดลองในแต่ละสถานการณ์

1.8.7. สรุปผลการวิจัยในแต่ละสถานการณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎี

ในทางสถิติแนวความคิดของการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองของแต่ละแผนการทดลองนั้น มักพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมการเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 และความผิดพลาดประเภทที่ 2 ในการวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาถึงประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของตัวแบบแผนการทดลองมาใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกแผนการทดลองที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองกรณีปัจจัยการทดลองคงที่ และทำการศึกษาประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินเปรียบเทียบกับแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ในขั้นต้นจะกล่าวถึงตัวแบบแผนการทดลองจัตุรัสลาติน การวิเคราะห์ความแปรปรวน และการคำนวณค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง ส่วนตัวแบบแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ การวิเคราะห์ความแปรปรวน และการคำนวณค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง ได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.1 แผนการทดลองจัตุรัสลาติน (Latin Square Design: LSD)

แผนการทดลองจัตุรัสลาติน เป็นแผนการทดลองเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองในกรณีที่หน่วยทดลองได้ถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหรือปัจจัยในลักษณะตาราง 2 ทาง ลักษณะทางแถวเรียกว่า ปัจจัยแถว (Row factor) และลักษณะทางคอลัมน์เรียกว่า (Column factor) จุดประสงค์เพื่อขจัดความแปรผันที่ไม่ได้เกิดจากอิทธิพลของวิธีทดลองออกจากการทดลอง ในกรณีที่มีวิธีทดลอง p วิธีทดลอง แผนการทดลองจัตุรัสลาตินนั้นต้องการหน่วยทดลองทั้งหมดเท่ากับ p^2 หน่วยทดลอง โดยที่หน่วยทดลอง p หน่วยแรกจะถูกจำแนกลงใน p บล็อก ตามปัจจัยแรก (ปัจจัยแถว) และหน่วยทดลอง p หน่วยที่เหลือจะถูกจำแนกลงใน p บล็อกตามปัจจัยคอลัมน์ วิธีทดลองทั้งหมดจะถูกกำหนดให้แต่ละหน่วยทดลองอย่างสุ่ม โดยแต่ละวิธีทดลองจะปรากฏเพียงหนึ่งครั้งในแต่ละแถวและแต่ละคอลัมน์

แผนการทดลองจัตุรัสลาติน มีลักษณะของข้อมูลแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และมีตัวแบบผลบวกสำหรับแผนการทดลองจัตุรัสลาติน แบบวิธีทดลองคงที่ (Fixed-effect) ดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \alpha_k + \varepsilon_{ijk} \qquad ; i, j, k = 1,2, \ldots, p$$

เมื่อ Y_{ijk} คือ ค่าสังเกตของวิธีทดลองที่ i ปัจจัยแถวที่ j และปัจจัยคอลัมน์ที่ k

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของประชากร

τ_i คือ อิทธิพลของวิธีทดลองที่ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัยแถวที่ j

α_k คือ อิทธิพลของปัจจัยคอลัมน์ที่ k

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนของวิธีทดลองที่ i ปัจจัยแถวที่ j และปัจจัยคอลัมน์ที่ k

p คือ จำนวนวิธีทดลอง ปัจจัยแถว และปัจจัยคอลัมน์

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของข้อมูลแผนการทดลองจัตุรัสลาติน

(Row factor) j **= 1,2,3, …, p**	**(Column factor)** k **= 1, 2, …, p**						**รวม** $y_{.j.}$	**ค่าเฉลี่ย** $\bar{y}_{.j.}$
	1	**2**	**.**	**.**	**.**	**p**		
1	y_{111}	y_{212}	.	.	.	y_{31p}	$y_{.1.}$	$\bar{y}_{.1.}$
2	y_{321}	y_{122}	.	.	.	y_{22p}	$y_{.2.}$	$\bar{y}_{.2.}$
3	y_{231}	y_{332}	.	.	.	y_{13p}	$y_{.3.}$	$\bar{y}_{.3.}$
.	.	.				.	.	.
.	.	.				.	.	.
.	.	.				.	.	.
p	y_{4p1}	y_{p22}	.	.	.	y_{5pp}	$y_{.p.}$	$\bar{y}_{.p.}$
รวม $y_{..k}$	$y_{..1}$	$y_{..2}$	.	.	.	$y_{..p}$	$y_{...}$	
ค่าเฉลี่ย $\bar{y}_{..k}$	$\bar{y}_{..1}$	$\bar{y}_{..2}$	.	.	.	$\bar{y}_{..p}$		$\bar{y}_{...}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองจัตุรัสลาติน (The analysis of variance for Latin Square Design)

การทดสอบอิทธิพลของวิธีทดลอง ปัจจัยแถว และปัจจัยคอลัมน์ แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองจัตุรัสลาติน

สาเหตุของความแปรปรวน	ระดับความเป็นเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย	F-test
วิธีทดลอง	$(p-1)$	$SSTr = (1/p)\sum_{i=1}^{p}\left(\sum_{k=1}^{p} y_{ijk}\right)^2 - \left(\sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{p} y_{ijk}\right)^2 / p$	$MSTr = \frac{SSTr}{p-1}$	$F = \frac{MSTr}{MSE}$
ปัจจัยแถว	$(p-1)$	$SSR = (1/p)\sum_{k=1}^{p}\left(\sum_{j=1}^{p} y_{ijk}\right)^2 - \left(\sum_{k=1}^{p}\sum_{j=1}^{p} y_{ijk}\right)^2 / p$	$MSR = \frac{SSR}{p-1}$	$F = \frac{MSR}{MSE}$
ปัจจัยคอลัมน์	$(p-1)$	$SSC = (1/p)\sum_{i=1}^{p}\left(\sum_{j=1}^{p} y_{ijk}\right)^2 - \left(\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{p} y_{ijk}\right)^2 / p$	$MSC = \frac{SSC}{p-1}$	$F = \frac{MSC}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน	$(p-1)\times(p-2)$	$SSE = \sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{p}\left(y_{ijk} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{..k} + 2\bar{y}_{...}\right)^2$	$MSE = \frac{SSE}{(p-1)(p-2)}$	
รวม	$p^2 - 1$	$SST = \sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{p}\left(y_{ijk}\right)^2 - \left(\sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{p} y_{ijk}\right)^2 / p^2$		

เมื่อ y_{ijk} คือ ค่าสังเกตของวิธีทดลองที่ i ปัจจัยแถวที่ j และปัจจัยคอลัมน์ที่ k

$\bar{y}_{...}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวในทุกปัจจัยแถวและทุกปัจจัยคอลัมน์

เท่ากับ $\frac{\sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{p} y_{ijk}}{p}$

$\bar{y}_{i..}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวในปัจจัยแถวหรือปัจจัยคอลัมน์ของวิธีทดลองที่ i

เท่ากับ $\frac{\sum_{j=1}^{p} y_{ijk}}{p} = \frac{\sum_{k=1}^{p} y_{ijk}}{p}$

$\bar{y}_{.j.}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวในปัจจัยคอลัมน์ ของปัจจัยแถวที่ j

เท่ากับ $\dfrac{\sum_{k=1}^{p} y_{ijk}}{p}$

$\bar{y}_{..k}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวในปัจจัยแถว ของปัจจัยคอลัมน์ที่ k

เท่ากับ $\dfrac{\sum_{j=1}^{p} y_{ijk}}{p}$

p คือ จำนวนวิธีทดลอง จำนวนปัจจัยแถว และปัจจัยคอลัมน์

<u>ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวน</u>

1. อิทธิพลของวิธีทดลองและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เป็นแบบบวก
2. ความคลาดเคลื่อนของการทดลองเกิดขึ้นโดยสุ่มเป็นอิสระต่อกันและมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีความแปรปรวนเป็น σ^2

<u>สมมติฐานในการทดสอบ</u>

สำหรับตัวแบบกำหนด (Fixed model)

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = ... = \mu_p$

H_a : มี $\mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่ที่ไม่เท่ากัน ของ $i \neq j$

หรือ $H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = ... = \tau_p = 0$

H_a : มี τ_i อย่างน้อย 1 ค่าที่ไม่เท่ากับ 0

<u>เกณฑ์การตัดสินใจ</u>

ในการทดสอบจะปฏิเสธสมมติฐานว่างเมื่อค่า F จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตาราง F ที่องศาความเป็นอิสระ $\upsilon_1 = (p-1)$ และ $\upsilon_2 = (p-1)(p-2)$ ภายใต้สมมติฐานว่าง สามารถเขียนแทนด้วย $F_{[(p-1),(p-1)(p-2)]}$ และสำหรับภายใต้สมมติฐานแย้งการแจกแจงของเอฟจะมีการแจกแจงแบบเอฟห่างศูนย์กลาง (Non-central F distribution) ที่มีองศาความเป็นอิสระ $\upsilon_1 = (p-1)$ และ $\upsilon_2 = (p-1)(p-2)$ และมีพารามิเตอร์ห่างศูนย์กลาง

$$\lambda = \frac{p\sum_{i=1}^{p}\tau_i^2}{\sigma^2}$$

สามารถเขียนแทนด้วย $F_{[(p-1),(p-1)(p-2)];\lambda}$ และเรียก λ นี้ว่า พารามิเตอร์ห่างศูนย์กลาง (Non-central parameter) ภายใต้สมมติฐานว่างพารามิเตอร์ห่างศูนย์กลาง λ จะเท่ากับ 0 หรืออาจพิจารณาจากค่า p-value ซึ่งค่า p-value จะใช้เปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญ (α) ที่กำหนดไว้

- ค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) ที่กำหนดไว้ จะปฏิเสธสมมติฐานว่าง
- ค่า p-value มากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) ที่กำหนดไว้ จะยอมรับสมมติฐานว่าง

2.3 การหาค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองสำหรับแผนการทดลองจัตุรัสลาติน

การทดสอบสมมติฐานมักเกิดความผิดพลาดในการทดสอบ ซึ่งความผิดพลาดในที่นี้หมายถึง การสรุปผลจากการใช้ข้อมูลตัวอย่างมาสรุปผลการทดสอบเพื่ออ้างอิงถึงประชากร ซึ่งทำให้ผลการทดสอบอาจไม่ยอมรับสมมติฐานว่างทั้งที่สมมติฐานว่างเป็นจริง หรือยอมรับสมมติฐานว่างว่าจริงทั้งที่ในความเป็นจริงแล้วสมมติฐานว่างไม่จริง ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.3 ดังนี้

ตารางที่ 2.3 ผลการทดสอบสมมติฐานและความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน

ผลการทดสอบ	**ความเป็นจริง**	
	สมมติฐานว่าง (H_0) เป็นจริง	**สมมติฐานว่าง (H_0) ไม่เป็นจริง**
ปฏิเสธสมมติฐานว่าง	ความผิดพลาดประเภทที่ 1	ผลการทดสอบถูกต้อง
ยอมรับสมมติฐานว่าง	ผลการทดสอบถูกต้อง	ความผิดพลาดประเภทที่ 2

<u>ข้อตกลงเบื้องต้นของค่าใช้จ่ายของการทดลอง</u>

1. ค่าใช้จ่ายของการทดลองประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองและค่าผลรวมค่าใช้จ่ายถ่วงน้ำหนักของผลการทดสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้ทั้ง 4 เหตุการณ์ คือ
   - การยอมรับสมมติฐานว่าง เมื่อสมมติฐานว่างเป็นจริง
   - การปฏิเสธสมมติฐานว่าง เมื่อสมมติฐานว่างเป็นจริง
   - การยอมรับสมมติฐานว่าง เมื่อสมมติฐานว่างไม่เป็นจริง
   - การปฏิเสธสมมติฐานว่าง เมื่อสมมติฐานว่างไม่เป็นจริง

2. ค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ ของการทดลอง เป็นค่าใช้จ่ายในการทดลองประเภทการทดลองภาคสนาม (Field experimental) เช่น การทดลองทางการเกษตร ปศุสัตว์ เป็นต้น ส่วนค่าใช้จ่ายในการทดลองประเภทการทดลองในห้องทดลอง (Laboratory experimental) อาจมีค่าใช้จ่ายส่วนอื่นๆ แตกต่างไปตามลักษณะของการทดลอง

<u>ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง</u>

$$E(\cos t)\ ^{1} = E(\cos t) = C_E + E(C_o)$$

$$E(C_o) = P_{H_0} \times [\alpha \times C_1 + (1-\alpha) \times C_2] + (1 - P_{H_0}) \times [\beta \times C_3 + (1-\beta) \times C_4]$$

เมื่อ $E(\cos t)$ คือ ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง

C_E คือ ค่าใช้จ่ายในการทดลอง

$$= p^2(eu_{LSD}) + p\sum_{i=1}^{p} trt_{LSD}$$

$E(C_o)$ คือ ค่าผลรวมค่าใช้จ่ายถ่วงน้ำหนักของผลการทดสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้ทั้งหมด

P_{H_0} คือ ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับสมมติฐานว่าง

α คือ ความผิดพลาดประเภทที่ 1 หรือระดับนัยสำคัญ

β คือ ความผิดพลาดประเภทที่ 2

C_1 คือ ค่าใช้จ่ายในการทดลองเมื่อปฏิเสธสมมติฐานว่าง โดยที่สมมติฐานว่างเป็นจริง

$$= p^2(eu_{LSD}) + p^2 OP_1$$

C_2 คือ ค่าใช้จ่ายในการทดลองเมื่อยอมรับสมมติฐานว่าง โดยที่สมมติฐานว่างเป็นจริง

$$= p^2(eu_{LSD})$$

[1] Ian James Parnell, "Use of decision analysis to design a habitat restoration experiment," (Master's Thesis, Resource Management, School of Resource and Environment Management, Simon Fraser University, 2002), p. 28.

C_3 คือ ค่าใช้จ่ายในการทดลองเมื่อยอมรับสมมติฐานว่าง โดยที่สมมติฐานว่างไม่เป็นจริง

$= p^2(eu_{LSD}) + p^2 OP_2$

C_4 คือ ค่าใช้จ่ายในการทดลองเมื่อปฏิเสธสมมติฐานว่าง โดยที่สมมติฐานว่างไม่เป็นจริง

$= p^2(eu_{LSD})$

eu_{LSD} คือ ค่าใช้จ่ายในการหาหน่วยทดลองต่อ 1 หน่วยทดลอง สำหรับแผนการทดลองจัตุรัสลาติน เพื่อให้ได้หน่วยทดลองตามบล็อกที่กำหนดทั้ง 2 ทาง

trt_{LSD} คือ ค่าใช้จ่ายในการให้วิธีทดลองที่ i ต่อ 1 หน่วยทดลอง; $i = 1, 2, \ldots, p$

OP_1 คือ ค่าเสียโอกาสจากการปฏิเสธสิ่งที่ถูกต้องต่อ 1 หน่วยทดลอง

OP_2 คือ ค่าเสียโอกาสจากการยอมรับสิ่งที่ไม่ถูกต้องต่อ 1 หน่วยทดลอง

p คือ จำนวนวิธีทดลอง จำนวนปัจจัยแถว และปัจจัยคอลัมน์

2.4 แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Blocks Design: RCBD)

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เป็นแผนการทดลองเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองในกรณีที่หน่วยทดลองได้ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มหรือปัจจัยตามลักษณะความคล้ายคลึงกัน ที่เรียกว่า บล็อก (Block) วิธีทดลองทั้งหมดจะถูกกำหนดให้แก่หน่วยทดลองภายในแต่ละบล็อกอย่างสุ่ม จุดประสงค์เพื่อขจัดอิทธิพลอันเนื่องมาจากบล็อกออกจากการทดลอง การสร้างบล็อกอาศัยหลักเกณฑ์ที่ว่า ความแปรผันภายในบล็อกแต่ละบล็อกจะมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และความแปรผันระหว่างบล็อกจะมีค่ามากที่สุด นั่นคือหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogeneous) จะถูกจัดอยู่ในบล็อกเดียวกัน และหน่วยทดลองที่อยู่ต่างบล็อกกันจะมีความแตกต่างกันมากที่สุด

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ มีลักษณะของข้อมูลแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และมีตัวแบบผลบวกสำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ แบบวิธีทดลองคงที่ (Fixed-effect) ดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \qquad ; i = 1,2, \ldots, a \text{ และ } \quad j = 1,2, \ldots, b$$

เมื่อ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตของวิธีทดลองที่ i และปัจจัยบล็อกที่ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของประชากร

τ_i คือ อิทธิพลของวิธีทดลองที่ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัยบล็อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนของวิธีทดลองที่ i และปัจจัยบล็อกที่ j

a คือ จำนวนวิธีทดลอง

b คือ จำนวนปัจจัยบล็อก

ตารางที่ 2.4 ลักษณะของข้อมูลแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

Treatment i **= 1,2,3, …, a**	**(Block factor)** j **= 1, 2, …, b**						**รวม** $y_{i.}$	**ค่าเฉลี่ย** $\bar{y}_{i.}$
	1	**2**	**.**	**.**	**.**	**b**		
1	y_{11}	y_{12}	.	.	.	y_{1b}	$y_{1.}$	$\bar{y}_{1.}$
2	y_{21}	y_{22}	.	.	.	y_{2b}	$y_{2.}$	$\bar{y}_{2.}$
3	y_{31}	y_{32}	.	.	.	y_{3b}	$y_{3.}$	$\bar{y}_{3.}$
.	.	.				.	.	.
.	.	.				.	.	.
.	.	.				.	.	.
a	y_{a1}	y_{a2}	.	.	.	y_{ab}	$y_{a.}$	$\bar{y}_{a.}$
รวม $y_{.j}$	$y_{.1}$	$y_{.2}$	.	.	.	$y_{.b}$	$y_{..}$	
ค่าเฉลี่ย $\bar{y}_{.j}$	$\bar{y}_{.1}$	$\bar{y}_{.2}$	.	.	.	$\bar{y}_{.b}$		$\bar{y}_{..}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

(The analysis of variance for Randomized Complete Block Design)

การทดสอบอิทธิพลของวิธีทดลอง และปัจจัยบล็อก แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 ดังนี้

ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

สาเหตุของความแปรปรวน	ระดับความเป็นเสรี	ผลรวมกำลังสอง	ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย	F-test
วิธีทดลอง	$(a-1)$	$SSTr = b\sum_{i=1}^{a}(\bar{y}_{i.}-\bar{y}_{..})^2$	$MSTr = \frac{SSTr}{a-1}$	$F = \frac{MSTr}{MSE}$
ปัจจัยบล็อก	$(b-1)$	$SSB = a\sum_{j=1}^{b}(\bar{y}_{.j}-\bar{y}_{..})^2$	$MSB = \frac{SSB}{b-1}$	$F = \frac{MSB}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน	$(a-1)\times(b-1)$	$SSE = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(y_{ij}-\bar{y}_{i.}-\bar{y}_{j.}+\bar{y}_{..})^2$	$MSE = \frac{SSE}{(a-1)(b-2)}$	
รวม	$ab-1$	$SST = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(y_{ij}-\bar{y}_{..})^2$		

เมื่อ y_{ij} คือ ค่าสังเกตของวิธีทดลองที่ i และปัจจัยบล็อกที่ j

$\bar{y}_{..}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวในทุกวิธีทดลองและทุกปัจจัยบล็อก

เท่ากับ $\frac{\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}y_{ij}}{ab}$

$\bar{y}_{i.}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวในปัจจัยบล็อก ของวิธีทดลองที่ i

เท่ากับ $\frac{\sum_{j=1}^{b}y_{ij}}{b}$

$\bar{y}_{.j}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทุกตัวในทุกวิธีทดลองของปัจจัยบล็อกที่ j

เท่ากับ $\frac{\sum_{i=1}^{a}y_{ij}}{a}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างตามตัวแบบแผนการทดลองจัตุรัสลาติน ดังนั้นในการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จึงทำการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error: MSE) ดังนี้

กรณีกำหนดให้ปัจจัยแถว (Row factor) ของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินเป็นปัจจัยบล็อกในแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ การประมาณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะใช้ปัจจัยคอลัมน์ (Column factor) ของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินในการประมาณค่า ในที่นี้เรียกวิธีการแบบ MSE (column) คือ

$$MSE(column)^{2} = \frac{MSC + (p-1)MSE}{p}$$

เมื่อ MSC คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองตามคอลัมน์

MSE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน

p คือ จำนวนวิธีทดลอง

กรณีกำหนดให้ปัจจัยคอลัมน์ (Column factor) ของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินเป็นปัจจัยแบ่งบล็อกในแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ การประมาณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะใช้ปัจจัยแถว (Row factor) ของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินในการประมาณค่า ในที่นี้เรียกวิธีการแบบ MSE (row) คือ

$$MSE(row) = \frac{MSR + (p-1)MSE}{p}$$

เมื่อ MSR คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองตามแถว

[2] Roger E. Kirk, Experimental design: Procedures for the behavioral sciences,2nd ed (California: Wadsworth, 1982), p.327.

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

1. อิทธิพลของวิธีทดลองและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เป็นแบบบวก
2. ความคลาดเคลื่อนของการทดลองเกิดขึ้นโดยสุ่มเป็นอิสระต่อกันและมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีความแปรปรวนเป็น σ^2

สมมติฐานในการทดสอบ

สำหรับตัวแบบกำหนด (Fixed model)

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = ... = \mu_a$

H_a : มี $\mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่ที่ไม่เท่ากัน ของ $i \neq j$

หรือ $H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = ... = \tau_a = 0$

H_a : มี τ_i อย่างน้อย 1 ค่าที่ไม่เท่ากับ 0

เกณฑ์การตัดสินใจ

ในการทดสอบจะปฏิเสธสมมติฐานว่างเมื่อค่า F จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตาราง F ที่องศาความเป็นอิสระ $\upsilon_1 = (a-1)$ และ $\upsilon_2 = (a-1)(b-1)$ ภายใต้สมมติฐานว่าง สามารถเขียนแทนด้วย $F_{[(a-1),(a-1)(b-1)]}$ และสำหรับภายใต้สมมติฐานแย้งการแจกแจงของเอฟจะมีการแจกแจงแบบเอฟห่างศูนย์กลาง (Non-central F distribution) ที่มีองศาความเป็นอิสระ $\upsilon_1 = (a-1)$ และ $\upsilon_2 = (a-1)(b-1)$ และมีพารามิเตอร์ห่างศูนย์กลาง

$$\lambda = \frac{b\sum_{i=1}^{a} \tau_i^2}{\sigma^2}$$

สามารถเขียนแทนด้วย $F_{[(a-1),(a-1)(b-1)];\lambda}$ และเรียก λ นี้ว่า พารามิเตอร์ห่างศูนย์กลาง (Non-central parameter) ภายใต้สมมติฐานว่างพารามิเตอร์ห่างศูนย์กลาง λ จะเท่ากับ 0 หรืออาจพิจารณาจากค่า p-value ซึ่งค่า p-value จะใช้เปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญ (α) ที่กำหนดไว้

- ค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) ที่กำหนดไว้ จะปฏิเสธสมมติฐานว่าง
- ค่า p-value มากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) ที่กำหนดไว้ จะยอมรับสมมติฐานว่าง

2.6 การหาค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

การทดสอบสมมติฐานมักเกิดความผิดพลาดในการทดสอบ ซึ่งความผิดพลาดในที่นี้หมายถึง การสรุปผลจากการใช้ข้อมูลตัวอย่างมาสรุปผลการทดสอบเพื่ออ้างอิงถึงประชากร ซึ่งทำให้ผลการทดสอบอาจไม่ยอมรับสมมติฐานว่างทั้งที่สมมติฐานว่างเป็นจริง หรือยอมรับสมมติฐานว่างว่าจริงทั้งที่ในความเป็นจริงแล้วสมมติฐานว่างไม่จริง ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.6 ดังนี้

ตารางที่ 2.6 ผลการทดสอบสมมติฐานและความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน

ผลการทดสอบ	**ความเป็นจริง**	
	สมมติฐานว่าง (H_0) เป็นจริง	**สมมติฐานว่าง (H_0) ไม่เป็นจริง**
ปฏิเสธสมมติฐานว่าง	ความผิดพลาดประเภทที่ 1	ผลการทดสอบถูกต้อง
ยอมรับสมมติฐานว่าง	ผลการทดสอบถูกต้อง	ความผิดพลาดประเภทที่ 2

<u>ข้อตกลงเบื้องต้นของค่าใช้จ่ายของการทดลอง</u>

1. ค่าใช้จ่ายของการทดลองประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองและค่าผลรวมค่าใช้จ่ายถ่วงน้ำหนักของผลการทดสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้ทั้ง 4 เหตุการณ์ คือ
   - การยอมรับสมมติฐานว่าง เมื่อสมมติฐานว่างเป็นจริง
   - การปฏิเสธสมมติฐานว่าง เมื่อสมมติฐานว่างเป็นจริง
   - การยอมรับสมมติฐานว่าง เมื่อสมมติฐานว่างไม่เป็นจริง
   - การปฏิเสธสมมติฐานว่าง เมื่อสมมติฐานว่างไม่เป็นจริง
2. ค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ ของการทดลอง เป็นค่าใช้จ่ายในการทดลองประเภทการทดลองภาคสนาม (Field experimental) เช่น การทดลองทางการเกษตร ปศุสัตว์ เป็นต้น
   ส่วนค่าใช้จ่ายในการทดลองประเภทการทดลองในห้องทดลอง (Laboratory experimental) อาจมีค่าใช้จ่ายส่วนอื่นๆ แตกต่างไปตามลักษณะของการทดลอง

<u>ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง</u>

$$E(\cos t) = C_E + E(C_o)$$

โดยที่ $$E(C_o) = P_{H_0} \times [\alpha \times C_1 + (1-\alpha) \times C_2] + (1 - P_{H_0}) \times [\beta \times C_3 + (1-\beta) \times C_4]$$

เมื่อ $E(\cos t)$ คือ ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง

C_E คือ ค่าใช้จ่ายในการทดลอง

$$= ab(eu_{RCBD}) + b\sum_{i=1}^{a} trt_{RCBD}$$

$E(C_o)$ คือ ค่าผลรวมค่าใช้จ่ายถ่วงน้ำหนักของผลการทดสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้ทั้งหมด

