

บทที่ 4

การทดสอบโปรแกรมและผลการวิจัย

4.1 เครื่องคอมพิวเตอร์และระบบปฏิบัติการที่ใช้ในการทดสอบ

ในงานวิจัยเรื่อง “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดพีชชีเพื่อแก้ปัญหาการสับเปลี่ยนหม้อ-แปลงจำหน่าย” ใช้การปฏิบัติการบนโปรแกรมเมทแล็บ (Matlab) เวอร์ชัน 7.10.0 (R2010A) บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 7 (Windows 7) โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้มีรายละเอียดดังนี้

-หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel(R) Core(TM) 2 Duo T7100 @1.8 GHz

-หน่วยความจำ (RAM) ขนาด 2.99 จิกะไบต์ ความเร็ว 133 เมกะเฮิร์ตซ์

4.2 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย

โปรแกรมการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่ายมีโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 4.1 โดยเริ่มต้นจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแปรนำเข้า, การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปริมาณพีชชี, การกำหนดค่าเริ่มต้น, การแทนที่, การครอสโอเวอร์, การมิวเทชัน, การสร้างคำตอบจากสมการทางคณิตศาสตร์, การเลือก, การแสดงผลและการแสดงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดตามลำดับ

```
clear;
clc;

    Coij;                % ทดสอบความถูกต้องของตัวแปรนำเข้า
    fmemb;               % กำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรพีชชี
    initial_pop;         % กำหนดประชากรเริ่มต้น
    formulated_init;     % คำนวณค่าความเหมาะสมของประชากรเริ่มต้น
for g = 1:genmax
    replc;               % การแทนที่
    xover_exchmut;       % การครอสโอเวอร์ และ/หรือ มิวเทชัน
    formulated_loop;    % คำนวณค่าความเหมาะสมของประชากร
    sel_repl;            % การเลือก
    show_result_loop;    % แสดงผลของแต่ละรอบ
end
show_result;            % แสดงผลที่ดีที่สุดจากการทดสอบ
```

รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างการทำงานของโปรแกรมการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย

4.2.1 ตัวแปรนำเข้า

ตัวแปรนำเข้าสำหรับโปรแกรมการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย ประกอบด้วย เมตริกซ์และค่าคงที่ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรนำเข้าที่ใช้สำหรับโปรแกรมการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย

ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย	ค่าตัวแปร
Fij	ต้นทุนค่าอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายหน้างานกรณีมีการรื้อถอนหม้อแปลงจำหน่ายจากจุดจ่ายโหลดเดิมไปติดตั้งที่จุดจ่ายโหลดใหม่	บาท	<709x709 double>
Dij	ระยะทางที่ขนส่งกรณีมีการรื้อถอนหม้อแปลงจำหน่ายจากจุดจ่ายโหลดเดิมไปติดตั้งที่จุดจ่ายโหลดใหม่	กิโลเมตร	<709x709 double>
Pcore	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงจำหน่าย ณ จุดจ่ายโหลดใหม่	วัตต์	<709x1 double>
Pcu	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลงจำหน่าย ณ จุดจ่ายโหลดใหม่	วัตต์	<709x1 double>
LSFi	ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียของจุดจ่ายโหลดเดิมj	-	<709x1 double>
UFij	ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่าย ณ จุดจ่ายโหลดใหม่ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่ถูกย้ายมาจากจุดจ่ายโหลดเดิม	-	<709x709 double>
Mij	ระดับความเป็นสมาชิกของค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์หม้อแปลงจำหน่าย ณ จุดจ่ายโหลดใหม่ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่ถูกย้ายมาจากจุดจ่ายโหลดเดิม	-	<709x709 double>
CL	ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยจำหน่าย	บาทต่อ กิโลวัตต์- ชั่วโมง	2.7606
Ct	ต้นทุนขนส่งต่อหน่วยระยะทาง	บาทต่อ กิโลเมตร	6.5
genmax	จำนวนรุ่นของประชากรที่ใช้ในการทดสอบ	-	-
ind	ขนาดประชากรที่ใช้ในการทดสอบ	-	-
Caseij	เมตริกซ์แสดงรูปแบบการสับเปลี่ยนระหว่างชนิดของหม้อแปลง	-	<709x709 double>

4.2.2 ตัวแปรส่งออก

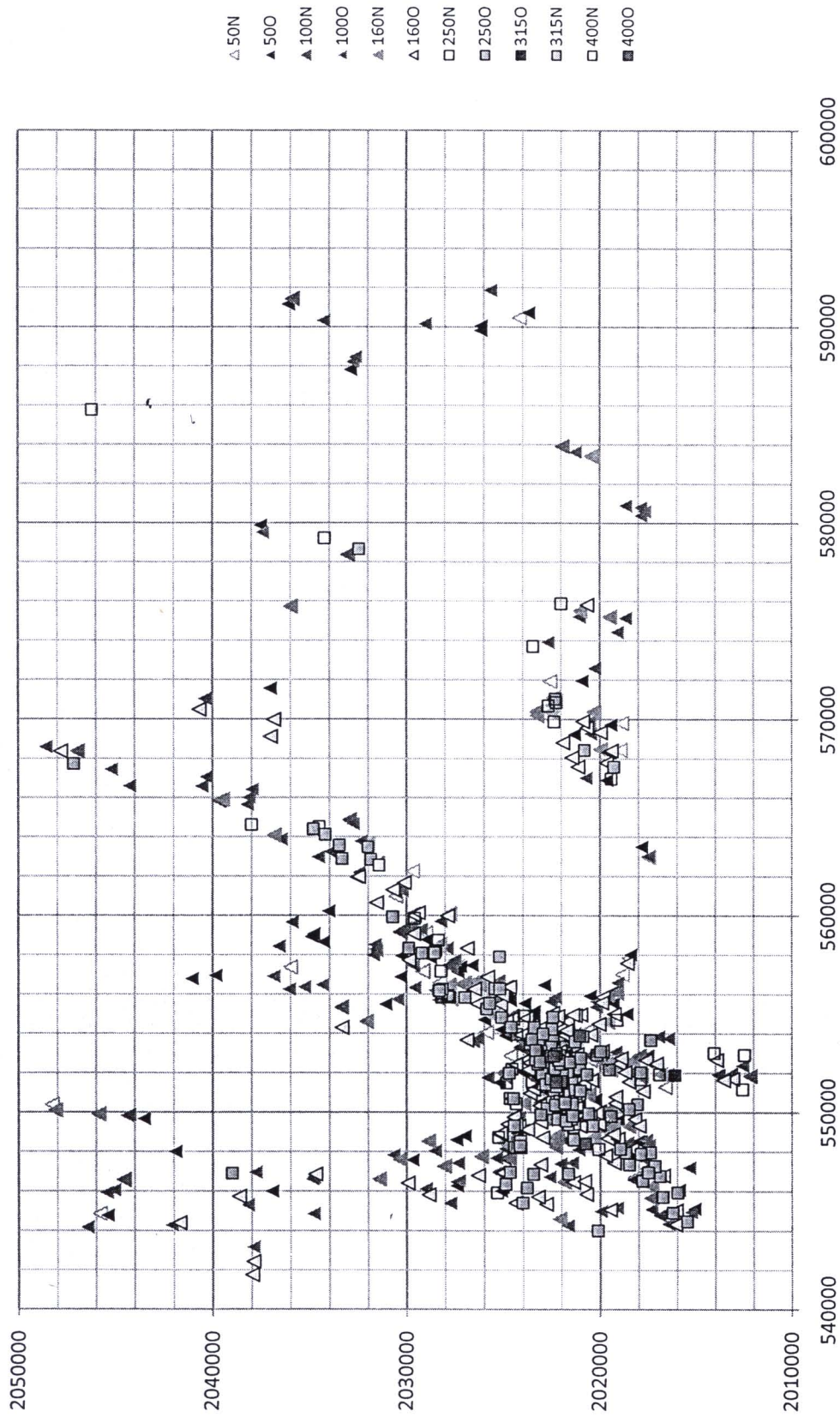
ตัวแปรนำเข้าสำหรับโปรแกรมการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย ประกอบด้วย เมตริกซ์และค่าคงที่ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตัวแปรส่งออกที่ใช้สำหรับโปรแกรมการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย

ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
bestA1	ผลรวมของต้นทุนค่าอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายหน้างาน กรณีมีการรื้อถอนหม้อแปลงจำหน่ายไปติดตั้งที่จุดจ่ายโหลดใหม่	บาท
bestA2	ผลรวมของต้นทุนค่าขนส่ง กรณีมีการรื้อถอนหม้อแปลงจำหน่ายไปติดตั้งที่จุดจ่ายโหลดใหม่	บาท
bestA3	ผลรวมกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงจำหน่าย	บาท
bestA4	ผลรวมกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลงจำหน่าย	บาท
bestAt	ผลรวมของต้นทุนที่เกิดจากการสับเปลี่ยนหม้อแปลง	บาท
bestA5	ค่าเฉลี่ยของค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่าย	-
bestA6	ค่าเฉลี่ยของระดับความเป็นสมาชิกของค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่าย	-
obj	แสดงผลของค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นของประชากร	-
looptrbest	แสดงผลชุดคำตอบได้แก่ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นของประชากร	-
besttr	แสดงผลของชุดคำตอบได้แก่ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดจากการทดสอบ	-
sumA_best_index	ชุดประชากรที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด	-
gen_best	รุ่นที่ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด	-

4.3 ค่าเริ่มต้นของการทดสอบ

ค่าเริ่มต้นของการทดสอบนี้ เป็นต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสูญเสียกรณีไม่เกิดการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่ายชนิด 3 เฟสจำนวน 709 เครื่องที่เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ แสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งการคำนวณนี้ไม่นำต้นทุนที่เกิดจากมูลค่าทรัพย์สินตามบัญชีและต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการจ่ายกระแสไฟฟ้ามาร่วมพิจารณา



รูปที่ 4.2 แสดงพิกัดตำแหน่งของหม้อแปลงจำหน่ายกลุ่มตัวอย่างแยกตามพิกัดหม้อแปลง

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเริ่มต้นของการทดสอบ

รายการ	มูลค่า/จำนวน
ต้นทุนค่าแรง-ค่าอุปกรณ์ (บาท)	0.00
ต้นทุนค่าขนส่ง (บาท)	0.00
ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (บาท)	7,252,680.34
ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (บาท)	3,026,655.79
ต้นทุนการสับเปลี่ยนหม้อแปลงรวม (บาท)	10,279,336.13
ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์เฉลี่ย	0.4068
ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์สูงสุด	1.4061

พิกัดจุดติดตั้งปัจจุบันของกลุ่มตัวอย่างหม้อแปลงจำหน่ายแยกตามชนิดของหม้อแปลงซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 4.2 สำหรับค่าเริ่มต้นของระดับตัวประกอบการใช้ประโยชน์หม้อแปลงจำหน่ายแยกตามพื้นที่ติดตั้งในตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าปัจจุบันมีหม้อแปลงจำหน่ายในพื้นที่ชนบท, เมือง และธุรกิจที่รับโหลดสูงสุดเกินพิกัดจำนวน 3, 2 และ 7 เครื่อง ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาตามข้อกำหนดของ กฟภ.ที่กำหนดให้หม้อแปลงที่รับโหลดสูงสุดไม่เกิน 80% แล้ว มีหม้อแปลงจำหน่ายรับโหลดสูงสุดเกินข้อกำหนดของ กฟภ.รวมทั้งสิ้น 32 เครื่อง

4.4 พารามิเตอร์สำหรับการทดสอบวิธีเชิงพันธุกรรม

ในการทดสอบโปรแกรมการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย ได้กำหนดให้พารามิเตอร์สำหรับการทดสอบวิธีเชิงพันธุกรรม ตามรายละเอียดดังตารางที่ 4.5

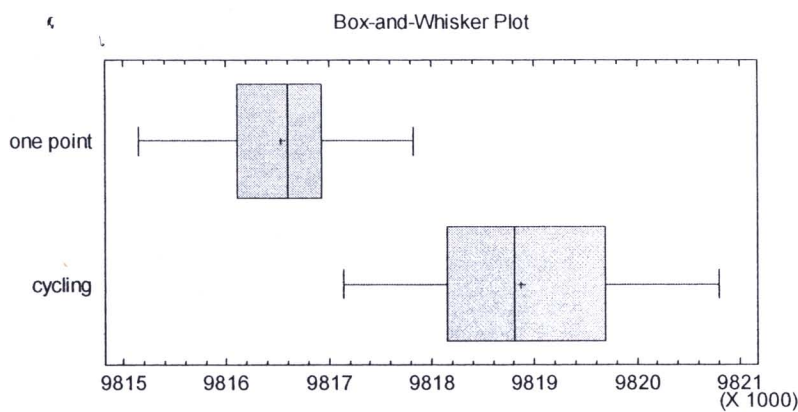
ตารางที่ 4.5 แสดงพารามิเตอร์สำหรับการทดสอบวิธีเชิงพันธุกรรม

