บทที่ 3

ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

ในขั้นตอนการดำเนินการทดลองจะหาค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และ จำนวนการรอคอย (Δ NOQ) ซึ่งผลต่างนี้เป็นผลต่างของถนนนครสวรรค์ (NK) กับถนนพิษณุโลก (PL), ถนนนครสวรรค์ (NK) กับถนนหน้ามหาวิทยาลัยนเรศวร (NU) และถนนพิษณุโลก (PL) กับ ถนนหน้ามหาวิทยาลัยนเรศวร (NU) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$\Delta AWT = |AWT_{NK} - AWT_{PL}| + |AWT_{NK} - AWT_{NU}| + |AWT_{PL} - AWT_{NU}| \quad \text{.....(19)}$$

$$\Delta NOQ = |NOQ_{NK} - NOQ_{PL}| + |NOQ_{NK} - NOQ_{NU}| + |NOQ_{PL} - NOQ_{NU}| \quad \text{.....(20)}$$

โดยที่จะใช้ไฟล์โมเดลของแบบจำลองสัญญาณไฟจราจรชื่อ NU_TST_MODEL 1. DOE เป็นข้อมูลในตอนเช้า – ตอนบ่าย (8.00-10.00น. และ 15.00-17.00น.) ระยะเวลาที่ใช้ในการรันโมเดลในโปรแกรม Computer Simulation เป็นระยะเวลา 2 วัน และแต่ละแยกต้องรอสัญญาณไฟจราจรและไม่มีการ U-turn ซอฟแวร์ที่ใช้ในการรันโปรแกรม Computer Simulation คือ โปรแกรม Arena V 8.01

3.1 ขั้นตอนการทดลองหาระยะเวลาการตั้งสัญญาณไฟจราจร

ในการออกแบบการทดลองจะใช้วิธีในการออกแบบการทดลองมากกว่า 1 วิธี

1. หลักการการออกแบบการทดลอง Orthogonal array
2. หลักการการออกแบบการทดลอง Full Factorial Design
3. หลักการการออกแบบการทดลอง Responses Surface Method

3.1.1 หลักการการออกแบบ Orthogonal Array (MONTGOMERY, 2001)

ขั้นตอนการดำเนินการทดลองโดยใช้วิธี Orthogonal Array มีดังนี้

1. กำหนด Level ที่จะใช้ในการกำหนดค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอยเฉลี่ย (Δ NOQ)
2. ใช้ Code L_9 ในการออกแบบการทดลอง (ดูหัวข้อ 2.2.1)
3. เข้าโปรแกรม Arena เพื่อทำการ RUN ทั้งหมด 10 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะทำการเปลี่ยนลำดับทั้งหมด 10 ลำดับและในโปรแกรม Arena นี้จะเรียกการเปลี่ยนลำดับว่า stream เพื่อหาค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ของถนนแต่ละสาย

3. เข้าโปรแกรม Arena เพื่อทำการ RUN ทั้งหมด 10 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะทำการเปลี่ยนลำดับทั้งหมด 10 ลำดับและในโปรแกรม Arena นี้จะเรียกการเปลี่ยนลำดับว่า stream เพื่อหาค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ของถนนแต่ละสาย

4. เมื่อได้ค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ครบทั้ง 10 stream แล้วนำมาหาค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอยเฉลี่ย (ΔNOQ) เมื่อได้ค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอยเฉลี่ย (ΔNOQ) มาแล้วนำไปเข้าในโปรแกรม Minitab

5. นำค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอยเฉลี่ย (ΔNOQ)ที่ได้จากการ RUN ทั้งหมด 10 stream จากโปรแกรม Arena มาทำการจัดเก็บใส่ใน Worksheet ในโปรแกรม Minitab โดยที่บรรทัดแรกในตาราง Worksheet ทำการกำหนดค่าของ Level (ในที่นี้คือ NK,PL,NU) และนำตัวย่อของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) (ในที่นี้คือค่าของผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอยเฉลี่ย (ΔNOQ)) มาใส่ลงไปที่บรรทัดแรกของตาราง นำ Code และค่าของตัวเลขที่ได้จากการหาค่าของผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอย (ΔNOQ) มาใส่ในบรรทัดถัดไป

6. จากนั้นไปที่ Stat เลือก ANOVA แล้วไปที่ไปที่ General Linear Model

7. ทำการเลือกค่าตรงช่อง Responses (เลือก Responses ทั้งค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) เลือกทีละครั้ง (ตัวอย่างของการเลือกแสดงไว้ในบทที่ 4)) และ Model (คือค่าของ NK,PL,NU) จากนั้นกด OK

8. หลังจากได้ผลสรุปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนออกมาแล้ว ทำการวิเคราะห์ดูค่า P ที่ได้ออกมาว่ามีค่าเท่าไหร่ เพราะถ้าค่า P ที่ได้ออกมามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า Factor ที่ได้กำหนดขึ้นมามีนัยสำคัญต่อคำตอบมาก

9. นำค่าเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ที่ได้จากการ RUN ในโปรแกรม Arena ทั้งหมด 10 stream ไปหาค่าเฉลี่ยของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ของถนนแต่ละสายอีกครั้งในโปรแกรม Excel

10. เมื่อได้ค่าเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ที่นำมาทำการเฉลี่ยอีกครั้งแล้ว ดูว่าการ RUN ครั้งที่เท่าไรมีค่า Level ตรงกัน ถ้าพบแล้วนำตัวเลขที่มีค่า Level ตรงกันมาทำการบวกกันแล้วหารด้วย 3 จนครบทั้ง 3 Level ที่ได้กำหนดไว้ (ตัวอย่างของการหาค่าแสดงไว้ในบทที่ 4)

11. ทำการเลือกค่าเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ที่น้อยสุด เพราะจะเป็นตัวกำหนดเวลาที่เหมาะสมของถนนในแต่ละสาย

3.1.2. หลักการการออกแบบ Full Factorial Design (FFD) (MONTGOMERY, 2001)

ขั้นตอนดำเนินการการทดลองโดยใช้วิธี Factorial Designs มีดังนี้

1. กำหนด Level ที่จะใช้ในการกำหนดค่าของผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอย (ΔNOQ)

2. ใช้ Code Full Factorial Design แบบ 3^3 ในการออกแบบการทดลอง (ดูหัวข้อ 2.2.2)

3. เข้าโปรแกรม Arena เพื่อทำการ RUN ทั้งหมด 10 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะทำการเปลี่ยนลำดับทั้งหมด 10 ลำดับและในโปรแกรม Arena นี้จะเรียกการเปลี่ยนลำดับว่า stream เพื่อหาค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ของถนนแต่ละสาย

4. เมื่อได้ค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ครบทั้ง 10 stream แล้วนำมาหาค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอยเฉลี่ย (ΔNOQ) เมื่อได้ค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอยเฉลี่ย (ΔNOQ) มาแล้วนำไปเข้าในโปรแกรม Minitab

5. นำค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอยเฉลี่ย (ΔNOQ) ที่ได้จากการ RUN ทั้งหมด 10 stream จากโปรแกรม Arena มาทำการจัดเก็บใส่ใน Worksheet ในโปรแกรม Minitab โดยที่บรรทัดแรกในตาราง Worksheet ทำการกำหนดค่าของ Level (ในที่นี้คือ NK,PL,NU) และนำตัวย่อของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) (ในที่นี้คือค่าของผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอยเฉลี่ย (ΔNOQ)) มาใส่ลงไปที่บรรทัดแรกของตาราง นำ Code และค่าของตัวเลขที่ได้จากการหาค่าของผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอย (ΔNOQ) มาใส่ในบรรทัดถัดไป