P_{H_0} คือ ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับสมมติฐานว่าง

α คือ ความผิดพลาดประเภทที่ 1 หรือระดับนัยสำคัญ

β คือ ความผิดพลาดประเภทที่ 2

C_1 คือ ค่าใช้จ่ายในการทดลองเมื่อปฏิเสธสมมติฐานว่าง โดยที่สมมติฐานว่างเป็นจริง

$$= ab(eu_{RCBD}) + abOP_1$$

C_2 คือ ค่าใช้จ่ายในการทดลองเมื่อยอมรับสมมติฐานว่าง โดยที่สมมติฐานว่างเป็นจริง

$$= ab(eu_{RCBD})$$

C_3 คือ ค่าใช้จ่ายในการทดลองเมื่อยอมรับสมมติฐานว่าง โดยที่สมมติฐานว่างไม่เป็นจริง

$$= ab(eu_{RCBD}) + abOP_2$$

C_4 คือ ค่าใช้จ่ายในการทดลองเมื่อปฏิเสธสมมติฐานว่าง โดยที่สมมติฐานว่างไม่เป็นจริง

$$= ab(eu_{RCBD})$$

eu_{RCBD} คือ ค่าใช้จ่ายในการหาหน่วยทดลองต่อ 1 หน่วยทดลอง สำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เพื่อให้ได้หน่วยทดลองตามบล็อกที่ต้องการ

trt_{RCBD} คือ ค่าใช้จ่ายในการให้วิธีทดลองที่ i ต่อ 1 หน่วยทดลอง; $i = 1, 2, \ldots, a$

OP_1 คือ ค่าเสียโอกาสจากการปฏิเสธสิ่งที่ถูกต้อง ต่อ 1 หน่วยทดลอง

OP_2 คือ ค่าเสียโอกาสจากการยอมรับสิ่งที่ไม่ถูกต้อง ต่อ 1 หน่วยทดลอง

a คือ จำนวนวิธีทดลอง

b คือ จำนวนปัจจัยบล็อก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาความไวและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลอง 2 แผน คือ แผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ โดยสร้างความคลาดเคลื่อนให้มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งการจำลองในแต่ละสถานการณ์จะใช้เทคนิคมอนติคาร์โล โดยใช้โปรแกรม S-PLUS 2000 ดังรายละเอียดของวิธีดำเนินการวิจัยต่อไปนี้

3.1. การจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล

เนื่องจากเทคนิคมอนติคาร์โลเป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ เป็นเวลานาน และยังเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยมีการประยุกต์ใช้ในสาขาวิชาต่างๆ มากมาย เช่น สาขาคณิตศาสตร์ สาขาการวิจัยดำเนินงาน เป็นต้น

เทคนิคมอนติคาร์โล เป็นเทคนิคที่ใช้ตัวเลขสุ่มมาช่วยแก้ปัญหาในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และหาคำตอบของปัญหาที่ยังไม่แน่ใจในผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น ตัวเลขสุ่มมีประโยชน์ดังนี้

3.1.1. ทำให้การเลือกตัวอย่างไม่มีความเอนเอียงในการสำรวจหรือการทดลองในเรื่องต่างๆ ทั้งนี้เพราะเลขสุ่มมาจากแนวคิดเกี่ยวกับการคำนวณความน่าจะเป็น

3.1.2. เลขสุ่มจะทำให้ได้มาซึ่งรูปแบบต่างๆ หรือวิธีการที่สลับซับซ้อนโดยการสร้างสถานการณ์จำลอง (Simulation)

3.1.3. การใช้เลขสุ่มอาจทำเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางทฤษฎีของกระบวนการทางสถิติที่มีความสำคัญสำหรับการประมาณค่า ตลอดจนการนำไปสู่คำอธิบายเกี่ยวกับอำนาจ การทดสอบทางสถิติ

3.1.4. เพื่อหาคำตอบในปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาจากการแจกแจงความน่าจะเป็นของปัญหานั้น

3.2. แผนการดำเนินการวิจัย

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดสถานการณ์ต่างๆ ที่ทำการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน ดังนี้

3.2.1. ตัวแบบเป็นวิธีทดลองคงที่ (Fix effect model)

3.2.2. จำนวนวิธีทดลอง คือ 3, 5 และ 7

3.2.3. จำนวนปัจจัยแถว คือ 3, 5 และ 7

3.2.4. จำนวนปัจจัยคอลัมน์ คือ 3, 5 และ 7

3.2.5. การแจกแจงความคลาดเคลื่อนที่ศึกษาในแผนการทดลอง คือ การแจกแจงแบบปกติ

3.2.6. ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ

3.2.6.1. ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองมีความแตกต่างกันน้อย ค่า Φ อยู่ระหว่าง [0, 1.5)

3.2.6.2. ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองมีความแตกต่างกันปานกลาง ค่า Φ อยู่ระหว่าง [1.5, 3)

3.2.6.3. ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองมีความแตกต่างกันมาก ค่า Φ มีค่าตั้งแต่ 3 ขึ้นไป

3.2.7. ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของปัจจัยแถว และปัจจัยคอลัมน์ กำหนดความแตกต่างที่ระดับ Φ เท่ากับ 1.5

3.2.8. ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of variance: C.V. (%)) แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 10%, 20% และ 30% และกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของประชากร (μ) มีค่าเท่ากันทุกกลุ่มเท่ากับ 50 จะมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) คือ 5, 10 และ 15

3.2.9. ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ (α) คือ 0.01, 0.05 และ 0.10

3.2.10. การจำลองในแต่ละสถานการณ์ของการทดลองเพื่อหาค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่าง มีการทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์ 1000 รอบ

3.2.11. การกำหนดระดับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองโดยศึกษาจากการวิจัย

- การใช้ถั่วท่าพระสไตโลเลี้ยงแพะเนื้อ

โดยกำหนดระดับค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองศึกษา 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง ซึ่งมีเกณฑ์การกำหนดระดับค่าใช้จ่ายต่างๆ ดังนี้

ระดับต่ำ คือ ค่าต่ำสุดของช่วงค่าใช้จ่ายต่างๆ

ระดับสูง คือ ค่าสูงสุดของช่วงค่าใช้จ่ายต่างๆ

3.3. ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้

3.3.1 สร้างการแจกแจงของความคลาดเคลื่อนตามที่กำหนดในแผนการทดลอง

3.3.2 สร้างอิทธิพลของวิธีทดลอง (τ_i) ให้แตกต่างกัน

3.3.3 สร้างอิทธิพลของปัจจัยแถว (β_j) และปัจจัยคอลัมน์ (α_k) ให้แตกต่างกัน

3.3.4 สร้างข้อมูลตามแผนการทดลองจัตุรัสลาติน

3.3.5 คำนวณค่าสถิติทดสอบเอฟ

3.3.6 คำนวณหาค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่างและค่าอำนาจการทดสอบ

3.3.7 คำนวณค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง และค่าผลรวมค่าใช้จ่ายถ่วงน้ำหนักของผลการทดสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้ทั้งหมด

3.3.8 คำนวณค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

3.3.9 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

ซึ่งรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

3.3.1. สร้างการแจกแจงของความคลาดเคลื่อนตามที่กำหนดในแผนการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสร้างการแจงแจงของความคลาดเคลื่อนให้มีการแจกแจงแบบปกติ สำหรับโปรแกรม S-PLUS 2000 จะใช้ฟังก์ชัน $rmorm(n, \mu, sd)$ โดย n แทน จำนวนหน่วยทดลอง μ แทน ค่าเฉลี่ยของประชากร และ sd แทน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งผู้วิจัยได้เสนอในภาคผนวก ง

3.3.2. สร้างอิทธิพลของวิธีทดลอง (τ_i)ให้แตกต่างกัน

โดยการพิจารณา $\sum_{i=1}^{p} \tau_i = 0$ ซึ่งจะกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองโดยใช้ Φ เป็นตัวกำหนด จาก

$$\Phi = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{p} \tau_i^2}}{\sigma}$$

ในกรณีที่จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 สามารถกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองให้สะดวกขึ้น โดยกำหนดให้

$$D = \tau_{\max} - \tau_{\min}$$

$$\tau_i = \frac{(\tau_{\max} + \tau_{\min})}{2} \quad ; \ i = 1,2,..., p$$

โดยที่ $\tau_{\max} = \frac{D}{2}$, $\tau_{\min} = -\frac{D}{2}$ และ $\tau_i = 0$ เมื่อ i ไม่ใช่ทั้งค่า Max และ Min

ในที่นี้ $\tau_{\max}$ หมายถึง ค่าที่มากที่สุดของอิทธิพลวิธีทดลอง

$\tau_{\min}$ หมายถึง ค่าที่น้อยที่สุดของอิทธิพลวิธีทดลอง

D หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่มากที่สุดและค่าที่น้อยที่สุดของอิทธิพลวิธีทดลอง

ดังนั้น ในการกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลทดลองของวิธีทดลองโดยใช้ Φ เป็นตัวกำหนด ทำได้ดังนี้

$$\Phi = D\sqrt{\frac{1}{2\sigma^2}}$$

ในกรณีที่จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 สามารถกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองให้สะดวกขึ้น โดยกำหนดให้

$$D = 2(\tau_{\max} - \tau_{\min})$$

$$\tau_i = \frac{(\tau_{\max} + \tau_{\min})}{2} \quad ; \ i = 1,2,..., p$$

โดยที่ $\tau_{\max} = \frac{D}{4}$, $\tau_{\min} = -\frac{D}{4}$ และ $\tau_i = 0$ เมื่อ i ไม่ใช่ทั้งค่า Max และ Min

ดังนั้น ในการกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลทดลองของวิธีทดลองโดยใช้ Φ เป็นตัวกำหนด ทำได้ดังนี้

$$\Phi = \frac{D}{2}\sqrt{\frac{1}{\sigma^2}}$$

ในกรณีที่จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 สามารถกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองให้สะดวกขึ้น โดยกำหนดให้

$$D = 3(\tau_{\max} - \tau_{\min})$$

$$\tau_i = \frac{(\tau_{\max} + \tau_{\min})}{2} \quad ; \ i = 1,2,..., p$$

โดยที่ $\tau_{\max} = \frac{D}{6}$, $\tau_{\min} = -\frac{D}{6}$ และ $\tau_i = 0$ เมื่อ i ไม่ใช่ทั้งค่า Max และ Min

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้น ในการกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลทดลองของวิธีทดลองโดยใช้ Φ เป็นตัวกำหนด ทำได้ดังนี้

$$\Phi = D\sqrt{\frac{1}{6\sigma^2}}$$

3.3.3. สร้างอิทธิพลของปัจจัยแถว (β_j) และปัจจัยคอลัมน์ (α_k) ให้แตกต่างกัน

การสร้างอิทธิพลของปัจจัยแถว (β_j) และปัจจัยคอลัมน์ (α_k) มีหลักเกณฑ์ในการคำนวณเหมือนกัน และกำหนดให้มีอิทธิพลเท่ากัน โดยจะอธิบายวิธีการคำนวณอิทธิพลของปัจจัยแถวจากการพิจารณา $\sum_{j=1}^{p}\beta_j = 0$ กำหนดให้ $\Phi = 1.5$ และ

$$\Phi = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^{p}\beta_j^2}}{\sigma}$$

ในกรณีที่จำนวนปัจจัยแถวเท่ากับ 3 สามารถกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของปัจจัยแถวให้สะดวกขึ้น โดยกำหนดให้

$$D = \beta_{\max} - \beta_{\min}$$

$$\beta_j = \frac{(\beta_{\max} + \beta_{\min})}{2} \quad ; \; j = 1,2,\ldots, p$$

โดยที่ $\beta_{\max} = \frac{D}{2}$, $\beta_{\min} = -\frac{D}{2}$ และ $\beta_j = 0$ เมื่อ i ไม่ใช่ทั้งค่า Max และ Min

ในที่นี้ $\beta_{\max}$ หมายถึง ค่าที่มากที่สุดของอิทธิพลวิธีทดลอง

$\beta_{\min}$ หมายถึง ค่าที่น้อยที่สุดของอิทธิพลวิธีทดลอง

D หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่มากที่สุดและค่าที่น้อยที่สุดของอิทธิพลวิธีทดลอง

ดังนั้น ในการกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลทดลองของปัจจัยแถวโดยใช้ Φ เป็นตัวกำหนด ทำได้ดังนี้

$$\Phi = D\sqrt{\frac{1}{2\sigma^2}}$$

ในกรณีที่จำนวนปัจจัยแถวเท่ากับ 5 สามารถกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของปัจจัยแถวให้สะดวกขึ้น โดยกำหนดให้

$$D = \frac{3}{2}(\beta_{\max} - \beta_{\min})$$

โดยที่ $\beta_1 = \beta_{\min} = -\frac{D}{3}$, $\beta_2 = \frac{\beta_{\min}}{2} = -\frac{D}{6}$, $\beta_3 = 0$, $\beta_4 = \frac{\beta_{\max}}{2} = \frac{D}{6}$

และ $\beta_5 = \beta_{\max} = \frac{D}{3}$

ในที่นี้ $\beta_1, \beta_2, ..., \beta_5$ หมายถึงอิทธิพลของปัจจัยแถวที่ 1, 2,...,5

ดังนั้น ในการกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลทดลองของปัจจัยแถวโดยใช้ Φ เป็นตัวกำหนด ทำได้ดังนี้

$$\Phi = \frac{D}{3}\sqrt{\frac{5}{2\sigma^2}}$$

ในกรณีที่จำนวนปัจจัยแถวเท่ากับ 7 สามารถกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของปัจจัยแถวให้สะดวกขึ้น โดยกำหนดให้

$$D = 2(\beta_{\max} - \beta_{\min})$$

โดยที่ $\beta_1 = \beta_{\min} = -\frac{D}{4}$, $\beta_2 = \frac{2}{3}\beta_{\min} = -\frac{D}{6}$, $\beta_3 = \frac{1}{3}\beta_{\min} = -\frac{D}{12}$, $\beta_4 = 0$,

$\beta_5 = \frac{1}{3}\beta_{\max} = \frac{D}{12}$, $\beta_6 = \frac{2}{3}\beta_{\max} = \frac{D}{6}$ และ $\beta_7 = \beta_{\max} = \frac{D}{4}$

ในที่นี้ $\beta_1, \beta_2, ..., \beta_7$ หมายถึงอิทธิพลของปัจจัยแถวที่ 1, 2,...,7

ดังนั้น ในการกำหนดระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลทดลองของปัจจัยแถวโดยใช้ Φ เป็นตัวกำหนด ทำได้ดังนี้

$$\Phi = \frac{D}{6}\sqrt{\frac{7}{\sigma^2}}$$

3.3.4. สร้างข้อมูลตามแผนการทดลองจัตุรัสลาติน

สร้างตัวแปรสุ่มของความคลาดเคลื่อน ε_{ijk} ที่มีการแจกแจงแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และความแปรปรวนเป็น σ^2 แล้วทำการสร้างค่า y_{ijk} ตามตัวแบบ $Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \alpha_k + \varepsilon_{ijk}$ เมื่อ τ_i, β_j และ α_k เป็นอิทธิพลของวิธีทดลอง ปัจจัยแถว และปัจจัยคอลัมน์ ตามลำดับ

3.3.5. คำนวณค่าสถิติทดสอบเอฟ

กำหนดจำนวนวิธีทดลอง บล็อก ค่าเฉลี่ยประชากร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้วทำการสร้างข้อมูลสุ่มโดยโปรแกรมในภาคผนวกที่มีการแจกแจงความคลาดเคลื่อนแบบปกติ และนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณค่าต่างๆ ตามสูตรการทดสอบของตัวสถิติเอฟทั้ง 2 แผนการทดลอง คือ

3.3.5.1. แผนการทดลองจัตุรัสลาติน

3.3.5.2. แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

รายละเอียดเกี่ยวกับการทดสอบของตัวสถิติเอฟทั้ง 2 แผนการทดลองได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 แล้ว

3.3.6. การหาสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่าง และค่าอำนาจการทดลอบ

เมื่อสร้างข้อมูล (y_{ijk}) ตามตัวแบบที่ต้องการและคำนวณค่าสถิติทดสอบเอฟแล้ว ทำการคำนวณค่า p-value ของตัวสถิติเอฟทั้ง 2 แผนการทดลอง เปรียบเทียบค่า p-value กับระดับนัยสำคัญที่กำหนด ขั้นตอนต่อไปคือ การหาค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างและอำนาจการทดสอบ สรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

3.3.6.1. สร้างอิทธิพลของวิธีทดลอง (τ_i) โดยที่ $\sum_{i=1}^{p} \tau_i = 0$ และคำนวณค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่าง

3.3.6.2. เปลี่ยนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน และระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองจนกระทั่งครบทุกสถานการณ์ แต่ละสถานการณ์จะกระทำซ้ำ 1000 รอบ

3.3.6.3. คำนวณค่าอำนาจการทดสอบจาก

$$Z_{1-\beta}{}^{1} = \frac{D(n-1)\sqrt{2n}}{2(n-1)+1.21(Z_{1-\alpha}-1.06)} - Z_{1-\alpha}$$

เมื่อ D คือ ระดับอิทธิพลของวิธีทดลอง

n คือ จำนวนหน่วยทดลอง

3.3.6.4. เปลี่ยนระดับนัยสำคัญ (α) ระดับความแตกต่างของวิธีทดลอง และจำนวนหน่วยทดลองจนกระทั่งครบทุกสถานการณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[1] Ian James Parnell, "Use of decision analysis to design a habitat restoration experiment," (Master's Thesis, Resource Management, School of Resource and Environment Management, Simon Fraser University, 2002), p. 20.

3.3.7. คำนวณค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง และค่าผลรวมค่าใช้จ่ายถ่วงน้ำหนักของผลการทดสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้ทั้งหมด

กำหนดจำนวนวิธีทดลอง จำนวนปัจจัยแถวและคอลัมน์ ค่าใช้จ่ายในการหาหน่วยทดลอง ค่าใช้จ่ายในการให้วิธีทดลอง ระดับนัยสำคัญ (α) ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง จำนวนหน่วยทดลอง รวมถึงค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างและอำนาจการทดสอบ แล้วทำการคำนวณค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองและค่าผลรวมค่าใช้จ่ายถ่วงน้ำหนักของผลการทดสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้ทั้ง 4 เหตุการณ์ รายละเอียดในการคำนวณทั้ง 2 ส่วน ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 แล้ว

3.3.8. คำนวณค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

เมื่อคำนวณ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง และค่าผลรวมค่าใช้จ่ายถ่วงน้ำหนักของผลการทดสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้ว ขั้นต่อไปคือ การหาค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง

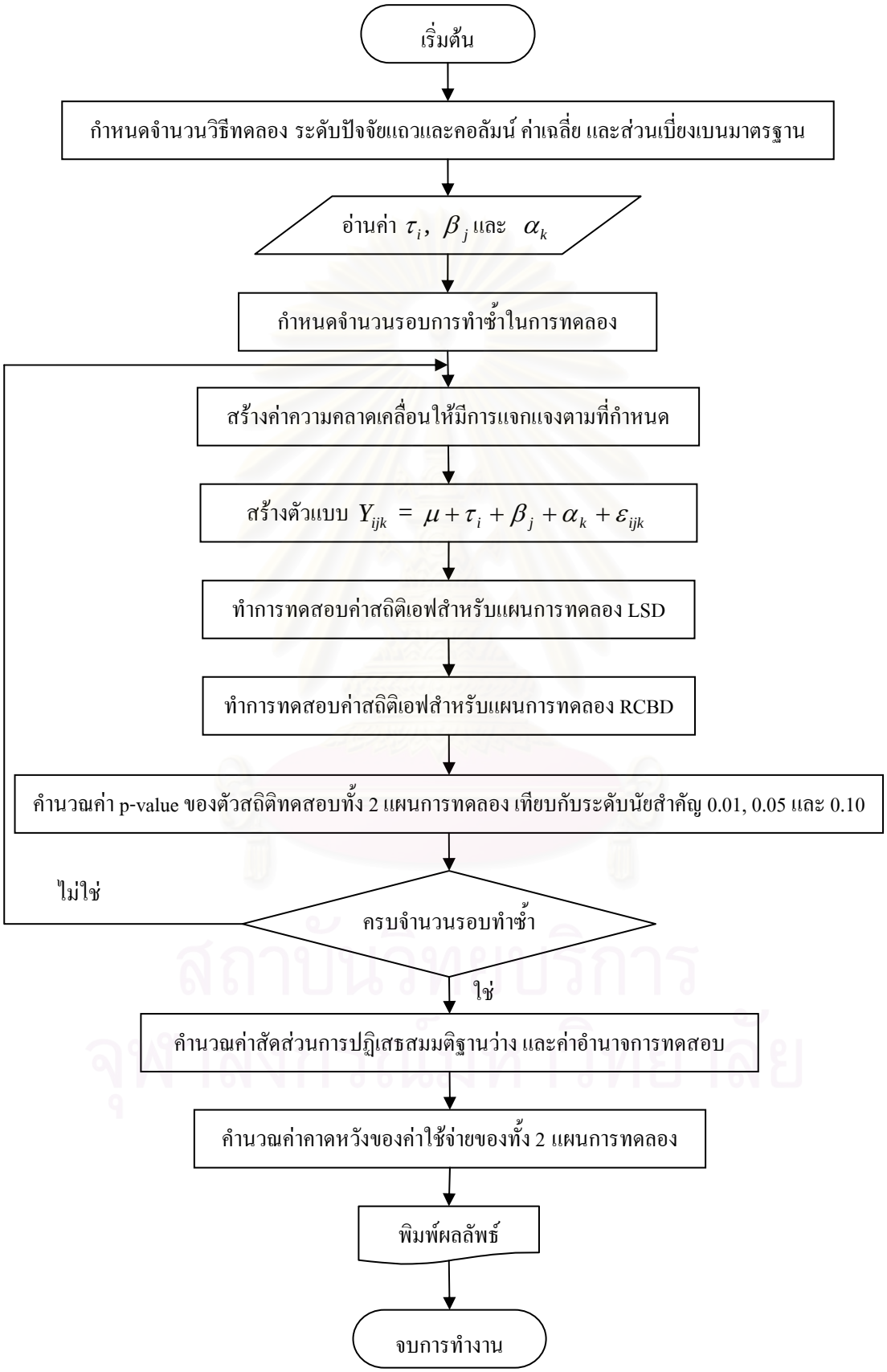
3.3.9. เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองว่า แผนการทดลองใดมีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองน้อยกว่า แผนการทดลองนั้นจะเป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์

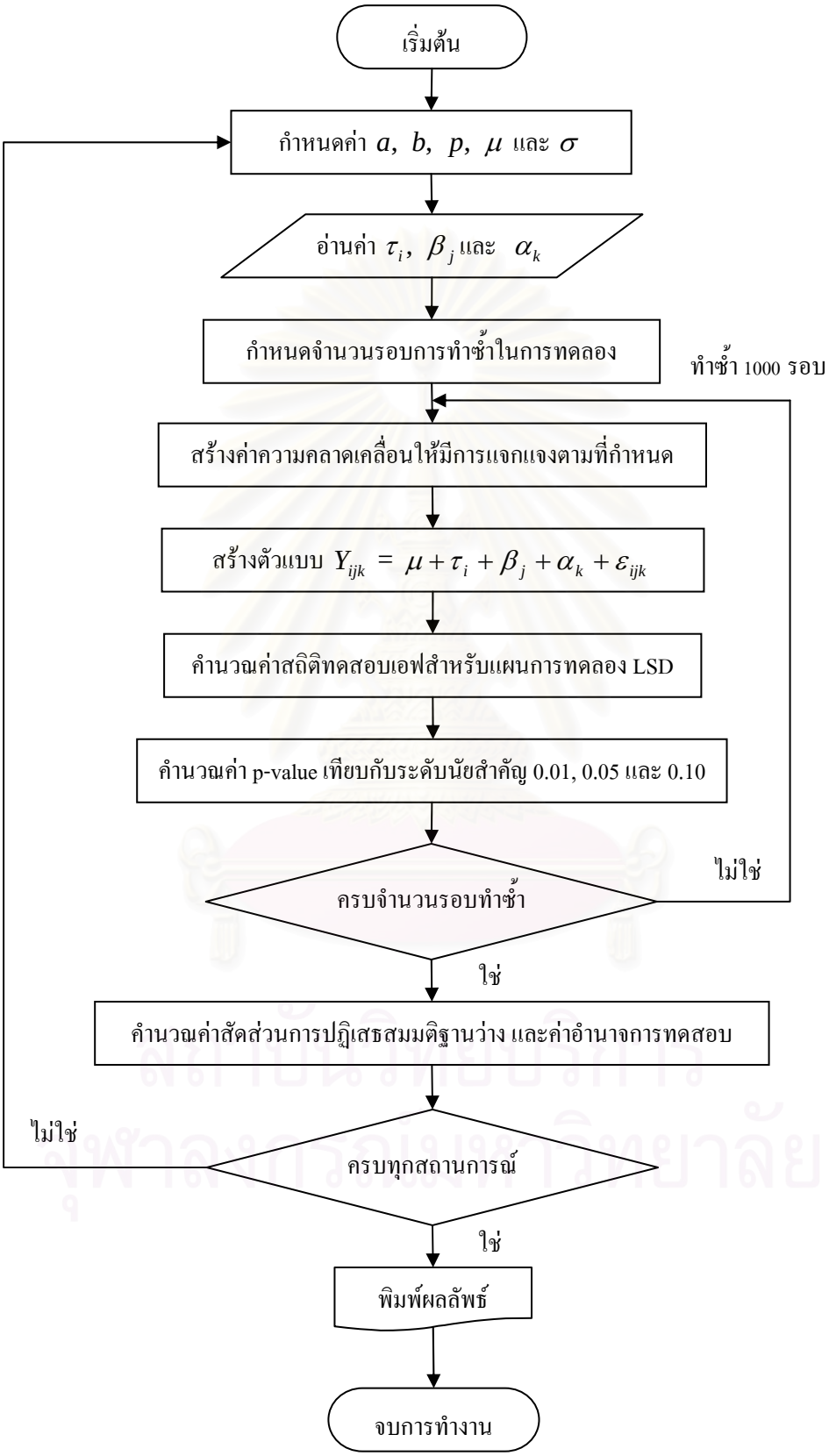
3.4. แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน

โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ คือ S-PLUS 2000 โดยการประมวลผลข้อมูลมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.4.1 – 3.4.4 ส่วนรายละเอียดโปรแกรมการทำงานตามลำดับขั้นตอนนั้น ได้เสนอไว้ในภาคผนวก ง