รายการ	ค่าที่กำหนด
การเข้ารหัส	เลขจำนวนเต็ม (Integer Number)
ค่าเริ่มต้นของประชากร (Initial Population)	ผลจากการคำนวณตามสมการทางคณิตศาสตร์ ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งปัจจุบัน
จำนวนประชากร (Population Size)	100
จำนวนรุ่นของประชากร (Generation),	10,000
การครอสโอเวอร์ (Crossover)	One-Point/Cycling Crossover
การมิวเทชัน (Mutation)	Swap Mutation
การเลือก (Selection)	Ranking Selection
เงื่อนไขในการหยุดการทำงาน (Stopping Criteria)	เท่ากับจำนวนรุ่นของประชากร

4.5 การวิเคราะห์แบบ Two Sample Test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลตอบ

การทดสอบนี้ดำเนินการเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการทดสอบในแต่ละวัตถุประสงค์ (สมการที่ 3.2 ถึง 3.5) ซึ่งได้จากการทดสอบวิธีเชิงพันธุกรรมระหว่างวิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวและวิธีการครอสโอเวอร์แบบวงรอบ เมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ของอัตราครอสโอเวอร์และอัตรามิวเทชันเท่ากับ 0.5 และ 0.5 ตามลำดับ สำหรับผลการทดลองแสดงไว้ที่ ภาคผนวก ข

(1) ผลการเปรียบเทียบสำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากสมการ (3.2)



รูปที่ 4.3 แสดง Box-and-Whisker Plot ของต้นทุนการสับเปลี่ยนหม้อแปลง
จากวิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวและแบบวงรอบ

t test to compare means

Null hypothesis: $\text{mean1} = \text{mean2}$

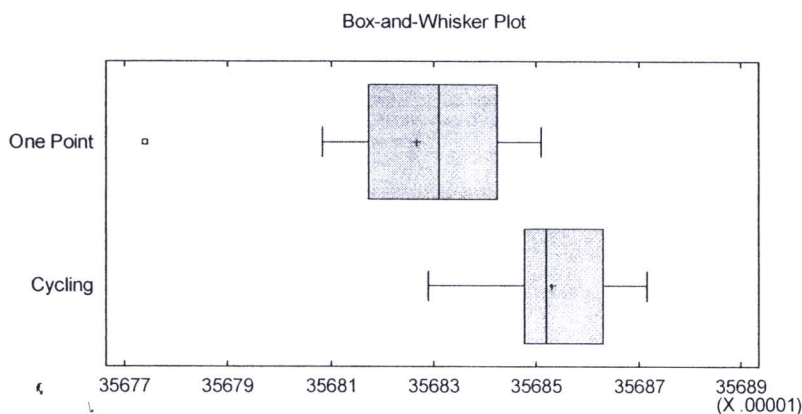
Alt. hypothesis: $\text{mean1} < \text{mean2}$

assuming equal variances: $t = -2.64087$ $P\text{-value} = .0065465$

Reject the null hypothesis for $\alpha = .05$

ผลการทดสอบสมมติฐาน Two Sample Test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยต้นทุนการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจากทั้งสองตัวอย่าง พบว่า ค่าเฉลี่ยของต้นทุนการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจากวิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวให้ค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของ ต้นทุนการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจากวิธีการครอสโอเวอร์แบบวงรอบอย่างมีนัยสำคัญ

(2) ผลการเปรียบเทียบสำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากสมการ (3.3)



รูปที่ 4.4 แสดง Box-and-Whisker Plot ของค่าเฉลี่ยตัวประกอบการใช้ประโยชน์
จากวิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวและแบบวงรอบ

t test to compare means

Null hypothesis: $\text{mean1} = \text{mean2}$

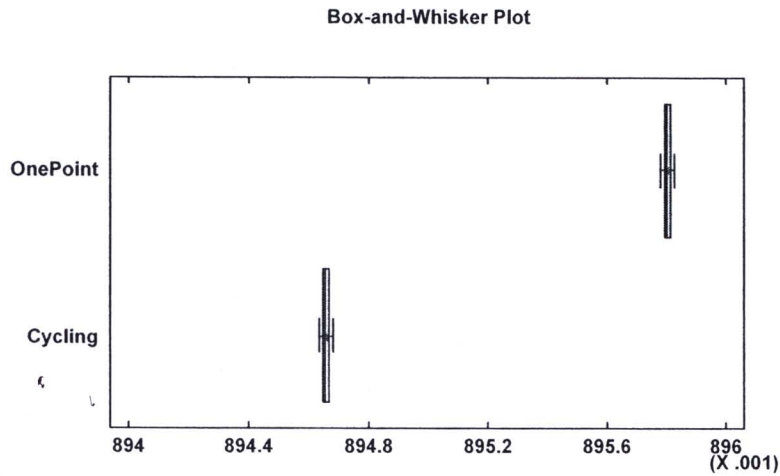
Alt. hypothesis: $\text{mean1} \neq \text{mean2}$

assuming equal variances: $t = -1.60499$ P-value = .13591

Do not reject the null hypothesis for $\alpha = .05$

ผลการทดสอบสมมติฐาน Two Sample Test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวประกอบการใช้ประโยชน์จากทั้งสองตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ยของตัวประกอบการใช้ประโยชน์จากวิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว ให้ค่าเฉลี่ยของตัวประกอบการใช้ประโยชน์ ไม่มีความแตกต่างกับวิธีการครอสโอเวอร์แบบวงรอบอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95%

(3) ผลการเปรียบเทียบสำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากสมการ (3.4)



รูปที่ 4.5 แสดง Box-and-Whisker Plot ของค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากสมการ (3.4)
จากวิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวและแบบวงรอบ

t test to compare means

Null hypothesis: $\text{mean1} - \text{mean2} = .001$

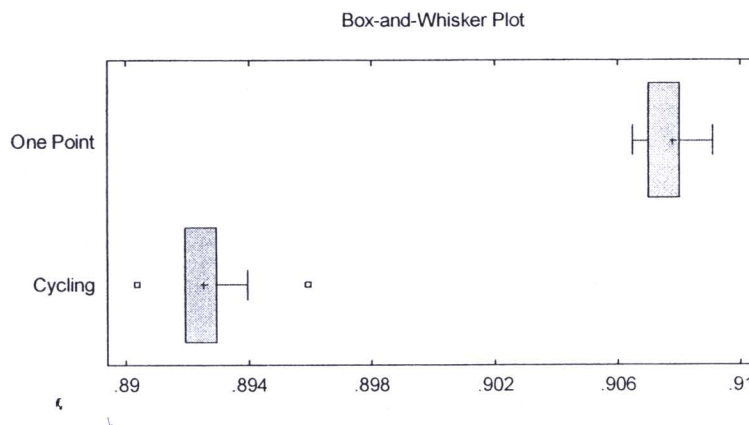
Alt. hypothesis: $\text{mean1} - \text{mean2} > .001$

Assuming equal variances: $t = 152.924$ P-value = 0.00076

Reject the null hypothesis for $\alpha = .05$

ผลการทดสอบสมมติฐาน Two Sample Test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยผลลัพธ์จากสมการ (3.4) จากทั้งสองตัวอย่าง พบว่าผลต่างของค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากสมการ (3.4) จากวิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวมีค่าสูงกว่า 0.001 อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับวิธีการครอสโอเวอร์แบบวงรอบ

(4) ผลการเปรียบเทียบสำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากสมการ (3.5)



รูปที่ 4.6 แสดง Box-and-Whisker Plot ของค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากสมการ (3.5)
จากวิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวและแบบวงรอบ

t test to compare means

Null hypothesis: $\text{mean1} = \text{mean2}$

Alt. hypothesis: $\text{mean1} > \text{mean2}$

assuming equal variances: $t = 2.09385$ P-value = .0254148

Reject the null hypothesis for $\alpha = .05$

ผลการทดสอบสมมติฐาน Two Sample Test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยผลลัพธ์จากสมการ (3.5) จากทั้งสองตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากสมการ (3.5) จากวิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวให้ค่าสูงกว่าวิธีการครอสโอเวอร์แบบวงรอบอย่างมีนัยสำคัญ

(5) สรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวกับการครอสโอเวอร์แบบวงรอบ

การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทั้ง 4 วัตถุประสงค์ สรุปได้ว่า สมการที่ (3.2) วิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวให้ค่าเฉลี่ยของต้นทุนการสับเปลี่ยนหม้อแปลงต่ำกว่าวิธีการครอสโอเวอร์แบบวงรอบ และสมการที่ (3.4) และ (3.5) วิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวให้ค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าวิธีการครอสโอเวอร์แบบวงรอบ และสมการที่ (3.3) ทั้งสองวิธีให้ค่าผลตอบที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นแนวโน้มของผลการทดลองพบว่า วิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีการ

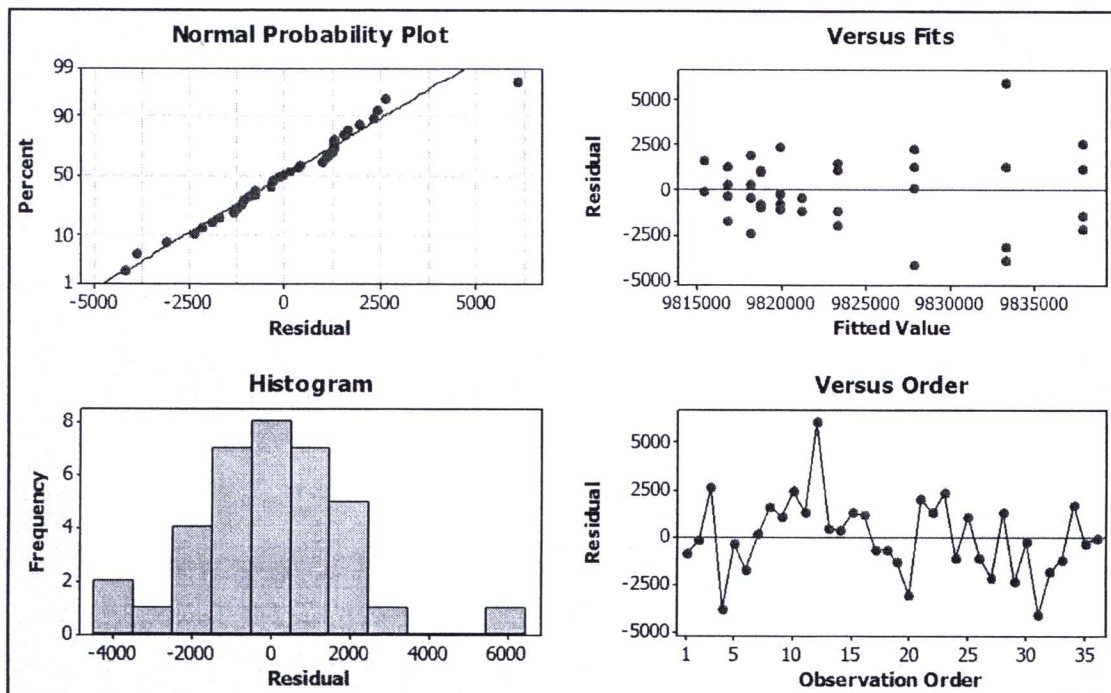
ครอสโอเวอร์แบบวงรอบ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวสำหรับการทดลองในหัวข้อต่อไป

4.6 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของแบบจำลอง

การทดสอบนี้กระทำเพื่อทดสอบว่าปัญหาที่ทำการวิเคราะห์นั้นมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้นตรง (Linear) หรือแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Nonlinear) โดยการวางแผนการทดลองสำหรับผลตอบของต้นทุนการสับเปลี่ยนหม้อแปลงแบบ Full Factorial และทำการทดสอบที่จุด Center Point จากผลการทดสอบสมมติฐาน Curvature Analysis สำหรับผลการทดลองแสดงไว้ที่ ภาคผนวก ค

(1) การวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Analyze Residuals)

ทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองที่สร้างขึ้นและตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานที่สร้างขึ้นนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของแบบจำลองได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบของต้นทุนการสับเปลี่ยนหม้อแปลง

จากรูปที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Residual Analysis for Model Adequacy) โดยเมื่อเราทดลองแทนค่าตัวแปรลงไปในแบบจำลองที่ได้จากเทคนิคการออกแบบการทดลองเพื่อทำนายผลตอบนั้น สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพยากรณ์ ($\hat{y}_i$) ค่าจริง (y_{ij}) และส่วนตกค้าง (e_{ij}) ได้ดังสมการ (4.1)

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_i \quad (4.1)$$

โดยแบบจำลองดังกล่าวต้องตั้งอยู่บนสมมติฐานหลัก 3 ประการดังนี้

- 1) ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption)

จากการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบในส่วนของการนำจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of the Residuals) พบว่าผลที่ได้จากการพล็อตกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง แต่จะมีบางจุดที่อยู่นอกเส้นซึ่งเป็นผลจากความแปรปรวนของปัจจัยภายนอก จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มของการกระจายตัวเป็นแบบปกติ

ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาจากในส่วนของการฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง (Histogram of the Residuals) พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในทุกช่วงของการฮิสโตแกรม จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติ

- 2) ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption) ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ

จากการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบในส่วนของการระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Residuals Versus the Fitted Values) ของผลตอบพบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างไม่มีแนวโน้ม สามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นอยู่กับค่าที่ถูกทำนาย