6. จากนั้นไปที่ Stat เลือก ANOVA แล้วไปที่ไปที่ General Linear Model

7. ทำการเลือกค่าตรงช่อง Responses (เลือก Responses ทั้งค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) เลือกทีละครั้ง (ตัวอย่างของการเลือกแสดงไว้ในบทที่ 4)) และ Model (คือค่าของ NK,PL,NU) จากนั้นกด OK

หลังจากได้ผลสรุปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนออกมาแล้ว ทำการวิเคราะห์ดูค่า P ที่ได้ออกมาว่ามีค่าเท่าไหร่ เพราะถ้าค่า P ที่ได้ออกมามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า Factor ที่ได้กำหนดขึ้นมามีนัยสำคัญต่อคำตอบมาก

8. หลังจากทำการตรวจสอบค่า P เรียบร้อยแล้ว นำค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอย (ΔNOQ) ที่มีค่า Level ตรงการ RUN ที่ตรงกัน นำไปทำการวิเคราะห์หาค่าของสัญญาณไฟจราจรเขียว-แดงที่เหมาะสมที่สุดในโปรแกรม Minitab

9. เมื่อเข้าในโปรแกรม Minitab แล้วทำการตรวจสอบ Level ของค่าผลต่างเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างจำนวนการรอคอย (ΔNOQ) ที่มีค่า Level ตรงกันอีกครั้ง นำตัวเลขที่มี Level ตรงกันมาใส่ลงใน Worksheet โดยที่บรรทัดแรกในตาราง Worksheet

10. ทำการกำหนดค่าของ Level (ในที่นี้คือ NK,PL,NU) และนำตัวย่อของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) (ในที่นี้คือ ค่าของผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอยเฉลี่ย (ΔNOQ)) มาใส่ลงไปที่บรรทัดแรกของตาราง นำ Code และค่าของตัวเลขที่ได้จากการหาค่าของผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และจำนวนการรอคอย (ΔNOQ) มาใส่ในบรรทัดถัดไป (จะนำการ RUN ในโปรแกรม Arena ที่อยู่ในช่วง 1 stream แรกมาคิดเท่านั้นเพราะถ้านำมาทั้งหมด 10 stream ค่าที่ได้ออกมามีค่าที่เท่ากันกับ 1stream เช่นกัน) (ตัวอย่างแสดงไว้ในบทที่ 4)

11. เมื่อบันทึกค่าลงใน Worksheet เรียบร้อยแล้วไปที่ Stat เลือก ANOVA จากนั้นไปที่ Main Effect Plot เพื่อทำการหากราฟของค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และค่าผลต่างของจำนวนการรอคอย (ΔNOQ)

12. ทำการเลือกค่าตรงช่อง Responses (เลือก Responses ทั้งค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) เลือกทีละครั้ง) (ตัวอย่างของการเลือกแสดงไว้ในบทที่ 4) และ Model (คือค่าของ NK,PL,NU) จากนั้นกด OK

13. หลังจากการ RUN ค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (ΔNOQ) ใน Main Effect Plot แล้วจะได้กราฟออกมา ทำการวิเคราะห์หาจุดที่ต่ำสุดเพราะค่าที่ต่ำสุดจะเป็นจุดที่เหมาะสมต่อการกำหนดเวลาที่เหมาะสมของถนนในแต่ละสาย

3.1.3 หลักการการออกแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) (MONTGOMERY, 2001)

การออกแบบการทดลองพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) จะเริ่มด้วยที่การสร้างสมการที่ใช้ในการออกแบบการทดลองพื้นผิวการตอบสนอง สมการที่ใช้ คือ สมการรีเกรสชั่น โดยสมการรีเกรสชั่น จะสร้างโดยการใช้โปรแกรม Minitab มาช่วยในการสร้างสมการรีเกรสชั่น ในงานวิจัยนี้ต้องการค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ) ในแต่ละแยกมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังนั้น จึงต้องสร้างสมการรีเกรสชั่นของผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ)

จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการปีนเขาขึ้น (Steepest Ascent) และปีนเขาลง (Steep Decent) โดยจะใช้สมการรีเกรสชั่นช่วยในการที่จะทำการปีนเขา

รูปแบบที่จะใช้ในการออกแบบการทดลอง 3 รูปแบบ คือ Box Behnken Design (BBD), Orthogonal and Uniform-Precision Rotatable Central Composite Designs (OUPRCC) ส่วนหน้าและส่วนมุม

1. Box Behnken Design (BBD) มีขั้นตอน ดังนี้

1. การเตรียมข้อมูลในการสร้างสมการรีเกรสชั่นของผลต่างของเวลาการรอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ) ข้อมูลที่จะใช้ก็คือ ค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ) ค่าทั้งสองนี้เกิดจากการนำรูปแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design (BBD) (ในตารางที่ 2.17) มาทำการรันในโปรแกรม Computer Simulation โดยมีการกำหนดตัวแปรรหัส ดังนี้

-1 = 20 นาที

0 = 30 นาที

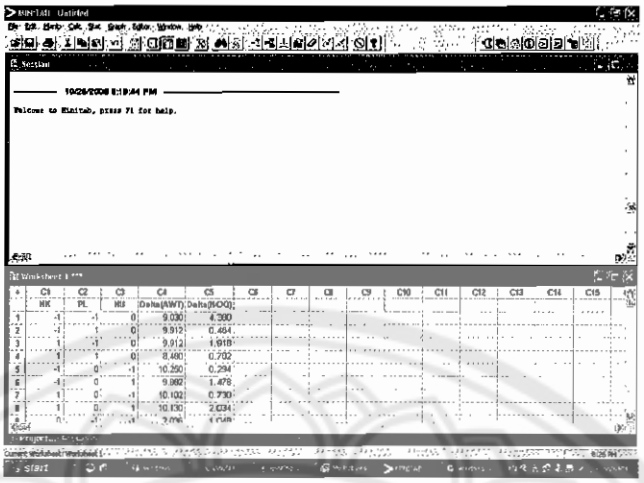
1 = 40 นาที

ผลที่ได้จากการรันโปรแกรม Computer Simulation แต่ละครั้งนั้นมีผลการทดลองที่ต้องการ คือ ค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ที่เกิดขึ้นกับแต่ละแยก และก่อนที่จะนำผลการทดลองทั้งสองมาใส่ในโปรแกรม Minitab นั้น จะต้องทำการหาผลต่างของค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) แต่ละแยกก่อน ว่ามีผลต่างเท่าไร โดยที่จะใช้สูตรที่ 19 และ 20 ผลที่ได้จากการรันโปรแกรม Computer Simulation จะได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ)

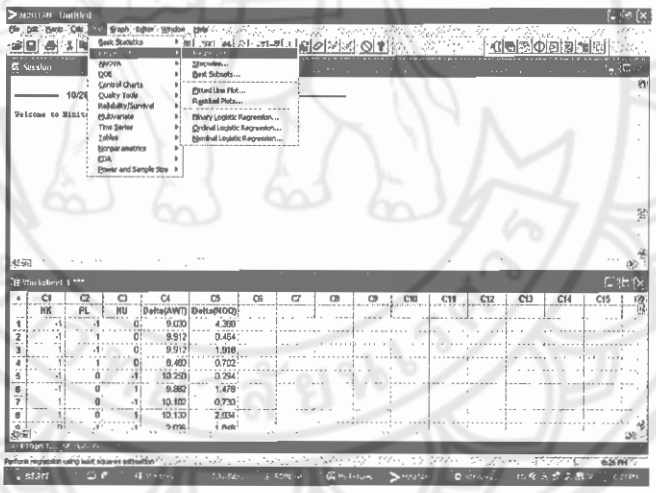
NK	PL	NU	Δ AWT	Δ NOQ
-1	-1	0	9.030	4.380
-1	1	0	9.912	0.464
1	-1	0	9.912	1.918
1	1	0	8.480	0.702
-1	0	-1	10.250	0.294
-1	0	1	9.882	1.478
1	0	-1	10.102	0.730
1	0	1	10.130	2.034
0	-1	-1	2.036	1.048
0	-1	1	20.016	2.276
0	1	-1	20.256	0.070
0	1	1	2.452	1.034
0	0	0	0.102	1.144
0	0	0	0.102	1.144
0	0	0	0.102	1.144