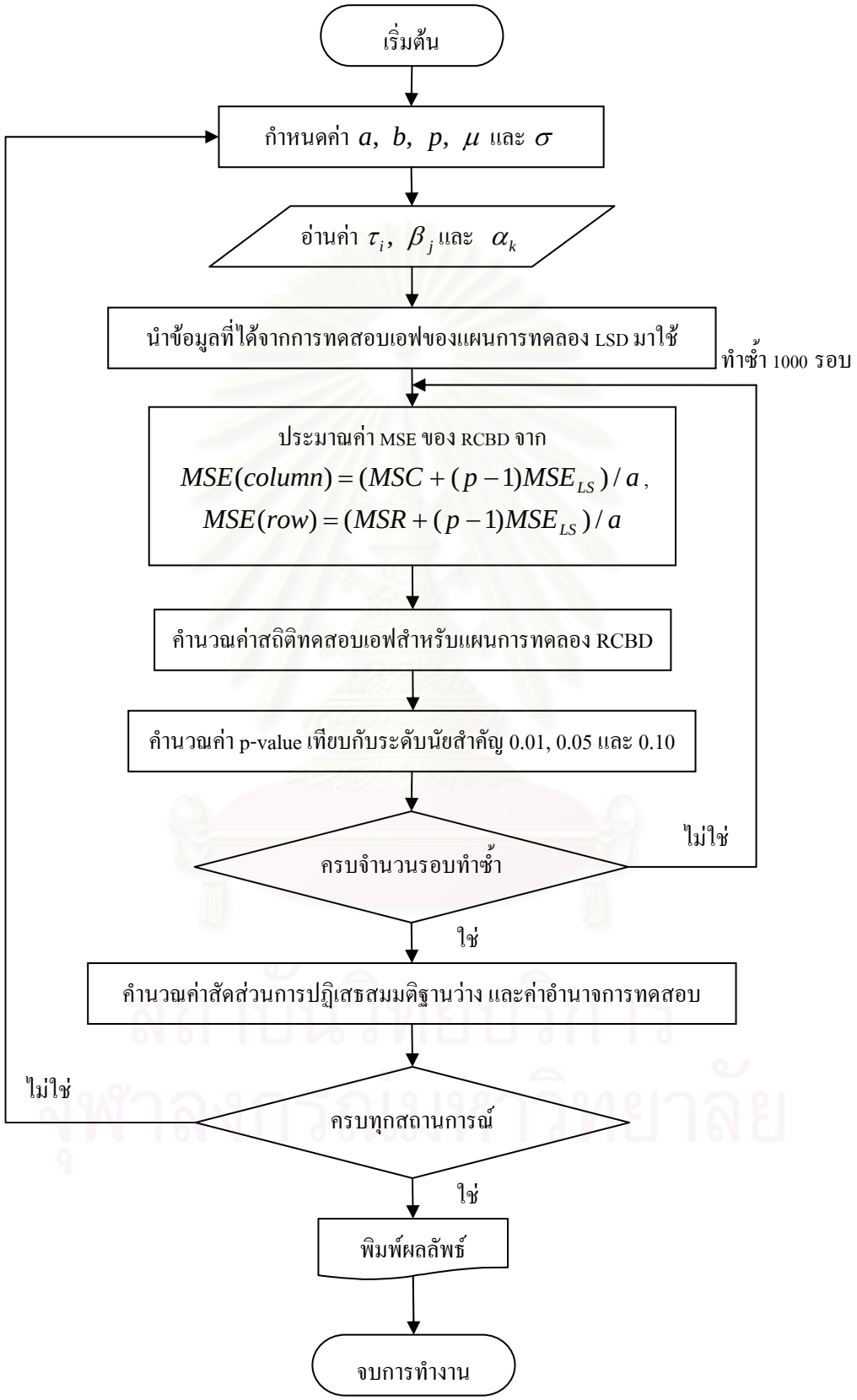
รูปที่ 3.4.1 แผนผังการทำงานเกี่ยวกับประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลอง



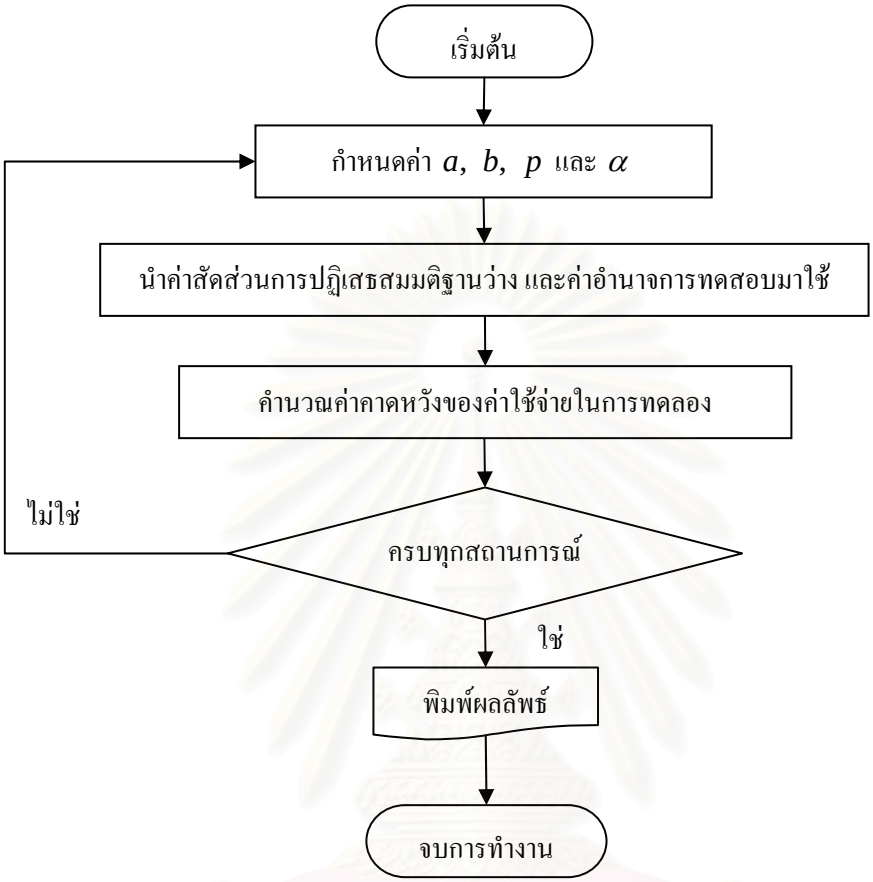
รูปที่ 3.4.2 แผนผังการทำงานของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน



รูปที่ 3.4.3 แผนผังการทำงานของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์



รูปที่ 3.4.4 แผนผังการทำงานของโปรแกรมคำนวณค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาความไวและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลอง 2 แผน คือ แผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ โดยพิจารณาจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองซึ่งประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง ค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่าง และค่าอำนาจการทดสอบ ภายใต้การแจกแจงของความคลาดเคลื่อน ε แบบปกติในสถานการณ์ต่างๆ ได้แก่ สถานการณ์ที่จำนวนวิธีทดลอง ระดับปัจจัยแถว และระดับปัจจัยคอลัมน์ เท่ากับ 3, 5 และ 7 ทำการจำลองข้อมูลให้มีระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง 3 ระดับ คือ น้อย ปานกลาง และมาก กำหนดสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (C.V.%) เท่ากับ 10%, 20% และ 30% และกำหนดให้ระดับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการหาหน่วยทดลอง ค่าใช้จ่ายในการให้สิ่งทดลอง ค่าเสียโอกาสเมื่อปฏิเสธสิ่งที่ถูก และค่าเสียโอกาสเมื่อยอมรับสิ่งที่ผิด แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง โดยศึกษาที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 การจำลองข้อมูลใช้เทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) กระทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์จำนวน 1000 รอบ

ในการศึกษาครั้งนี้พิจารณาความเหมาะสมของแผนการทดลองจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งคำนวณจากค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง ค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่าง และค่าอำนาจการทดสอบ

เพื่อความสะดวกในการนำเสนอผลการวิจัยครั้งนี้ จึงใช้สัญลักษณ์ต่อไปนี้แสดงในตารางแทนความหมายต่างๆ ดังนี้

LSD	แทน	แผนการทดลองจัตุรัสลาติน
RCBD	แทน	แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์
C.V. %	แทน	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (%)
Φ	แทน	สัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบนของวิธีทดลอง
MSE	แทน	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
MSE (row)	แทน	การประมาณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ โดยใช้ปัจจัยแถว (Row factor) ของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินในการประมาณค่า

MSE (column)	แทน	การประมาณค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ โดยใช้ปัจจัยคอลัมน์ (Column factor) ของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินในการประมาณค่า

การนำเสนอผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ได้แบ่งการนำเสนอผลการวิจัยออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 4.1 ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างแสดงดังตารางที่ 4.1 – 4.9

ส่วนที่ 4.2 ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบ ในกรณีวิธีทดลองเท่ากับ 3, 5 และ 7 ดังตารางที่ 4.10

ส่วนที่ 4.3 ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองกรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ แสดงดังตารางที่ 4.11 – 4.19 และโดยรูปที่ 4.1 – 4.18 ได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก ก

ส่วนที่ 4.4 ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองกรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง แสดงดังตารางที่ 4.20 – 4.28 และโดยรูปที่ 4.19 – 4.36 ได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก ก

การนำเสนอผลการวิจัยในรายละเอียดของการปฏิเสธสมมติฐานว่างในแต่ละกรณี ได้ทำการพิจารณาความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ไว้แล้ว โดยพิจารณาค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 ($\hat{\alpha}$) จากการทดลองในแต่ละสถานการณ์ซึ่งในที่นี้ คือ ค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่าง คำนวณจากการนับจำนวนครั้งของชุดข้อมูลที่ปฏิเสธสมมติฐานว่างต่อชุดข้อมูลทั้งหมด เป็นตัวกำหนดการควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ด้วยการทดสอบทวินาม (Binomial Test) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบทวินาม (α^*) เท่ากับ 0.05 โดย

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ

$$H_0 : \alpha \leq \alpha_0$$

$$H_a : \alpha > \alpha_0$$

ดังนั้น

$$P\left[\frac{\hat{\alpha} - \alpha_0}{\sqrt{\frac{\alpha_0(1-\alpha_0)}{n^*}}} < Z_{\alpha^*}\right] = 1 - \alpha^*$$

หรือ

$$P\left[\hat{\alpha} < \alpha_0 + Z_{\alpha^*}\sqrt{\frac{\alpha_0(1-\alpha_0)}{n^*}}\right] = 1 - \alpha^*$$

ดังนั้น ช่วงของการควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 คือ

$$\left[0, \alpha_0 + Z_{\alpha^*}\sqrt{\frac{\alpha_0(1-\alpha_0)}{n^*}}\right]$$

โดยที่ α^* แทน ระดับนัยสำคัญของการทดสอบทวินาม

α แทน ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดสอบด้วยตัวสถิติทดสอบ

$\hat{\alpha}$ แทน ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 จากการทดสอบด้วยตัวสถิติทดสอบ

α_0 แทน ระดับนัยสำคัญที่กำหนดในการศึกษาครั้งนี้

n^* แทน จำนวนรอบของการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 1000 รอบ ดังนั้น

ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.01$ จะสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของตัวสถิติได้เมื่อ $\hat{\alpha} \leq 0.01732$

ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ จะสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของตัวสถิติได้เมื่อ $\hat{\alpha} \leq 0.06134$

ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.10$ จะสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ของตัวสถิติได้เมื่อ $\hat{\alpha} \leq 0.11561$

จากผลการวิจัยพบว่าทุกกรณีศึกษาสามารถควบคุมความผิดพลาดประเภทที่ 1 ได้ และลำดับต่อไปนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดในส่วนต่างๆ ของผลการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ 4.1 ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่าง

4.1.1 กรณีเปรียบเทียบ 3 วิธีทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 ดังตารางที่ 4.1 – 4.3 พบว่า

ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันน้อยและปานกลาง แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างน้อยกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน แต่ ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันมาก แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่างที่สูงกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน

4.1.2 กรณีเปรียบเทียบ 5 วิธีทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 ดังตารางที่ 4.4 – 4.6 พบว่า

ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันน้อยและปานกลาง แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างน้อยกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่างจะมีค่าใกล้เคียงกัน ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันมาก

4.1.3 กรณีเปรียบเทียบ 7 วิธีทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 ดังตารางที่ 4.7 – 4.9 พบว่า

ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันน้อยและปานกลาง แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างน้อยกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่างจะมีค่าใกล้เคียงกัน ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันมาก

จากการศึกษาความไวของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ พบว่า เมื่อวิธีทดลอง ระดับนัยสำคัญ และความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่าง จะมีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.1 – 4.9 พบว่า ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันน้อยและปานกลาง แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ให้ค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างน้อยกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่างจะมีค่าใกล้เคียงกัน ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันมาก ยกเว้น

กรณีวิธีทดลองเท่ากับ 3 ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองมาก ค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าสูงกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน ทั้งนี้เนื่องมาจากกรณีวิธีทดลองเท่ากับ 3 แผนการทดลองจัตุรัสลาตินมีระดับความเป็นเสรีของความคลาดเคลื่อนของการทดลองน้อยเกินไปจึงส่งผลต่อความสม่ำเสมอในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	0	0.01	0	0	0	0
แตกต่างปานกลาง	LSD	0.09	0.08	0.08	0.09	0.07	0.08
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
แตกต่างมาก	LSD	0.19	0.21	0.17	0.18	0.19	0.2
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	0.24	0.24	0.23	0.22	0.23	0.25

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	0.07	0.08	0.1	0.08	0.09	0.09
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
แตกต่างปานกลาง	LSD	0.37	0.38	0.35	0.36	0.36	0.34
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	0.25	0.26	0.27	0.27	0.27	0.26
แตกต่างมาก	LSD	0.66	0.68	0.64	0.65	0.67	0.66
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	0.77	0.78	0.74	0.76	0.79	0.79

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	0.14	0.16	0.17	0.16	0.17	0.19
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	0.04	0.05	0.04	0.04	0.06	0.05
แตกต่างปานกลาง	LSD	0.6	0.6	0.61	0.58	0.59	0.6
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	0.49	0.49	0.52	0.47	0.5	0.47
แตกต่างมาก	LSD	0.89	0.91	0.88	0.87	0.89	0.91
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	0.94	0.94	0.93	0.93	0.95	0.96

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	0.04	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
แตกต่างปานกลาง	LSD	0.71	0.71	0.74	0.7	0.73	0.73
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	0.47	0.48	0.51	0.48	0.48	0.48
แตกต่างมาก	LSD	1	1	1	1	1	1
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	0.16	0.18	0.15	0.17	0.17	0.16
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04
แตกต่างปานกลาง	LSD	0.92	0.93	0.93	0.93	0.94	0.93
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	0.79	0.82	0.83	0.81	0.82	0.82
แตกต่างมาก	LSD	1	1	1	1	1	1
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	0.27	0.28	0.25	0.3	0.28	0.28
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	0.09	0.11	0.09	0.12	0.11	0.1
แตกต่างปานกลาง	LSD	0.97	0.97	0.98	0.97	0.98	0.97
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	0.9	0.92	0.91	0.92	0.92	0.92
แตกต่างมาก	LSD	1	1	1	1	1	1
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	1	1	1	1	1	1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	0.07	0.06	0.08	0.07	0.08	0.07
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	0	0.02	0.03	0	0.02	0.04
แตกต่างปานกลาง	LSD	0.94	0.94	0.96	0.95	0.95	0.95
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	0.01	0.84	0.92	0.01	0.85	0.93
แตกต่างมาก	LSD	1	1	1	1	1	1
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	0.77	1	1	0.76	1	1

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	0.19	0.22	0.22	0.21	0.21	0.2
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	0	0.07	0.15	0	0.08	0.13
แตกต่างปานกลาง	LSD	0.99	0.99	1	0.99	0.99	0.99
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	0.08	0.97	0.99	0.1	0.96	0.99
แตกต่างมาก	LSD	1	1	1	1	1	1
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	0.98	1	1	0.97	1	1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	0.32	0.32	0.34	0.32	0.33	0.33
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	0	0.16	0.24	0	0.15	0.24
แตกต่างปานกลาง	LSD	1	1	1	1	1	1
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	0.23	0.99	1	0.26	0.98	1
แตกต่างมาก	LSD	1	1	1	1	1	1
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	1	1	1	1	1	1

ส่วนที่ 4.2 ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบ กรณีวิธีทดลองเท่ากับ 3, 5 และ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10

การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบ กรณีวิธีทดลองเท่ากับ 3, 5 และ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 พบว่า

วิธีทดลองเท่ากับ 3 เมื่อระดับนัยสำคัญมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอำนาจการทดสอบจะลดลง

วิธีทดลองเท่ากับ 5 และ 7 เมื่อระดับนัยสำคัญมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอำนาจการทดสอบจะเพิ่มขึ้น

โดยที่ ในทุกกรณีค่าอำนาจการทดสอบจะเพิ่มขึ้นตามระดับของความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง และจำนวนวิธีทดลอง

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3, 5 และ 7

วิธีทดลอง	ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.10$
3	น้อย	0.76	0.38	0.12
	ปานกลาง	0.92	0.99	1
	มาก	1	1	1
5	น้อย	0.02	0.47	0.67
	ปานกลาง	1	1	1
	มาก	1	1	1
7	น้อย	0.68	0.9	0.95
	ปานกลาง	1	1	1
	มาก	1	1	1

ส่วนที่ 4.3 ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองกรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ

4.3.1 กรณีเปรียบเทียบ 3 วิธีทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 ดังตารางที่ 4.11 – 4.13 รูปที่ 4.1 – 4.6 พบว่า

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง น้อยกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน ทุกกรณี

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.10 ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันน้อย แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง น้อยกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกัน ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันปานกลาง และมาก

4.3.2 กรณีเปรียบเทียบ 5 วิธีทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 ดังตารางที่ 4.14 – 4.16 รูปที่ 4.7 – 4.12 พบว่า

ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันน้อย แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง น้อยกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน แต่ ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันปานกลางและมาก แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองมากกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน

4.3.3 กรณีเปรียบเทียบ 7 วิธีทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 ดังตารางที่ 4.17 – 4.19 รูปที่ 4.13 – 4.18 พบว่า

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05

ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันน้อย แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง น้อยกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน แต่ ณ ระดับความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันปานกลางและมาก แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองมากกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง น้อยกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน ทุกกรณี

จากการศึกษาความไวของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ พบว่า เมื่อวิธีทดลองและระดับนัยสำคัญมีค่าเพิ่มขึ้นค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่เมื่อความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองเพิ่มขึ้น ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าลดลง

จากตารางที่ 4.11 – 4.19 โดยสรุปพบว่า ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินต่ำกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ มีเพียงบางกรณีเท่านั้นที่ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินสูงกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

ทั้งนี้เนื่องมาจากข้อจำกัดด้านระดับความเป็นเสรีของความคลาดเคลื่อนของการทดลองและจำนวนหน่วยทดลองที่น้อยเกินไปสำหรับแผนการทดลองจัตุรัสลาติน เพราะโดยทั่วไปการตรวจสอบอิทธิพลในระดับต่ำจำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองจำนวนมาก จึงส่งผลต่อความสม่ำเสมอในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน และค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	26308.73	26310.21	26310.95	26309.47	26310.95	26311.31
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	26302.84	26304.68	26304.31	26303.57	26303.94	26302.84
แตกต่างปานกลาง	LSD	26314.33	26312.73	26312.23	26313.72	26311.74	26313.22
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	26307.78	26307.29	26307.91	26307.91	26308.4	26308.28
แตกต่างมาก	LSD	26301.54	26301.38	26301.66	26301.62	26301.53	26301.48
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	26301.22	26301.17	26301.24	26301.31	26301.28	26301.12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	26400.21	26406.74	26420.72	26403.94	26417.93	26411.4
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	26340.54	26347.06	26337.74	26340.54	26351.72	26349.86
แตกต่างปานกลาง	LSD	26324.1	26323.88	26324.4	26324.33	26324.33	26324.6
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	26326.2	26325.9	26325.8	26325.77	26325.75	26325.98
แตกต่างมาก	LSD	26307.64	26306.88	26308.43	26308.02	26307.33	26307.5
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	26303.97	26303.38	26304.76	26304.24	26303.35	26303.14

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	26554.38	26576.63	26589.72	26574.01	26593.65	26611.97
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	26415.63	26430.03	26414.32	26418.25	26441.81	26431.34
แตกต่างปานกลาง	LSD	26326.58	26326.2	26325.43	26327.85	26326.77	26326.2
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	26333.26	26333.14	26331.8	26334.47	26333.01	26334.34
แตกต่างมาก	LSD	26303.73	26302.22	26304.48	26304.76	26303.32	26302.08
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	26300.37	26299.82	26300.78	26300.71	26299.47	26298.93

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	74204.89	74234.56	74251.51	74276.94	74259.99	74213.37
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	74056.56	74056.56	74056.56	74069.27	74086.22	74060.79
แตกต่างปานกลาง	LSD	74008.46	74008.38	74007.05	74008.65	74007.39	74007.5
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	74017.26	74017.18	74016.12	74017.15	74017.15	74017.03
แตกต่างมาก	LSD	73997.29	73997.33	73997.29	73997.36	73997.29	73997.4
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	73997.67	73997.52	73997.55	73997.48	73997.52	73997.67

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	74526.01	74559.62	74507.11	74549.12	74551.22	74523.91
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	74271.85	74286.55	74282.35	74301.25	74292.85	74276.05
แตกต่างปานกลาง	LSD	74012.11	74010.78	74010.59	74010.4	74008.88	74010.4
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	74038.03	74031.55	74029.65	74033.65	74031.74	74031.93
แตกต่างมาก	LSD	73997.25	73997.25	73997.25	73997.25	73997.25	73997.25
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	73997.44	73997.25	73997.25	73997.25	73997.25	73997.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	74664.34	74676.07	74640.86	74697.41	74671.8	74680.34
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	74473.36	74497.9	74471.22	74501.1	74494.7	74479.76
แตกต่างปานกลาง	LSD	74009.07	74007.92	74006.02	74007.92	74004.49	74008.3
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	74036.89	74028.12	74031.93	74028.5	74026.98	74028.5
แตกต่างมาก	LSD	73997.25	73997.25	73997.25	73997.25	73997.25	73997.25
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	73997.25	73997.25	73997.25	73997.25	73997.25	73997.25

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	147194.9	147171.4	147221.1	147202.8	147213.3	147192.3
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	147014.3	147061.4	147103.3	147014.3	147056.2	147111.2
แตกต่างปานกลาง	LSD	146908.5	146908.7	146907.1	146908	146908	146908.3
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	147013.6	146919.8	146910.8	147013.6	146919.3	146910.4
แตกต่างมาก	LSD	146902.3	146902.3	146902.3	146902.3	146902.3	146902.3
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	146927.7	146902.3	146902.3	146929.7	146902.3	146902.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	147520.9	147529.8	147530.1	147528	147528	147524.3
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	147462.5	147485.6	147507.7	147462.5	147488.3	147502.5
แตกต่างปานกลาง	LSD	146907.9	146906.7	146904.5	146907.3	146907.9	146905.6
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	147417.2	146920.2	146907.3	147404.8	146921.9	146909
แตกต่างมาก	LSD	146902.3	146902.3	146902.3	146902.3	146902.3	146902.3
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	146912.3	146902.3	146902.3	146918.5	146902.3	146902.3

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	147800.3	147798.9	147785.6	147801.7	147794	147794
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	148022.8	147914.4	147852.1	148022.8	147917.9	147855.6
แตกต่างปานกลาง	LSD	146906.7	146905.6	146903.4	146906.7	146906.7	146904.5
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	147762.9	146914.6	146903.4	147737.1	146922.4	146905.6
แตกต่างมาก	LSD	146902.3	146902.3	146902.3	146902.3	146902.3	146902.3
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	146906.7	146902.3	146902.3	146904.5	146902.3	146902.3

ส่วนที่ 4.4 ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองกรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง

4.4.1 กรณีเปรียบเทียบ 3 วิธีทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 ดังตารางที่ 4.20 – 4.22 รูปที่ 4.19 – 4.24 พบว่า

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 แผนการทดลองจัตุรัสลาตินจะมีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองต่ำกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ทุกกรณี

4.4.2 กรณีเปรียบเทียบ 5 วิธีทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 ดังตารางที่ 4.23 – 4.25 รูปที่ 4.25 – 4.30 พบว่า

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 แผนการทดลองจัตุรัสลาตินจะมีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองต่ำกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ทุกกรณี

4.4.3 กรณีเปรียบเทียบ 7 วิธีทดลอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 ดังตารางที่ 4.26 – 4.28 รูปที่ 4.31 – 4.36 พบว่า

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10 แผนการทดลองจัตุรัสลาตินจะมีค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองต่ำกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ทุกกรณี

จากการศึกษาความไวของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ พบว่า เมื่อวิธีทดลองและระดับนัยสำคัญมีค่าเพิ่มขึ้นค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่เมื่อความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองเพิ่มขึ้น ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าลดลง

จากตารางที่ 4.20 – 4.28 โดยสรุปพบว่า ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินต่ำกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เนื่องจากเมื่อพิจารณากรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง แผนการทดลองจัตุรัสลาตินจะมีความละเอียดในการตรวจสอบความแตกต่างมากกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ และการตรวจสอบอิทธิพลในระดับสูงไม่จำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองจำนวนมาก จึงสามารถตรวจสอบความแตกต่างที่มีอยู่ได้ดีกว่า ดังนั้นค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองระหว่าง 2 แผนการทดลอง จึงมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	28343.48	28346.05	28347.33	28344.77	28347.33	28347.97
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	28935.03	28938.22	28937.59	28936.31	28936.95	28935.03
แตกต่างปานกลาง	LSD	28353.52	28350.69	28349.81	28352.43	28348.94	28351.56
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	28943.66	28942.8	28943.88	28943.88	28944.74	28944.53
แตกต่างมาก	LSD	28331.94	28331.78	28332.07	28332.02	28331.93	28331.88
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	28932.85	28932.79	28932.88	28932.98	28932.94	28932.71

ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	28483.1	28494.53	28519.02	28489.63	28514.12	28502.69
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	28989.89	29001.23	28985.03	28989.89	29009.33	29006.09
แตกต่างปานกลาง	LSD	28359.24	28359.19	28359.31	28359.3	28359.3	28359.36
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	28968.18	28967.9	28967.8	28967.77	28967.75	28967.98
แตกต่างมาก	LSD	28338.04	28337.28	28338.83	28338.42	28337.73	28337.9
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	28936.56	28935.77	28937.63	28936.93	28935.73	28935.45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	28729.4	28768.6	28791.67	28763.99	28798.58	28830.87
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	29107.37	29132.47	29105.09	29111.93	29153.02	29134.76
แตกต่างปานกลาง	LSD	28359.12	28358.76	28358.04	28360.32	28359.3	28358.76
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	28977.01	28976.84	28975.07	28978.6	28976.67	28978.43
แตกต่างมาก	LSD	28334.13	28332.62	28334.88	28335.16	28333.72	28332.48
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	28931.7	28930.96	28932.26	28932.16	28930.5	28929.76