- 3) ส่วนตกค้างต้องมีการกระจายตัวอิสระ (Independence Assumption) ไม่แปรผันตามปัจจัยหรือลำดับการทดลอง

จากการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบในส่วนของการระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residuals Versus the Observation Order of the Data) ของข้อมูลผลตอบพบว่าจุดที่พล็อตไม่มีแนวโน้มใดๆ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นอยู่กับลำดับการทดลอง กล่าวคือ จากผลการทดสอบสมมติฐานของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบสามารถสรุปได้ว่าผลตอบ มีส่วนตกค้างของข้อมูล (Residuals) มีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์มีความแปรปรวนคงที่และมีการกระจายตัวอิสระ

- (2) การประมาณผลกระทบจากการทดลอง (Estimate Factor Effects)

การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการออกแบบการทดลองนั้น จะต้องประมาณผลกระทบของเทอมต่างๆ ตรวจสอบเครื่องหมายและขนาดของผลที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ทราบว่าปัจจัยและอันตร-

กิริยาได้มีความสำคัญ โดยมีผลตอบของการทดลองคือข้อมูลผลตอบด้านต้นทุนการปรับเปลี่ยนหม้อ-แปลง ผลการทดลองนี้แสดงดังตาราง 4.6

ตารางที่ 4.6 การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองที่มีผลต่อผลตอบ

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		9824,431	404.5	24,285.42	0.000
อัตราครอสโอเวอร์	-2387	-1,193	404.5	-2.95	0.006
อัตรามิวเทชั่น	12178	6,089	404.5	15.05	0.000
วิธีการครอสโอเวอร์	-5935	-2,968	381.4	-7.78	0.000
อัตราครอสโอเวอร์*อัตรามิวเทชั่น	-2238	-1,119	404.5	-2.77	0.010
อัตราครอสโอเวอร์*วิธีการครอสโอเวอร์	-631	-316	404.5	-0.78	0.442
อัตรามิวเทชั่น*วิธีการครอสโอเวอร์	-4086	-2,043	404.5	-5.05	0.000
อัตราครอสโอเวอร์*อัตรามิวเทชั่น *วิธีการครอสโอเวอร์	639	320	404.5	0.79	0.436

หมายเหตุ *ปัจจัยหลักและอันตรกิริยาอันดับสองที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ค่า P น้อยกว่า 0.05)

S = 2288.43 R.Sq = 92.96% R.Sq(adj) = 90.88%

ค่า R.Sq และ R.Sq(adj) มีค่า 92.96% และ 90.88% ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายความหมายได้ดังนี้ R.Sq 92.96% แสดงว่าแบบจำลอง (Model) นี้สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลผลตอบ ที่มีผลเกิดจากตัวแปรปัจจัย (X) อยู่ 92.96% และ R.Sq(adj) 90.88% เป็นค่าที่มีความหมายเหมือน R.Sq แต่คิดจำนวนพจน์ในส่วนที่พยากรณ์เท่านั้น

(3) การสร้างแบบจำลองเบื้องต้น (Form Initial Model)

แบบจำลองเริ่มต้นจะประกอบด้วยผลกระทบหลักและอันตรกิริยาร่วมของปัจจัยทั้งหมด จากค่าสัมประสิทธิ์ของการทดลองในตาราง 4.6 โดยสมการคือค่าพยากรณ์ต้นทุนในการกำหนดระดับของปัจจัย อัตราครอสโอเวอร์, อัตรามิวเทชั่น และรูปแบบการครอสโอเวอร์ให้อยู่ภายใต้ขีดจำกัดสูงสุดและต่ำสุดที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ (4.2) ตัวอย่างด้านล่างนี้

$$\hat{y}_i = 9824431 - 1193CR + 6089MR - 2968CT - 1119(CR * MR) - 2043(MR * CT) \tag{4.2}$$

(4) การทดสอบทางสถิติ (Perform Statistical Testing)

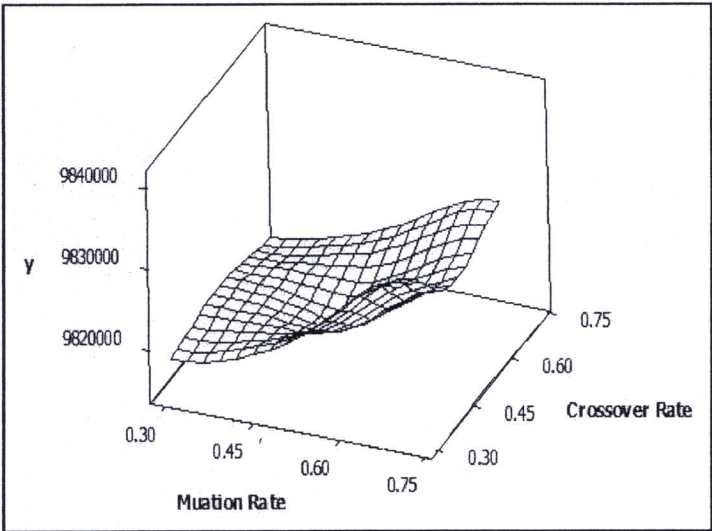
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญและความสำคัญของผลกระทบของปัจจัยของการออกแบบการทดลอง

สัดส่วนของความแปรปรวน (F-Distribution) จะนำมาใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับความแปรปรวนของข้อมูล เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Full Factorial พบว่าแบบจำลองไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงทำออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) ด้วยวิธีการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) และทำการทดสอบสมมุติฐาน Curvature Analysis ที่ว่า $H_0 = \beta_{11} + \beta_{12} + \beta_{13} + \beta_{14} = 0$ ได้ผลดังตารางที่ 4.7 และสร้างแบบจำลองไม่เชิงเส้นได้ดังรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์แหล่งของผลกระทบที่มีผลและทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของแบบจำลอง

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	1549064250	1549064250	516354750	98.60	0.000
2-Way Interactions	3	176839633	176839633	58946544	11.26	0.000
3-Way Interactions	1	3269062	3269062	3269062	0.62	0.436
Curvature	1	138225724	138225724	138225724	26.39	0.000
Residual Error	27	141396028	141396028	5236890		
Lack of Fit	1	2784834	2784834	2784834	0.52	0.476
Pure Error	26	138611194	138611194	5331200		
Total	35	2008794697				

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักและอันตรกิริยาอันดับสองที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ค่า P น้อยกว่า 0.05)



รูป 4.8 กราฟแสดงพื้นที่ผลตอบของผลกระทบระหว่าง อัตราครอสโอเวอร์*อัตรามิวเทชัน

จากตาราง 4.7 พบว่าค่า P ของ Curvature มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่มีผลของส่วน โค้ง จึงแบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญ

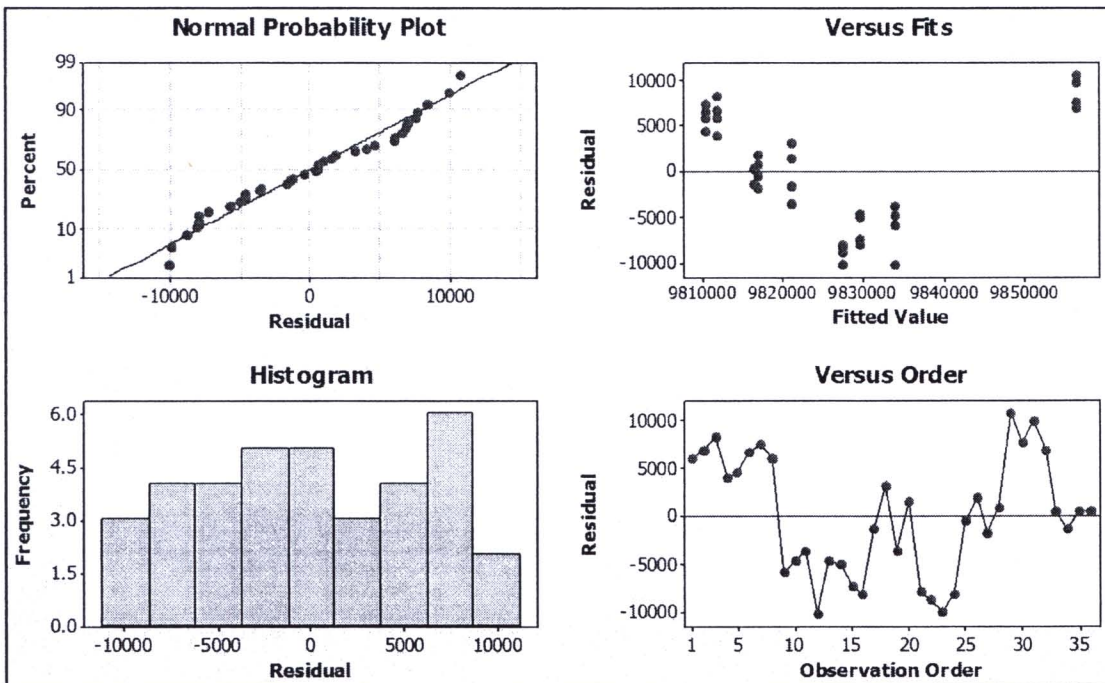
4.7 การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

การทดสอบนี้กระทำเพื่อสร้างแบบพื้นที่ผิวของผลตอบและเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละปัจจัยโดยใช้เทคนิคฟังก์ชันความพึงพอใจโดยรวมร่วมกับเทคนิค Reduced Gradient ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลการทดลองแสดงไว้ที่ ภาคผนวก ค

4.7.1 การวิเคราะห์ข้อมูลผลตอบด้านต้นทุนการปรับเปลี่ยนหม้อแปลง

(1) การวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Analyze Residuals)

ทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองที่สร้างขึ้นและตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานที่สร้างขึ้นนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของแบบจำลอง ได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบด้านต้นทุนการปรับเปลี่ยนหม้อแปลง

จากรูปที่ 4.9 แสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Residual Analysis for Model Adequacy) การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบในส่วนของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of the Residuals) พบว่าผลที่ได้จากการพล็อตกราฟเป็นแบบปกติ ส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและในส่วนของกราฟฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง (Histogram of the Residuals) พบว่ามี

การกระจายตัวของส่วนตกค้างอยู่ในทุกช่วงของกราฟฮิสโตแกรม จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มการกระจายตัวเป็นแบบปกติ

จากการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Residuals Versus the Fitted Values) ของผลตอบพบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีลักษณะกระจาย ไม่มีแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบอิสระและในด้านการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residuals Versus the Observation Order of the Data) ของข้อมูลผลตอบพบว่าจุดที่พล็อตมีกระจายตัวแบบอิสระ กล่าวคือ จากผลการทดสอบสมมุติฐานของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบสามารถสรุปได้ว่าผลตอบมีส่วนตกค้างของข้อมูล (Residuals) มีการกระจายตัวแบบปกติและมีความแปรปรวนคงที่

(2) การประมาณผลกระทบจากการทดลอง (Estimate Factor Effects)

การวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับการออกแบบการทดลองนั้น จะต้องประมาณผลกระทบของเทอมต่างๆ ตรวจสอบเครื่องหมายและขนาดของผลที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ทราบว่าเป็นปัจจัยและอันตรกิริยาใดมีความสำคัญ โดยมีผลตอบของการทดลองคือ ข้อมูลผลตอบของต้นทุนการสับเปลี่ยนหม้อแปลงแสดงดังตาราง 4.8

ตารางที่ 4.8 การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองที่มีผลต่อผลตอบด้านต้นทุนการสับเปลี่ยนหม้อแปลง

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	9731876	14926	652.016	0.000
Block 1	2443	1791	1.364	0.183
Block 2	11424	1791	6.378	0.000
อัตราคอสโอเวอร์	288202	47875	6.020	0.000
อัตรามิวเทชั่น	61382	22074	2.781	0.009
อัตราคอสโอเวอร์* อัตราคอสโอเวอร์	-285344	42482	-6.717	0.000
อัตราคอสโอเวอร์* อัตรามิวเทชั่น	-19985	42482	-0.470	0.642

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักและอันตรกิริยาระดับสองที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ค่า P น้อยกว่า 0.05)

$S = 6797.09$ $R.Sq = 82.91\%$ $R.Sq(adj) = 79.37\%$

ค่า R.Sq และ R.Sq(adj) มีค่า 82.91% และ 79.37% ตามลำดับซึ่งสามารถอธิบายความหมายได้ดังนี้ R.Sq 82.91% แสดงว่าแบบจำลอง (Model) นี้สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลผล

ตอบ ที่มีผลเกิดจากตัวแปรปัจจัย X อยู่ 82.91% และ R.Sq(adj) 79.37% เป็นค่าที่มีความหมายเหมือน R.Sq แต่คิดจำนวนพจน์ในส่วนที่พยากรณ์เท่านั้น

(3) การสร้างแบบจำลองเบื้องต้น (Form Initial Model)