2. เปิดโปรแกรม Minitab จากนั้นนำตัวแปรหัสมาใส่ในรูปแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design (BBD) (ในตารางที่ 2.17) และนำค่าผลต่างของค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ) ดังรูปที่ 3.1



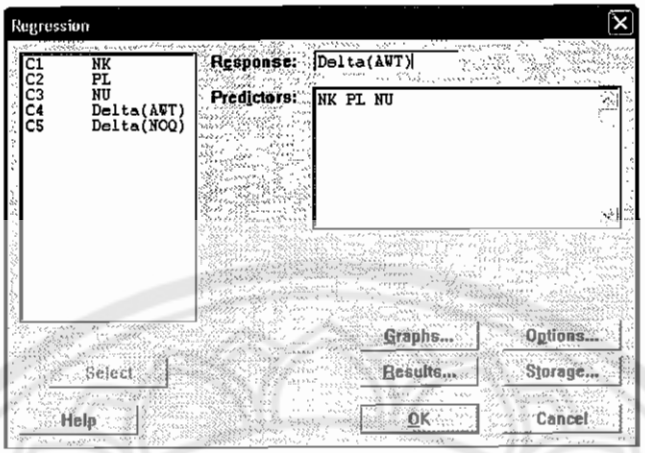
รูปที่ 3.1 แสดงการบันทึกค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ) ลงในโปรแกรม Minitab

3. ทำการเลือก Stat จากนั้นเลือก Regression และเลือก Regression อีกครั้ง ดังรูปที่ 3.2



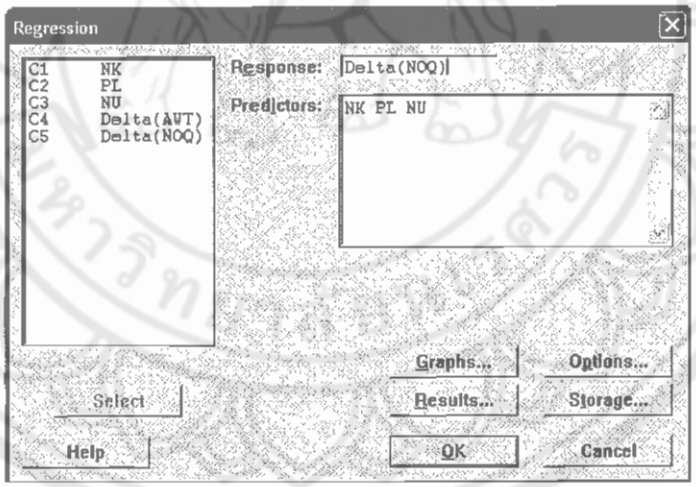
รูปที่ 3.2 แสดงการเลือกหน้าต่างในโปรแกรม Minitab

จากนั้นทำการคลิก แล้วจะมีหน้าต่างขึ้นมาชื่อว่า Regression และทำการใส่ข้อมูล โดยตรงที่ช่อง Response ทำการคลิกที่ข้อมูลด้านซ้าย Delta(AWT) และที่ช่อง Predictors ใส่คำว่า NK PL NU ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการเลือกเวลารอคอยเฉลี่ย (Delta(AWT))

และทำเช่นนี้อีกครั้งกับ NOQ โดยทำการคลิกที่ข้อมูลด้านซ้าย Delta(NOQ) และที่ช่อง Predictors ใส่คำว่า NK PL NU ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการเลือกจำนวนการรอคอย (Delta(NOQ))

จากนั้นทำการกด OK และโปรแกรม Minitab จะทำการรัน ผลที่ได้ออกมาจากการรันโปรแกรม Minitab คือ สมการรีเกรสชั่นของผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ) (ภาคผนวก ข)

- Δ AWT = 0.005 + 9.89 NK - 9.14 PL + 10.6 NU.....(21)
- Δ NOQ = 1.32 - 1.154 NK - 0.919 PL + 0.585 NU.....(22)

2. Orthogonal and Uniform-Precision Rotatable Central Composite Designs (OUPRCC) ส่วนหน้า

ขั้นตอนการหาสมการรีเกรสชั่นของรูปแบบ OUPRCC ส่วนหน้า ก็จะทำเหมือนกับการทำของรูปแบบการทดลอง BBD แต่จะแตกต่างกันในรูปแบบที่ใช้ในการรันโปรแกรม รูปแบบการทดลองที่ใช้รันโปรแกรม คือ รูปแบบการทดลอง OUPRCC ส่วนหน้า (ในตารางที่ 2.15) ผลที่ได้จากการรันโปรแกรม Computer Simulation จะได้ดังนี้

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างจำนวนการรอคอย (Δ NOQ) ของ OUPRCC ส่วนหน้า

NK	PL	NU	Δ AWT	Δ NOQ
-1	0	0	0.246	0.882
0	0	-1	10.434	0.520
1	0	0	0.172	1.422
0	0	1	9.996	1.748
0	-1	0	9.754	1.654
0	1	0	9.912	0.470
0	0	0	0.102	1.144
0	0	0	0.102	1.144
0	0	0	0.102	1.144
0	0	0	0.102	1.144
0	0	0	0.102	1.144

ผลที่ออกมาจากการรันโปรแกรม Minitab คือ สมการรีเกรสชั่นของผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ) (ภาคผนวก ข)

- Δ AWT = - 0.107 + 10.95 NK - 9.83 PL + 10.2 NU.....(23)
- Δ NOQ = 1.13 + 0.997 NK - 0.592 PL + 0.614 NU.....(24)

3. Orthogonal and Uniform-Precision Rotatable Central Composite Designs (OUPRCC) ส่วนมุม

ขั้นตอนการหาสมการรีเกรสชั่นของรูปแบบ OUPRCC ส่วนมุม ก็จะเหมือนกับการทำของรูปแบบการทดลอง Box Behnken Design (BBD) แต่จะแตกต่างกันในรูปแบบที่ใช้ในการรันโปรแกรม รูปแบบการทดลองที่ใช้รันโปรแกรม คือ รูปแบบการทดลอง OUPRCC ส่วนมุม (ในตารางที่ 2.16) ผลที่ได้จากการรันโปรแกรม Computer Simulation จะได้ดังนี้

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ) ของ OUPRCC ส่วนมุม

NK	PL	NU	Δ AWT	Δ NOQ
-1	-1	-1	0.026	0.752
-1	-1	1	17.876	1.960
1	-1	-1	0.268	1.280
1	1	-1	20.142	0.292
-1	1	1	0.208	1.038
-1	-1	1	17.876	1.960
1	1	1	0.774	1.290
-1	1	-1	20.110	0.106
0	0	0	0.102	1.144
0	0	0	0.102	1.144
0	0	0	0.102	1.144
0	0	0	0.102	1.144
0	0	0	0.102	1.144

ผลที่ออกมาจากการรันโปรแกรม Minitab คือ สมการรีเกรสชั่นของผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ) (ภาคผนวก ข)