ตารางที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	79968.73	80020.07	80049.41	80093.41	80064.08	79983.4
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	81723.29	81723.29	81723.29	81745.25	81774.54	81730.61
แตกต่างปานกลาง	LSD	79648.46	79648.38	79647.05	79648.65	79647.39	79647.5
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	81662.25	81662.15	81660.71	81662.1	81662.1	81661.95
แตกต่างมาก	LSD	79637.29	79637.33	79637.29	79637.36	79637.29	79637.4
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	81635.82	81635.61	81635.66	81635.56	81635.61	81635.82

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.24 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	80433.08	80493.23	80399.24	80474.43	80478.19	80429.32
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	82040.13	82065.98	82058.6	82091.83	82077.06	82047.52
แตกต่างปานกลาง	LSD	79652.11	79650.78	79650.59	79650.4	79648.88	79650.4
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	81690.29	81681.54	81678.97	81684.37	81681.8	81682.06
แตกต่างมาก	LSD	79637.25	79637.25	79637.25	79637.25	79637.25	79637.25
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	81635.51	81635.25	81635.25	81635.25	81635.25	81635.25

ตารางที่ 4.25 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	80585.31	80608.58	80538.77	80650.89	80600.12	80617.04
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	82326.01	82371.6	82322.05	82377.55	82365.65	82337.9
แตกต่างปานกลาง	LSD	79649.07	79647.92	79646.02	79647.92	79644.49	79648.3
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	81688.74	81676.91	81682.06	81677.43	81675.37	81677.43
แตกต่างมาก	LSD	79637.25	79637.25	79637.25	79637.25	79637.25	79637.25
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	81635.25	81635.25	81635.25	81635.25	81635.25	81635.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.26 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	158385.7	158344.3	158431.6	158399.5	158417.9	158381.1
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	162676.6	162758.6	162831.5	162676.6	162749.5	162845.2
แตกต่างปานกลาง	LSD	157962.9	157963.1	157961.5	157962.4	157962.4	157962.7
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	162675.7	162549.2	162536.9	162675.7	162548.4	162536.4
แตกต่างมาก	LSD	157956.7	157956.7	157956.7	157956.7	157956.7	157956.7
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	162559.7	162525.4	162525.4	162562.5	162525.4	162525.4

ตารางที่ 4.27 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	158694.7	158721.8	158722.7	158716.2	158716.2	158704.9
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	163281.5	163337	163390.2	163281.5	163343.6	163377.6
แตกต่างปานกลาง	LSD	157962.3	157961.1	157958.9	157961.7	157962.3	157960
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	163220.3	162549.6	162532.2	163203.6	162551.9	162534.5
แตกต่างมาก	LSD	157956.7	157956.7	157956.7	157956.7	157956.7	157956.7
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	162539	162525.4	162525.4	162547.3	162525.4	162525.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.28 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เมื่อจำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง	แผนการทดลอง	MSE (row)			MSE (column)		
		CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30	CV.%=10	CV.%=20	CV.%=30
แตกต่างน้อย	LSD	158951.5	158950.8	158943.2	158952.3	158948	158948
$\Phi \in (0,1.5]$	RCBD	164037.6	163915.6	163845.6	164037.6	163919.6	163849.5
แตกต่างปานกลาง	LSD	157961.1	157960	157957.8	157961.1	157961.1	157958.9
$\Phi \in (1.5,3.0]$	RCBD	163686.8	162542	162526.9	163652	162552.6	162529.9
แตกต่างมาก	LSD	157956.7	157956.7	157956.7	157956.7	157956.7	157956.7
$\Phi \in (3.0,\infty]$	RCBD	162531.5	162525.4	162525.4	162528.4	162525.4	162525.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการศึกษาความไวและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลอง โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ เพื่อหาข้อสรุปว่าแผนการทดลองใดเป็นแผนการทดลองที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบความแตกต่างของแผนการทดลองโดยอาศัยข้อจำกัดภายใต้สถานการณ์ต่างๆ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 4

การศึกษาและเปรียบเทียบแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จะศึกษาภายใต้ข้อกำหนดดังนี้

- กำหนดตัวแบบเป็นวิธีทดลองคงที่ (Fixed-effect model) และไม่มีการทำซ้ำ (Replication)
- ความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ และเป็นอิสระซึ่งกันและกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ σ^2
- กำหนดจำนวนของปัจจัยในแผนการทดลองจัตุรัสลาติน ดังนี้

  จำนวนวิธีทดลอง (i) เท่ากับ 3, 5 และ 7

  จำนวนปัจจัยแถว (j) เท่ากับ 3, 5 และ 7

  จำนวนปัจจัยคอลัมน์ (k) เท่ากับ 3, 5 และ 7
- สร้างอิทธิพลของวิธีทดลอง (τ_i) ให้แตกต่างกัน โดยพิจารณา $\sum_i \tau_i = 0$ และใช้ Φ เป็นตัวกำหนด ดังนี้

$$\Phi = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{p} \tau_i^2}}{\sigma}$$

- กำหนดกลุ่มความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองเป็น 3 ระดับ ดังนี้

  ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง มีความแตกต่างกันน้อย ค่า Φ อยู่ระหว่าง [0, 1.5)

  ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง มีความแตกต่างกันปานกลาง ค่า Φ อยู่ระหว่าง [1.5, 3.0)

  ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง มีความแตกต่างกันมาก ค่า Φ มีค่าตั้งแต่ 3 ขึ้นไป

- สร้างอิทธิพลของปัจจัยแถว (β_j) และปัจจัยคอลัมน์ (α_k) ให้แตกต่างกัน โดยพิจารณา $\sum_j \beta_j = 0$ และ $\sum_k \alpha_k = 0$ ตามลำดับ โดยกำหนดความแตกต่างที่ $\Phi = 1.5$ ได้ดังนี้

$$\Phi = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^{p} \beta_j^2}}{\sigma} \qquad \text{และ} \qquad \Phi = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{p} \alpha_k^2}}{\sigma}$$

- กำหนดให้ข้อมูลมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of variation : C.V. (%)) ในระดับต่างๆ คือ 10%, 20% และ 30% กำหนดให้ค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากันทุกกลุ่ม (μ) เท่ากับ 50 จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ
- กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.01, 0.05 และ 0.10
- กำหนดระดับค่าใช้จ่ายในการหาหน่วยทดลองต่อ 1 หน่วยทดลอง โดยมีค่าใช้จ่ายอยู่ระหว่าง 1365.60 – 1478.40 บาท ดังนี้

  ระดับต่ำ 1365.60 บาท ระดับสูง 1478.40 บาท
- กำหนดระดับค่าใช้จ่ายในการให้วิธีทดลองต่อ 1 หน่วยทดลอง โดยมีค่าใช้จ่ายอยู่ระหว่าง 152.46 – 205.74 บาท ดังนี้

  ระดับต่ำ 152.46 บาท ระดับสูง 205.74 บาท
- กำหนดสัดส่วนราคาของแต่ละวิธีทดลองในทุกระดับราคาดังนี้

  กรณี 3 วิธีทดลอง คือ 1 : 1.25 : 1.5

  กรณี 5 วิธีทดลอง คือ 1 : 1.25 : 1.5 : 1.75 : 2

  กรณี 7 วิธีทดลอง คือ 1 : 1.25 : 1.5 : 1.75 : 2 : 2.25 : 2.5
- กำหนดระดับค่าเสียโอกาสจากการปฏิเสธสิ่งที่ถูกต้องต่อ 1 หน่วยทดลอง เท่ากับ ราคาของวิธีทดลองที่มีราคาสูงที่สุด – ราคาของวิธีทดลองที่ 1 (กำหนดให้ราคาของวิธีทดลองที่ 1 ถูกที่สุด)
- กำหนดระดับค่าเสียโอกาสจากการยอมรับสิ่งที่ไม่ถูกต้องต่อ 1 หน่วยทดลอง เท่ากับ ผลตอบแทนจากการเลี้ยง ต่อ 1 หน่วยทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 173.95 – 299.89 บาท ดังนี้

  ระดับต่ำ 173.95 บาท ระดับสูง 299.89 บาท

ในการพิจารณาศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของทั้ง 2 แผนการทดลองนั้น พิจารณาจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง เพื่อหาข้อสรุปว่าแผนการทดลองใดเป็นแผนการทดลองที่เหมาะสม การสรุปผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่าง ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบ ผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ และผลการวิจัยของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนการทดลองที่ใช้ในการศึกษา โดยพิจารณาจากค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองกรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง สำหรับข้อเสนอแนะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ด้านการนำไปใช้ และด้านการศึกษาวิจัย รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การเปรียบเทียบค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่าง

จากการศึกษาความไวของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ พบว่า เมื่อวิธีทดลอง ระดับนัยสำคัญ และความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่าง จะมีค่าเพิ่มขึ้น

การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่าย ณ ระดับความแตกต่างของวิธีทดลองแตกต่างกันน้อยและปานกลาง แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ให้ค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างน้อยกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่างจะมีค่าใกล้เคียงกัน ณ ระดับความแตกต่างของวิธีทดลองแตกต่างกันมาก ยกเว้นกรณีวิธีทดลองเท่ากับ 3 ณ ระดับความแตกต่างของวิธีทดลองมาก ค่าสัดส่วนของการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จะมีค่าสูงกว่าแผนการทดลองจัตุรัสลาติน ทั้งนี้เนื่องมาจากกรณีวิธีทดลองเท่ากับ 3 แผนการทดลองจัตุรัสลาตินมีระดับความเป็นเสรีของความคลาดเคลื่อนของการทดลองน้อยเกินไปจึงส่งผลต่อความสม่ำเสมอในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน

5.1.2 การเปรียบเทียบค่าอำนาจการทดสอบ

วิธีทดลองเท่ากับ 3 เมื่อระดับนัยสำคัญมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอำนาจการทดสอบจะลดลง

วิธีทดลองเท่ากับ 5 และ 7 เมื่อระดับนัยสำคัญมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอำนาจการทดสอบจะเพิ่มขึ้น โดยที่ ในทุกกรณีค่าอำนาจการทดสอบจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลอง และจำนวนวิธีทดลอง

5.1.3 <u>การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง เมื่อค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ</u>

จากการศึกษาความไวของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ พบว่า เมื่อวิธีทดลองและระดับนัยสำคัญมีค่าเพิ่มขึ้นค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่เมื่อความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองเพิ่มขึ้น ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าลดลง

การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่าย ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินต่ำกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ มีเพียงบางกรณีเท่านั้นที่ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินสูงกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

ทั้งนี้เนื่องมาจากข้อจำกัดด้านระดับความเป็นเสรีของความคลาดเคลื่อนของการทดลองและจำนวนหน่วยทดลองที่น้อยเกินไปสำหรับแผนการทดลองจัตุรัสลาติน เพราะโดยทั่วไปการตรวจสอบอิทธิพลในระดับต่ำจำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองจำนวนมาก จึงส่งผลต่อความสม่ำเสมอในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน และค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง

5.1.4 <u>การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง เมื่อค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง</u>

จากการศึกษาความไวของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ พบว่า เมื่อวิธีทดลองและระดับนัยสำคัญมีค่าเพิ่มขึ้นค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่เมื่อความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองเพิ่มขึ้น ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าลดลง

การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่าย ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินต่ำกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ทุกกรณี เนื่องจากเมื่อพิจารณากรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง แผนการทดลองจัตุรัสลาตินจะมีความละเอียดในการตรวจสอบความแตกต่างมากกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ และการตรวจสอบอิทธิพลในระดับสูงไม่จำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองจำนวนมาก จึงสามารถตรวจสอบความแตกต่างที่มีอยู่ได้ดีกว่า ดังนั้นค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองระหว่าง 2 แผนการทดลอง จึงมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 <u>ด้านการนำไปใช้</u>

5.2.1.1 การสร้างอิทธิพลของวิธีทดลอง (τ_i) ให้แตกต่างกันโดยใช้ค่า Φ เป็นตัวกำหนด พบว่า กรณีกลุ่มความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองเดียวกันโดยเฉพาะกรณีกลุ่มความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองมีความแตกต่างกันมาก เมื่อสัมประสิทธิ์ความแปรผันเท่ากับ 10%, 20% และ 30% จะให้ค่าอำนาจการทดสอบไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากการคำนวณหาค่า τ_i จะมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาเกี่ยวข้องกับการคำนวณด้วย จึงทำให้ค่าอำนาจการทดสอบมีแนวโน้มลดลงไม่มากนัก เมื่อสัมประสิทธิ์ความแปรผันสูงขึ้น

5.2.1.2 การวิจัยครั้งนี้ ค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่นำมาใช้ในการศึกษาเป็นค่าเฉพาะ การนำผลการวิจัยไปใช้จะต้องมีความระมัดระวัง เนื่องจากถ้าค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองเปลี่ยนไปจะส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลองเปลี่ยนไปด้วย

5.2.1.3 การวิจัยที่ใช้แผนการทดลองจัตุรัสลาติน ควรกำหนดให้มีจำนวนวิธีทดลองอย่างน้อย 3 วิธีทดลอง เนื่องจากถ้ากำหนดให้มีจำนวนวิธีทดลองน้อยเกินไปจะส่งผลต่อระดับความเป็นเสรีของความคลาดเคลื่อนในการทดลอง แต่ไม่ควรกำหนดให้มีจำนวนวิธีทดลองมากจนเกินไป เพราะจะทำให้ต้องใช้หน่วยทดลองจำนวนมาก และงบประมาณที่สูงเนื่องจากการทดลองมีขนาดใหญ่

5.2.2 <u>ด้านการศึกษาวิจัย</u>

5.2.2.1 การกำหนดสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการศึกษาครั้งต่อไป ควรศึกษาที่ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันมากกว่า 30% ด้วย เพื่อให้ผลสรุปที่ได้มีความครอบคลุมมากขึ้น

5.2.2.2 ในการศึกษาครั้งต่อไป อาจทำการศึกษาประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของแผนการทดลองอื่น

5.2.2.3 ในการศึกษาครั้งต่อไป อาจทำการศึกษาโดยนำค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองประเภทการทดลองในห้องทดลอง (Laboratory Experimental) มาเป็นข้อมูลในการศึกษา

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

พิสุทธิ์ สุขเกษม, สถิต มั่งมีชัย และภิรมย์ บัวแก้ว. การใช้ถั่วท่าพระสไตโลเลี้ยงแพะเนื้อ. กรุงเทพมหานคร: กรมปศุสัตว์, 2547.

ภาษาอังกฤษ

Ian James Parnell. Use of decision analysis to design a habitat restoration experiment. Master's Thesis, Resource Management, School of Resource and Environment Management, Simon Fraser University, 2002.

Kirk, R. E. Experiment design: Procedures for the behavioral sciences. 2nd ed. California: Wadsworth, 1982.

Winer, B. J. Statistical principle in experimental design. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1974.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ขวัญชีวา พุทธเกษม. ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของตัวแบบแผนการทดลองจัตุรัสละติน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

จรัญ จันทลักขณา. สถิติวิเคราะห์และวางแผนวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, 2527.

ธีระพร วีระถาวร. ตัวแบบเชิงเส้น ทฤษฎีและการประยุกต์. กรุงเทพมหานคร: วิทยพัฒน์, 2541.

สุพล ดุรงค์วัฒนา. การวางแผนการทดลองขั้นสูง. เอกสารประกอบการสอนวิชาการวางแผนการทดลองขั้นสูง ภาควิชาสถิติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

อรไท สงวนสิทธิ์. การเปรียบเทียบการทดสอบเอฟและการทดสอบมอนติคาร์โลด้วยอัตราส่วนภาวะน่าจะเป็นสำหรับแผนการทดลองแบบสุ่มตลอดที่ปัจจัยทดลองคงที่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ภาษาอังกฤษ

Andreas Krause and Melvin Olsen. The basis of S and S-Plus. 2nd ed. New York: Springer Verlag, 2000.

Cochran, W. G. and Cox, G. M. Experimental design. New York: John Wiley and Sons, 1976.

Dean, A. M. and Voss, D. T. Design and analysis of experiments. 2nd ed. New York: Springer, 2002.

Helge Toutenburg. Statistical analysis of designed experiments. 2nd ed. New York: Springer, 1999.

Montgomery, D. C. Design and analysis of experiments. 4th ed. New York: John Wiley and Son, 1997.

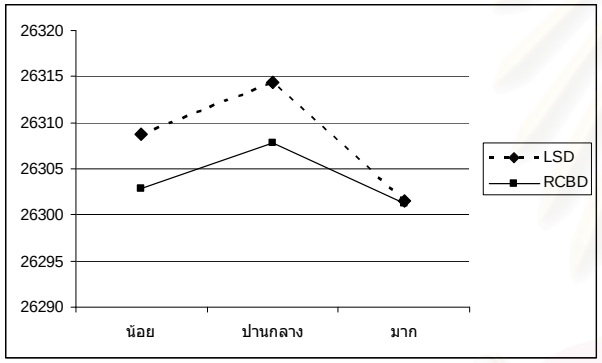
ภาคผนวก

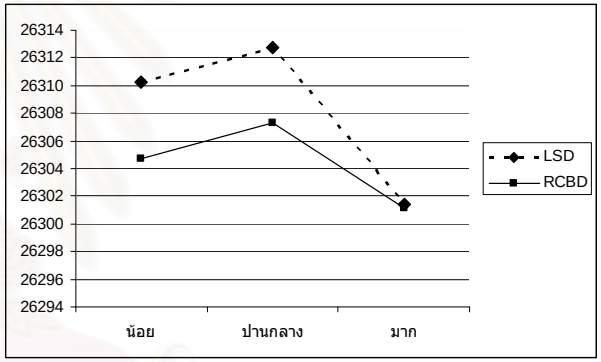
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

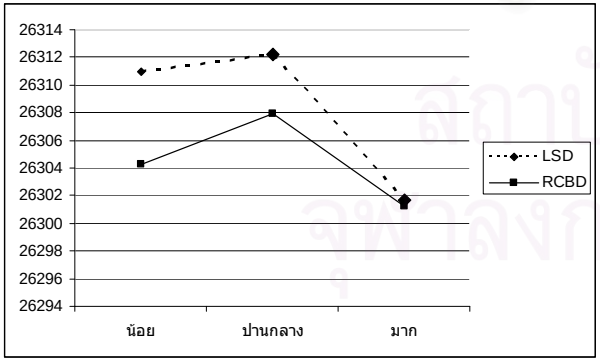
ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