แบบจำลองเริ่มต้นจะประกอบด้วยผลกระทบหลักและอันตรกิริยาร่วมของปัจจัยทั้งหมด ที่มีผล จากค่าสัมประสิทธิ์ของการทดลองในตาราง 4.8 โดยสมการคือค่าพยากรณ์ต้นทุนในการ กำหนดระดับของปัจจัย อัตราครอสโอเวอร์ (CR) และอัตรามิวเทชัน (MR) ให้อยู่ภายใต้ขีดจำกัดสูงสุด และต่ำสุดที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ (4.3)

$$\hat{y}_i = 9731876 + 11424 (Block2) + 288202CR + 61382MR - 285344 CR^2 \quad (4.3)$$

(4) การทดสอบทางสถิติ (Perform Statistical Testing)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อที่จะทดสอบ ความมีนัยสำคัญและความสำคัญของผลกระทบของปัจจัยของการออกแบบการทดลองสัดส่วนของ ความแปรปรวน (F-Distribution) จะนำมาใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับความแปรปรวนของข้อมูล โดยผลเป็นดังตารางที่ 4.9

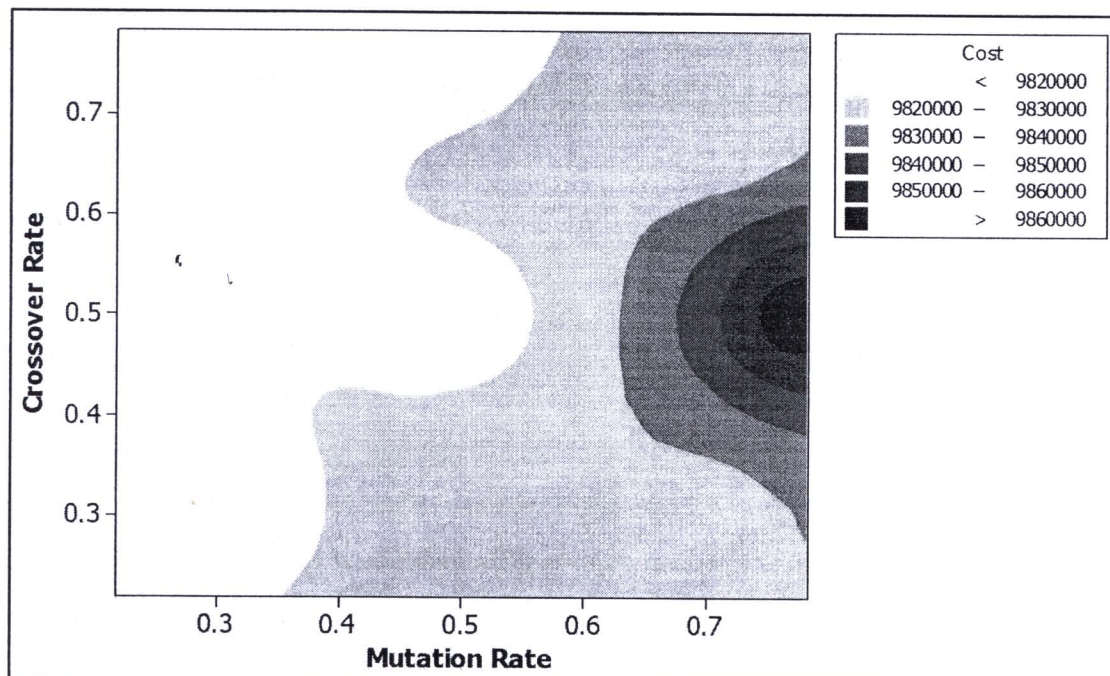
ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลกระทบที่มีผลต่อแบบจำลอง

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	2	958537027	1903875962	951937981	20.60	0.000
Regression	4	5540063527	5540063527	1385015882	29.98	0.000
Linear	2	3445455373	1676795073	838397536	18.15	0.000
Square	1	2084383111	2084383111	2084383111	45.12	0.000
Interaction	1	10225043	10225043	10225043	0.22	0.642
Residual Error	29	1339811330	1339811330	46200391		
Lack-of-Fit	2	1242987289	1242987289	621493644	173.31	0.000
Pure Error	27	96824042	96824042	3586076		
Total	35	7838411884				

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักและอันตรกิริยาอันดับสองที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ค่า P น้อยกว่า 0.05)

ในการพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้น สามารถตัดสินใจจากค่า ผลรวมกำลังสองของข้อมูลซึ่งปัจจัยที่มีค่าผลรวมกำลังสองมากจะเป็นปัจจัยที่ปรากฏอยู่ใน แบบจำลองส่วนปัจจัยที่มีค่าผลรวมกำลังสองที่น้อยสามารถตัดทิ้งได้ จากการพิจารณาค่าผลรวม

กำลังสองที่คำนวณได้ในตาราง 4.9 พบว่า ผลรวมกำลังสองของผลกระทบของอันตรกิริยาร่วมมีค่าน้อยกว่า ผลกระทบอื่น จึงสามารถสรุปได้ว่าอันตรกิริยาจะไม่ปรากฏอยู่ในแบบจำลอง โดยเมื่อพิจารณาจากค่า P-Value พบว่าเป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ ปัจจัยของผลกระทบของอันตรกิริยาร่วมมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าไม่มีผลต่อข้อมูลผลตอบอย่างมีนัยสำคัญ

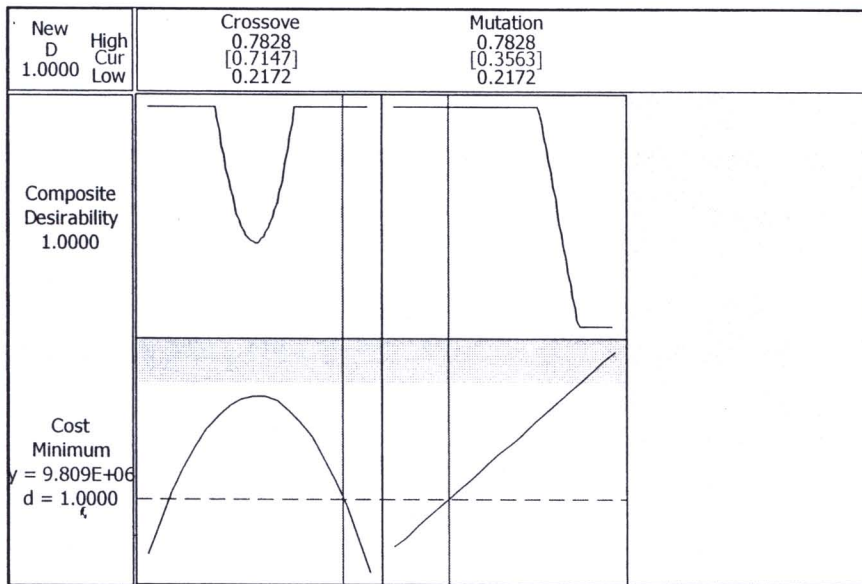


รูป 4.10 กราฟแสดง Contour Plot ของผลกระทบระหว่าง อัตราครอสโอเวอร์*อัตรามิวเทชัน

(5) เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองสุดท้าย (Find Optimum Condition for Final Model)

หลังจากที่ได้แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดแล้ว จึงทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดของ โดยกำหนดค่าเป้าหมายคือ ต้นทุนการปรับเปลี่ยนหม้อแปลงเท่ากับ 9,815,000 บาท โดยใช้กระบวนการคำนวณฟังก์ชัน Response Optimizer ซึ่งเป็นฟังก์ชันความพึงพอใจที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability; D) ในโปรแกรม MINITAB Release 15

ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.11 ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบเป้าหมายเท่ากับ 9,809,000 บาท ซึ่งต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่ต้องการ และมีค่า desirability เท่ากับ 1.000 โดยค่าอัตราครอสโอเวอร์ (CR) และอัตรามิวเทชัน (MR) ที่เหมาะสมที่สุดจะเท่ากับ 0.7147 และ 0.3563 ตามลำดับ

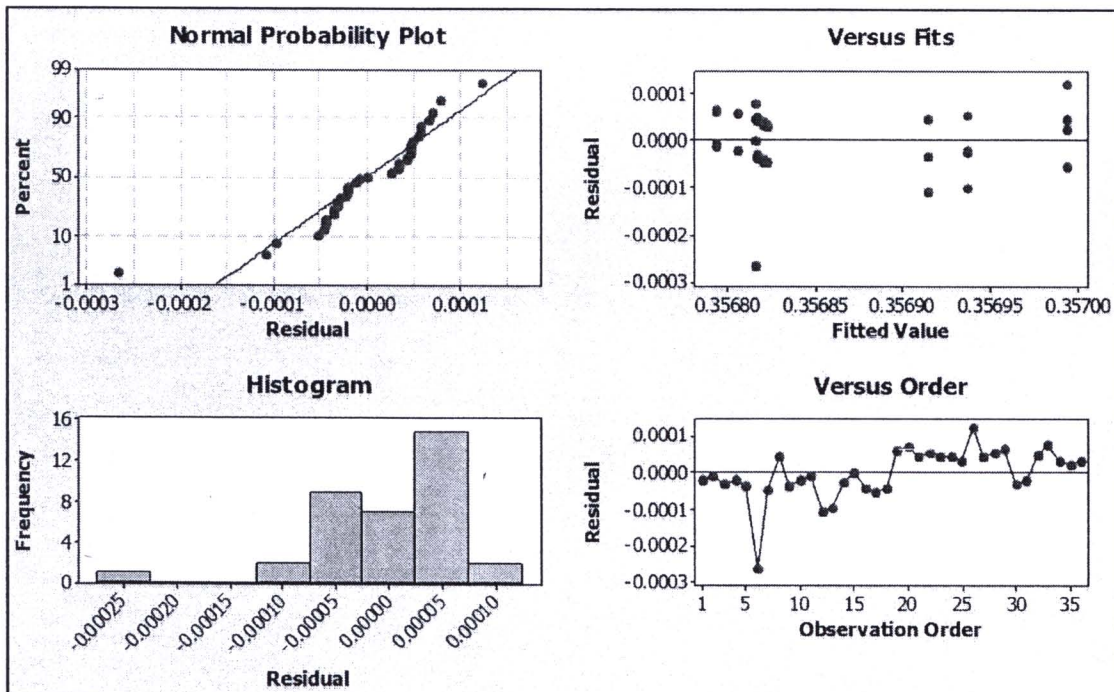


รูป 4.11 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการสับเปลี่ยนหม้อแปลง

4.7.2 การวิเคราะห์ข้อมูลผลตอบของค่าเฉลี่ยตัวประกอบการใช้ประโยชน์

(1) การวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Analyze Residuals)

ทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองที่สร้างขึ้น และตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานที่สร้างขึ้น นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของแบบจำลอง ได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบของค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์

จากรูปที่ 4.12 แสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองจากการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบแทนในส่วนของการาคความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง พบว่าผลที่ได้จากการพล็อตกราฟเป็นแบบปกติส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาจากในส่วนของการาคฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างอยู่ในทุกช่วงของการาคฮิสโตแกรม โดยพิจารณาตัดจุดที่เป็นข้อมูลผิดปกติ จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มการกระจายตัวไม่เป็นแบบปกติ

(2) การประมาณผลกระทบจากการทดลอง (Estimate Factor Effects)

จากการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบแทนพบว่าการกระจายตัวเป็นปกติ จึงทำการประมาณผลกระทบของเทอมต่างๆ ตรวจสอบเครื่องหมายและขนาดของผลที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ทราบว่าปัจจัยและอันตรกิริยาใดมีความสำคัญ โดยมีผลตอบแทนของการทดลองคือ ข้อมูลผลตอบแทนของค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์หม้อแปลงจำหน่ายแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองที่มีผลต่อผลตอบแทนของค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์หม้อแปลงจำหน่าย

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6.6444	3.170	2.096	0.058
อัตราครอสโอเวอร์	-3.0790	7.682	-0.401	0.696
อัตรามิวเทชั่น	-27.8519	7.682	-3.625	0.003
อัตราครอสโอเวอร์*อัตราครอสโอเวอร์	0.5700	7.024	0.081	0.937
อัตรามิวเทชั่น*อัตรามิวเทชั่น	27.4529	7.024	3.909	0.002
อัตราครอสโอเวอร์*อัตรามิวเทชั่น	2.8522	5.990	0.476	0.643

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักและอันตรกิริยอันดับสองที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบแทนอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ค่า P น้อยกว่า 0.05)

$S = 0.677665$ $R.Sq = 70.25\%$ $R.Sq(adj) = 57.86\%$

ค่า R.Sq และ R.Sq(adj) มีค่า 70.25% และ 57.86% ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายความหมายได้ดังนี้ R.Sq 70.25% แสดงว่าแบบจำลอง (Model) นี้สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลผลตอบแทน ที่มีผลเกิดจากตัวแปรปัจจัย (X) อยู่ 70.25% สำหรับ R.Sq(adj) 57.86% เป็นค่าที่มีความหมายเหมือน R.Sq แต่คิดจำนวนพจน์ในส่วนที่พยากรณ์เท่านั้น

(3) การสร้างแบบจำลองเบื้องต้น (Form Initial Model)