- Δ AWT = - 0.289 + 11.1 NK - 9.41 PL + 9.73 NU.....(25)

- Δ NOQ = 1.12 + 0.995 NK - 0.479 PL + 0.553 NU.....(26)

จากการที่ได้สร้างสมการรีเกรสชั่นแล้วนั้น จะใช้วิธีในการปีนเขาลง (Steepest Decent) เพื่อที่จะต้องการค่าที่น้อยที่สุด ค่าที่น้อยที่สุดที่ต้องการ คือ ค่าที่น้อยที่สุดของผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ) ในแต่ละวิธีการทดลอง และ เลือกตัวแปรทุกตัวมาเป็นข้อกำหนดในการออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนการใช้วิธีการปีนเขาลง (Steepest Decent)

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรของโครงงานตัวใดตัวหนึ่ง นั่นคือ ΔX_i โดยจะเลือกตัวแปรทุกตัวมาเป็นข้อกำหนดในการออกแบบการทดลอง (ตัวแปร X1, X2, X3)
2. ขนาดของขั้นตอนในตัวแปรอื่นๆ

$$\Delta X_i = \frac{\hat{\beta}_i}{\hat{\beta}_j / \Delta X_j} \quad i=1, 2, 3,... k ; i \neq j \text{.....(27)}$$

3. เปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

<u>ตัวแปร X1</u>

1. Box Behnken Design (BBD)

ผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT)

Δ AWT = 0.005 + 9.89 NK - 9.14 PL + 10.6 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั่นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_1
2. ขนาดของขั้นตอนในตัวแปรอื่นๆ จากสูตรที่ 27

$$\Delta X_i = \frac{\hat{\beta}_i}{\hat{\beta}_j / \Delta X_j} \quad i=1, 2, 3,... k ; i \neq j$$

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow X_3$ และจาก $X_1 \rightarrow X_3$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_1 = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_2; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1/\Delta X_1}$ $\Delta X_2 = \dfrac{9.14}{9.89/1} = 0.92$

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_2/\Delta X_2}$ $\Delta X_3 = \dfrac{10.6}{9.14/0.92} = 1.07$

หรือ

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_1/\Delta X_1}$ $\Delta X_3 = \dfrac{10.6}{9.89/1} = 1.07$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_3 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_3 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_3

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1 × (3) = 3

ค่า PL = 0.92 × (3) = 2.76

ค่า NU = 1.07 × (3) = 3.21

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.4 Steepest Decent Experiment ของ Δ AWT

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1	0.92	1.07	3	2.76	3.21
Origin-Δ	1	0.92	1.07	37	37.24	36.79
Origin-2Δ	2	1.84	2.14	34	34.48	33.58
Origin-3Δ	3	2.76	3.21	31	31.72	30.37
Origin-4Δ	4	3.68	4.28	28	28.96	27.16
Origin-5Δ	5	4.60	5.35	25	26.20	23.95
Origin-6Δ	6	5.52	6.42	22	23.44	20.74
Origin-7Δ	7	6.44	7.49	19	20.68	17.53
Origin-8Δ	8	7.36	8.56	16	17.92	14.32

Origin-9Δ	9	8.28	9.63	13	15.16	11.11
Origin-10Δ	10	9.20	10.70	10	12.40	7.90
Origin-11Δ	11	10.12	11.77	7	9.64	4.69
Origin-12Δ	12	11.04	12.84	4	6.88	1.48

ผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ)

Δ NOQ = 1.32 - 1.154 NK - 0.919 PL + 0.585 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_1
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_2, X_3 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow X_3$ และจาก $X_1 \rightarrow X_3$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_1 = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_2; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_2 = \dfrac{0.919}{1.154/1} = 0.8$

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_2 / \Delta X_2}$ $\Delta X_3 = \dfrac{0.585}{0.919/0.8} = 0.51$

หรือ

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_3 = \dfrac{0.585}{1.154/1} = 0.51$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_3 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_3 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_3

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1 × (3) = 3

ค่า PL = 0.8 × (3) = 2.4

ค่า NU = 0.51 × (3) = 1.53

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.5 ตารางSteepest Decent Experiment ของ Δ NOQ

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1	0.8	0.51	3	2.4	1.53
Origin-Δ	1	0.8	0.51	37	37.60	38.47
Origin-2Δ	2	1.60	1.02	34	35.20	36.94
Origin-3Δ	3	2.40	1.53	31	32.80	35.41
Origin-4Δ	4	3.20	2.04	28	30.40	33.88
Origin-5Δ	5	4.00	2.55	25	28.00	32.35
Origin-6Δ	6	4.80	3.06	22	25.60	30.82
Origin-7Δ	7	5.60	3.57	19	23.20	29.29
Origin-8Δ	8	6.40	4.08	16	20.80	27.76
Origin-9Δ	9	7.20	4.59	13	18.40	26.23
Origin-10Δ	10	8.00	5.10	10	16.00	24.70
Origin-11Δ	11	8.80	5.61	7	13.60	23.17
Origin-12Δ	12	9.60	6.12	4	11.20	21.64

2. Orthogonal and Uniform-Precision Rotatable Central Composite Designs (OUPRCC) ส่วนหน้า

ผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT)

Δ AWT = - 0.107 + 10.95 NK - 9.83 PL + 10.2 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_1
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_2, X_3 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_1 \longrightarrow X_2 \longrightarrow X_3$ และจาก $X_1 \longrightarrow X_3$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_1 = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_2; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1/\Delta X_1}$ $\Delta X_2 = \dfrac{9.83}{10.95/1} = 0.9$

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_2/\Delta X_2}$ $\Delta X_3 = \dfrac{10.2}{9.83/0.9} = 0.93$

หรือ

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_1/\Delta X_1}$ $\Delta X_3 = \dfrac{10.2}{10.95/1} = 0.93$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_3 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_3 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_3

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1 × (3) = 3

ค่า PL = 0.9 × (3) = 2.7

ค่า NU = 0.93 × (3) = 2.79

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.6 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ Δ AWT

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1	0.9	0.93	3	2.7	2.79
Origin-Δ	1	0.9	0.93	37	37.30	37.21
Origin-2Δ	2	1.80	1.86	34	34.60	34.42
Origin-3Δ	3	2.70	2.79	31	31.90	31.63
Origin-4Δ	4	3.60	3.72	28	29.20	28.84
Origin-5Δ	5	4.50	4.65	25	26.50	26.05
Origin-6Δ	6	5.40	5.58	22	23.80	23.26
Origin-7Δ	7	6.30	6.51	19	21.10	20.47
Origin-8Δ	8	7.20	7.44	16	18.40	17.68

Origin-9Δ	9	8.10	8.37	13	15.70	14.89
Origin-10Δ	10	9.00	9.30	10	13.00	12.10
Origin-11Δ	11	9.90	10.23	7	10.30	9.31
Origin-12Δ	12	10.80	11.16	4	7.60	6.52

ผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ)

Δ NOQ = 1.13 + 0.997 NK - 0.592 PL + 0.614 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_1
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_2, X_3 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow X_3$ และจาก $X_1 \rightarrow X_3$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_i = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_2; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_2 = \dfrac{0.592}{0.997/1} = 0.59$

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_2 / \Delta X_2}$ $\Delta X_3 = \dfrac{0.614}{0.592/0.59} = 0.61$

หรือ

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_3 = \dfrac{0.614}{0.997/1} = 0.61$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_3 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_3 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_3