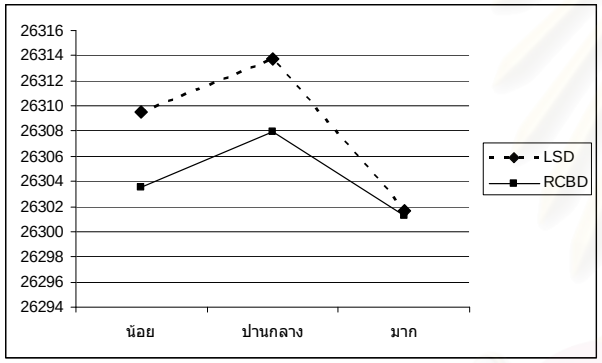


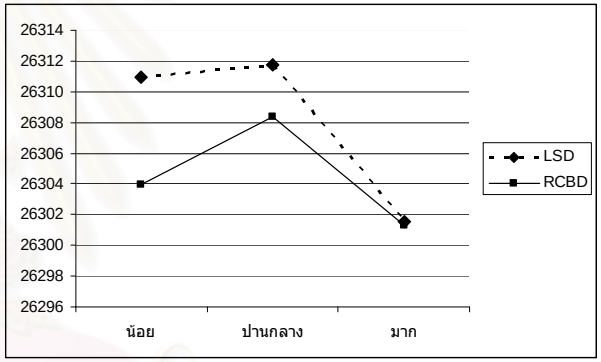


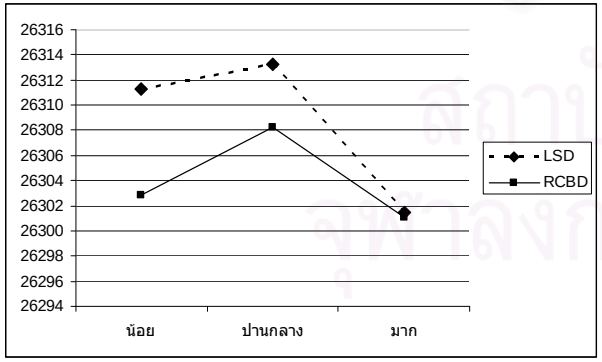


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

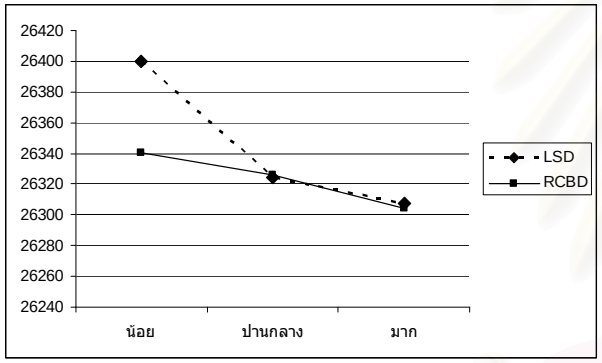


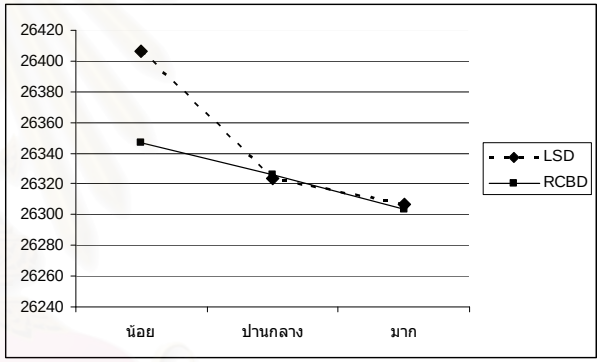


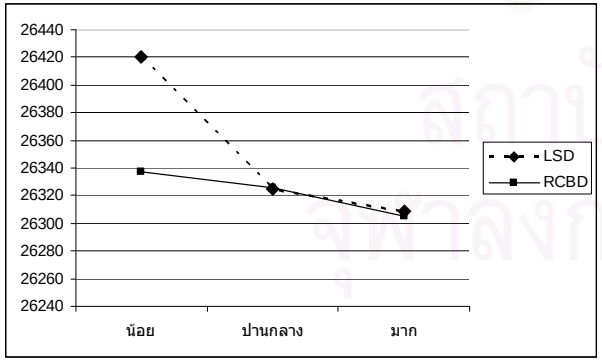


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

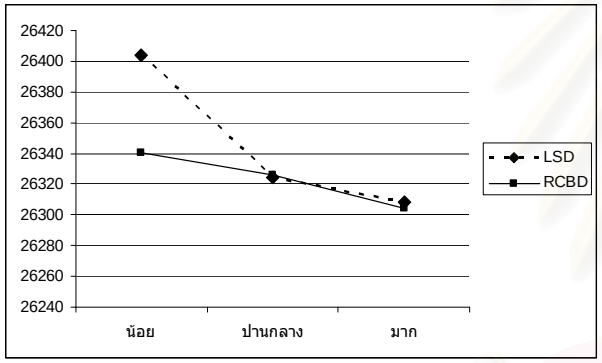


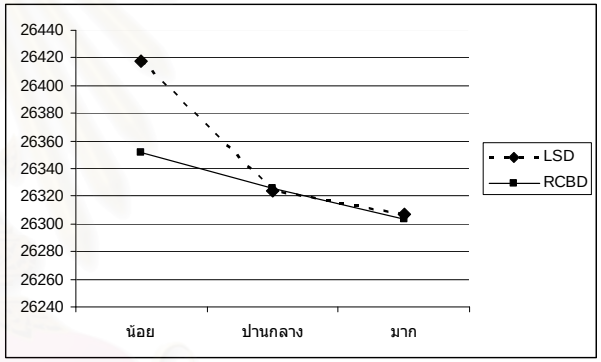


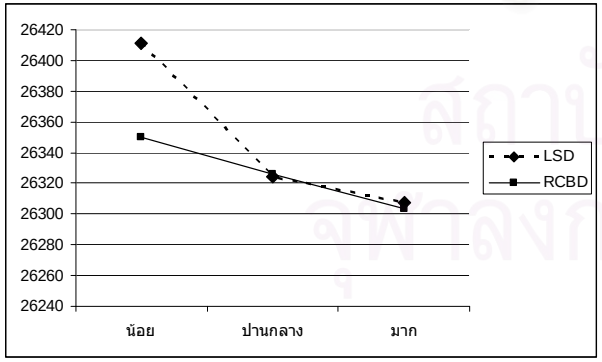


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

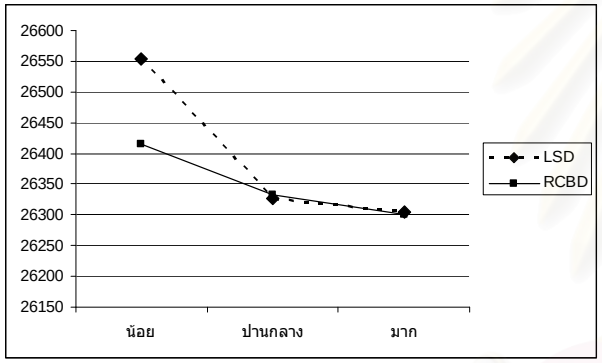


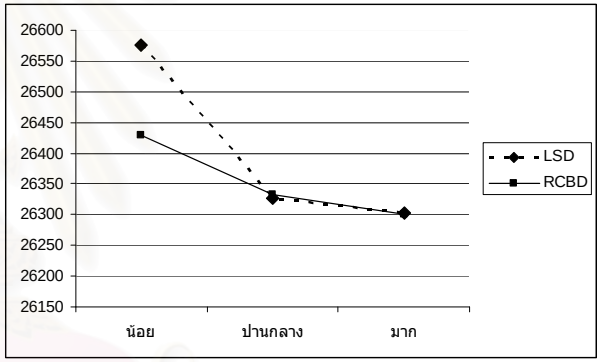


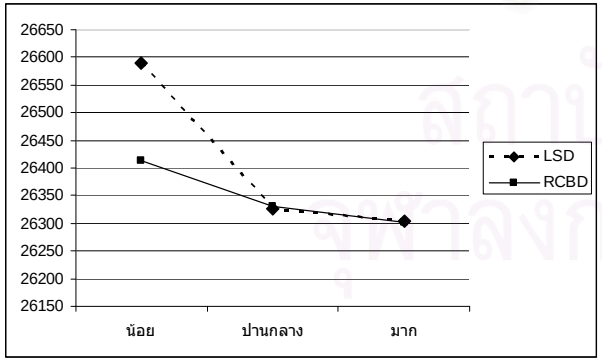


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10

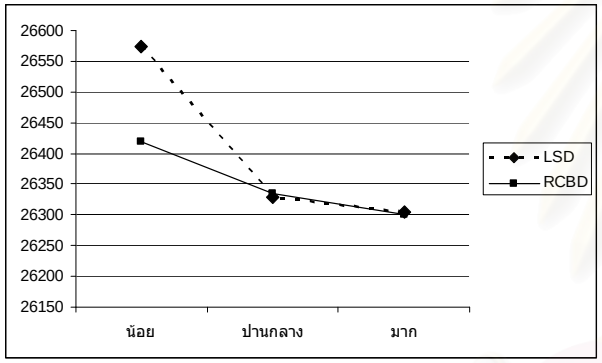


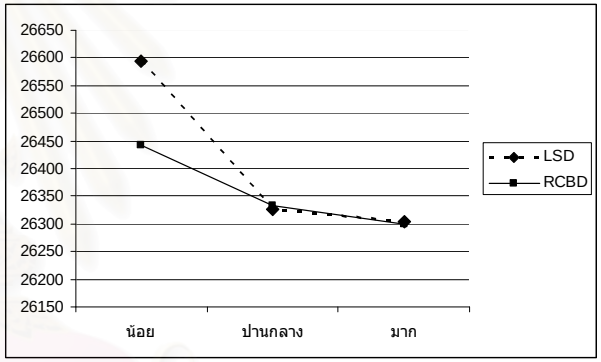


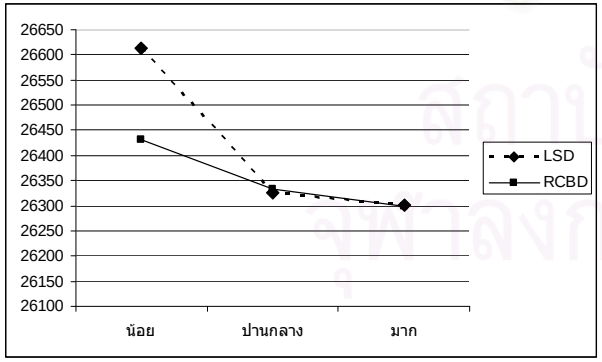


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10

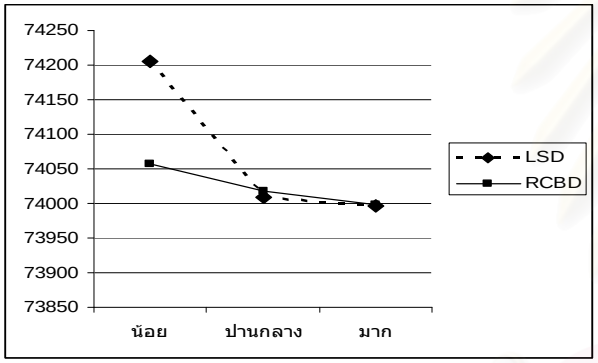


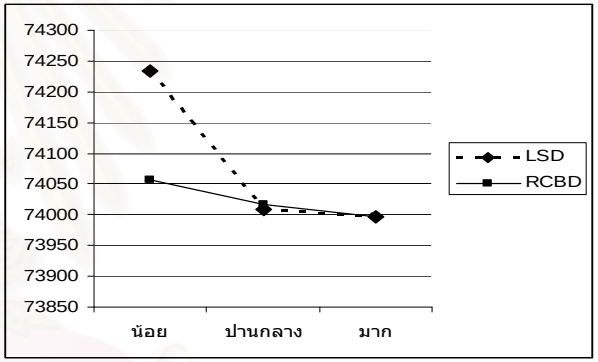


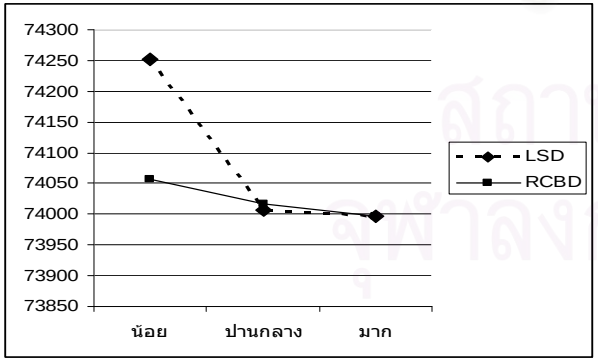


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

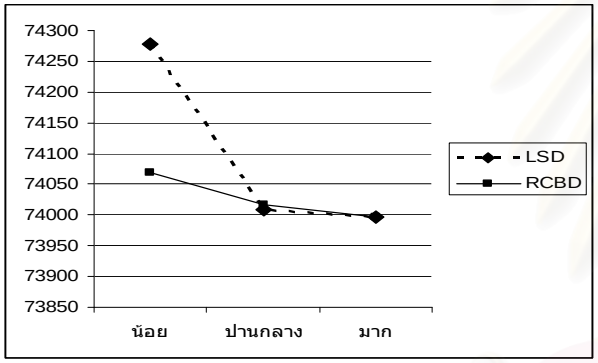


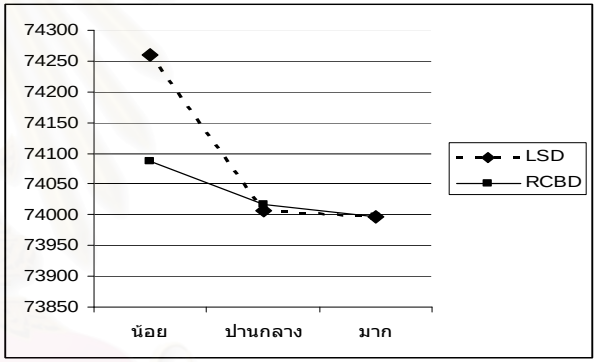


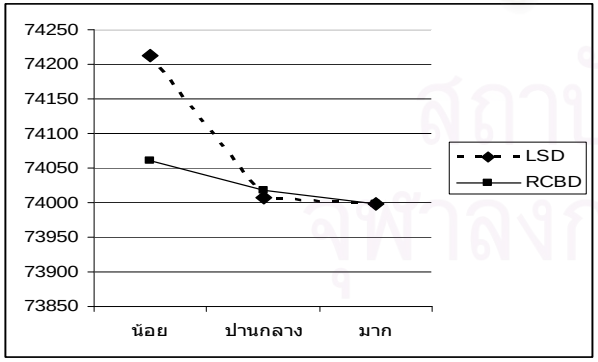


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

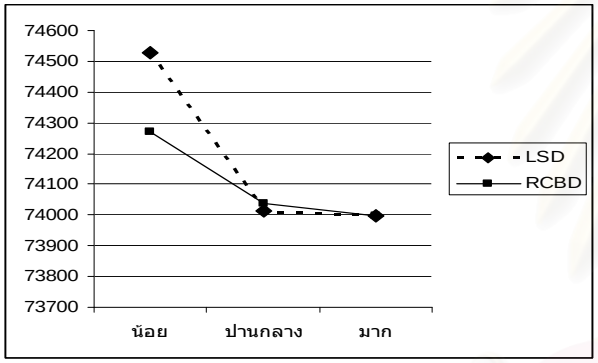


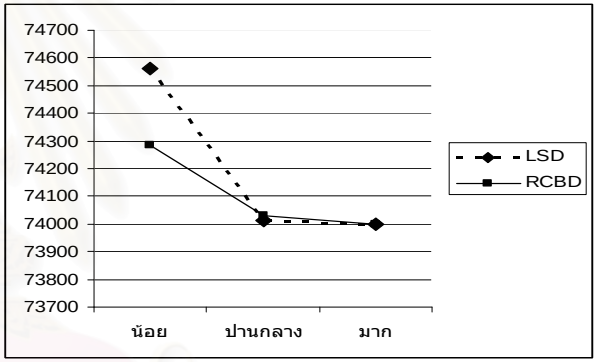


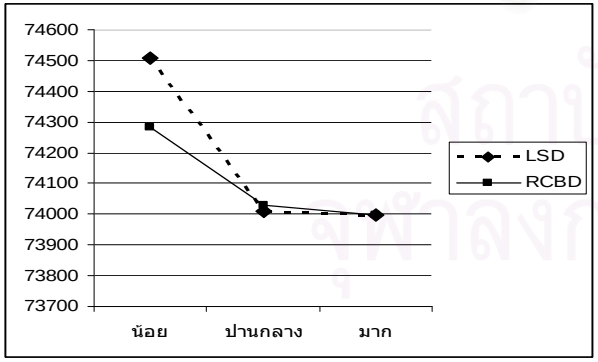


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

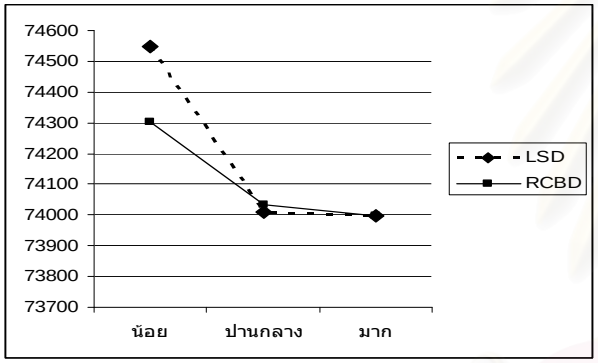


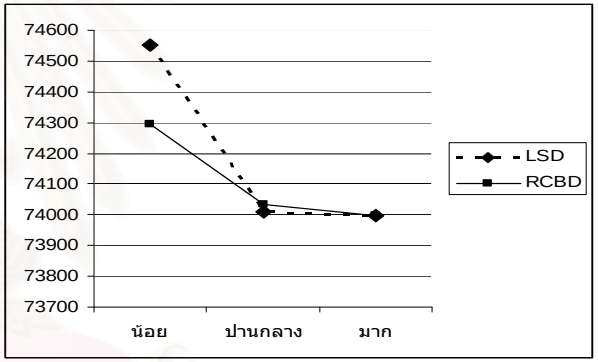


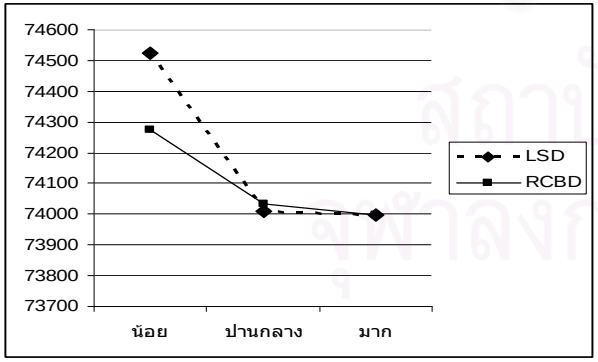


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

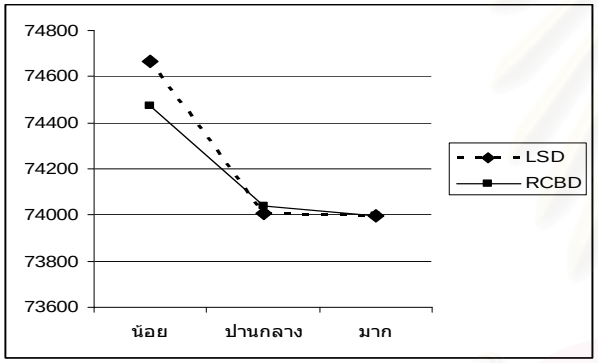


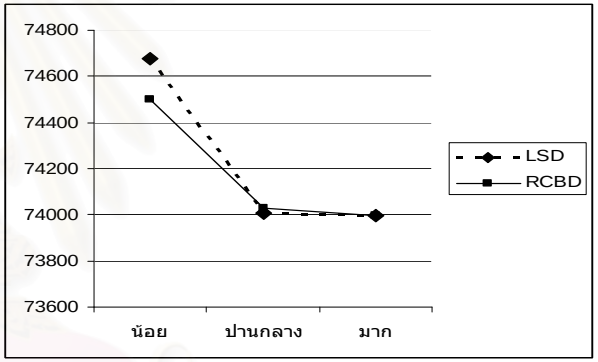


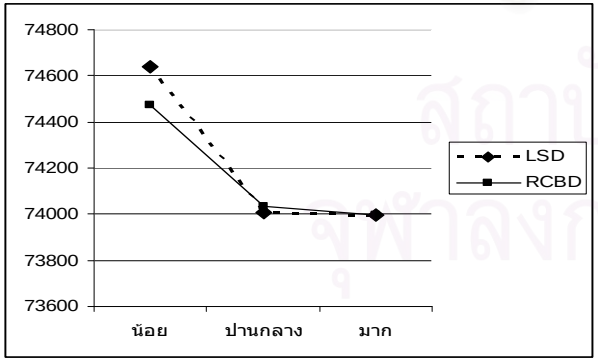


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10

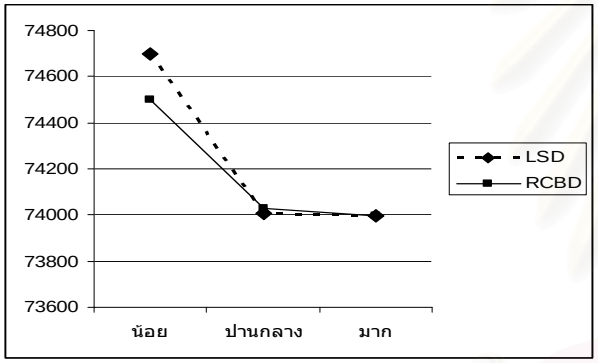


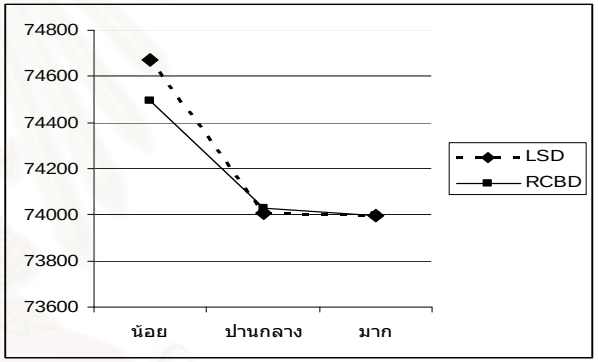


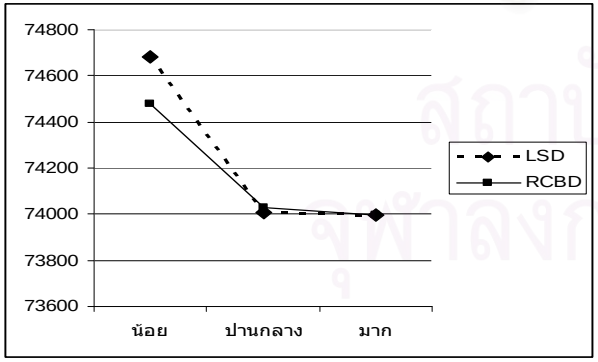


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10

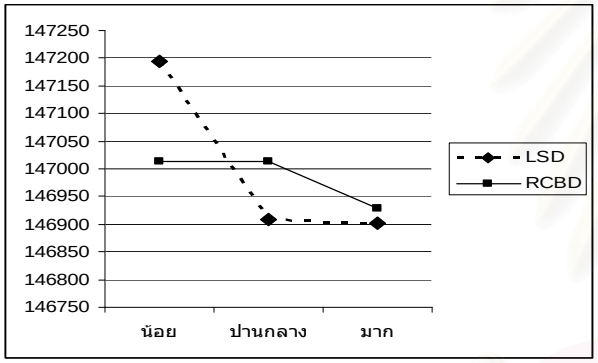


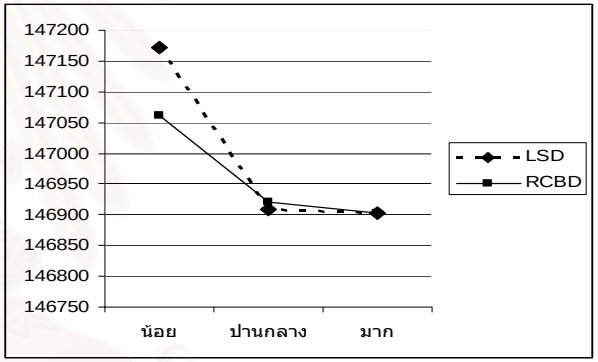


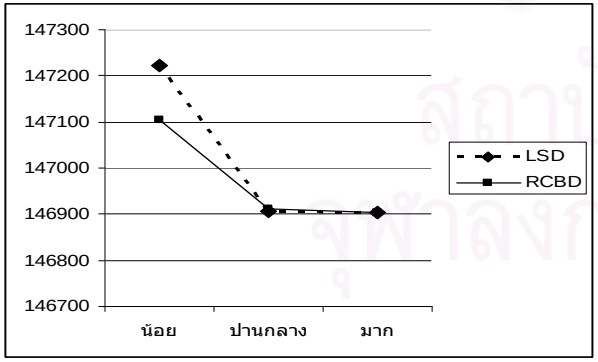


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

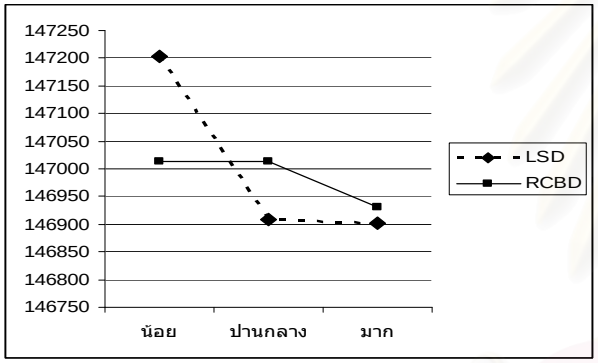


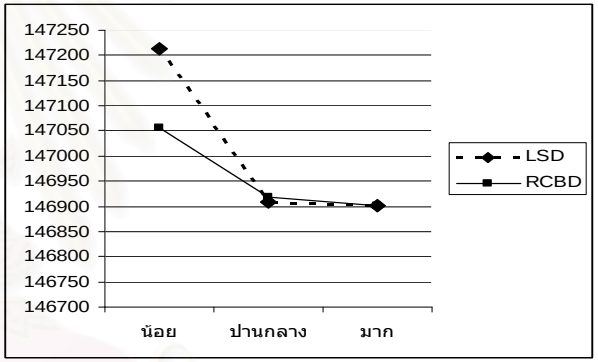


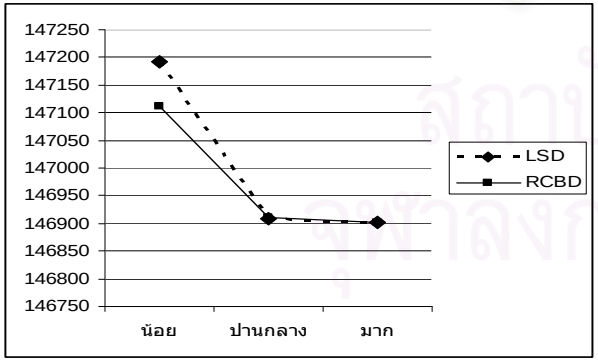


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

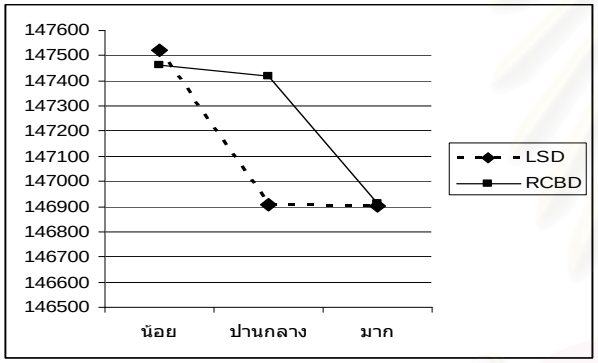


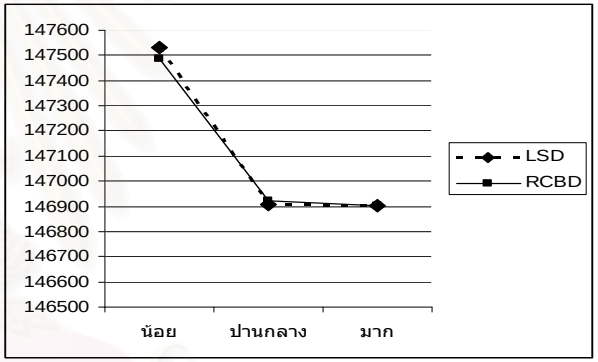


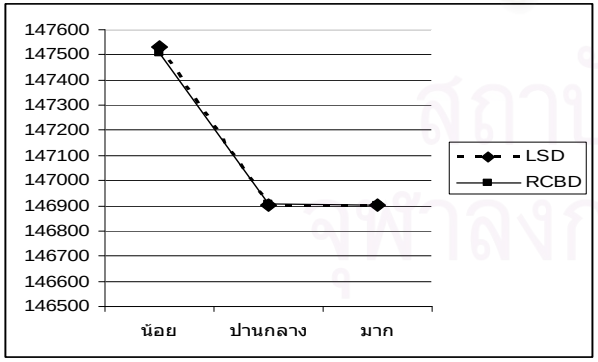


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

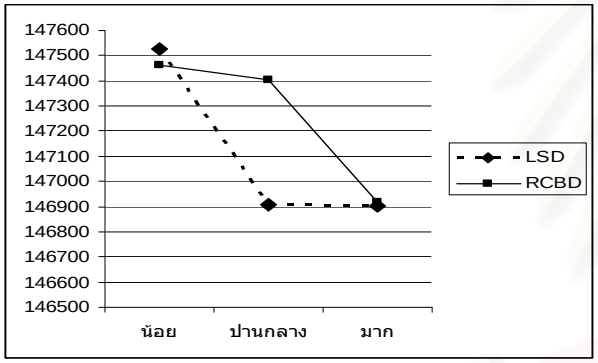


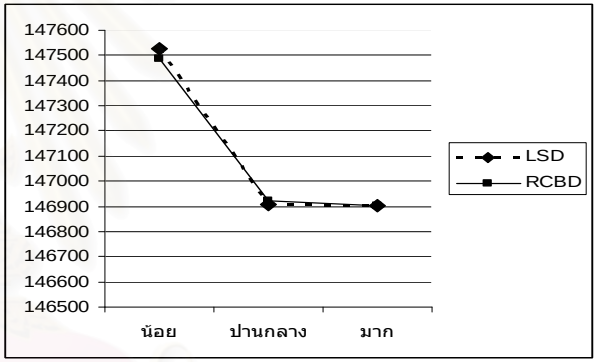


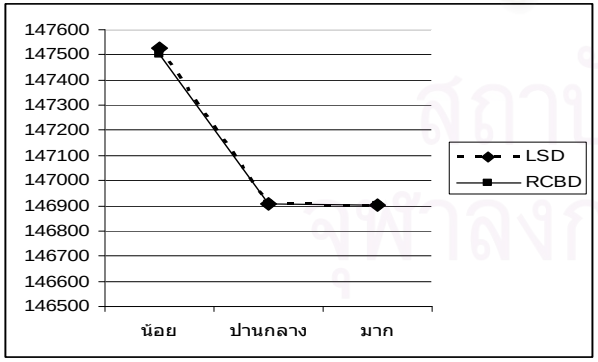


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

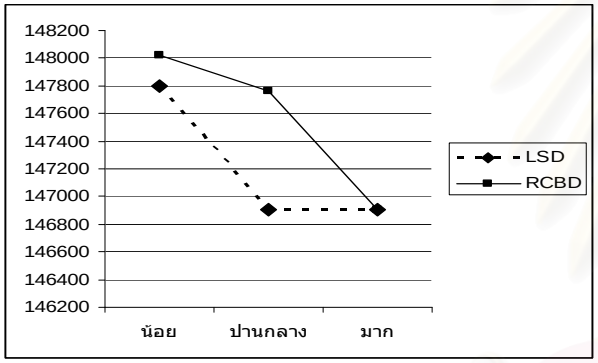


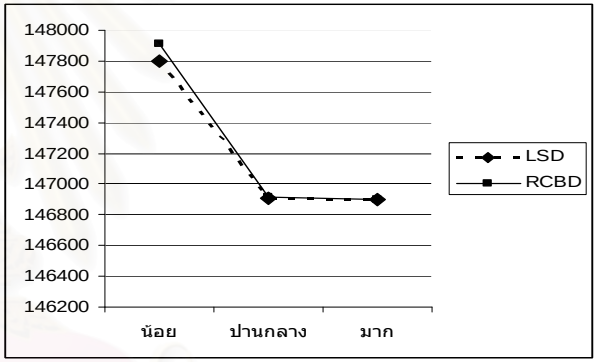


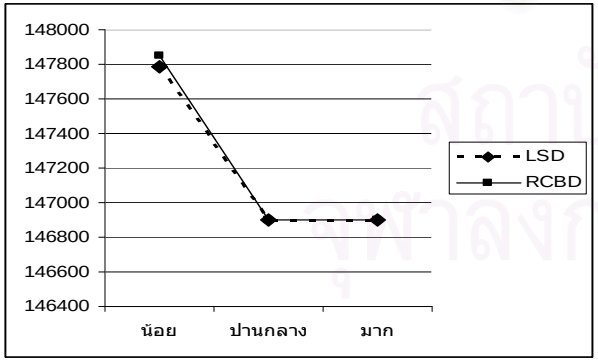


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10

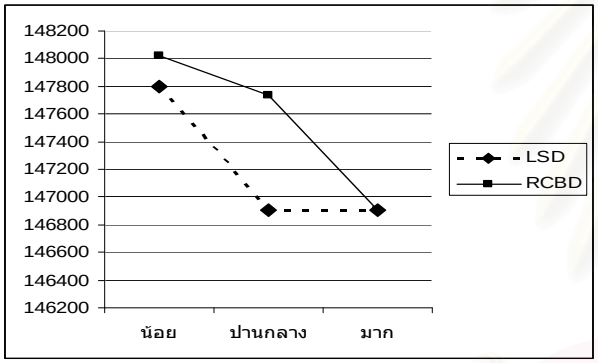


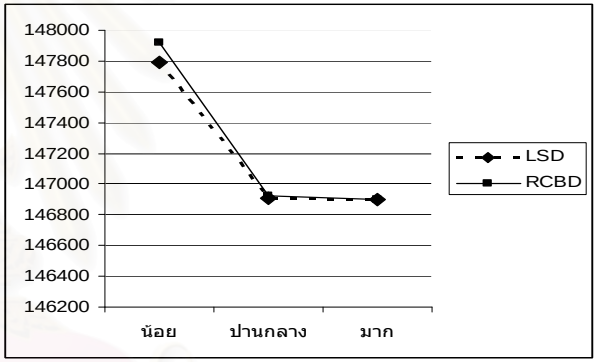


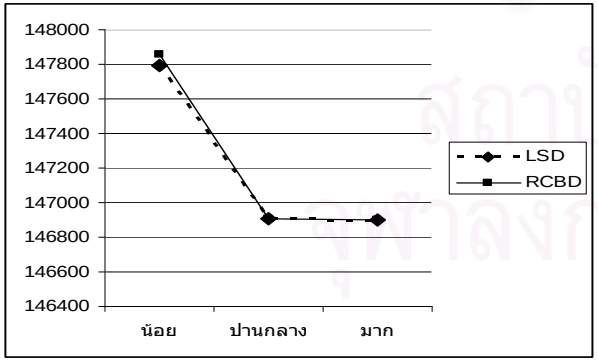


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับต่ำ เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10