แบบจำลองเริ่มต้นจะประกอบด้วยผลกระทบหลักและอันตรกิริยาร่วมของปัจจัยที่มีผลจากค่าสัมประสิทธิ์ของการทดลองในตารางที่ 4.10 โดยสมการคือค่าพยากรณ์ผลตอบของค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ในการกำหนดระดับของปัจจัย อัตราครอสโอเวอร์ (CR) และอัตรามิวเทชั่น (MR) ให้อยู่ภายใต้ตามขีดจำกัดสูงสุดและต่ำสุดที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ (4.4) ตัวอย่างด้านล่างนี้

$$\hat{y}_i = 6.6444 - 27.8519MR + 27.4529 MR^2 \tag{4.4}$$

(4) การทดสอบทางสถิติ (Perform Statistical Testing)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญและความสำคัญของผลกระทบของปัจจัยของการออกแบบการทดลอง สัดส่วนของความแปรปรวน (F-Distribution) จะนำมาใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับความแปรปรวนของข้อมูล โดยผลเป็นดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลกระทบที่มีผลต่อแบบจำลอง

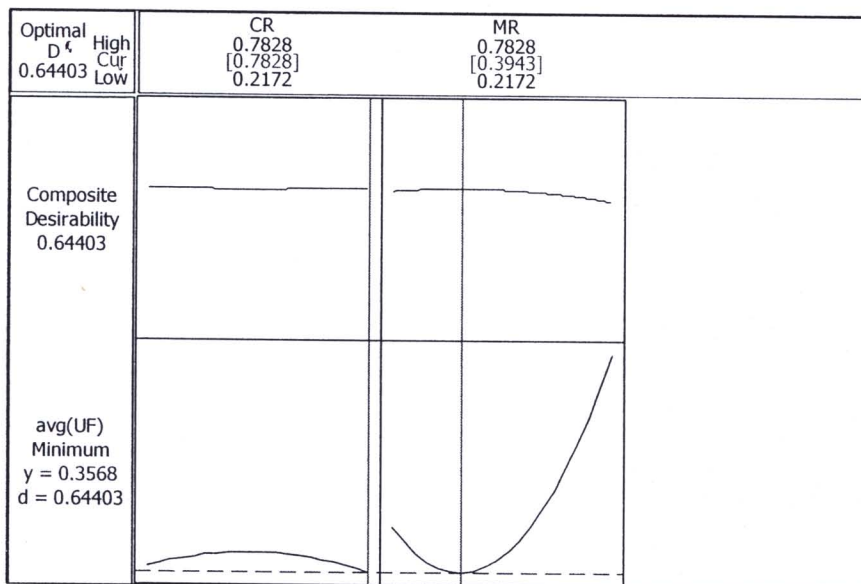
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	13.0139	13.0139	2.6028	5.67	0.007
Linear	2	1.4257	9.7637	4.8818	10.63	0.002
Square	2	11.4841	11.4841	5.7421	12.50	0.001
Interaction	1	0.1041	0.1041	0.1041	0.23	0.643
Residual Error	30	5.5108	5.5108	0.4592		
Lack-of-Fit	3	2.0504	2.0504	0.6835	1.78	0.221
Pure Error	27	3.4604	3.4604	0.3845		
Total	35	18.5247				

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักและอันตรกิริยาระดับสองที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ค่า P น้อยกว่า 0.05)

จากการพิจารณาค่าผลรวมกำลังสองที่คำนวณได้ในตาราง 4.11 พบว่า ผลรวมกำลังสองของผลกระทบของอันตรกิริยาร่วมมีค่าน้อยกว่า ผลกระทบอื่น จึงสามารถสรุปได้ว่าอันตรกิริยาจะไม่ปรากฏอยู่ในแบบจำลอง โดยเมื่อพิจารณาจากค่า P-Value พบว่าเป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ ปัจจัยของผลกระทบของอันตรกิริยาร่วมมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าไม่มีผลต่อข้อมูลผลตอบอย่างมีนัยสำคัญ

(5) หาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบบจำลองสุดท้าย (Find Optimum Condition for Final Model)

หลังจากที่ได้แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดแล้ว จึงทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดโดยกำหนดค่าเป้าหมายในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.3565 เมื่อทำการคำนวณโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability; D) ในโปรแกรม MINITAB Release 15 จะได้ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบเป้าหมายเท่ากับ 0.3568 และมีค่า desirability เท่ากับ 0.6440 โดยค่าอัตราครอสโอเวอร์ (CR) และอัตรามิวเทชัน (MR) ที่เหมาะสมที่สุดจะเท่ากับ 0.7828 และ 0.3943 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.13

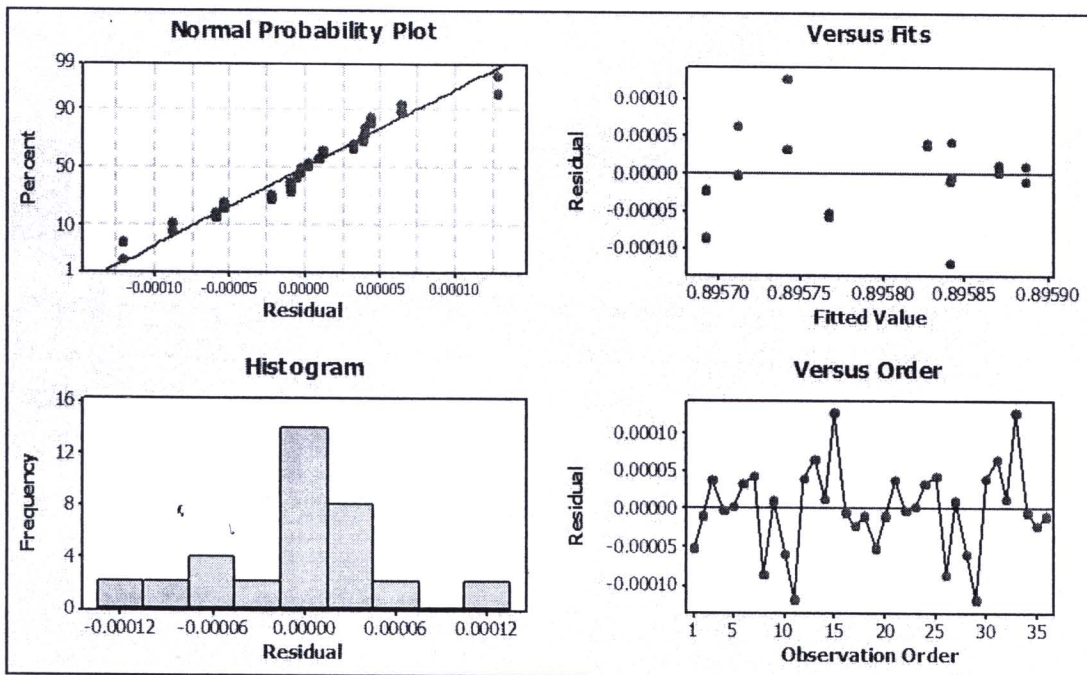


รูปที่ 4.13 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยตัวประกอบการใช้ประโยชน์

4.7.3 การวิเคราะห์ข้อมูลผลตอบของสมการ (3.4)

(1) การวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Analyze Residuals)

ทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองที่สร้างขึ้น และตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานที่สร้างขึ้น นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของแบบจำลอง ได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบของสมการ (3.4)

จากรูปที่ 4.14 แสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองจากการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบในส่วนของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง พบว่าผลที่ได้จากการพล็อตกราฟเป็นแบบปกติส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และในส่วนของกราฟฮิสโตแกรมของส่วนตกค้างพบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างอยู่ในทุกช่วงของกราฟฮิสโตแกรม จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มการกระจายตัวเป็นแบบปกติ

จากการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนายของผลตอบพบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีลักษณะกระจาย ไม่มีแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบอิสระและในด้านการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลองของข้อมูลผลตอบพบว่าจุดที่พล็อตมีกระจายตัวแบบอิสระ กล่าวคือ จากผลการทดสอบสมมติฐานของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบสามารถสรุปได้ว่าผลตอบมีส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติและมีความแปรปรวนคงที่

(2) การประมาณผลกระทบจากการทดลอง (Estimate Factor Effects)

จากการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบพบว่าการกระจายตัวเป็นปกติ จึงทำการประมาณผลกระทบของเทอมต่าง ๆ ตรวจสอบเครื่องหมาย และขนาดของผลที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้

ทราบว่าปัจจัยและอันตรกิริยาใดมีความสำคัญ โดยมีผลตอบของการทดลองคือ ข้อมูลผลตอบของสมการ (3.4) แสดงดังตาราง 4.12

ตารางที่ 4.12 การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองที่มีผลต่อผลตอบของสมการ (3.4)

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.895033	0.000320	2795.237	0.000
อัตราครอสโอเวอร์	0.000927	0.000776	1.195	0.255
อัตรามิวเทชั่น	0.002628	0.000776	3.386	0.005
อัตราครอสโอเวอร์*อัตราครอสโอเวอร์	-0.000386	0.000709	-0.544	0.596
อัตรามิวเทชั่น*อัตรามิวเทชั่น	-0.002123	0.000709	-2.992	0.011
อัตราครอสโอเวอร์*อัตรามิวเทชั่น	-0.001185	0.000605	-1.959	0.074

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักและอันตรกิริยาระดับสองที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ค่า P น้อยกว่า 0.05)

S = 0.0000684432 R.Sq = 59.04% R.Sq(adj) = 41.98%

ค่า R.Sq และ R.Sq(adj) มีค่า 59.04% และ 41.98% ตามลำดับซึ่งสามารถอธิบายความหมายได้ดังนี้ R.Sq 59.04% แสดงว่าแบบจำลอง (Model) นี้สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลผลตอบ ที่มีผลเกิดจากตัวแปรปัจจัย (X) อยู่ 59.04% สำหรับ R.Sq(adj) 41.98% เป็นค่าที่มีความหมายเหมือน R.Sq แต่คิดจำนวนพจน์ในส่วนที่พยายกรณ์เท่านั้น

(3) การสร้างแบบจำลองเบื้องต้น (Form Initial Model)

แบบจำลองเริ่มต้นจะประกอบด้วยผลกระทบหลักและอันตรกิริยาร่วมของปัจจัยทั้งหมดจากค่าสัมประสิทธิ์ของการทดลองในตาราง 4.7 โดยสมการคือค่าพยากรณ์ผลตอบของสมการ (3.4) ในการกำหนดระดับของปัจจัยอัตราครอสโอเวอร์ (CR) และอัตรามิวเทชั่น (MR) ให้อยู่ภายใต้ตามขีดจำกัดสูงสุดและต่ำสุดที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ (4.5) ตัวอย่างด้านล่างนี้

$$\hat{y}_i = 0.895033 + 0.002628MR - 0.002123MR^2 \quad (4.5)$$

(4) การทดสอบทางสถิติ (Perform Statistical Testing)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญและความสำคัญของผลกระทบของปัจจัยของการออกแบบการทดลอง สัดส่วนของความแปรปรวน (F-Distribution) จะนำมาใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับความแปรปรวนของข้อมูล โดยผลเป็นดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลกระทบที่มีผลต่อแบบจำลอง

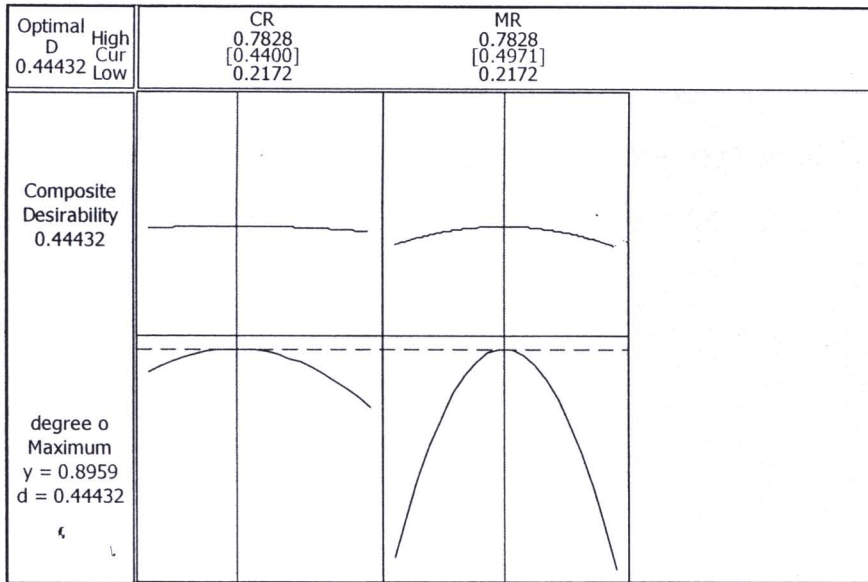
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.000000	0.000000	0.000000	3.46	0.036
Linear	2	0.000000	0.000000	0.000000	6.91	0.010
Square	2	0.000000	0.000000	0.000000	6.03	0.015
Interaction	1	0.000000	0.000000	0.000000	3.84	0.074
Residual Error	30	0.000000	0.000000	0.000000		
Lack-of-Fit	3	0.000000	0.000000	0.000000	7.15	0.009
Pure Error	27	0.000000	0.000000	0.000000		
Total	35	0.000000				