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1 × (3) = 3

ค่า PL = 0.59 × (3) = 1.77

ค่า NU = 0.61 × (3) = 1.83

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1	0.59	0.61	3	1.77	1.83
Origin-Δ	1	0.59	1.23	37	38.23	38.17
Origin-2Δ	2	1.18	1.22	34	36.46	36.34
Origin-3Δ	3	1.77	1.83	31	34.69	34.51
Origin-4Δ	4	2.36	2.44	28	32.92	32.68
Origin-5Δ	5	2.95	3.05	25	31.15	30.85
Origin-6Δ	6	3.54	3.66	22	29.38	29.02
Origin-7Δ	7	4.13	4.27	19	27.61	27.19
Origin-8Δ	8	4.72	4.88	16	25.84	25.36
Origin-9Δ	9	5.31	5.49	13	24.07	23.53
Origin-10Δ	10	5.90	6.10	10	22.30	21.70
Origin-11Δ	11	6.49	6.71	7	20.53	19.87
Origin-12Δ	12	7.08	7.32	4	18.76	18.04

3. Orthogonal and Uniform-Precision Rotatable Central Composite Designs (OUPRCC) ส่วนมุม

ผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT)

Δ AWT = - 0.289 + 11.1 NK - 9.41 PL + 9.73 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั่นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_1
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_2, X_3 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_1 \longrightarrow X_2 \longrightarrow X_3$ และจาก $X_1 \longrightarrow X_3$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_1 = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_2; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_2 = \dfrac{9.41}{11.1/1} = 0.85$

$$\text{ค่า } X_3 \text{ ; } \Delta X_3 = \frac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_2 / \Delta X_2} \quad \Delta X_3 = \frac{9.73}{9.41/0.85} = 0.88$$

หรือ

$$\text{ค่า } X_3 \text{ ; } \Delta X_3 = \frac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1} \quad \Delta X_3 = \frac{9.73}{11.1/1} = 0.88$$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_3 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_3 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_3

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1 × (3) = 3

ค่า PL = 0.85 × (3) = 2.55

ค่า NU = 0.88 × (3) = 2.64

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.8 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ Δ AWT

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1	0.85	0.88	3	2.55	2.64
Origin-Δ	1	0.85	0.88	37	37.45	37.36
Origin-2Δ	2	1.70	1.76	34	34.90	34.72
Origin-3Δ	3	2.55	2.64	31	32.35	32.08
Origin-4Δ	4	3.40	3.52	28	29.80	29.44
Origin-5Δ	5	4.25	4.40	25	27.25	26.80
Origin-6Δ	6	5.10	5.28	22	24.70	24.16
Origin-7Δ	7	5.95	6.16	19	22.15	21.52
Origin-8Δ	8	6.80	7.04	16	19.60	18.88
Origin-9Δ	9	7.65	7.92	13	17.05	16.24
Origin-10Δ	10	8.50	8.80	10	14.50	13.60

Origin-11 Δ	11	9.35	9.68	7	11.95	10.96
Origin-12 Δ	12	10.20	10.56	4	9.40	8.32

ผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ)

Δ NOQ = 1.12 + 0.995 NK - 0.479 PL + 0.553 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_1
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_2, X_3 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow X_3$ และจาก

$X_1 \rightarrow X_3$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_1 = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_2; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_2 = \dfrac{0.479}{0.995/1} = 0.48$

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_2 / \Delta X_2}$ $\Delta X_3 = \dfrac{0.553}{0.479/0.48} = 0.55$

หรือ

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_3 = \dfrac{0.553}{0.995/1} = 0.56$

ซึ่งในการหาขนาดขอตัวแปร X_3 นั้น ขนาดของตัวแปรที่ได้มีขนาดที่ไม่เท่ากัน แตกต่างกันเพียง 0.56-0.55 =0.01 ดังนั้น ค่าที่จะถูกนำมาใช้นั้นจะมีค่าที่ประมาณ 0.55-0.56 ขึ้นอยู่กับการปัดเศษทศนิยมว่าจะทำการปัดขึ้นหรือทำการปัดลง ในขั้นการทดลองนี้จะใช้ค่าที่หาได้จากในรูปแบบ $X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow X_3$ คือ 0.55

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1 × (3) = 3

ค่า PL = 0.48 × (3) = 1.44

ค่า NU = 0.55 × (3) = 1.65

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.9 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ Δ NOQ

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1	0.48	0.55	3	1.44	1.65
Origin-Δ	1	0.48	0.55	37	38.56	38.35
Origin-2Δ	2	0.96	1.10	34	37.12	36.70
Origin-3Δ	3	1.44	1.65	31	35.68	35.05
Origin-4Δ	4	1.92	2.20	28	34.24	33.40
Origin-5Δ	5	2.40	2.75	25	32.80	31.75
Origin-6Δ	6	2.87	3.30	22	31.36	30.10
Origin-7Δ	7	3.35	3.85	19	29.92	28.45
Origin-8Δ	8	3.83	4.40	16	28.48	26.80
Origin-9Δ	9	4.31	4.95	13	27.04	25.15
Origin-10Δ	10	4.79	5.50	10	25.60	23.50
Origin-11Δ	11	5.27	6.05	7	24.16	21.85
Origin-12Δ	12	5.75	6.60	4	22.72	20.20

<u>ตัวแปร X2</u>

1. Box Behnken Design (BBD)

ผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย(Δ AWT)

Δ AWT = 0.005 + 9.89 NK - 9.14 PL + 10.6 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_1 เลือกตัวแปร X_2
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_1, X_3 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_2 \rightarrow X_1 \rightarrow X_3$ และจาก $X_2 \rightarrow X_3$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_2 ; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_1; $\Delta X_1 = \dfrac{\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_2/\Delta X_2}$ $\Delta X_1 = \dfrac{9.89}{9.14/1} = 1.08$

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_1/\Delta X_1}$ $\Delta X_3 = \dfrac{10.6}{9.89/1.08} = 1.16$

หรือ

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_2/\Delta X_2}$ $\Delta X_3 = \dfrac{10.6}{9.14/1} = 1.16$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_3 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_3 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_3

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1.08 × (3) = 3.24

ค่า PL = 1 × (3) = 3

ค่า NU = 1.16 × (3) = 3.48

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.10 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ Δ AWT

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1.08	1	1.16	3.24	3	3.48
Origin-Δ	1.08	1	1.16	36.76	37	36.52
Origin-2Δ	2.16	2	2.32	33.52	34	33.04
Origin-3Δ	3.24	3	3.48	30.28	31	29.56
Origin-4Δ	4.32	4	4.64	27.04	28	26.08
Origin-5Δ	5.40	5	5.80	23.80	25	22.60
Origin-6Δ	6.48	6	6.96	20.56	22	19.12
Origin-7Δ	7.56	7	8.12	17.32	19	15.64

Origin-8Δ	8.64	8	9.28	14.08	16	12.16
Origin-9Δ	9.72	9	10.44	10.84	13	8.68
Origin-10Δ	10.80	10	11.60	7.60	10	5.20
Origin-11Δ	11.88	11	12.76	4.36	7	1.72
Origin-12Δ	12.96	12	13.92	1.12	4	-1.76

ผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ)

Δ NOQ = 1.32 - 1.154 NK - 0.919 PL + 0.585 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_2
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_1, X_3 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_2 \rightarrow X_1 \rightarrow X_3$ และจาก

$X_2 \rightarrow X_3$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_2 ; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_1; $\Delta X_1 = \dfrac{\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_2 / \Delta X_2}$ $\Delta X_1 = \dfrac{1.154}{0.919/1} = 1.26$

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_3 = \dfrac{0.585}{1.154/1.26} = 0.64$

หรือ

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_2 / \Delta X_2}$ $\Delta X_3 = \dfrac{0.585}{0.919/1} = 0.64$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_2 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_2 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน

ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_2

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1.26 × (3) = 3.78

ค่า PL = 1 × (3) = 3

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.11 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ Δ NOQ

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1.26	1	0.64	3.78	3	1.92
Origin-Δ	1.26	1	0.64	36.22	37	38.08
Origin-2Δ	2.52	2	1.28	32.44	34	36.16
Origin-3Δ	3.78	3	1.92	28.66	31	34.24
Origin-4Δ	5.04	4	2.56	24.88	28	32.32
Origin-5Δ	6.30	5	3.20	21.10	25	30.40
Origin-6Δ	7.56	6	3.84	17.32	22	28.48
Origin-7Δ	8.82	7	4.48	13.54	19	26.56
Origin-8Δ	10.08	8	5.12	9.76	16	24.64
Origin-9Δ	11.34	9	5.76	5.98	13	22.72
Origin-10Δ	12.60	10	6.40	2.20	10	20.80
Origin-11Δ	13.86	11	7.04	-1.58	7	18.88
Origin-12Δ	15.12	12	7.68	-5.36	4	16.96

2. Orthogonal and Uniform-Precision Rotatable Central Composite Designs (OUPRCC) ส่วนหน้า

ผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT)

Δ AWT = - 0.107 + 10.95 NK - 9.83 PL + 10.2 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_2
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_1, X_3 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_2 \longrightarrow X_1 \longrightarrow X_3$ และจาก $X_2 \longrightarrow X_3$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_2 ; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_1; $\Delta X_1 = \dfrac{\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_2/\Delta X_2}$ $\Delta X_1 = \dfrac{10.95}{9.83/1} = 1.11$

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_1/\Delta X_1}$ $\Delta X_3 = \dfrac{10.2}{10.95/1.11} = 1.03$

หรือ

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_2/\Delta X_2}$ $\Delta X_3 = \dfrac{10.2}{9.83/1} = 1.04$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_3 นั้น ขนาดของตัวแปรที่ได้มีขนาดที่ไม่เท่ากัน แตกต่างกันเพียง 1.04-1.03 =0.01 ดังนั้น ค่าที่จะถูกนำมาใช้นั้นจะมีค่าที่ประมาณ 1.04-1.03 ขึ้นอยู่กับการปัดเศษทศนิยมว่าจะทำการปัดขึ้นหรือทำการปัดลง ในขั้นการทดลองนี้จะใช้ค่าที่หาได้จากในรูปแบบ $X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow X_3$ คือ 1.03

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1.11 × (3) = 3.33

ค่า PL = 1 × (3) = 3

ค่า NU = 1.03 × (3) = 3.09

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.12 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ Δ AWT

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1.11	1	1.03	3.33	3	3.09
Origin-Δ	1.11	1	1.03	36.67	37	36.91
Origin-2Δ	2.22	2	2.06	33.34	34	33.82
Origin-3Δ	3.33	3	3.09	30.01	31	30.73
Origin-4Δ	4.44	4	4.12	26.68	28	27.64

Origin-5Δ	5.55	5	5.15	23.35	25	24.55
Origin-6Δ	6.66	6	6.18	20.02	22	21.46
Origin-7Δ	7.77	7	7.21	16.69	19	18.37
Origin-8Δ	8.88	8	8.24	13.36	16	15.28
Origin-9Δ	9.99	9	9.27	10.03	13	12.19
Origin-10Δ	11.10	10	10.30	6.70	10	9.10
Origin-11Δ	12.21	11	11.33	3.37	7	6.01
Origin-12Δ	13.32	12	12.36	0.04	4	2.92

ผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ)

Δ NOQ = 1.13 + 0.997 NK - 0.592 PL + 0.614 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_2
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_1, X_3 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_2 \rightarrow X_1 \rightarrow X_3$ และจาก

$X_2 \rightarrow X_3$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_2 ; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_1; $\Delta X_1 = \dfrac{\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_2 / \Delta X_2}$ $\Delta X_1 = \dfrac{0.997}{0.592/1} = 1.68$

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_3 = \dfrac{0.614}{0.997/1.68} = 1.03$

หรือ

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_2 / \Delta X_2}$ $\Delta X_3 = \dfrac{0.614}{0.592/1} = 1.04$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_3 นั้น ขนาดของตัวแปรที่ได้มีขนาดที่ไม่เท่ากัน แตกต่างกันเพียง 1.04-1.03 =0.01 ดังนั้น ค่าที่จะถูกนำมาใช้นั้นจะมีค่าที่ประมาณ 1.04-1.03 ขึ้นอยู่กับการปัดเศษ

ทศนิยมว่าจะทำการปัดขึ้นหรือทำการปัดลง ในขั้นการทดลองนี้จะใช้ค่าที่หาได้จากในรูปแบบ $X_1 \longrightarrow X_2 \longrightarrow X_3$ คือ 1.03

3.การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1.68 × (3) = 5.04

ค่า PL = 1 × (3) = 3

ค่า NU = 1.03 × (3) = 3.09

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.13 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ Δ NOQ

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1.68	1	1.03	5.04	3	3.09
Origin- Δ	1.68	1	1.03	34.96	37	36.91
Origin-2 Δ	3.36	2	2.06	29.92	34	33.82
Origin-3 Δ	5.04	3	3.09	24.88	31	30.73
Origin-4 Δ	6.72	4	4.12	19.84	28	27.64
Origin-5 Δ	8.40	5	5.15	14.80	25	24.55
Origin-6 Δ	10.08	6	6.18	9.76	22	21.46
Origin-7 Δ	11.76	7	7.21	4.72	19	18.37
Origin-8 Δ	13.44	8	8.24	-0.32	16	15.28
Origin-9 Δ	15.12	9	9.27	-5.36	13	12.19
Origin-10 Δ	16.80	10	10.30	-10.40	10	9.10
Origin-11 Δ	18.48	11	11.33	-15.44	7	6.01
Origin-12 Δ	20.16	12	12.36	-20.48	4	2.92

3. Orthogonal and Uniform-Precision Rotatable Central Composite Designs (OUPRCC)

ส่วนมุม

ผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT)

Δ AWT = - 0.289 + 11.1 NK - 9.41 PL + 9.73 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_2
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_1, X_3 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_2 \rightarrow X_1 \rightarrow X_3$ และจาก

$X_2 \rightarrow X_3$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_2; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_1; $\Delta X_1 = \dfrac{\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_2/\Delta X_2}$ $\Delta X_1 = \dfrac{11.1}{9.41/1} = 1.18$

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_1/\Delta X_1}$ $\Delta X_3 = \dfrac{9.73}{11.1/1.18} = 1.03$

หรือ

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_2/\Delta X_2}$ $\Delta X_3 = \dfrac{9.73}{9.41/1} = 1.03$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_3 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_3 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_3

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1.18 × (3) = 3.54

ค่า PL = 1 × (3) = 3

ค่า NU = 1.03 × (3) = 3.09

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.14 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ Δ AWT

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1.18	1	1.03	3.54	3	3.09
Origin-Δ	1.18	1	1.03	36.46	37	36.91
Origin-2Δ	2.36	2	2.06	32.92	34	33.82

Origin-3 Δ	3.54	3	3.09	29.38	31	30.73
Origin-4 Δ	4.72	4	4.12	25.84	28	27.64
Origin-5 Δ	5.90	5	5.15	22.30	25	24.55
Origin-6 Δ	7.08	6	6.18	18.76	22	21.46
Origin-7 Δ	8.26	7	7.21	15.22	19	18.37
Origin-8 Δ	9.44	8	8.24	11.68	16	15.28
Origin-9 Δ	10.62	9	9.27	8.14	13	12.19
Origin-10 Δ	11.80	10	10.30	4.60	10	9.10
Origin-11 Δ	12.98	11	11.33	1.06	7	6.01
Origin-12 Λ	14.16	12	12.36	-2.48	4	2.92