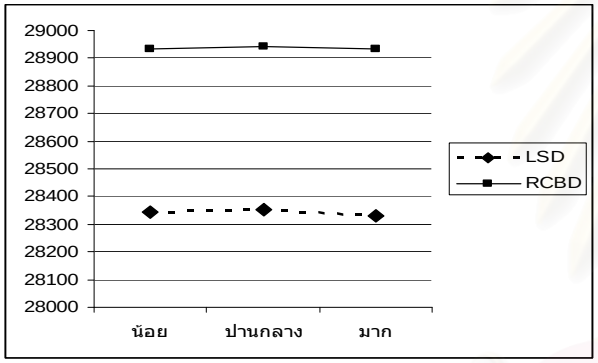


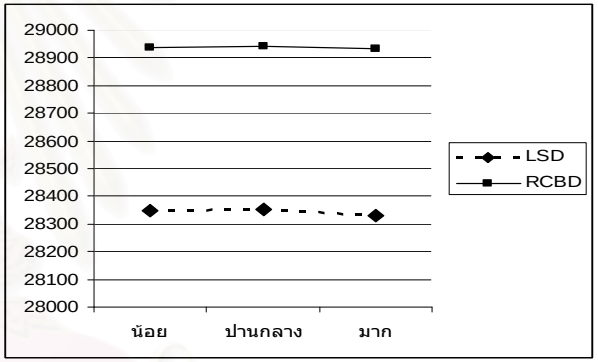


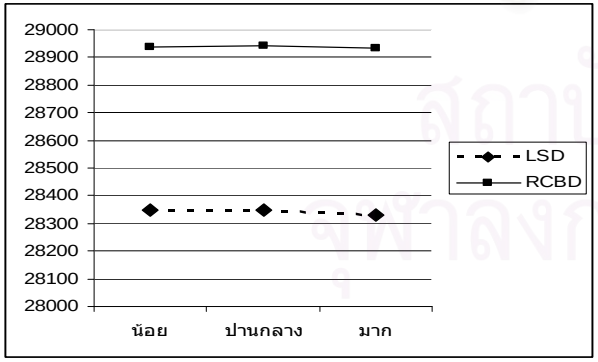


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

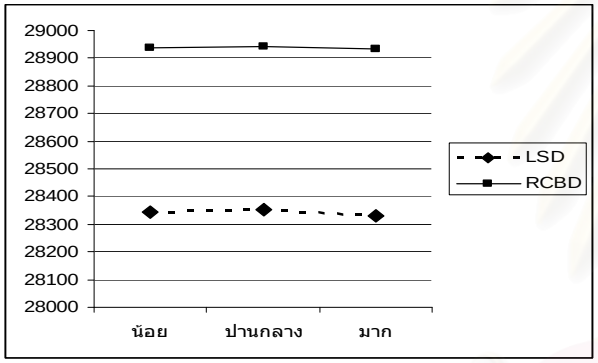


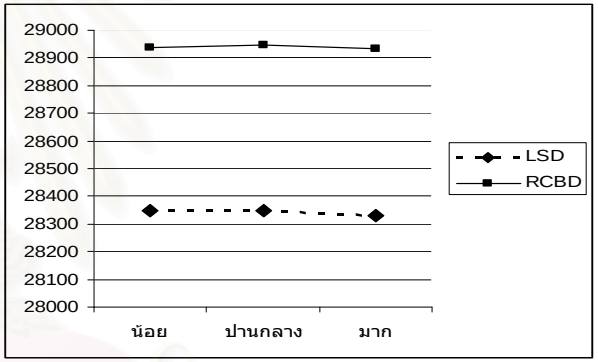


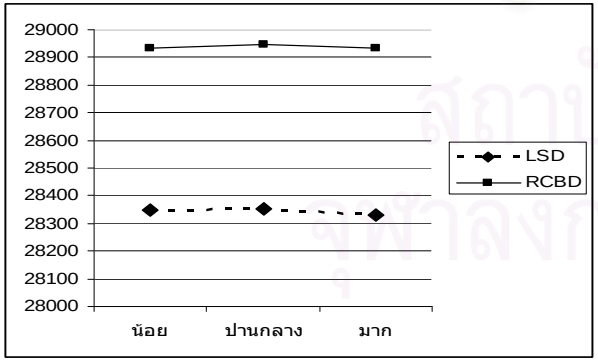


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

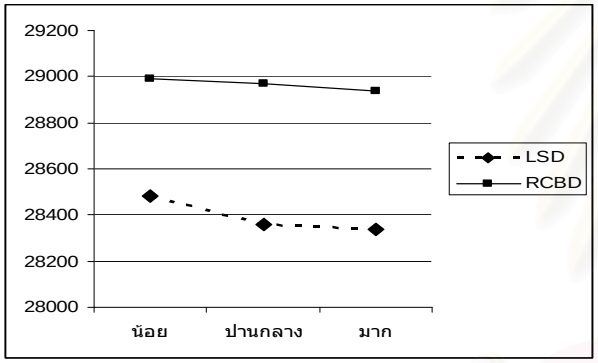


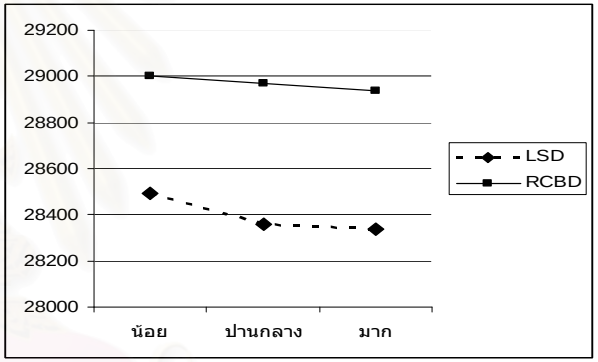


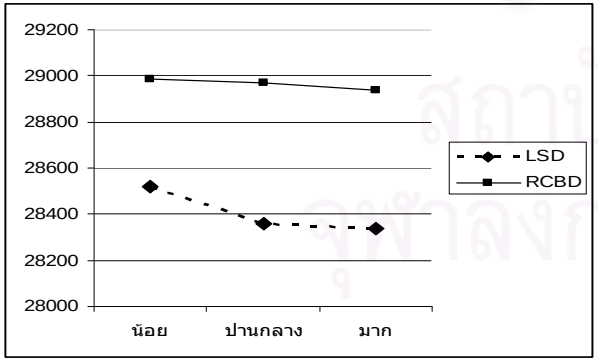


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

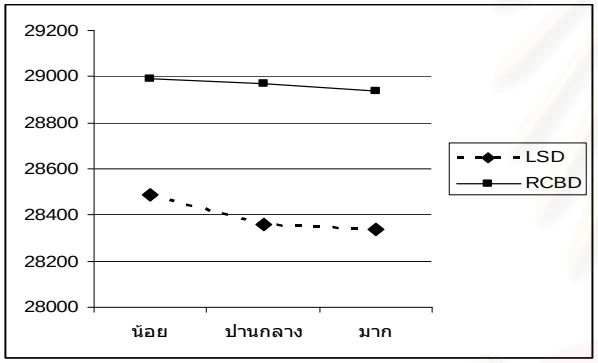


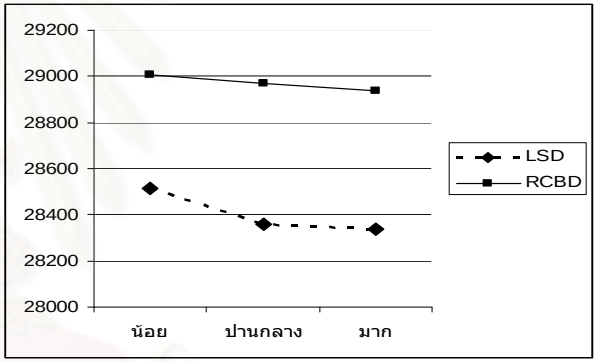


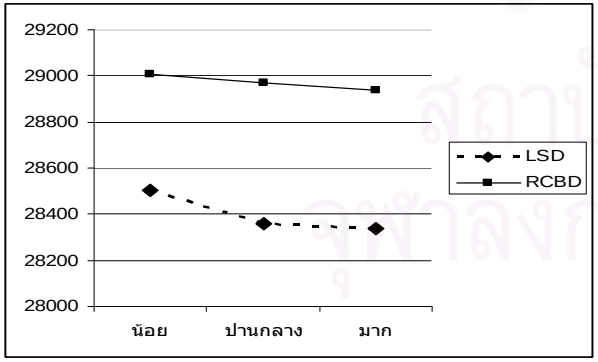


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

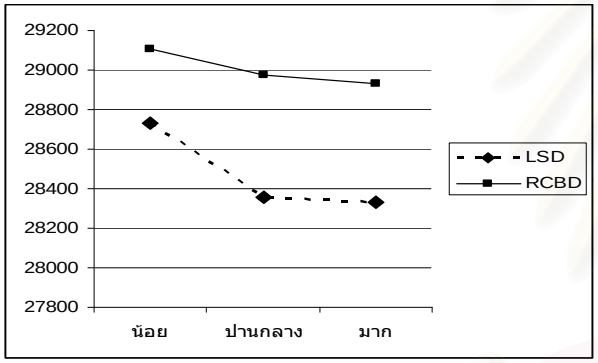


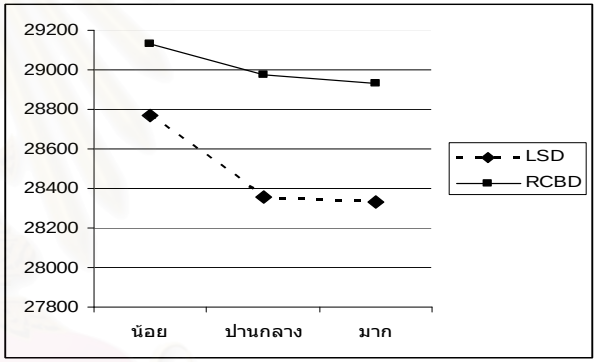


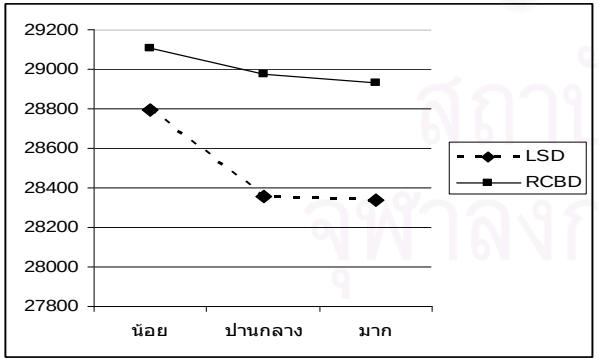


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10

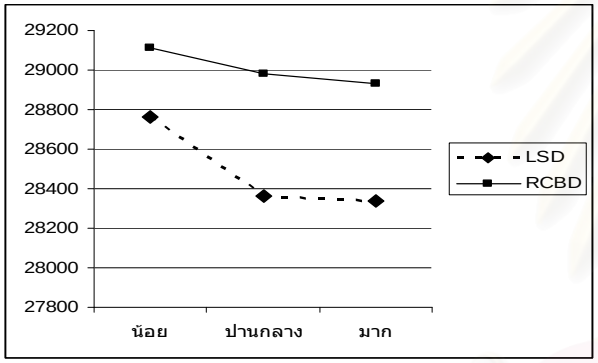


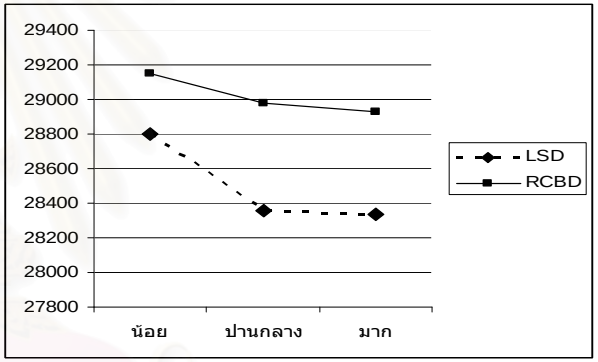


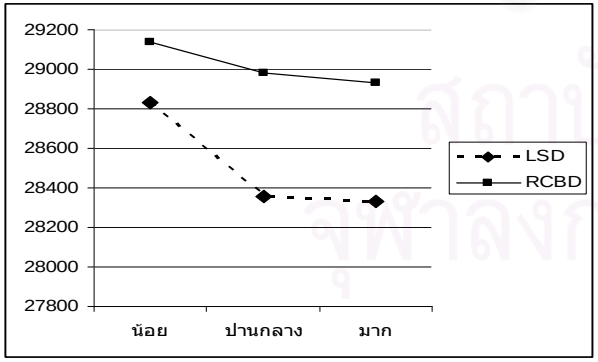


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 3 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10

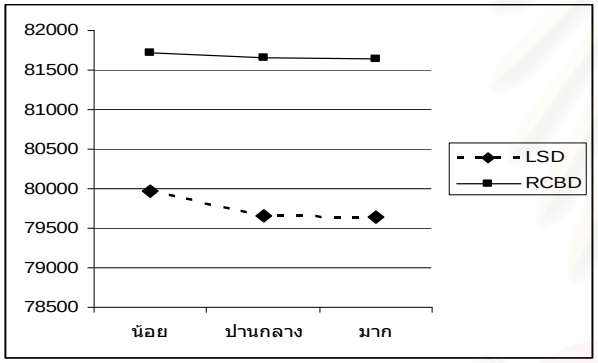


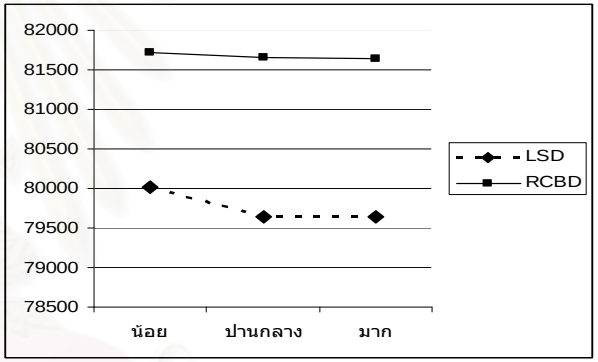


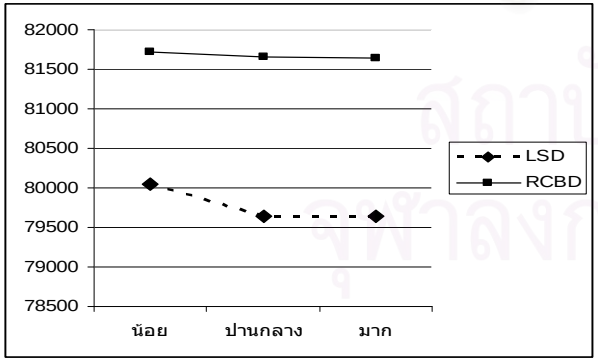


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

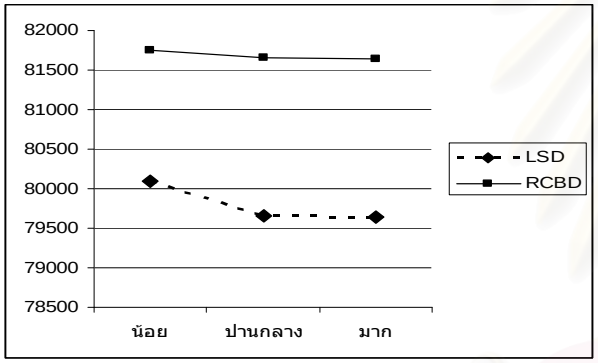


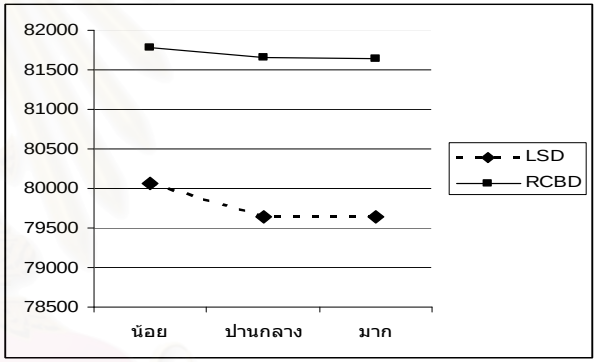


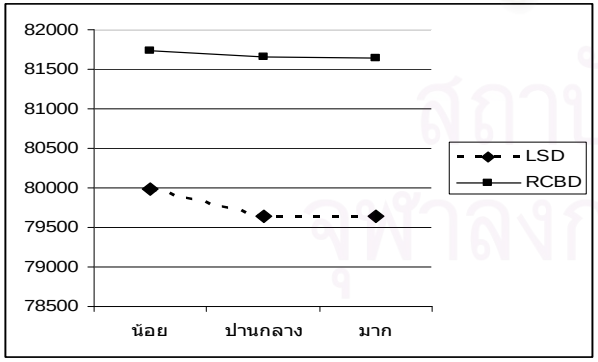


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

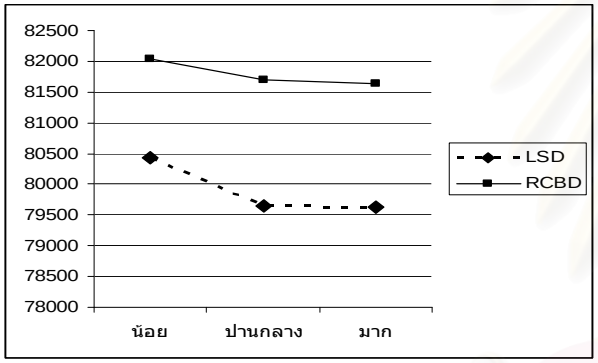


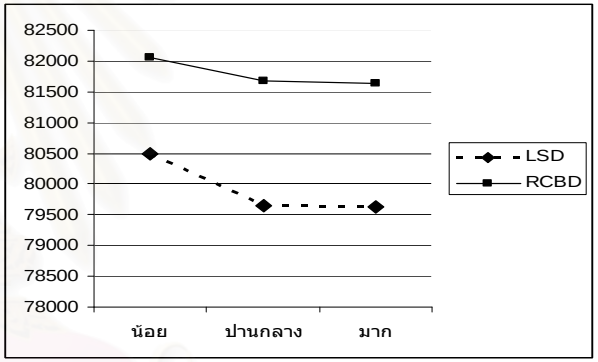


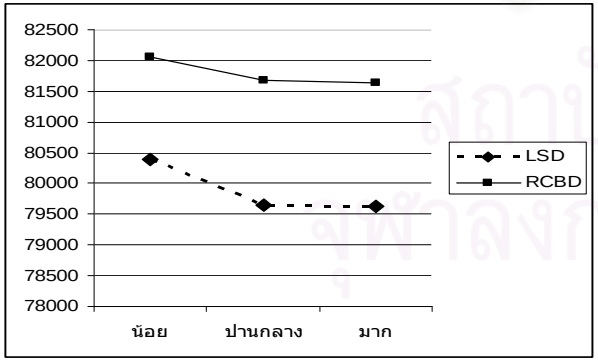


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

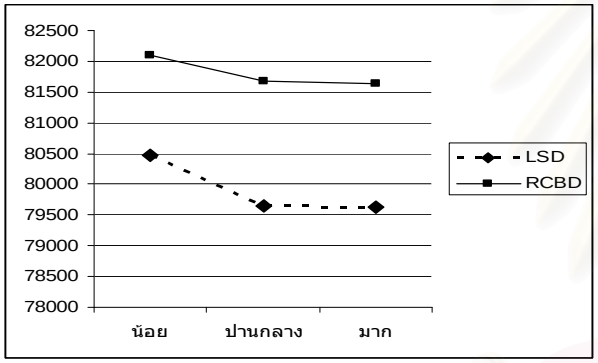


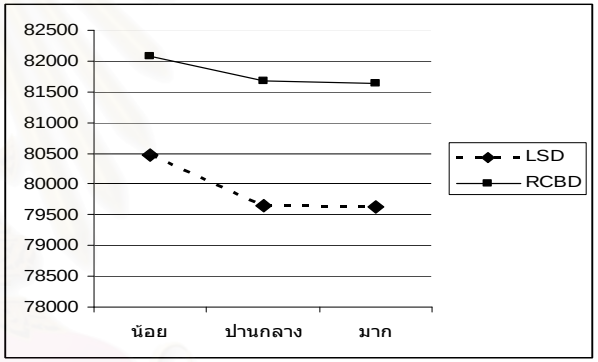


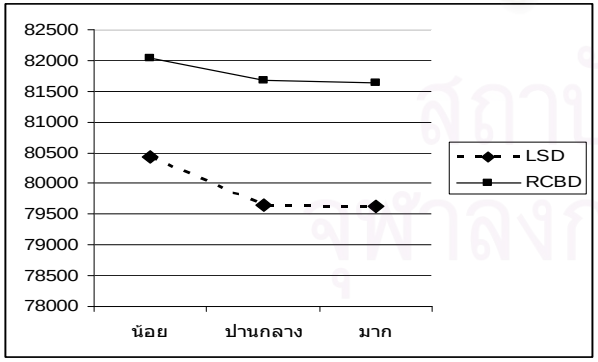


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

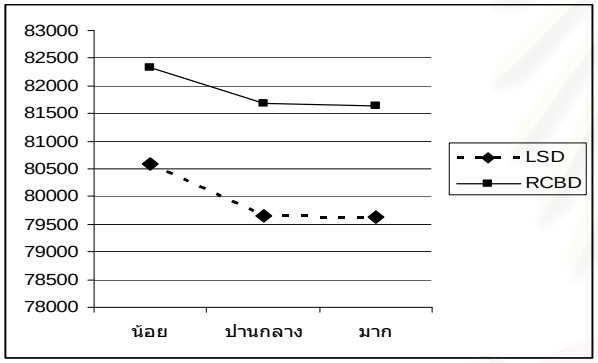


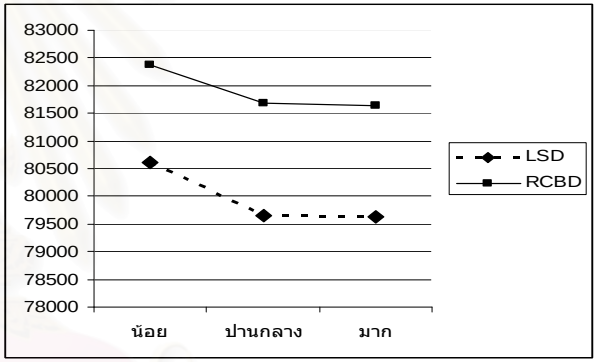


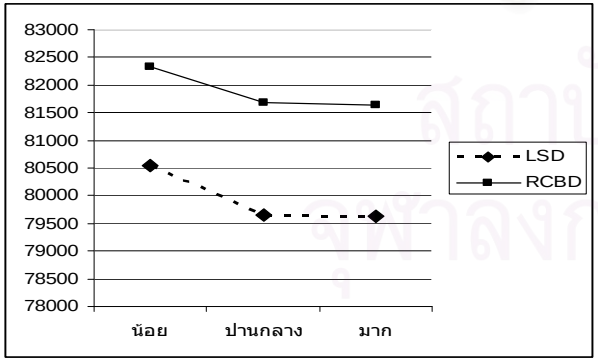


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10

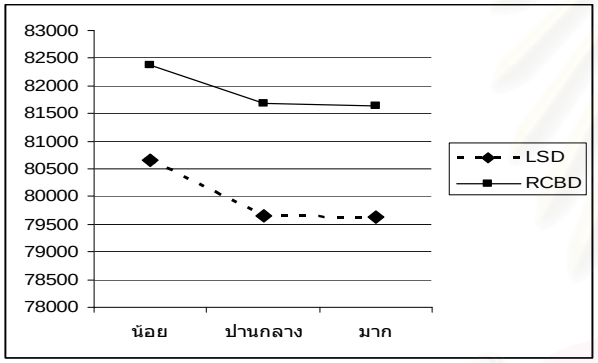


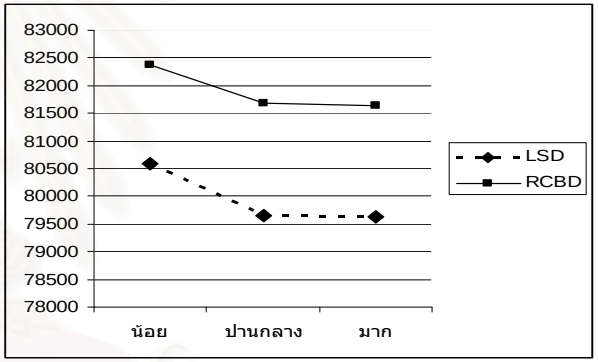


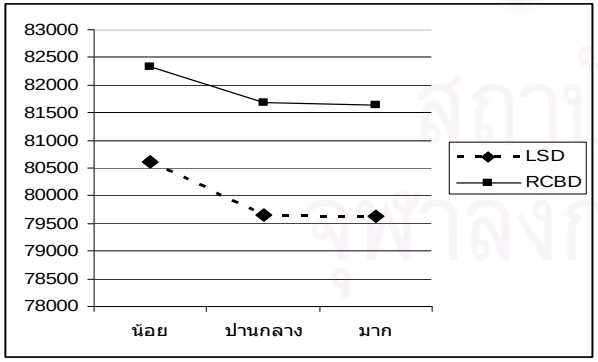


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 5 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10