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักและอันตรกิริยาระดับสองที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ค่า P น้อยกว่า 0.05)

จากการพิจารณาค่าผลรวมกำลังสองที่คำนวณได้ในตาราง 4.13 พบว่า ผลรวมกำลังสองของผลกระทบของอันตรกิริยาร่วมมีค่าน้อยกว่าผลกระทบอื่น จึงสามารถสรุปได้ว่าอันตรกิริยาจะไม่ปรากฏอยู่ในแบบจำลอง โดยเมื่อพิจารณาจากค่า P-Value พบว่าเป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ ปัจจัยของผลกระทบของอันตรกิริยาร่วมมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าไม่มีผลต่อข้อมูลผลตอบอย่างมีนัยสำคัญ

(5) หาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบบจำลองสุดท้าย (Find Optimum Condition for Final Model)

หลังจากที่ได้แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดแล้ว จึงทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดโดยกำหนดค่าเป้าหมายในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยฟังก์ชันความพึงพอใจแบบเป้าหมายเท่ากับ 0.897 เมื่อทำการคำนวณโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรม MINITAB Release 15 ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability; D) เป็นดังรูปที่ 4.15 ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบเป้าหมาย เท่ากับ 0.8959 และมีค่า desirability เท่ากับ 0.44432 โดยค่าอัตราครอสโอเวอร์ (CR) และ อัตรามิวแท้น (MR) ที่เหมาะสมที่สุดจะเท่ากับ 0.4400 และ 0.4971 ตามลำดับ

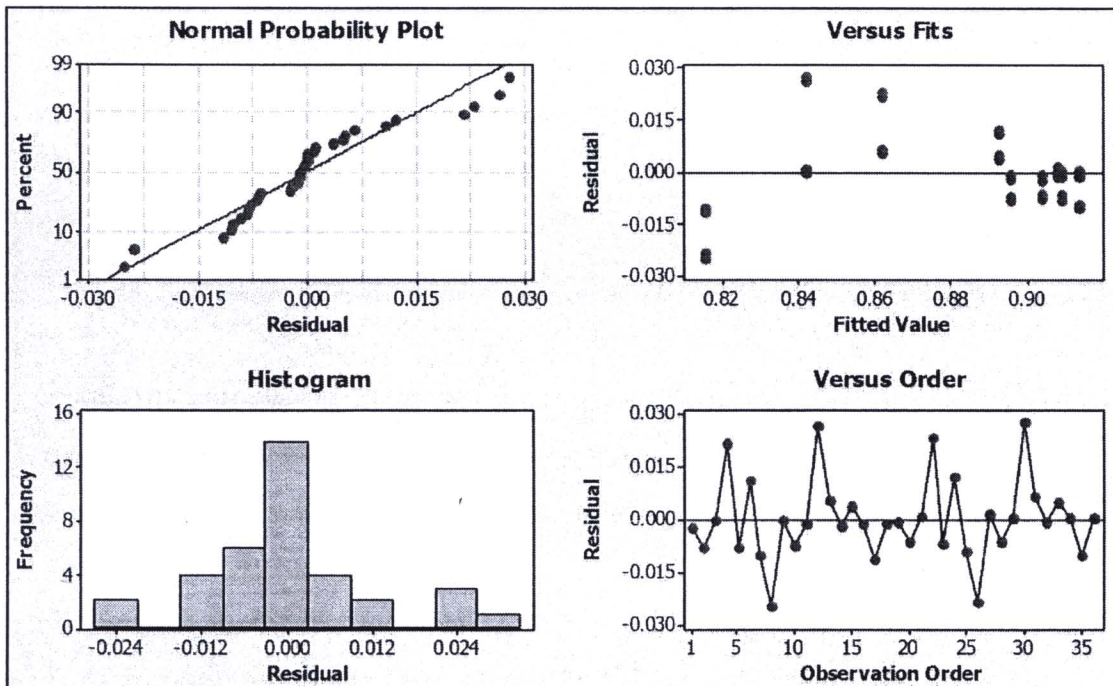


รูป 4.15 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบแทนของสมการ (3.4)

4.7.4 การวิเคราะห์ข้อมูลผลตอบแทนของสมการ (3.5)

(1) การวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Analyze Residuals)

ทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองที่สร้างขึ้น และตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานที่สร้างขึ้น นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของแบบจำลอง ได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.16



รูป 4.16 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบแทนของสมการ (3.5)

จากรูปที่ 4.16 แสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง จากการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบแทนในส่วนของการกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างพบว่าผลที่ได้จากการพล็อตกราฟเป็นแบบปกติส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มค่อนข้างเป็นเส้นตรง และในส่วนของการกราฟฮิสโตแกรมของส่วนตกค้างพบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างอยู่ในช่วงของการกราฟฮิสโตแกรม จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มการกระจายตัวเป็นแบบปกติ จากการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบแทนในส่วนของการกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนายของผลตอบแทนพบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีลักษณะกระจาย ไม่มีแนวโน้มเกิดขึ้น สามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบอิสระและไม่มีการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบแทนในส่วนของการกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลองของข้อมูลผลตอบแทนพบว่าจุดที่พล็อตมีกระจายตัวแบบอิสระ กล่าวคือจากผลการทดสอบสมมติฐานของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบแทนสามารถสรุปได้ว่าผลตอบแทนมีส่วนตกค้างของข้อมูล (Residuals) มีการกระจายตัวแบบปกติและมีความแปรปรวนคงที่

(2) การประมาณผลกระทบจากการทดลอง (Estimate Factor Effects)

จากการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบแทนพบว่าการกระจายตัวเป็นปกติ จึงทำการประมาณผลกระทบของเทอมต่าง ๆ ตรวจสอบเครื่องหมาย และขนาดของผลที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ทราบว่าปัจจัยและอันตรกิริยาใดมีความสำคัญ โดยข้อมูลผลตอบแทนของสมการ (3.5) แสดงดังตาราง 4.14

ตารางที่ 4.14 การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองที่มีผลต่อผลตอบแทนของสมการ (3.5)

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.80416	0.06633	12.124	0.000
อัตราครอสโอเวอร์	0.02562	0.16073	0.159	0.876
อัตรามิวเทชั่น	0.49153	0.16073	3.058	0.010
อัตราครอสโอเวอร์*อัตราครอสโอเวอร์	-0.04143	0.14695	-0.282	0.783
อัตรามิวเทชั่น*อัตรามิวเทชั่น	-0.67463	0.14695	-4.591	0.001
อัตราครอสโอเวอร์*อัตรามิวเทชั่น	0.09415	0.12532	0.751	0.467

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักและอันตรกิริยาระดับสองที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบแทนอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ค่า P น้อยกว่า 0.05)

$S = 0.0141782$ $R.Sq = 88.82\%$ $R.Sq(adj) = 84.17\%$

ค่า R.Sq และ R.Sq(adj) มีค่า 88.82% และ 84.17% ตามลำดับซึ่งสามารถอธิบายความหมายได้ดังนี้ R.Sq 88.82% แสดงว่าแบบจำลอง (Model) นี้สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลผลตอบแทน

ที่มีผลเกิดจากตัวแปรปัจจัย (X) อยู่ 88.82% และ R.Sq(adj) 84.17% เป็นค่าที่มีความหมายเหมือน R.Sq แต่คิดจำนวนพจน์ในส่วนที่พยากรณ์เท่านั้น

(3) การสร้างแบบจำลองเบื้องต้น (Form Initial Model)

แบบจำลองเริ่มต้นจะประกอบด้วยผลกระทบหลักและอันตรกิริยาร่วมของปัจจัยที่มีผลจากค่าสัมประสิทธิ์ของการทดลองในตาราง 4.14 โดยสมการคือผลตอบของสมการ (3.5) ในการกำหนดระดับของปัจจัย อัตราการสโเวอร์ (CR) และ อัตรามิวเทชั่น (MR) ให้อยู่ภายใต้ตามขีดจำกัดสูงสุดและต่ำสุดที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ (4.6) ด้านล่างนี้

$$\hat{y}_i = 0.80416 + 0.49153MR - 0.67463MR^2 \tag{4.6}$$

(4) การทดสอบทางสถิติ (Perform Statistical Testing)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance; ANOVA) เพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญและความสำคัญของผลกระทบของปัจจัยของการออกแบบการทดลอง สัดส่วนของความแปรปรวน (F-Distribution) จะนำมาใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับความแปรปรวนของข้อมูล โดยผลเป็นดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลกระทบที่มีผลต่อแบบจำลอง

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.019171	0.019171	0.003834	19.07	0.000
Linear	2	0.012467	0.003290	0.001645	8.18	0.006
Square	2	0.006590	0.006590	0.003295	16.39	0.000
Interaction	1	0.000113	0.000113	0.000113	0.56	0.467
Residual Error	30	0.002412	0.002412	0.000201		
Lack-of-Fit	3	0.001693	0.001693	0.000564	7.07	0.010
Pure Error	27	0.000719	0.000719	0.000080		
Total	35	0.02158				

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักและอันตรกิริยาอันดับสองที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ค่า P น้อยกว่า 0.05)

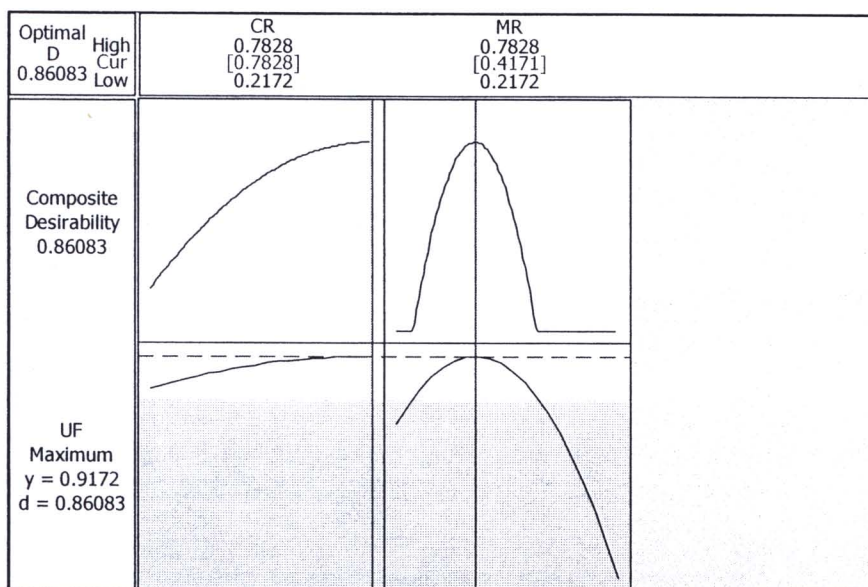
จากการพิจารณาค่าผลรวมกำลังสองที่คำนวณได้ในตาราง 4.15 พบว่า ผลรวมกำลังสองของผลกระทบของอันตรกิริยาร่วมมีค่าน้อยกว่า ผลกระทบอื่น จึงสามารถสรุปได้ว่าอันตรกิริยาจะไม่ปรากฏอยู่ในแบบจำลอง โดยเมื่อพิจารณาจากค่า P-Value พบว่าเป็นไปในทำนองเดียวกัน คือ

ปัจจัยของผลกระทบของอันตรกิริยาร่วมมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าไม่มีผลต่อข้อมูลผลตอบอย่างมีนัยสำคัญ

(5) หาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบบจำลองสุดท้าย (Find Optimum Condition for Final Model)

หลังจากที่ได้แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดแล้ว จึงทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดโดยกำหนดค่าเป้าหมายในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยฟังก์ชันความพึงพอใจแบบเป้าหมายเท่ากับ 0.92 เมื่อทำการคำนวณโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability; D) ในโปรแกรม MINITAB Release 15

ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4.17 ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบเป้าหมายเท่ากับ 0.9172 และมีค่า desirability เท่ากับ 0.8608 โดยอัตราครอสโอเวอร์ (CR) และอัตรามิวเทชั่น (MR) ที่เหมาะสมที่สุดจะเท่ากับ 0.7828 และ 0.4171 ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบของสมการที่ 3.5

4.7.5 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย

ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยเมื่อนำผลการทดลองของทุกฟังก์ชันวัตถุประสงค์มาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยโดยรวมของผลตอบ แสดงดังตาราง 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย

วัตถุประสงค์	ค่าเป้าหมาย	ค่าความพึงพอใจ โดยรวมของผล ตอบเป้าหมาย	ค่า desirability	ค่าที่เหมาะสมที่สุด	
				อัตราครอสโอเวอร์	อัตรามิวเทชัน
สมการ (3.2)	9,815,000	9,809,000	1.0000	0.7147	0.3563
สมการ (3.3)	0.3565	0.3568	0.6440	0.7828	0.3943
สมการ (3.4)	0.8970	0.8959	0.4443	0.4400	0.4971
สมการ (3.5)	0.9200	0.9172	0.8608	0.7828	0.4171

4.2 การวิเคราะห์เพิ่มเติมสำหรับผลตอบด้านต้นทุนการสับเปลี่ยนหม้อแปลง

4.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของขนาดประชากรและจำนวนรุ่นที่มีต่อค่าผลตอบแทน

ในการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของขนาดประชากรและจำนวนรุ่นว่ามีผลต่อค่าผลตอบแทน ผู้วิจัยได้ปรับตั้งอัตราครอสโอเวอร์และอัตรามิวเทชันไว้ที่ 0.7147 และ 0.3563 ซึ่งอยู่ช่วงที่จะสามารถให้ค่าผลตอบแทนได้ตามคาดหวังตามผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.7.1 โดยผลการทดลองแสดงไว้ที่ภาคผนวก ง ซึ่งนำมาวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

Item Analysis of Population Size, Generation, Value of Objective Function

Correlation Matrix

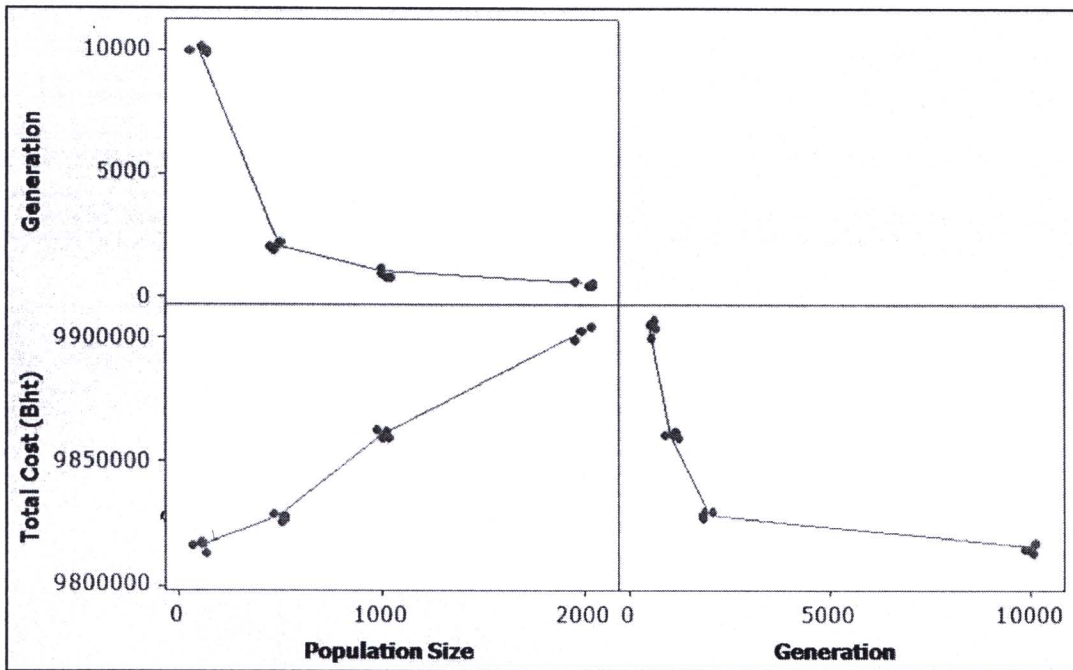
	Population Size	Generation
Generation	-0.742	
Value of Objective Function	0.994	-0.719

Cell Contents: Pearson correlation

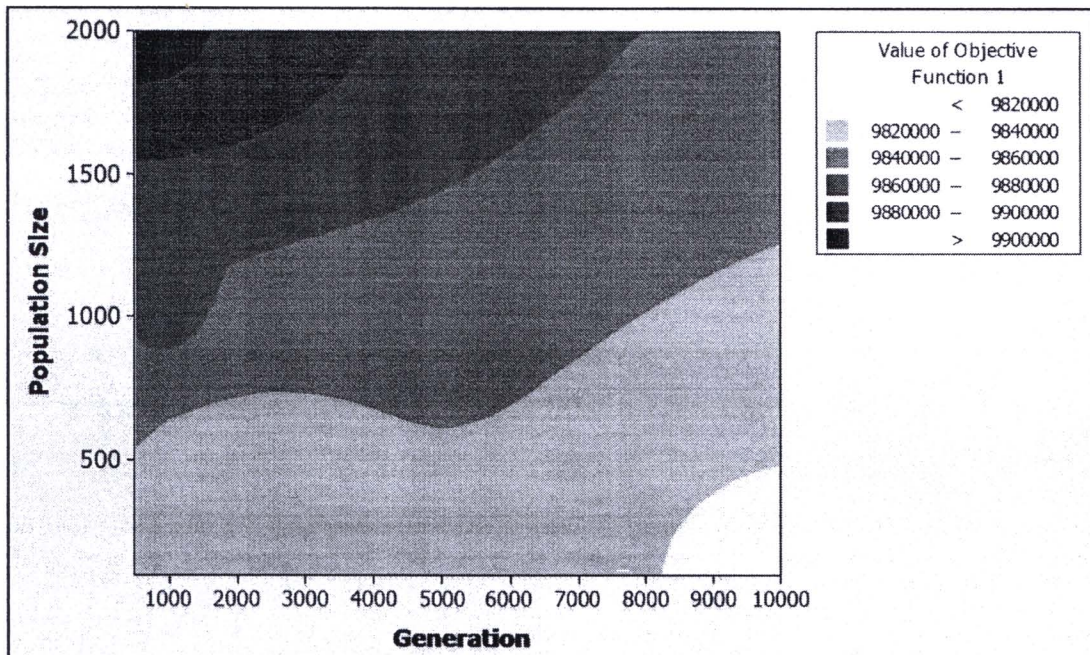
Item and Total Statistics

Variable	Count	Mean	StDev
Population Size	16	900	734
Generation	16	3375	3990
Value of Objective Function	16	9852291	35299
Total	16	9856566	33276

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่าขนาดประชากรแปรผันตรงกับผลตอบแทน ในขณะที่จำนวนรุ่นแปรผกผันกับค่าผลตอบแทน โดยมีค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) เท่ากับ 0.994 และ -0.719 ตามลำดับ ซึ่งสามารถแปลความอีกนัยได้ว่า ขนาดประชากรมีผลต่อผลตอบแทนมากกว่าจำนวนรุ่นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากมีค่าสัมบูรณ์ของค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมากกว่า



รูป 4.18 กราฟเมตริกแสดงผลตอบที่เกิดจากความสัมพันธ์ของขนาดประชากรและจำนวนรุ่นของประชากร



รูป 4.19 กราฟ Contour Plot แสดงพื้นที่ผลตอบที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ของขนาดประชากรกับจำนวนรุ่นของประชากร

ในกรณีศึกษาที่ผู้วิจัยต้องการหาค่าต่ำสุดของผลตอบนี้ ในเบื้องต้นจากกราฟรูปที่ 4.14 พบว่า ถ้าต้องการค่าผลตอบน้อยกว่า 9,820,000 ควรกำหนดขนาดของประชากรให้ต่ำกว่า 500 และ

จำนวนรุ่นของประชากรมากกว่า 8,000 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เบื้องต้นจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และกราฟเมตริกซ์ที่ 4.18

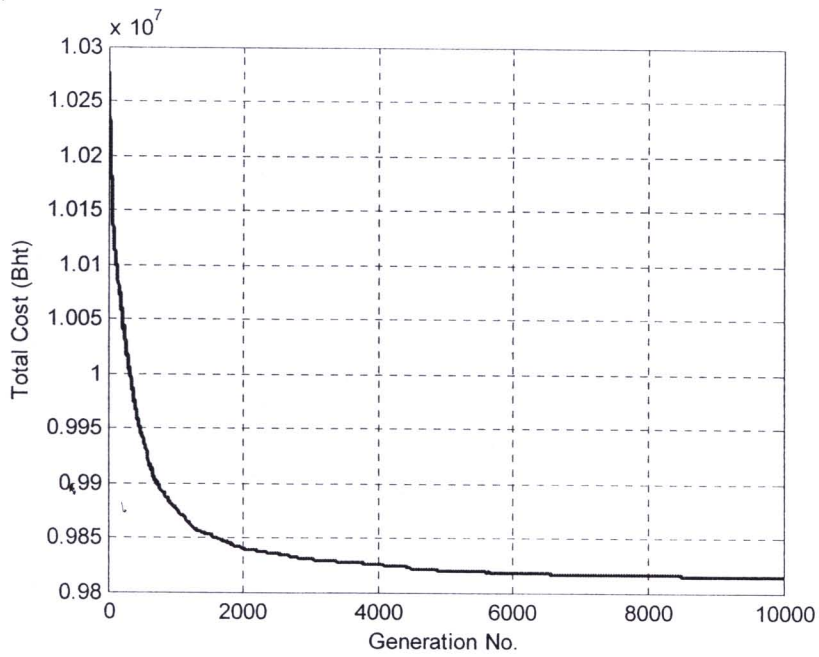
4.8.2 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบ

ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.8.1 ให้ผลของการปรับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย ดังตารางที่ 4.17 และแสดงผลจากโปรแกรมไวท์ภาคผนวก จ

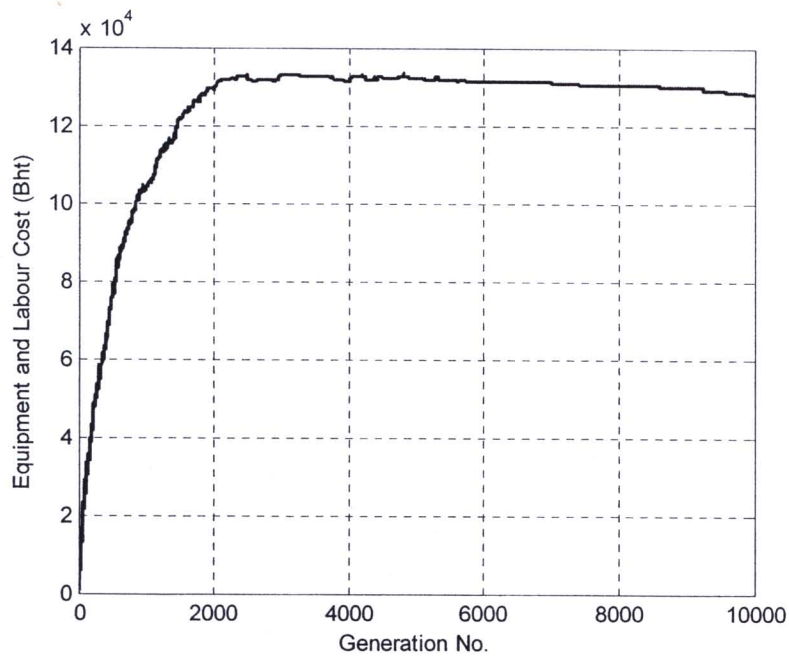
ตารางที่ 4.17 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างก่อน-หลังการปรับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย

รายการ	กรณีไม่ปรับเปลี่ยน	กรณีปรับเปลี่ยน	ผลต่าง
ต้นทุนค่าอุปกรณ์-ค่าแรง (บาท)	-	128,232.00	128,232.00
ต้นทุนค่าขนส่ง (บาท)	-	10,537.62	10,537.62
ต้นทุนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (บาท)	3,026,655.99	2,422,905.25	-603,750.74
ต้นทุนรวม (บาท)	10,279,336.13	9,814,355.22	-464,980.91
จำนวนหม้อแปลงที่ปรับเปลี่ยน (เครื่อง)	-	289	289
ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์เฉลี่ย	0.4068	0.3610	-0.0458
ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์เฉลี่ย (ชนบท)	0.3806	0.3576	-0.0230
ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์เฉลี่ย (เมือง)	0.3841	0.3333	-0.0508
ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์เฉลี่ย (ธุรกิจ)	0.5418	0.4219	-0.1199
ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์สูงสุด	1.4061	0.9430	-0.4631

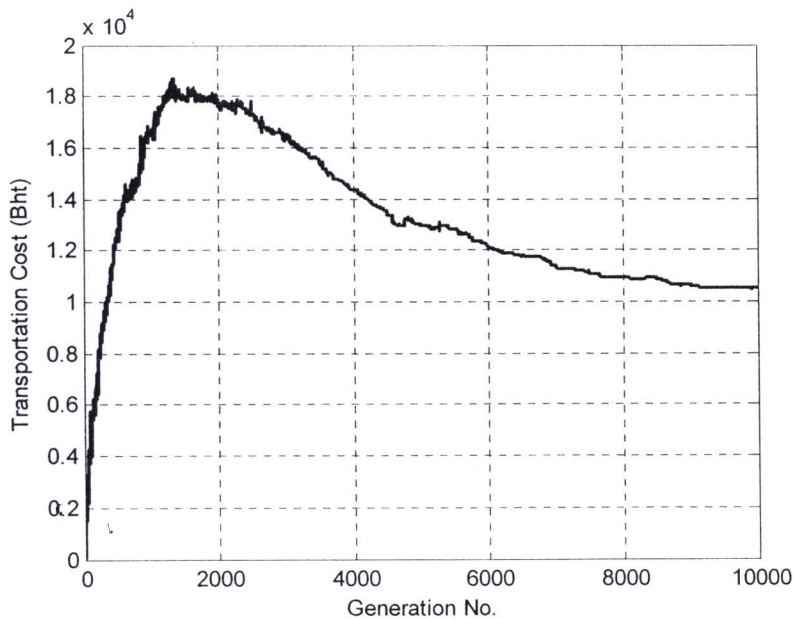
จากตารางที่ 4.17 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างก่อน-หลังการปรับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย พบว่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ในปีที่ทำการปรับเปลี่ยนเป็นเงินทั้งสิ้น 464,980.91 บาท โดยทำการปรับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่ายจำนวนทั้งสิ้น 289 เครื่อง และเมื่อพิจารณาค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์เฉลี่ยของหม้อแปลงจำหน่ายจะลดลงได้เท่ากับ 4.58 เปอร์เซ็นต์



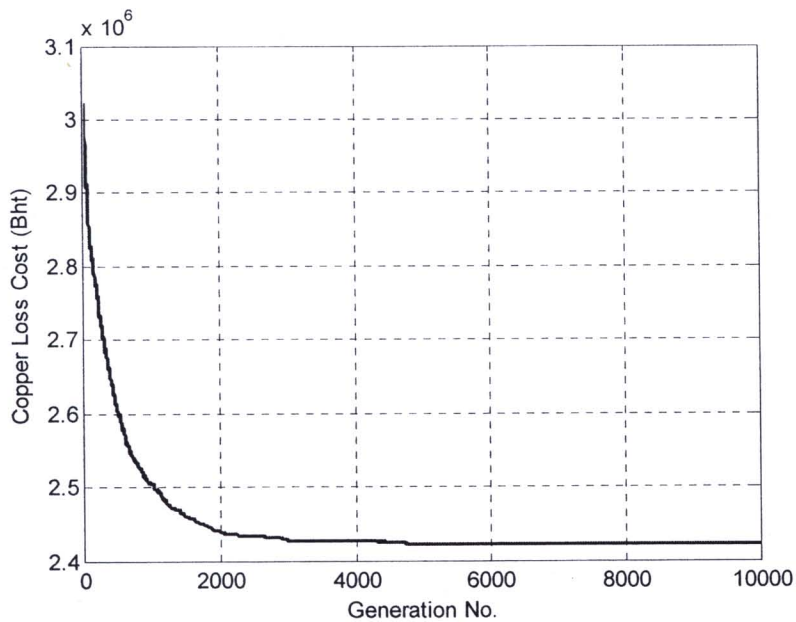
รูปที่ 4.20 กราฟผลการทดสอบของต้นทุนรวมของการปรับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย



รูปที่ 4.21 กราฟผลการทดสอบของต้นทุนค่าอุปกรณ์-ค่าแรง



รูปที่ 4.22 กราฟผลการทดสอบของต้นทุนค่าขนส่ง



รูปที่ 4.23 กราฟผลการทดสอบของต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด

จากรูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 แสดงให้เห็นว่าในรุ่นประชากรช่วงต้นของการทดสอบ ต้นทุนค่าอุปกรณ์-ค่าแรงและต้นทุนค่าขนส่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสูญเสียจะมีแนวโน้มลดต่ำลง ซึ่งเป็นผลมาจากในช่วงต้นของการทดสอบที่เกิดการสับเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างจุดติดตั้งของหม้อแปลงเพื่อลดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย และเนื่องจากวิวัฒนาการของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมจะค้นหาระยะทางในการสับเปลี่ยนที่สั้นลงและ

ลดจำนวนการสับเปลี่ยนหม้อแปลงในบางตำแหน่งที่ไม่ทำให้ต้นทุนรวมดีขึ้นจึงทำให้ในรุ่น
ประชากรในช่วงท้ายของการทดสอบ ต้นทุนค่าอุปกรณ์-ค่าแรงและต้นทุนค่าขนส่งมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่ายแยกตามพื้นที่

ระดับ ตัวประกอบ การใช้ประโยชน์	จำนวนหม้อแปลงแยกตามพื้นที่ติดตั้ง (เครื่อง)								
	ชนบท			เมือง			ธุรกิจ		
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง	ก่อน	หลัง	ผลต่าง	ก่อน	หลัง	ผลต่าง
UF<=20	86	57	-29	47	35	-12	5	3	-2
20<UF<=40	130	191	61	58	98	40	27	49	22
40<UF<=60	128	139	11	57	56	-1	40	45	5
60<UF<=80	46	15	-31	26	5	-21	27	14	-13
80<UF<=100	11	2	-9	4		-4	5		-5
UF>100	3		-3	2		-2	7		-7
รวม	404	404	0	194	194	0	111	111	0

ตารางที่ 4.19 แสดงพิคัดของหม้อแปลงจำหน่ายแยกตามพื้นที่

พิคัด ขนาด	จำนวนหม้อแปลงแยกตามพื้นที่ (เครื่อง)								
	ชนบท			เมือง			ธุรกิจ		
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง	ก่อน	หลัง	ผลต่าง	ก่อน	หลัง	ผลต่าง
50n	15	20	5	13	12	-1	4		-4
50o	59	63	4	19	18	-1	3		-3
100n	23	24	1	6	6	0	6	5	-1
100o	103	116	13	40	33	-7	9	3	-6
160n	43	41	-2	19	22	3	11	10	-1
160o	81	90	9	51	50	-1	19	11	-8
250n	31	12	-19	9	12	3	11	27	16
250o	45	38	-7	33	39	6	37	38	1
315n			0			0	1	1	0
315o	4		-4	3	1	-2	3	9	6
400n			0			0	1	1	0
400o			0	1	1	0	6	6	0
รวม	404	404	0	194	194	0	111	111	0

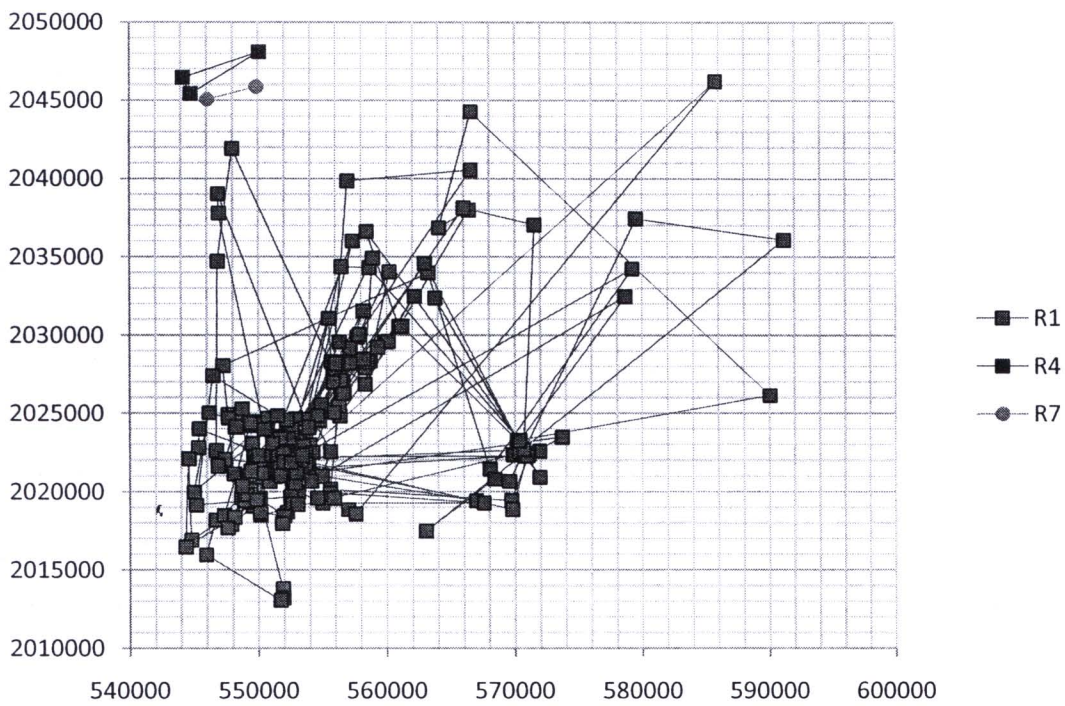
จากตารางที่ 4.18 และตารางที่ 4.19 เมื่อพิจารณาค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์และขนาด พิกัดหม้อแปลงแยกตามพื้นที่จะเห็นได้ว่า หม้อแปลงจำหน่ายที่มีค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์อยู่ ระหว่าง 20-60% มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นภายหลังจากการสับเปลี่ยนทุกพื้นที่ที่ติดตั้ง (ชนบท, เมืองและ ธุรกิจ) ซึ่งเป็นผลมาจากการลดปริมาณหม้อแปลงที่มีค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ต่ำกว่า 20% ตามและมากกว่า 60% ซึ่งในที่นี้เป็นการลดปริมาณหม้อแปลงที่รับโหลดสูงสุดเกินค่ามาตรฐานของ กฟภ.จากเดิม 32 เครื่องเหลือเพียง 2 เครื่อง ซึ่งหม้อแปลงจำหน่ายที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดตั้งแต่ 250 kVA ขึ้นไป) ที่ไม่เหมาะสมกับโหลดที่ติดตั้งในพื้นที่ชนบทจำนวน 30 เครื่อง จะถูกย้ายไปติดตั้งใน พื้นที่ที่โหลดสูงสุดมีความเหมาะสมมากกว่า สอดคล้องกับจำนวนหม้อแปลงจำหน่ายขนาดเล็ก (ขนาดต่ำกว่า 250 kVA) ในพื้นที่ชนบทมีเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 30 เครื่อง ในขณะที่พื้นที่เมืองและ พื้นที่ธุรกิจมีปริมาณลดลง 7 และ 23 เครื่อง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.20 แสดงระยะทางของเส้นทางการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย

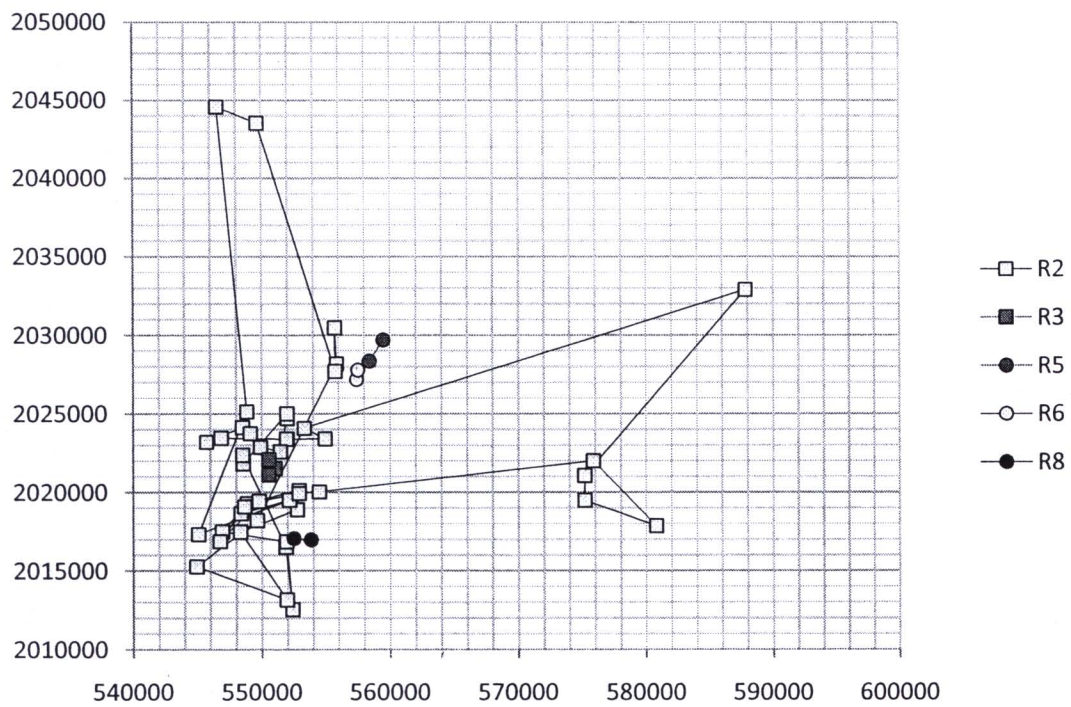
เส้นทาง	ระยะทาง (กม.)	จำนวนจุดติดตั้ง ที่สับเปลี่ยน	ระยะทางเฉลี่ย (กม.)
R1	1,337.16	231	5.79
R2	253.19	44	5.75
R3	2.34	3	0.78
R4	13.31	3	4.44
R5	3.44	2	1.72
R6	1.17	2	0.58
R7	7.82	2	3.91
R8	2.74	2	1.37
รวม	1,621.18	289	5.61



รูปที่ 4.24 แสดงเส้นทางการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย ซึ่งประกอบด้วย 8 เส้นทาง โดยใช้ระยะทางในการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่ายรวมทั้งสิ้น 1,621.18 กม. ระยะทางเฉลี่ยระหว่างจุดติดตั้งเท่ากับ 5.61กม. สำหรับระยะทางของเส้นทางการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่ายแต่ละเส้นทาง แสดงดังตารางที่ 4.20 และรายละเอียดแสดงไว้ที่ภาคผนวก จ



รูปที่ 4.24 (ก)



รูปที่ 4.24 (ข)

รูปที่ 4.24 แสดงเส้นทางการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย
(ก) เส้นทางที่ 1, 4 และ 7 (ข) เส้นทางที่ 2, 3, 5, 6 และ 8