ผลต่างของจำนวนการรอคอย (Δ NOQ)

Δ NOQ = 1.12 + 0.995 NK - 0.479 PL + 0.553 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั่นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_2
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_1, X_3 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_2 \rightarrow X_1 \rightarrow X_3$ และจาก $X_2 \rightarrow X_3$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_2; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_1; $\Delta X_1 = \dfrac{\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_2 / \Delta X_2}$ $\Delta X_1 = \dfrac{0.995}{0.479/1} = 2.08$

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_3 = \dfrac{0.553}{0.995/2.08} = 1.16$

หรือ

ค่า X_3 ; $\Delta X_3 = \dfrac{\hat{\beta}_3}{\hat{\beta}_2 / \Delta X_2}$ $\Delta X_3 = \dfrac{0.553}{0.479/1} = 1.15$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_3 นั้น ขนาดของตัวแปรที่ได้มีขนาดที่ไม่เท่ากัน แตกต่างกันเพียง 1.16-1.15 =0.01 ดังนั้น ค่าที่จะถูกนำมาใช้นั้นจะมีค่าที่ประมาณ 1.16-1.15 ขึ้นอยู่กับการปัดเศษ

ทศนิยมว่าจะทำการปัดขึ้นหรือทำการปัดลง ในขั้นการทดลองนี้จะใช้ค่าที่หาได้จากในรูปแบบ $X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow X_3$ คือ 1.16

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 2.08 × (3) = 6.24

ค่า PL = 1 × (3) = 3

ค่า NU = 1.16 × (3) = 3.48

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.15 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ ΔNOQ

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	2.08	1	1.16	6.24	3	3.48
Origin-Δ	2.08	1	1.16	33.76	37	36.52
Origin-2Δ	4.16	2	2.32	27.52	34	33.04
Origin-3Δ	6.24	3	3.48	21.28	31	29.56
Origin-4Δ	8.32	4	4.64	15.04	28	26.08
Origin-5Δ	10.40	5	5.80	8.80	25	22.60
Origin-6Δ	12.48	6	6.96	2.56	22	19.12
Origin-7Δ	14.56	7	8.12	-3.68	19	15.64
Origin-8Δ	16.64	8	9.28	-9.92	16	12.16
Origin-9Δ	18.72	9	10.44	-16.16	13	8.68
Origin-10Δ	20.80	10	11.60	-22.40	10	5.20
Origin-11Δ	22.88	11	12.76	-28.64	7	1.72
Origin-12Δ	24.96	12	13.92	-34.88	4	-1.76

ตัวแปร X3

1. Box Behnken Design (BBD)

ผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT)

ΔAWT = 0.005 + 9.89 NK - 9.14 PL + 10.6 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_3

2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_1, X_2 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_3 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2$ และจาก $X_3 \rightarrow X_2$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_3; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_1; $\Delta X_1 = \dfrac{\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_3 / \Delta X_3}$ $\Delta X_1 = \dfrac{9.89}{10.6/1}$ =0.93

ค่า X_2 ; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_2 = \dfrac{9.14}{9.89/0.93}$ = 0.86

หรือ

ค่า X_2 ; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_3 / \Delta X_3}$ $\Delta X_2 = \dfrac{9.14}{10.6/1}$ = 0.86

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_2 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_2 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_2

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 0.93 × (3) = 2.79

ค่า PL = 0.86× (3) = 2.58

ค่า NU = 1 × (3) = 3

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.16 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ ΔAWT

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	0.93	0.86	1	2.79	2.58	3
Origin-Δ	0.93	0.86	1	37.21	37.42	37
Origin-2Δ	1.86	1.72	2	34.42	34.84	34

Origin-3Δ	2.79	2.58	3	31.63	32.26	31
Origin-4Δ	3.72	3.44	4	28.84	29.68	28
Origin-5Δ	4.65	4.30	5	26.05	27.10	25
Origin-6Δ	5.58	5.16	6	23.26	24.52	22
Origin-7Δ	6.51	6.02	7	20.47	21.94	19
Origin-8Δ	7.44	6.88	8	17.68	19.36	16
Origin-9Δ	8.37	7.74	9	14.89	16.78	13
Origin-10Δ	9.30	8.60	10	12.10	14.20	10
Origin-11Δ	10.23	9.46	11	9.31	11.62	7
Origin-12Λ	11.16	10.32	12	6.52	9.04	4

ผลต่างของจำนวนการรอคอย (ΔNOQ)

ΔNOQ = 1.32 - 1.154 NK - 0.919 PL + 0.585 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_2
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_1, X_3 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_3 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2$ และจาก $X_3 \rightarrow X_2$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_3; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_1; $\Delta X_1 - \dfrac{\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_3/\Delta X_3}\ \Delta X_1 - \dfrac{1.154}{0.585/1}$ =1.97

ค่า X_2 ; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1/\Delta X_1}\ \Delta X_2 = \dfrac{0.585}{1.154/1.26} = 1.57$

หรือ

ค่า X_2 ; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_3/\Delta X_3}\ \Delta X_2 = \dfrac{0.919}{0.585/1} = 1.57$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_2 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_2 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_2

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1.97 × (3) = 5.91

ค่า PL = 1.57 × (3) = 4.71

ค่า NU = 1× (3) = 3

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.17 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ Δ NOQ

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1.97	1.57	1	5.91	4.71	3
Origin-Δ	1.97	1.57	1	34.09	35.29	37
Origin-2Δ	3.94	3.14	2	28.18	30.58	34
Origin-3Δ	5.91	4.71	3	22.27	25.87	31
Origin-4Δ	7.88	6.28	4	16.36	21.16	28
Origin-5Δ	9.85	7.85	5	10.45	16.45	25
Origin-6Δ	11.82	9.42	6	4.54	11.74	22
Origin-7Δ	13.79	10.99	7	-1.37	7.03	19
Origin-8Δ	15.76	12.56	8	-7.28	2.32	16
Origin-9Δ	17.73	14.13	9	-13.19	-2.39	13
Origin-10Δ	19.70	15.70	10	-19.10	-7.10	10
Origin-11Δ	21.67	17.27	11	-25.01	-11.81	7
Origin-12Δ	23.64	18.84	12	-30.92	-16.52	4

2. Orthogonal and Uniform-Precision Rotatable Central Composite Designs (OUPRCC)

ส่วนหน้า

ผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (Δ AWT)

Δ AWT = - 0.107 + 10.95 NK - 9.83 PL + 10.2 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_3
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_1, X_2 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_3 \longrightarrow X_1 \longrightarrow X_2$ และจาก $X_3 \longrightarrow X_2$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_3; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_3 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2$ และจาก $X_3 \rightarrow X_2$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_3; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_1; $\Delta X_1 = \dfrac{\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_3 / \Delta X_3}$ $\Delta X_1 = \dfrac{10.95}{10.2/1} = 1.07$

ค่า X_2 ; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_2 = \dfrac{9.83}{10.95/1.07} = 0.96$

หรือ

ค่า X_2 ; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_3 / \Delta X_3}$ $\Delta X_2 = \dfrac{9.83}{10.2/1} = 0.96$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_2 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_2 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_2

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1.07 × (3) = 3.21

ค่า PL = 0.96 × (3) = 2.88

ค่า NU = 1× (3) = 3

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.18 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ ΔAWT

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1.07	0.96	1	3.21	2.88	3
Origin-Δ	1.07	0.96	1	36.79	37.12	37
Origin-2Δ	2.14	1.92	2	33.58	34.24	34
Origin-3Δ	3.21	2.88	3	30.37	31.36	31
Origin-4Δ	4.28	3.84	4	27.16	28.48	28

Origin-5Δ	5.35	4.80	5	23.95	25.60	25
Origin-6Δ	6.42	5.76	6	20.74	22.72	22
Origin-7Δ	7.49	6.72	7	17.53	19.84	19
Origin-8Δ	8.56	7.68	8	14.32	16.96	16
Origin-9Δ	9.63	8.64	9	11.11	14.08	13
Origin-10Δ	10.70	9.60	10	7.90	11.20	10
Origin-11Δ	11.77	10.56	11	4.69	8.32	7
Origin-12Δ	12.84	11.52	12	1.48	5.44	4

ผลต่างของจำนวนการรอคอย (ΔNOQ)

ΔNOQ = 1.13 + 0.997 NK - 0.592 PL + 0.614 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_3
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_1, X_2 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_3 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2$ และจาก $X_3 \rightarrow X_2$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_3; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_1; $\Delta X_1 - \dfrac{\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_3 / \Delta X_3} \quad \Delta X_1 - \dfrac{0.997}{0.614/1} = 1.62$

ค่า X_2 ; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1} \quad \Delta X_2 = \dfrac{0.592}{0.997/1.62} = 0.96$

หรือ

ค่า X_2 ; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_3 / \Delta X_3} \quad \Delta X_2 = \dfrac{0.592}{0.614/1} = 0.96$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_2 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_2 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_2

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ตารางที่ 3.19 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ ΔNOQ

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1.62	0.96	1	4.86	2.88	3
Origin-Δ	1.62	0.96	1	35.14	37.12	37
Origin-2Δ	3.24	1.92	2	30.28	34.24	34
Origin-3Δ	4.86	2.88	3	25.42	31.36	31
Origin-4Δ	6.48	3.84	4	20.56	28.48	28
Origin-5Δ	8.10	4.80	5	15.70	25.60	25
Origin-6Δ	9.72	5.76	6	10.84	22.72	22
Origin-7Δ	11.34	6.72	7	5.98	19.84	19
Origin-8Δ	12.96	7.68	8	1.12	16.96	16
Origin-9Δ	14.58	8.64	9	-3.74	14.08	13
Origin-10Δ	16.20	9.60	10	-8.60	11.20	10
Origin-11Δ	17.82	10.56	11	-13.46	8.32	7
Origin-12Δ	19.44	11.52	12	-18.32	5.44	4

3. Orthogonal and Uniform-Precision Rotatable Central Composite Designs (OUPRCC) ส่วนมุม

ผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย (ΔAWT)

ΔAWT = - 0.289 + 11.1 NK - 9.41 PL + 9.73 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_3
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_1, X_2 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_3 \longrightarrow X_1 \longrightarrow X_2$ และจาก $X_3 \longrightarrow X_2$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_3 ; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_3 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2$ และจาก $X_3 \rightarrow X_2$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_3; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_1; $\Delta X_1 = \dfrac{\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_3 / \Delta X_3}$ $\Delta X_1 = \dfrac{11.1}{9.73/1} = 1.14$

ค่า X_2 ; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1 / \Delta X_1}$ $\Delta X_2 = \dfrac{9.41}{11.1/1.14} = 0.97$

หรือ

ค่า X_2 ; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_3 / \Delta X_3}$ $\Delta X_2 = \dfrac{9.41}{9.73/1} = 0.97$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_2 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_2 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_2

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงทีละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1.14 × (3) = 3.42

ค่า PL = 0.97 × (3) = 2.91

ค่า NU = 1× (3) = 3

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.20 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ Δ AWT

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1.14	0.97	1	3.42	2.91	3
Origin-Δ	1.14	0.97	1	36.58	37.09	37
Origin-2Δ	2.28	1.94	2	33.16	34.18	34
Origin-3Δ	3.42	2.91	3	29.74	31.27	31
Origin-4Δ	4.56	3.88	4	26.32	28.36	28

Origin-5Δ	5.70	4.85	5	22.90	25.45	25
Origin-6Δ	6.84	5.82	6	19.48	22.54	22
Origin-7Δ	7.98	6.79	7	16.06	19.63	19
Origin-8Δ	9.12	7.76	8	12.64	16.72	16
Origin-9Δ	10.26	8.73	9	9.22	13.81	13
Origin-10Δ	11.40	9.70	10	5.80	10.90	10
Origin-11Δ	12.54	10.67	11	2.38	7.99	7
Origin-12Δ	13.68	11.64	12	-1.04	5.08	4

ผลต่างของจำนวนการรอคอย (ΔNOQ)

ΔNOQ = 1.12 + 0.995 NK - 0.479 PL + 0.553 NU

1. เลือกขนาดของขั้นตอนในตัวแปรรหัส นั้นคือ ΔX_i เลือกตัวแปร X_3
2. ขนาดของตัวแปรอื่น คือ X_1, X_2 จากสูตรที่ 27

ดังนั้น หาขนาดของตัวแปรโดยจะเริ่มจากการหาขนาดของ $X_3 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2$ และจาก $X_3 \rightarrow X_2$ ตัวแปรแต่ละตัวจะมีขนาด ดังนี้

ค่า X_3; = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12

ค่า X_1; $\Delta X_1 - \dfrac{\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_3/\Delta X_3}\ \Delta X_1 - \dfrac{0.995}{0.553/1} = 1.8$

ค่า X_2 ; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1/\Delta X_1}\ \Delta X_2 = \dfrac{0.479}{0.995/1.8} = 0.87$

หรือ

ค่า X_2 ; $\Delta X_2 = \dfrac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_3/\Delta X_3}\ \Delta X_2 = \dfrac{0.479}{0.553/1} = 0.87$

ซึ่งในการหาขนาดของตัวแปร X_2 ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ขนาดของตัวแปร X_2 ที่ได้มีขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น จึงสามารถที่จะใช้รูปแบบไหนก็ได้ในการหาขนาดของตัวแปร X_2

3. การเปลี่ยน ΔX_i ให้เป็นตัวแปรธรรมชาติ

ตัวแปรธรรมชาติ = ΔX_i × ขนาดของการปีนเขาลง (ปีนเขาลงที่ละ 3 วินาที)

ค่า NK = 1.8 × (3) = 5.4

ค่า PL = 0.87× (3) = 2.61

ค่า NU = 1 × (3) = 3

และจะใช้จุด Origin ที่ 40 วินาที ทั้ง 3 ตัวแปรธรรมชาติ

ตารางที่ 3.21 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ ΔNOQ

	x1	x2	x3	NK	PL	NU
Origin	0	0	0	40	40	40
Δ	1.8	0.87	1	5.4	2.61	3
Origin-Δ	1.8	0.87	1	34.60	37.39	37
Origin-2Δ	3.60	1.74	2	29.20	34.78	34
Origin-3Δ	5.40	2.61	3	23.80	32.17	31
Origin-4Δ	7.20	3.48	4	18.40	29.56	28
Origin-5Δ	9.00	4.35	5	13.00	26.95	25
Origin-6Δ	10.80	5.22	6	7.60	24.34	22
Origin-7Δ	12.60	6.09	7	2.20	21.73	19
Origin-8Δ	14.40	6.96	8	-3.20	19.12	16
Origin-9Δ	16.20	7.83	9	-8.60	16.51	13
Origin-10Δ	18.00	8.70	10	-14.00	13.90	10
Origin-11Δ	19.80	9.57	11	-19.40	11.29	7
Origin-12Δ	21.60	10.44	12	-24.80	8.68	4