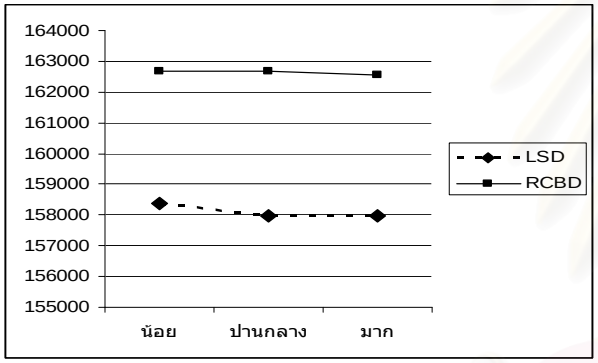


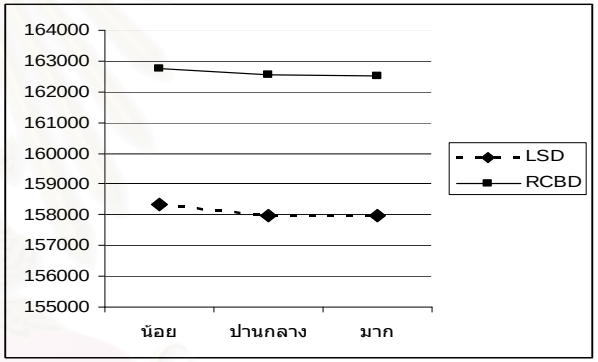


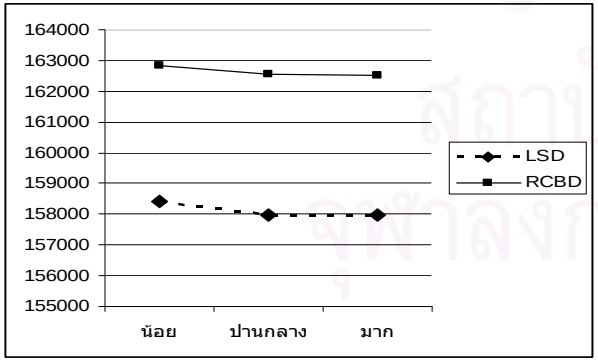


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

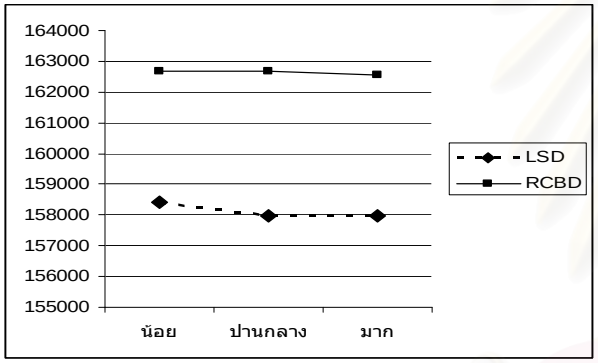


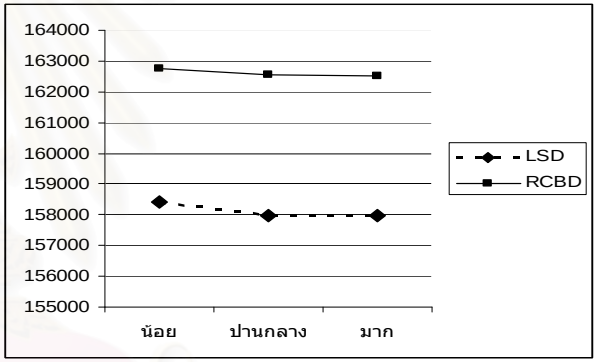


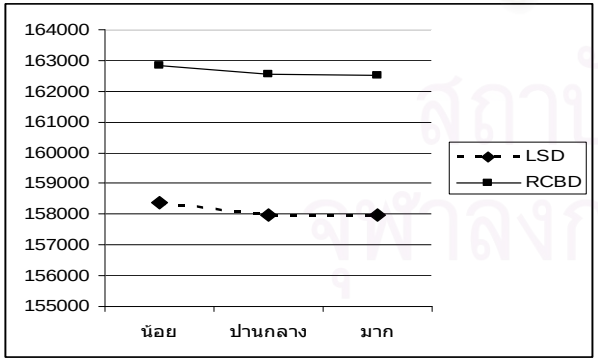


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01

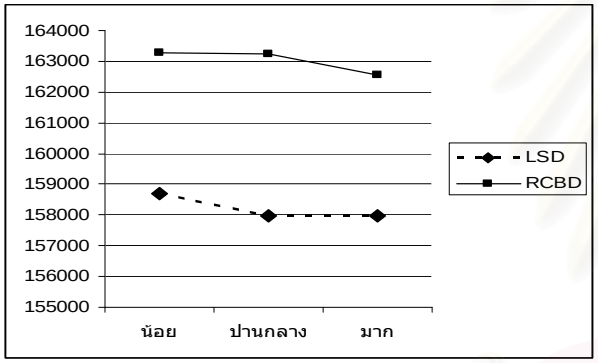


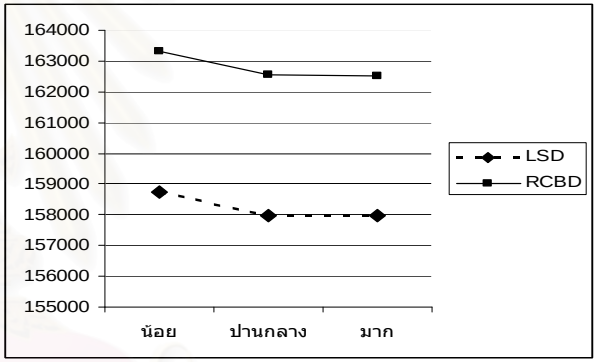


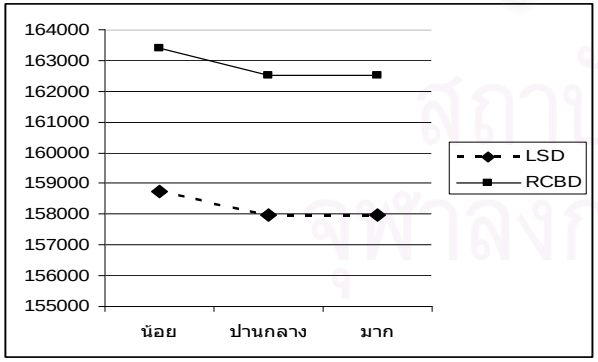


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

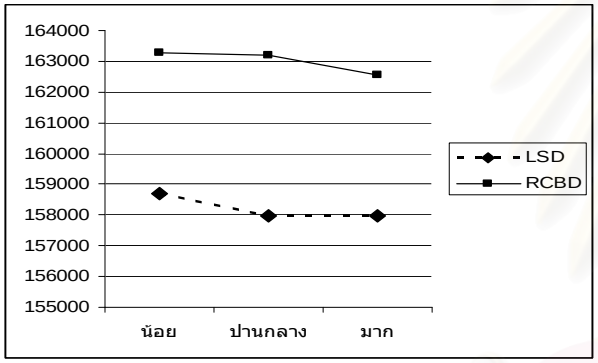


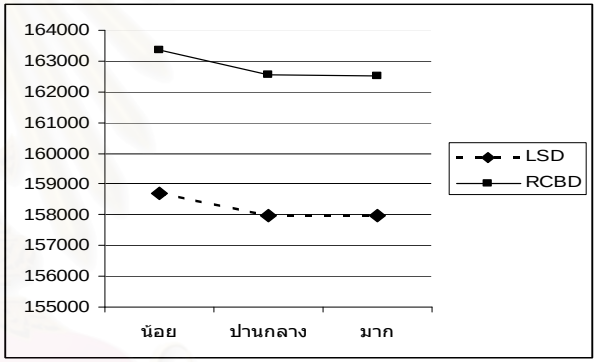


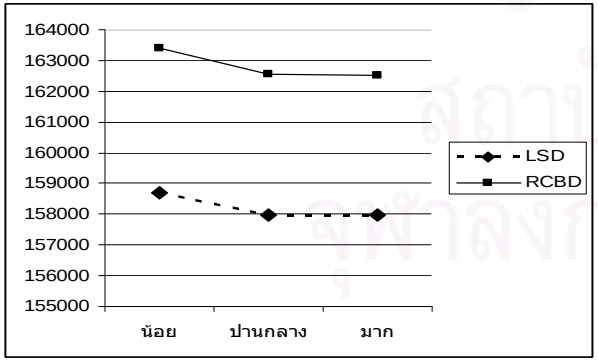


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

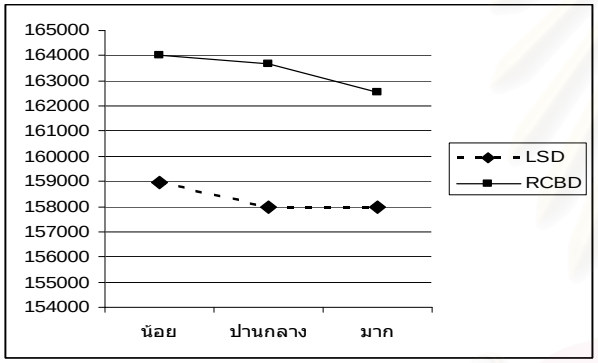


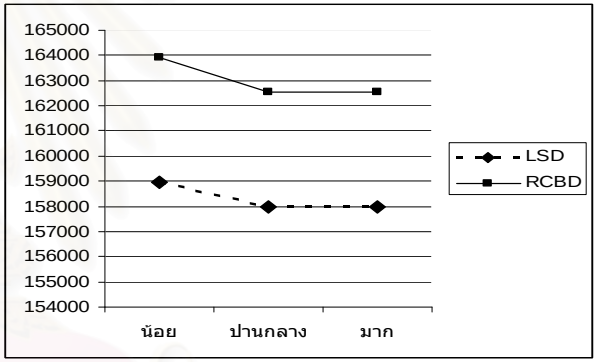


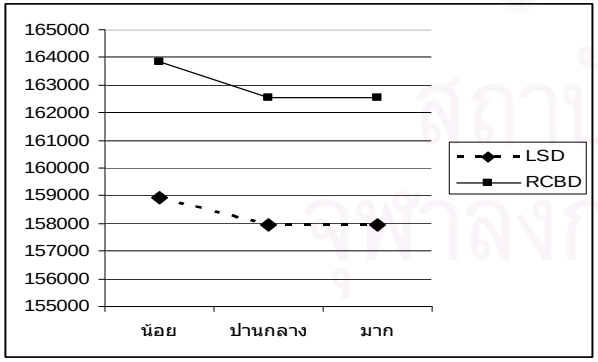


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (row) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10

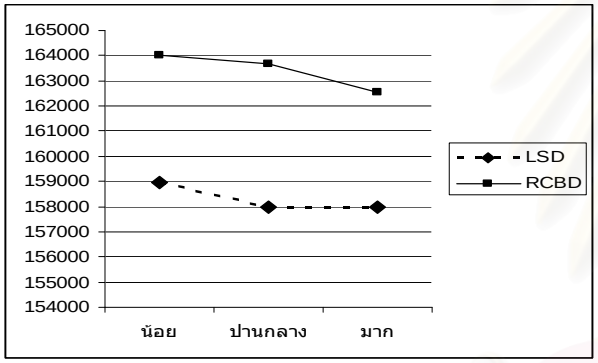


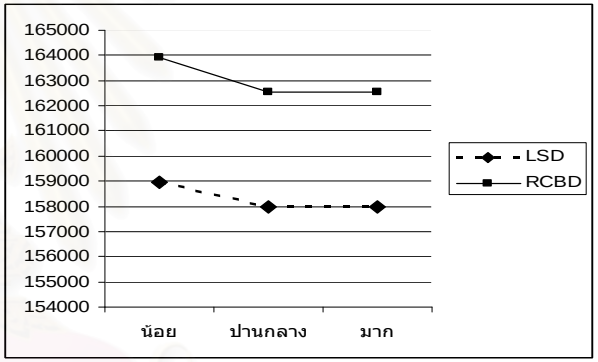


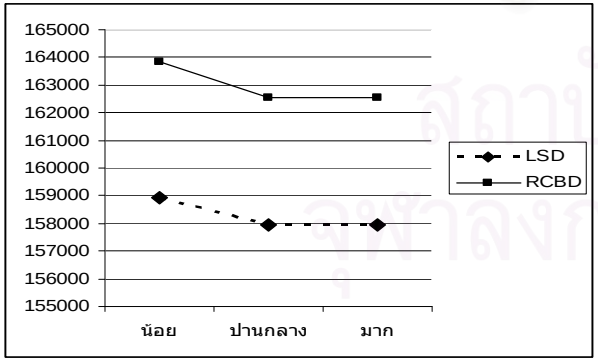


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.36 เปรียบเทียบค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ กรณีค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการทดลองระดับสูง เมื่อประมาณค่า MSE ของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์แบบ MSE (column) จำนวนวิธีทดลองเท่ากับ 7 และระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10







สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการสร้างอิทธิพลของวิธีทดลอง

กรณีที่ 1 จำนวนวิธีทดลอง เท่ากับ 3

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันน้อย ค่า Φ อยู่ระหว่าง [0, 1.5)

ถ้าค่า $\Phi = 0.7354$ จะสามารถกำหนดอิทธิพลของวิธีทดลองได้จาก

$$\Phi = D\sqrt{\frac{1}{2\sigma^2}}$$

ดังนี้

ค่า Φ	σ^2	ผลต่าง D	τ_i		
0.7354	25	5.2	$\tau_1 = -2.6$	$\tau_2 = 0$	$\tau_3 = 2.6$
	100	10.4	$\tau_1 = -5.2$	$\tau_2 = 0$	$\tau_3 = 5.2$
	225	15.6	$\tau_1 = -7.8$	$\tau_2 = 0$	$\tau_3 = 7.8$

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันปานกลาง ค่า Φ อยู่ระหว่าง [1.5, 3)

ถ้าค่า $\Phi = 2.2627$ จะสามารถกำหนดอิทธิพลของวิธีทดลองได้ดังนี้

ค่า Φ	σ^2	ผลต่าง D	τ_i		
2.2627	25	16	$\tau_1 = -8$	$\tau_2 = 0$	$\tau_3 = 8$
	100	32	$\tau_1 = -16$	$\tau_2 = 0$	$\tau_3 = 16$
	225	48	$\tau_1 = -24$	$\tau_2 = 0$	$\tau_3 = 24$

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันมาก ค่า Φ อยู่ระหว่าง [3, ∞)

ถ้าค่า $\Phi = 3.7335$ จะสามารถกำหนดอิทธิพลของวิธีทดลองได้ดังนี้

ค่า Φ	σ^2	ผลต่าง D	τ_i		
3.7335	25	26.4	$\tau_1 = -13.2$	$\tau_2 = 0$	$\tau_3 = 13.2$
	100	52.8	$\tau_1 = -26.4$	$\tau_2 = 0$	$\tau_3 = 26.4$
	225	79.2	$\tau_1 = -39.6$	$\tau_2 = 0$	$\tau_3 = 39.6$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีที่ 2 จำนวนวิธีทดลอง เท่ากับ 5

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันน้อย ค่า Φ อยู่ระหว่าง [0, 1.5)

ถ้าค่า $\Phi = 0.75$ จะสามารถกำหนดอิทธิพลของวิธีทดลองได้จาก

$$\Phi = D\sqrt{\frac{1}{4\sigma^2}}$$

ดังนี้

ค่า Φ	σ^2	ผลต่าง D	τ_i
0.75	25	7.5	$\tau_1 = -1.88$ $\tau_2 = -1.88$ $\tau_3 = 0$ $\tau_4 = 1.88$ $\tau_5 = 1.88$
	100	15	$\tau_1 = -3.75$ $\tau_2 = -3.75$ $\tau_3 = 0$ $\tau_4 = 3.75$ $\tau_5 = 3.75$
	225	22.5	$\tau_1 = -5.63$ $\tau_2 = -5.63$ $\tau_3 = 0$ $\tau_4 = 5.63$ $\tau_5 = 5.63$

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันปานกลาง ค่า Φ อยู่ระหว่าง [1.5, 3)

ถ้าค่า $\Phi = 2.25$ จะสามารถกำหนดอิทธิพลของวิธีทดลองได้ดังนี้

ค่า Φ	σ^2	ผลต่าง D	τ_i
2.25	25	22.5	$\tau_1 = -5.63$ $\tau_2 = -5.63$ $\tau_3 = 0$ $\tau_4 = 5.63$ $\tau_5 = 5.63$
	100	45	$\tau_1 = -11.25$ $\tau_2 = -11.25$ $\tau_3 = 0$ $\tau_4 = 11.25$ $\tau_5 = 11.25$
	225	67.5	$\tau_1 = -16.88$ $\tau_2 = -16.88$ $\tau_3 = 0$ $\tau_4 = 16.88$ $\tau_5 = 16.88$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันมาก ค่า Φ อยู่ระหว่าง $[3, \infty)$
ถ้าค่า $\Phi = 3.75$ จะสามารถกำหนดอิทธิพลของวิธีทดลองได้ดังนี้

ค่า Φ	σ^2	ผลต่าง D	τ_i
3.75	25	37.5	$\tau_1 = -9.38$ $\tau_2 = -9.38$ $\tau_3 = 0$ $\tau_4 = 9.38$ $\tau_5 = 9.38$
	100	75	$\tau_1 = -18.75$ $\tau_2 = -18.75$ $\tau_3 = 0$ $\tau_4 = 18.75$ $\tau_5 = 18.75$
	225	112.5	$\tau_1 = -28.13$ $\tau_2 = -28.13$ $\tau_3 = 0$ $\tau_4 = 28.13$ $\tau_5 = 28.13$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีที่ 3 จำนวนวิธีทดลอง เท่ากับ 7

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันน้อย ค่า Φ อยู่ระหว่าง [0, 1.5)

ถ้าค่า $\Phi = 0.7348$ จะสามารถกำหนดอิทธิพลของวิธีทดลองได้จาก

$$\Phi = D\sqrt{\frac{1}{6\sigma^2}}$$

ดังนี้

ค่า Φ	σ^2	ผลต่าง D	τ_i		
0.7348	25	9	$\tau_1 = -1.5$	$\tau_2 = -1.5$	$\tau_3 = -1.5$
			$\tau_4 = 0$	$\tau_5 = 1.5$	$\tau_6 = 1.5$
			$\tau_7 = 1.5$		
	100	18	$\tau_1 = -3.0$	$\tau_2 = -3.0$	$\tau_3 = -3.0$
			$\tau_4 = 0$	$\tau_5 = 3.0$	$\tau_6 = 3.0$
			$\tau_7 = 3.0$		
	225	27	$\tau_1 = -6.75$	$\tau_2 = -6.75$	$\tau_3 = -6.75$
			$\tau_4 = 0$	$\tau_5 = 6.75$	$\tau_6 = 6.75$
			$\tau_7 = 6.75$		

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันปานกลาง ค่า Φ อยู่ระหว่าง [1.5, 3)

ถ้าค่า $\Phi = 2.2454$ จะสามารถกำหนดอิทธิพลของวิธีทดลองได้ดังนี้

ค่า Φ	σ^2	ผลต่าง D	τ_i		
2.2454	25	27.5	$\tau_1 = -4.58$	$\tau_2 = -4.58$	$\tau_3 = -4.58$
			$\tau_4 = 0$	$\tau_5 = 4.58$	$\tau_6 = 4.58$
			$\tau_7 = 4.58$		
	100	55	$\tau_1 = -9.17$	$\tau_2 = -9.17$	$\tau_3 = -9.17$
			$\tau_4 = 0$	$\tau_5 = 9.17$	$\tau_6 = 9.17$
			$\tau_7 = 9.17$		
	225	82.5	$\tau_1 = -13.75$	$\tau_2 = -13.75$	$\tau_3 = -13.75$
			$\tau_4 = 0$	$\tau_5 = 13.75$	$\tau_6 = 13.75$
			$\tau_7 = 13.75$		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของวิธีทดลองแตกต่างกันมาก ค่า Φ อยู่ระหว่าง $[3, \infty)$

ถ้าค่า $\Phi = 3.7559$ จะสามารถกำหนดอิทธิพลของวิธีทดลองได้ดังนี้

ค่า Φ	σ^2	ผลต่าง D	τ_i		
3.7559	25	46	$\tau_1 = -7.67$	$\tau_2 = -7.67$	$\tau_3 = -7.67$
			$\tau_4 = 0$	$\tau_5 = 7.67$	$\tau_6 = 7.67$
			$\tau_7 = 7.67$		
	100	92	$\tau_1 = -15.33$	$\tau_2 = -15.33$	$\tau_3 = -15.33$
			$\tau_4 = 0$	$\tau_5 = 15.33$	$\tau_6 = 15.33$
			$\tau_7 = 15.33$		
	225	138	$\tau_1 = -23.0$	$\tau_2 = -23.0$	$\tau_3 = -23.0$
			$\tau_4 = 0$	$\tau_5 = 23.0$	$\tau_6 = 23.0$
			$\tau_7 = 23.0$		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการสร้างอิทธิพลของปัจจัยแถวและคอลัมน์

กำหนดให้ค่าอิทธิพลของปัจจัยแถวและคอลัมน์เท่ากันทั้งสองปัจจัย ในที่นี้แสดงตัวอย่างค่าอิทธิพลของปัจจัยแถวเท่านั้น กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเบี่ยงเบน Φ เท่ากับ 1.5 จะได้ค่าอิทธิพลของปัจจัยแถวและคอลัมน์ ดังนี้

กรณีที่ 1 จำนวนวิธีทดลอง เท่ากับ 3

กำหนดอิทธิพลของปัจจัยแถวและคอลัมน์ได้จาก

$$\Phi = D\sqrt{\frac{1}{2\sigma^2}}$$

ดังนี้

ค่า Φ	σ^2	ผลต่าง D	β_i		
1.5	25	10.6067	$\beta_1 = -5.303$	$\beta_2 = 0$	$\beta_3 = 5.303$
	100	21.2132	$\beta_1 = -10.607$	$\beta_2 = 0$	$\beta_3 = 10.607$
	225	31.8199	$\beta_1 = -15.910$	$\beta_2 = 0$	$\beta_3 = 15.910$

กรณีที่ 2 จำนวนวิธีทดลอง เท่ากับ 5

กำหนดอิทธิพลของปัจจัยแถวและคอลัมน์ได้จาก

$$\Phi = D\sqrt{\frac{5}{18\sigma^2}}$$

ดังนี้

ค่า Φ	σ^2	ผลต่าง D	β_i		
1.5	25	14.2303	$\beta_1 = -4.743$	$\beta_2 = -2.372$	$\beta_3 = 0$
			$\beta_4 = 2.372$	$\beta_5 = 4.743$	
	100	28.4594	$\beta_1 = -9.86$	$\beta_2 = -4.743$	$\beta_3 = 0$
			$\beta_4 = 4.743$	$\beta_5 = 9.86$	
	225	42.6833	$\beta_1 = -14.228$	$\beta_2 = -7.114$	$\beta_3 = 0$
			$\beta_4 = 7.114$	$\beta_5 = 14.228$	

กรณีที่ 3 จำนวนวิธีทดลอง เท่ากับ 7

กำหนดอิทธิพลของปัจจัยแถวและคอลัมน์ได้จาก

$$\Phi = D\sqrt{\frac{7}{36\sigma^2}}$$

ดังนี้

ค่า Φ	σ^2	ผลต่าง D	β_i		
1.5	25	17.0082	$\beta_1 = -4.252$	$\beta_2 = -2.835$	$\beta_3 = -1.417$
			$\beta_4 = 0$	$\beta_5 = 1.417$	$\beta_6 = 2.835$
			$\beta_7 = 4.252$		
	100	34.0207	$\beta_1 = -8.505$	$\beta_2 = -5.67$	$\beta_3 = -2.835$
			$\beta_4 = 0$	$\beta_5 = 2.835$	$\beta_6 = 5.67$
			$\beta_7 = 8.505$		
	225	51.0310	$\beta_1 = -12.758$	$\beta_2 = -8.505$	$\beta_3 = -4.253$
			$\beta_4 = 0$	$\beta_5 = 4.253$	$\beta_6 = 8.505$
			$\beta_7 = 12.758$		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม S-PLUS 2000 ที่ใช้ในการวิจัย

ฟังก์ชัน	หน้าที่การทำงาน
dim	กำหนดขนาดเวคเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล
array(c(),dim)	ทำการเก็บข้อมูลในรูปเวคเตอร์ โดยใช้คู่กับ dim
rnorm	ทำการสร้างตัวเลขสุ่มให้มีการแจกแจงแบบปกติ
stdev	คำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล
dig	กำหนดจำนวนทศนิยมที่ต้องการ
round(y,dig)	ทำการปัดเศษข้อมูลที่ y โดยใช้คู่กับ dig
sum	คำนวณผลรวมของข้อมูล
ifelse	ทำการเลือกชุดข้อมูลที่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ตั้งไว้
pnorm	คำนวณค่าความน่าจะเป็นภายใต้การแจกแจงแบบปกติ
loops	กำหนดจำนวนรอบของการทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์

ตารางแสดงความหมายสัญลักษณ์ต่างๆ ของโปรแกรม S-PLUS 2000 ที่ใช้ในการวิจัย

สัญลักษณ์	ความหมาย
a	จำนวนวิธีทดลอง
b	จำนวนปัจจัยแถว
p	จำนวนปัจจัยคอลัมน์
u	ค่าเฉลี่ยรวมของประชากร
sd	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
tr	ค่าอิทธิพลของวิธีทดลอง
blockr, blockc	ค่าอิทธิพลของปัจจัยแถว และคอลัมน์
p.value.lsd, p.value.rcbd	ค่า p-value ของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์
f.lsd, f.rcbd	ค่าสถิติทดสอบเอฟของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์
prob.lsd.f0.01, prob.lsd.f0.05, prob.lsd.f0.10	ค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10

ตารางแสดงความหมายสัญลักษณ์ต่างๆ ของโปรแกรม S-PLUS 2000 ที่ใช้ในการวิจัย (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
prob.rcbd.f0.01, prob.rcbd.f0.05, prob.rcbd.f0.10	ค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่างของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10
pftest.01, pftest.05, pftest.10	ค่าอำนาจการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10
trlsdl, trrcl	ค่าใช้จ่ายในการให้วิธีทดลองระดับต่ำของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์
trlsdh, trrch	ค่าใช้จ่ายในการให้วิธีทดลองระดับสูงของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์
costeulsdl, costeurcl	ค่าใช้จ่ายในการหาหน่วยทดลองระดับต่ำของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์
costeulsdh, costeurch	ค่าใช้จ่ายในการหาหน่วยทดลองระดับสูงของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์
wllsd.01, wllsd.05, wllsd.10 wlrcbd.01, wlrcbd.05, wlrcbd.10	ค่าผลรวมค่าใช้จ่ายถ่วงน้ำหนักของผลการทดสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้ทั้งหมดระดับต่ำของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10
whlsd.01, whlsd.05, whlsd.10 whrcbd.01, whrcbd.05, whrcbd.10	ค่าผลรวมค่าใช้จ่ายถ่วงน้ำหนักของผลการทดสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้ทั้งหมดระดับสูงของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน และแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10
elsdl.01, elsdl.05, elsdl.10	ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10

ตารางแสดงความหมายสัญลักษณ์ต่างๆ ของโปรแกรม S-PLUS 2000 ที่ใช้ในการวิจัย (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
elsdh.01, elsdh.05, elsdh.10	ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองระดับสูงของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10
ercbdl.01, ercbdl.05, ercbdl.10	ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองระดับต่ำของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10
ercbdh.01, ercbdh.05, ercbdh.10	ค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองระดับสูงของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05 และ 0.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมการคำนวณค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง ของแผนการทดลองจัตุรัสลาตินและแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

```
(*การกำหนดค่าใน กรณีที่1*)
a_3
b_3
p_3
n_9
u_50
sd_5
d_1
loops_1000

#Keep p-value of RCBD and LSD
p.value.rcbd_array(,dim=c(1,loops))
p.value.lsd_array(,dim=c(1,loops))

set.seed(123)
for(l in 1:loops)
{
#Determine treatment
if((a==3)&&(sd==5)&&(d==1))tr_array(c(-2.6,0,2.6),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==5)&&(d==1))tr_array(c(-1.875,-1.875,0,1.875,1.875),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==5)&&(d==1))tr_array(c(-1.5,-1.5,-1.5,0,1.5,1.5,1.5),dim=c(a))

if((a==3)&&(sd==10)&&(d==1))tr_array(c(-5.2,0,5.2),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==10)&&(d==1))tr_array(c(-3.75,-3.75,0,3.75,3.75),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==10)&&(d==1))tr_array(c(-3,-3,-3,0,3,3,3),dim=c(a))
```

```
if((a==3)&&(sd==15)&&(d==1))tr_array(c(-7.8,0,7.8),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==15)&&(d==1))tr_array(c(-5.625,-5.625,0,5.625,5.625),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==15)&&(d==1))tr_array(c(-4.5,-4.5,-4.5,0,4.5,4.5,4.5),dim=c(a))

if((a==3)&&(sd==5)&&(d==2))tr_array(c(-8,0,8),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==5)&&(d==2))tr_array(c(-5.625,-5.625,0,5.625,5.625),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==5)&&(d==2))tr_array(c(-4.583,-4.583,-4.583,0,4.583,4.583,4.583),dim=c(a))

if((a==3)&&(sd==10)&&(d==2))tr_array(c(-16,0,16),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==10)&&(d==2))tr_array(c(-11.25,-11.25,0,11.25,11.25),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==10)&&(d==2))tr_array(c(-9.167,-9.167,-9.167,0,9.167,9.167,9.167),dim=c(a))

if((a==3)&&(sd==15)&&(d==2))tr_array(c(-24,0,24),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==15)&&(d==2))tr_array(c(-16.875,-16.875,0,16.875,16.875),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==15)&&(d==2))tr_array(c(-13.75,-13.75,-13.75,0,13.75,13.75,13.75),dim=c(a))

if((a==3)&&(sd==5)&&(d==3))tr_array(c(-13.2,0,13.2),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==5)&&(d==3))tr_array(c(-9.375,-9.375,0,9.375,9.375),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==5)&&(d==3))tr_array(c(-7.667,-7.667,-7.667,0,7.667,7.667,7.667),dim=c(a))

if((a==3)&&(sd==10)&&(d==3))tr_array(c(-26.4,0,26.4),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==10)&&(d==3))tr_array(c(-18.75,-18.75,0,18.75,18.75),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==10)&&(d==3))tr_array(c(-15.333,-15.333,-15.333,0,15.333,15.333,15.333)
,dim=c(a))

if((a==3)&&(sd==15)&&(d==3))tr_array(c(-39.6,0,39.6),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==15)&&(d==3))tr_array(c(-28.125,-28.125,0,28.125,28.125),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==15)&&(d==3))tr_array(c(-23,-23,-23,0,23,23,23),dim=c(a))
```

```
#Determine row blocking factor
if((a==3)&&(sd==5))blockr_array(c(-5.303,0.000,5.303),dim=c(a))
if((a==3)&&(sd==10))blockr_array(c(-10.607,0.000,10.607),dim=c(a))
if((a==3)&&(sd==15))blockr_array(c(-15.910,0.000,15.910),dim=c(a))

if((a==5)&&(sd==5))blockr_array(c(-4.743,-2.372,0.000,2.372,4.743),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==10))blockr_array(c(-9.486,-4.743,0.000,4.743,9.486),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==15))blockr_array(c(-14.228,-7.114,0.000,7.114,14.228),dim=c(a))

if((a==7)&&(sd==5))blockr_array(c(-4.252,-2.835,-1.417,0.000,1.417,2.835,4.252),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==10))blockr_array(c(-8.505,-5.670,-2.835,0.000,2.835,5.670,8.505),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==5))blockr_array(c(-12.758,-8.505,-4.253,0.000,4.253,8.505,12.758),dim=c(a))

#Determine column blocking factor

if((a==3)&&(sd==5))blockc_array(c(-5.303,0.000,5.303),dim=c(a))
if((a==3)&&(sd==10))blockc_array(c(-10.607,0.000,10.607),dim=c(a))
if((a==3)&&(sd==15))blockc_array(c(-15.910,0.000,15.910),dim=c(a))

if((a==5)&&(sd==5))blockc_array(c(-4.743,-2.372,0.000,2.372,4.743),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==10))blockc_array(c(-9.486,-4.743,0.000,4.743,9.486),dim=c(a))
if((a==5)&&(sd==15))blockc_array(c(-14.228,-7.114,0.000,7.114,14.228),dim=c(a))

if((a==7)&&(sd==5))blockc_array(c(-4.252,-2.835,-1.417,0.000,1.417,2.835,4.252),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==10))blockc_array(c(-8.505,-5.670,-2.835,0.000,2.835,5.670,8.505),dim=c(a))
if((a==7)&&(sd==5))blockc_array(c(-12.758,-8.505,-4.253,0.000,4.253,8.505,12.758),dim=c(a))

(*สร้างความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงแบบปกติ*)
er_array(rnorm(a*b,0,sd),dim=c(a,b))
```

```
#Generate y value for fixed effect
y_array(,dim=c(a,b))
mt_array(0,dim=c(a,1))
sd1_array(,dim=c(1))

for(i in 1:a)
{
        for(j in 1:b)
        {
                if((a==3)&&((i-j)==0))(k_1)
                if((a==3)&&(((i-j)==1)||((i-j)==(-2))))(k_2)
                if((a==3)&&(((i-j)==2)||((i-j)==(-1))))(k_3)

                if((a==5)&&((i-j)==0))(k_1)
                if((a==5)&&(((i-j)==1)||((i-j)==(-4))))(k_2)
                if((a==5)&&(((i-j)==2)||((i-j)==(-3))))(k_3)
                if((a==5)&&(((i-j)==3)||((i-j)==(-2))))(k_4)
                if((a==5)&&(((i-j)==4)||((i-j)==(-1))))(k_5)

                if((a==7)&&((i-j)==0))(k_1)
                if((a==7)&&(((i-j)==1)||((i-j)==(-6))))(k_2)
                if((a==7)&&(((i-j)==2)||((i-j)==(-5))))(k_3)
                if((a==7)&&(((i-j)==3)||((i-j)==(-4))))(k_4)
                if((a==7)&&(((i-j)==4)||((i-j)==(-3))))(k_5)
                if((a==7)&&(((i-j)==5)||((i-j)==(-2))))(k_6)
                if((a==7)&&(((i-j)==6)||((i-j)==(-1))))(k_7)

                y[i,j]_u+blockr[i]+blockc[j]+tr[k]+er[i,j]
        }
}
```

```
for(i in 1:a)
{
        for(j in 1:b)
        {


                if((a==3)&&((i-j)==0))(mt[1]_mt[1]+y[i,j])
                if((a==3)&&(((i-j)==1)||((i-j)==(-2))))(mt[2]_mt[2]+y[i,j])
                if((a==3)&&(((i-j)==2)||((i-j)==(-1))))(mt[3]_mt[3]+y[i,j])

                if((a==5)&&((i-j)==0))(mt[1]_mt[1]+y[i,j])
                if((a==5)&&(((i-j)==1)||((i-j)==(-4))))(mt[2]_mt[2]+y[i,j])
                if((a==5)&&(((i-j)==2)||((i-j)==(-3))))(mt[3]_mt[3]+y[i,j])
                if((a==5)&&(((i-j)==3)||((i-j)==(-2))))(mt[4]_mt[4]+y[i,j])
                if((a==5)&&(((i-j)==4)||((i-j)==(-1))))(mt[5]_mt[5]+y[i,j])

                if((a==7)&&((i-j)==0))(mt[1]_mt[1]+y[i,j])
                if((a==7)&&(((i-j)==1)||((i-j)==(-6))))(mt[2]_mt[2]+y[i,j])
                if((a==7)&&(((i-j)==2)||((i-j)==(-5))))(mt[3]_mt[3]+y[i,j])
                if((a==7)&&(((i-j)==3)||((i-j)==(-4))))(mt[4]_mt[4]+y[i,j])
                if((a==7)&&(((i-j)==4)||((i-j)==(-3))))(mt[5]_mt[5]+y[i,j])
                if((a==7)&&(((i-j)==5)||((i-j)==(-2))))(mt[6]_mt[6]+y[i,j])
                if((a==7)&&(((i-j)==6)||((i-j)==(-1))))(mt[7]_mt[7]+y[i,j])
        }
}

sd1_stdev(y)
sy_sum(y)
sc_(sy^2)/(a*b)

yy_y^2
ss_sum(yy)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
st_sum(mt^2)/a

sbr_0
sbrr_0
for(i in 1:a)
{
        for(j in 1:b)
        {
                sbrr_sbrr+y[i,j]
        }
        sbr_sbr+(sbrr^2)
        sbrr_0
}
sbr_sbr/b

sbc_0
sbcc_0
for(j in 1:b)
{
        for(i in 1:a)
        {
                sbcc_sbcc+y[i,j]
        }
        sbc_sbc+(sbcc^2)
        sbcc_0
}
sbc_sbc/p

(*การคำนวณค่าสถิติทดสอบเอฟของแผนการทดลองจัตุรัสลาติน*)
sst_ss-sc
sstr_st-sc
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
ssbr_sbr-sc
ssbc_sbc-sc
sser.lsd_sst-sstr-ssbr-ssbc
vtr_(p-1)

ver.lsd_(p-1)*(p-2)
mstr_sstr/vtr
mser.lsd_sser.lsd/ver.lsd
f.lsd_mstr/mser.lsd
f.lsd_round(f.lsd,dig=5)
f.lsd
p.value.lsd[,l]_round(1-pf(f.lsd,vtr,ver.lsd),dig=5)
p.value.lsd

(*การคำนวณค่าสถิติทดสอบเอฟของแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จากข้อมูลของ
แผนการทดลองจัตุรัสลาติน*)
ver.rcbd_(a-1)*(b-1)
msb_ssbc/(p-1)
mser.rcbd_(msb+((p-1)*mser.lsd))/p
f.rcbd_mstr/mser.rcbd
f.rcbd_round(f.rcbd,dig=5)
f.rcbd
p.value.rcbd[,l]_round(1-pf(f.rcbd,vtr,ver.rcbd),dig=5)
p.value.rcbd
}

(*การคำนวณค่าสัดส่วนการปฏิเสธสมมติฐานว่าง*)
count.rcbd.f0.10_ifelse(p.value.rcbd<=0.10,1,0)
sum.rcbd.pvalue0.10_sum(count.rcbd.f0.10)
sum.rcbd.pvalue0.10
prob.rcbd.f0.10_round(sum.rcbd.pvalue0.10/loops,dig=5)
prob.rcbd.f0.10
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
#Compute proportion p-value of LSD at 0.10
count.lsd.f0.10_ifelse(p.value.lsd<=0.10,1,0)
sum.lsd.pvalue0.10_sum(count.lsd.f0.10)
sum.lsd.pvalue0.10
prob.lsd.f0.10_round(sum.lsd.pvalue0.10/loops,dig=5)
prob.lsd.f0.10

#Compute proportion p-value of RCBD at 0.05
count.rcbd.f0.05_ifelse(p.value.rcbd<=0.05,1,0)
sum.rcbd.pvalue0.05_sum(count.rcbd.f0.05)
sum.rcbd.pvalue0.05
prob.rcbd.f0.05_round(sum.rcbd.pvalue0.05/loops,dig=5)
prob.rcbd.f0.05

#Compute proportion p-value of LSD at 0.05
count.lsd.f0.05_ifelse(p.value.lsd<=0.05,1,0)
sum.lsd.pvalue0.05_sum(count.lsd.f0.05)
sum.lsd.pvalue0.05
prob.lsd.f0.05_round(sum.lsd.pvalue0.05/loops,dig=5)
prob.lsd.f0.05

#Compute proportion p-value of RCBD at 0.01
count.rcbd.f0.01_ifelse(p.value.rcbd<=0.01,1,0)
sum.rcbd.pvalue0.01_sum(count.rcbd.f0.01)
sum.rcbd.pvalue0.01
prob.rcbd.f0.01_round(sum.rcbd.pvalue0.01/loops,dig=5)
prob.rcbd.f0.01
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
#Compute proportion p-value of LSD at 0.01
count.lsd.f0.01_ifelse(p.value.lsd<=0.01,1,0)
sum.lsd.pvalue0.01_sum(count.lsd.f0.01)
sum.lsd.pvalue0.01
prob.lsd.f0.01_round(sum.lsd.pvalue0.01/loops,dig=5)
prob.lsd.f0.01

(*การคำนวณค่าอำนาจการทดสอบ*)
if((a==3)&&(d==1))(ez_0.7354)
if((a==3)&&(d==2))(ez_2.2627)
if((a==3)&&(d==3))(ez_3.7335)
if((a==5)&&(d==1))(ez_0.75)
if((a==5)&&(d==2))(ez_2.25)
if((a==5)&&(d==3))(ez_3.75)
if((a==7)&&(d==1))(ez_0.7348)
if((a==7)&&(d==2))(ez_2.2454)
if((a==7)&&(d==3))(ez_3.7559)

#Compute power and beta at 0.10
z.score1b.10_((ez*(n-1)*sqrt(2*n))/((2*(n-1))+(1.21*(1.285-1.06))))-1.285
if(z.score1b.10>0)(bta.10_2*(1-pnorm(z.score1b.10)))
if(z.score1b.10<0)(bta.10_2*pnorm(z.score1b.10))
pftest.10_1-bta.10
pftest.10

#Compute power and beta at 0.05
z.score1b.05_((ez*(n-1)*sqrt(2*n))/((2*(n-1))+(1.21*(2.325-1.06))))-2.325
if(z.score1b.05>0)(bta.05_2*(1-pnorm(z.score1b.05)))
if(z.score1b.05<0)(bta.05_2*pnorm(z.score1b.05))
pftest.05_1-bta.05
pftest.05
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#Compute power and beta at 0.01

z.score1b.01_((ez*(n-1)*sqrt(2*n))/((2*(n-1))+(1.21*(2.575-1.06))))-2.575

if(z.score1b.01>0)(bta.01_2*(1-pnorm(z.score1b.01)))

if(z.score1b.01<0)(bta.01_2*pnorm(z.score1b.01))

pftest.01_1-bta.01

pftest.01

(*การคำนวณค่าคาดหวังของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง*)

#Compute expectation cost of RCBD

#Expectation cost of RCBD (Low Level)

if(a==3)((trrcl1_152.46)&(trrcl2_1.25*trrcl1)&(trrcl3_1.5*trrcl1)&(costtrrcl_b*(trrcl1+trrcl2+trrcl3)))

if(a==5)((trrcl1_152.46)&(trrcl2_1.25*trrcl1)&(trrcl3_1.5*trrcl1)&(trrcl4_1.75*trrcl1)&(trrcl5_2*trrcl1)&(costtrrcl_b*(trrcl1+trrcl2+trrcl3+trrcl4+trrcl5)))

if(a==7)((trrcl1_152.46)&(trrcl2_1.25*trrcl1)&(trrcl3_1.5*trrcl1)&(trrcl4_1.75*trrcl1)&(trrcl5_2*trrcl1)&(trrcl6_2.25*trrcl1)&(trrcl7_2.5*trrcl1)&(costtrrcl_b*(trrcl1+trrcl2+trrcl3+trrcl4+trrcl5+trrcl6+trrcl7)))

if(a==3)(op1rcl_trrcl3-trrcl1)

if(a==5)(op1rcl_trrcl5-trrcl1)

if(a==7)(op1rcl_trrcl7-trrcl1)

costeurcl_(a*b*1365.60)

c1rcl_costeurcl+(a*b*op1rcl)

c2rcl_costeurcl

c3rcl_costeurcl+(a*b*173.95)

c4rcl_costeurcl

wlrcbd.10_((1-prob.rcbd.f0.10)*((0.10*c1rcl)+(0.90*c2rcl)))+(prob.rcbd.f0.10*((bta.10*c3rcl)+(pftest.10*c4rcl)))

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

wlrcbd.05_((1-prob.rcbd.f0.05)*((0.05*c1rcl)+(0.95*c2rcl)))+(prob.rcbd.f0.05*((bta.05*c3rcl)+(pftest.05*c4rcl)))

wlrcbd.01_((1-prob.rcbd.f0.01)*((0.01*c1rcl)+(0.99*c2rcl)))+(prob.rcbd.f0.01*((bta.01*c3rcl)+(pftest.01*c4rcl)))

costexperrcl_costeurcl+costtrrcl

ercbdl.10_costexperrcl+wlrcbd.10

ercbdl.10

ercbdl.05_costexperrcl+wlrcbd.05

ercbdl.05

ercbdl.01_costexperrcl+wlrcbd.01

ercbdl.01

#Expectation cost of RCBD (High Level)

if(a==3)((trrch1_205.74)&(trrch2_1.25*trrch1)&(trrch3_1.5*trrch1)&(costtrrch_b*(trrch1+trrch2+trrch3)))

if(a==5)((trrch1_205.74)&(trrch2_1.25*trrch1)&(trrch3_1.5*trrch1)&(trrch4_1.75*trrch1)&(trrch5_2*trrch1)&(costtrrch_b*(trrch1+trrch2+trrch3+trrch4+trrch5)))

if(a==7)((trrch1_205.74)&(trrch2_1.25*trrch1)&(trrch3_1.5*trrch1)&(trrch4_1.75*trrch1)&(trrch5_2*trrch1)&(trrch6_2.25*trrch1)&(trrch7_2.5*trrch1)&(costtrrch_b*(trrch1+trrch2+trrch3+trrch4+trrch5+trrch6+trrch7)))

if(a==3)(op1rch_trrch3-trrch1)

if(a==5)(op1rch_trrch5-trrch1)

if(a==7)(op1rch_trrch7-trrch1)

costeurch_(a*b*1478.40)

c1rch_costeurch+(a*b*op1rch)

c2rch_costeurch

c3rch_costeurch+(a*b*299.89)

c4rch_costeurch

whrcbd.10_((1-prob.rcbd.f0.10)*((0.10*c1rch)+(0.90*c2rch)))+(prob.rcbd.f0.10*((bta.10*c3rch)+(pftest.10*c4rch)))

whrcbd.05_((1-prob.rcbd.f0.05)*((0.05*c1rch)+(0.95*c2rch)))+(prob.rcbd.f0.05*((bta.05*c3rch)+(pftest.05*c4rch)))

whrcbd.01_((1-prob.rcbd.f0.01)*((0.01*c1rch)+(0.99*c2rch)))+(prob.rcbd.f0.01*((bta.01*c3rch)+(pftest.01*c4rch)))

costexperrch_costeurch+costtrrch

ercbdh.10_costexperrch+whrcbd.10

ercbdh.10

ercbdh.05_costexperrch+whrcbd.05

ercbdh.05

ercbdh.01_costexperrch+whrcbd.01

ercbdh.01

#Compute expectation cost of LSD

#Expectation cost of LSD (Low Level)

if(a==3)((trlsdl1_152.46)&(trlsdl2_1.25*trlsdl1)&(trlsdl3_1.5*trlsdl1)&(costtrlsdl_b*(trlsdl1+trlsdl2+trlsdl3)))

if(a==5)((trlsdl1_152.46)&(trlsdl2_1.25*trlsdl1)&(trlsdl3_1.5*trlsdl1)&(trlsdl4_1.75*trlsdl1)&(trlsdl5_2*trlsdl1)&(costtrlsdl_b*(trlsdl1+trlsdl2+trlsdl3+trlsdl4+trlsdl5)))

if(a==7)((trlsdl1_152.46)&(trlsdl2_1.25*trlsdl1)&(trlsdl3_1.5*trlsdl1)&(trlsdl4_1.75*trlsdl1)&(trlsdl5_2*trlsdl1)&(trlsdl6_2.25*trlsdl1)&(trlsdl7_2.5*trlsdl1)&(costtrlsdl_b*(trlsdl1+trlsdl2+trlsdl3+trlsdl4+trlsdl5+trlsdl6+trlsdl7)))

if(a==3)(op1lsdl_trlsdl3-trlsdl1)

if(a==5)(op1lsdl_trlsdl5-trlsdl1)

if(a==7)(op1lsdl_trlsdl7-trlsdl1)

costeulsdl_(a*b*1365.60)

c1lsdl_costeulsdl+(a*b*op1lsdl)

c2lsdl_costeulsdl

c3lsdl_costeulsdl+(a*b*173.95)

c4lsdl_costeulsdl

wllsd.10_((1-prob.lsd.f0.10)*((0.10*c1lsdl)+(0.90*c2lsdl)))+(prob.lsd.f0.10*((bta.10*c3lsdl)+(pftest.10*c4lsdl)))

wllsd.05_((1-prob.lsd.f0.05)*((0.05*c1lsdl)+(0.95*c2lsdl)))+(prob.lsd.f0.05*((bta.05*c3lsdl)+(pftest.05*c4lsdl)))

wllsd.01_((1-prob.lsd.f0.01)*((0.01*c1lsdl)+(0.99*c2lsdl)))+(prob.lsd.f0.01*((bta.01*c3lsdl)+(pftest.01*c4lsdl)))

costexperlsdl_costeulsdl+costtrlsdl

elsdl.10_costexperlsdl+wllsd.10

elsdl.10

elsdl.05_costexperlsdl+wllsd.05

elsdl.05

elsdl.01_costexperlsdl+wllsd.01

elsdl.01

#Expectation cost of LSD (High Level)

if(a==3)((trlsdh1_152.46)&(trlsdh2_1.25*trlsdh1)&(trlsdh3_1.5*trlsdh1)&(costtrlsdh_b*(trlsdh1+trlsdh2+trlsdh3)))

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

if(a==5)((trlsdh1_152.46)&(trlsdh2_1.25*trlsdh1)&(trlsdh3_1.5*trlsdh1)&(trlsdh4_1.75*trlsdh1)
&(trlsdh5_2*trlsdh1)&(costtrlsdh_b*(trlsdh1+trlsdh2+trlsdh3+trlsdh4+trlsdh5)))
if(a==7)((trlsdh1_152.46)&(trlsdh2_1.25*trlsdh1)&(trlsdh3_1.5*trlsdh1)&(trlsdh4_1.75*trlsdh1)
&(trlsdh5_2*trlsdh1)&(trlsdh6_2.25*trlsdh1)&(trlsdh7_2.5*trlsdh1)&(costtrlsdh_b*(trlsdh1
+trlsdh2+trlsdh3+trlsdh4+trlsdh5+trlsdh6+trlsdh7)))

if(a==3)(op1lsdh_trlsdh3-trlsdh1)
if(a==5)(op1lsdh_trlsdh5-trlsdh1)
if(a==7)(op1lsdh_trlsdh7-trlsdh1)

costeulsdh_(a*b*1478.40)

c1lsdh_costeulsdh+(a*b*op1lsdh)
c2lsdh_costeulsdh
c3lsdh_costeulsdh+(a*b*299.89)
c4lsdh_costeulsdh

whlsd.10_((1-prob.lsd.f0.10)*((0.10*c1lsdh)+(0.90*c2lsdh)))+(prob.lsd.f0.10*((bta.10*c3lsdh)
+(pftest.10*c4lsdh)))
whlsd.05_((1-prob.lsd.f0.05)*((0.05*c1lsdh)+(0.95*c2lsdh)))+(prob.lsd.f0.05*((bta.05*c3lsdh)
+(pftest.05*c4lsdh)))
whlsd.01_((1-prob.lsd.f0.01)*((0.01*c1lsdh)+(0.99*c2lsdh)))+(prob.lsd.f0.01*((bta.01*c3lsdh)
+(pftest.01*c4lsdh)))

costexperlsdh_costeulsdh+costtrlsdh

elsdh.10_costexperlsdh+whlsd.10
elsdh.10
elsdh.05_costexperlsdh+whlsd.05
elsdh.05
elsdh.01_costexperlsdh+whlsd.01
elsdh.01

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่2*)

a_3

b_3

p_3

n_9

u_50

sd_5

d_2

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่3*)

a_3

b_3

p_3

n_9

u_50

sd_5

d_3

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่4*)

a_3

b_3

p_3

n_9

u_50

sd_10

d_1

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่5*)

a_3

b_3

p_3

n_9

u_50

sd_10

d_2

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่6*)

a_3

b_3

p_3

n_9

u_50

sd_10

d_3

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่7*)

a_3

b_3

p_3

n_9

u_50

sd_15

d_1

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่8*)

a_3

b_3

p_3

n_9

u_50

sd_15

d_2

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่9*)

a_3

b_3

p_3

n_9

u_50

sd_15

d_3

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่10*)

a_5

b_5

p_5

n_25

u_50

sd_5

d_1

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่11*)

a_5

b_5

p_5

n_25

u_50

sd_5

d_2

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่12*)

a_5

b_5

p_5

n_25

u_50

sd_5

d_3

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่13*)

a_5

b_5

p_5

n_25

u_50

sd_10

d_1

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่14*)

a_5

b_5

p_5

n_25

u_50

sd_10

d_2

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่15*)

a_5

b_5

p_5

n_25

u_50

sd_10

d_3

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่16*)

a_5

b_5

p_5

n_25

u_50

sd_15

d_1

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่17*)

a_5

b_5

p_5

n_25

u_50

sd_15

d_2

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่18*)

a_5

b_5

p_5

n_25

u_50

sd_15

d_3

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่19*)

a_7

b_7

p_7

n_49

u_50

sd_5

d_1

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่20*)

a_7

b_7

p_7

n_49

u_50

sd_5

d_2

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่21*)

a_7

b_7

p_7

n_49

u_50

sd_5

d_3

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่22*)

a_7

b_7

p_7

n_49

u_50

sd_10

d_1

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่23*)

a_7

b_7

p_7

n_49

u_50

sd_10

d_2

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่24*)

a_7

b_7

p_7

n_49

u_50

sd_10

d_3

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่25*)

a_7

b_7

p_7

n_49

u_50

sd_15

d_1

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่26*)

a_7

b_7

p_7

n_49

u_50

sd_15

d_2

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

(*การกำหนดค่าใน กรณีที่27*)

a_7

b_7

p_7

n_49

u_50

sd_15

d_3

(*ตัวโปรแกรมการคำนวณมีลักษณะเดียวกับ กรณีแรก*)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเกรียงศักดิ์ เกียรติกังวานกุล เกิดวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2522 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต วิชาเอกสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย