

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิศวกรรมอุตสาหกรรม	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญกราฟ	ฎ
สารบัญรูป	ฏ
สารบัญสูตร	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน	1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ	1
1.5 ขอบเขต	1
1.6 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แบบจำลอง	2
2.2 การออกแบบการทดลองทางสถิติ	3
2.2.1 The Taguchi Philosophy	3
2.2.2 หลักการการออกแบบการทดลอง Full Factorial Design (FFD)	14
2.2.3 หลักการการออกแบบการทดลอง Responses Surface Method (RSM)	22
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
2.3.1 การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน	38
2.3.2 การจัดเตรียมข้อมูล	40

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง	
3.1 ขั้นตอนการทดลองหาระยะเวลาการตั้งสัญญาณไฟจราจร	45
3.1.1 หลักการการออกแบบ Orthogonal Array	45
3.1.2. หลักการการออกแบบ Full Factorial Design (FFD)	47
3.1.3 หลักการการออกแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM)	49
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	
4.1 ผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองระบบสัญญาณไฟจราจร83	
4.1.1 แบบ Orthogonal Array (OA)	83
4.1.2 แบบ Full Factorial Designs (FFD)	90
4.1.3 แบบResponses Surface Method (RSM)	97
4.2 สรุปผลที่ได้ทั้งหมดจากการวิจัยการจำลองระบบสัญญาณไฟจราจร	
4.2.1 ผลของเวลาที่ใช้ในการกำหนดเวลาของสัญญาณไฟจราจรโดยที่มี ความต้องการเวลารอคอยเฉลี่ยในแต่ละแยกที่เท่ากัน	111
4.2.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการกำหนดเวลาของสัญญาณไฟจราจรโดยที่มี ความต้องการจำนวนการรอคอยในแต่ละแยกที่เท่ากัน	111
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย	
5.1 วิเคราะห์ผลการวิจัย	113
5.2 สรุปผลการวิจัย	113
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการวิจัย	116
5.4 ข้อเสนอแนะ	117
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
ภาคผนวก ค	
ภาคผนวก ง	
ประวัติผู้เขียน	

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 รูปแบบการออกแบบการทดลอง Orthogonal Array	6
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของปัจจัยและระดับของ Parameter Design	8
ตารางที่ 2.3 การออกแบบสำหรับปัจจัยที่ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้	9
ตารางที่ 2.4 Inner array และ Outer array ของ Parameter Design	10
ตารางที่ 2.5 การกำหนดค่าตัวแปรในแต่ละปัจจัยตามหลักการของ OA	13
ตารางที่ 2.6 ตารางแสดงปัจจัยที่เกิดจากการออกแบบ $2^3$	16
ตารางที่ 2.7 ตารางแสดงปัจจัยที่เกิดจากการออกแบบ $2^4$	17
ตารางที่ 2.8 ตารางแสดงจำนวนการ RUN ของปัจจัยที่เกิดจากการออกแบบ $2^k$	17
ตารางที่ 2.9 จำนวนการ RUN สำหรับปัจจัยที่เกิดจากการออกแบบ $3^k$	20
ตารางที่ 2.10 ตารางแสดงปัจจัยที่เกิดจากการออกแบบ $3^2$	21
ตารางที่ 2.11 ตารางแสดงปัจจัยที่เกิดจากการออกแบบ $3^3$	21
ตารางที่ 2.12 ตารางแสดงข้อมูลโมเดลขั้นที่ 1	27
ตารางที่ 2.13 ตาราง Steepest Ascent Experiment for Example	28
ตารางที่ 2.14 ตารางสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด เพื่อหาค่าที่จุดสูงชันที่สุด (OUPRCC) ส่วนหน้า	29
ตารางที่ 2.15 Orthogonal and Uniform-Precision Rota table Central Composite Designs	31
ตารางที่ 2.16 Orthogonal and Uniform-Precision Rota table Central Composite Designs (OUPRCC) ส่วนมุม	32
ตารางที่ 2.17 แสดงการออกแบบของ Box และ Behken แบบตัวแปร 3 ตัว	33
ตารางที่ 2.18 แสดงข้อมูลความหนาแน่นของรถ	41
ตารางที่ 2.19 แสดงถึงเปอร์เซ็นต์รถเฉลี่ยของถนนแต่ละสายในระยะเวลา 10 วัน และช่วงเวลาต่าง ๆ	41
ตารางที่ 2.20 แสดงค่าการกระจายตัวของถนนในแต่ละสาย(ภาคผนวก ก)	42
ตารางที่ 2.21 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของรถเคลื่อนที่ของรถแต่ละชนิดของถนน 3 สาย	43
ตารางที่ 2.22 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของรถเคลื่อนที่ของรถแต่ละชนิดของข้อมูลของถนน 3 สายในเส้นทางเลี้ยวและเส้นทางตรง	43

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 2.23 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของจำนวนรถของถนนแต่ละสาย	44
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย ( $\Delta$ AWT) และผลต่าง ของจำนวนการรอคอย ( $\Delta$ NOQ)	50
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย ( $\Delta$ AWT) และผลต่างจำนวน การรอคอย ( $\Delta$ NOQ) ของ OUPRCC ส่วนหน้า	53
ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย ( $\Delta$ AWT) และผลต่างของจำนวน การรอคอย ( $\Delta$ NOQ) ของ OUPRCC ส่วนมุม	54
ตารางที่ 3.4 Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ AWT	56
ตารางที่ 3.5 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ NOQ	58
ตารางที่ 3.6 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ AWT	59
ตารางที่ 3.7 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ NOQ	61
ตารางที่ 3.8 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ AWT	62
ตารางที่ 3.9 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ NOQ	64
ตารางที่ 3.10 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ AWT	65
ตารางที่ 3.11 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ NOQ	67
ตารางที่ 3.12 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ AWT	68
ตารางที่ 3.13 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ NOQ	70
ตารางที่ 3.14 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ AWT	71
ตารางที่ 3.15 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ NOQ	73
ตารางที่ 3.16 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ AWT	74
ตารางที่ 3.17 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ NOQ	76
ตารางที่ 3.18 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ AWT	77
ตารางที่ 3.19 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ NOQ	79
ตารางที่ 3.20 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ AWT	80
ตารางที่ 3.21 ตาราง Steepest Decent Experiment ของ $\Delta$ NOQ	82
ตารางที่ 4.1 แสดงการกำหนด Level ที่จะใช้ในการกำหนดค่า	83
ตารางที่ 4.2 แสดงผลที่ได้จากการ RUN โปรแกรมการออกแบบการทดลอง $L_9$ เป็นค่า AWTเฉลี่ยและ NOQ เฉลี่ย ของแต่ละแยก	87
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าของ AWT เฉลี่ยและ NOQ เฉลี่ย ที่มี Level ตรงกัน	88

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.4 แสดงผลที่ได้จากการ RUN โปรแกรมการออกแบบการทดลอง $L_9$ เป็นค่าเฉลี่ยของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) ของแต่ละแยก	89
ตารางที่ 4.5 แสดงผลที่ได้จากการรันโปรแกรมการออกแบบการทดลอง เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนการรอคอย (NOQ) ของแต่ละแยก	89
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ของ BBD แบบ Steepest Decent	97
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ของ BBD แบบ Steepest Ascent	98
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ของ OUPRCC ส่วนหน้า แบบ Steepest Decent	99
ตารางที่ 4.9 แสดงการออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ของ OUPRCC ส่วนหน้า แบบ Steepest Decent	100
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ของ OUPRCC ส่วนมุม แบบ Steepest Decent	101
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ของ OUPRCC ส่วนมุม แบบ Steepest Ascent	102
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองของผลลัพธ์ที่มีค่าน้อยที่สุดแต่ละรูปแบบการทดลอง ที่ตัวแปร X1	103
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองของผลลัพธ์ที่มีค่าน้อยที่สุดแต่ละรูปแบบการทดลอง ที่ตัวแปร X2	103
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองของผลลัพธ์ที่มีค่าน้อยที่สุดแต่ละรูปแบบการทดลอง ที่ตัวแปร X3	104
ตารางที่ 4.15 ผลที่ได้จากการทดลอง ทำการหาค่าที่ดีที่สุดที่สุ่มจำนวน 5 ครั้ง	104
ตารางที่ 4.16 แสดงผลการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ของ BBD	105
ตารางที่ 4.17 แสดงการออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ของ OUPRCC ส่วนหน้า	106
ตารางที่ 4.18 แสดงการออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ของ OUPRCC ส่วนมุม	107

## สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าน้อยที่สุด แต่ละรูปแบบการทดลอง และตัวแปร X1	109
ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าน้อยที่สุด แต่ละรูปแบบการทดลอง และตัวแปร X2	109
ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าน้อยที่สุด แต่ละรูปแบบการทดลอง และตัวแปร X3	110
ตารางที่ 4.22 ผลที่ได้จากการทดลอง ทำการหาค่าที่จุดที่ดีที่สุดจำนวน 5 ครั้ง	110
ตารางที่ 5.1 ความแตกต่างทางรูปแบบการออกแบบการทดลองทั้ง 3 รูปแบบ	113



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ $2^3$	15
รูปที่ 2.2 การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบ $3^2$	19
รูปที่ 2.3 การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบ $3^3$	20
รูปที่ 2.4 การตอบสนองที่พื้นผิวในรูปของกราฟ	23
รูปที่ 2.5 Orthogonal and Uniform-Precision Rotatable Central Composite Designs (OUPRCC) ส่วนหน้า	30
รูปที่ 2.6 Orthogonal and Uniform-Precision Rotatable Central Composite Designs (OUPRCC) ส่วนมุม	31
รูปที่ 2.7 การออกแบบวิธีมีเท่ากันสำหรับ 2 ตัวแปร (a) ทกเหลี่ยม (b) ห้าเหลี่ยม	34
รูปที่ 2.8 แสดงทางแยกที่จะศึกษาการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร	39
รูปที่ 2.9 แสดงรูปแบบในการเดินรถชนิดต่างๆที่ผ่านเข้ามาในแต่ละแยก	39
รูปที่ 3.1 แสดงการบันทึกค่าผลต่างของเวลารอคอยเฉลี่ย ( $\Delta$ AWT) และผลต่างของจำนวนการรอคอย ( $\Delta$ NOQ) ลงในโปรแกรม Minitab	51
รูปที่ 3.2 แสดงการเลือกหน้าต่างในโปรแกรม Minitab	51
รูปที่ 3.3 แสดงการเลือกเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT)	52
รูปที่ 3.4 แสดงการเลือกจำนวนการรอคอย (NOQ)	52
รูปที่ 4.1 แสดงการบันทึกค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ลงในโปรแกรม Minitab	84
รูปที่ 4.2 แสดงการเลือกหน้าต่างในโปรแกรม Minitab	85
รูปที่ 4.3 แสดงการเลือกเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT)	85
รูปที่ 4.4 แสดงการเลือกจำนวนการรอคอย (NOQ)	86
รูปที่ 4.5 แสดงการบันทึกค่าของเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ลงในโปรแกรม Minitab	91
รูปที่ 4.6 แสดงการเลือกหัวข้อในโปรแกรม Minitab	91
รูปที่ 4.7 แสดงการเลือกเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT)	92
รูปที่ 4.8 แสดงการเลือกจำนวนการรอคอย (NOQ)	92
รูปที่ 4.9 แสดงการบันทึกค่าเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT) และจำนวนการรอคอย (NOQ) ที่มี Level ตรงกับที่กำหนดไว้	93
รูปที่ 4.10 แสดงการเลือกหัวข้อในโปรแกรม Minitab	94

## สารบัญรูป(ต่อ)

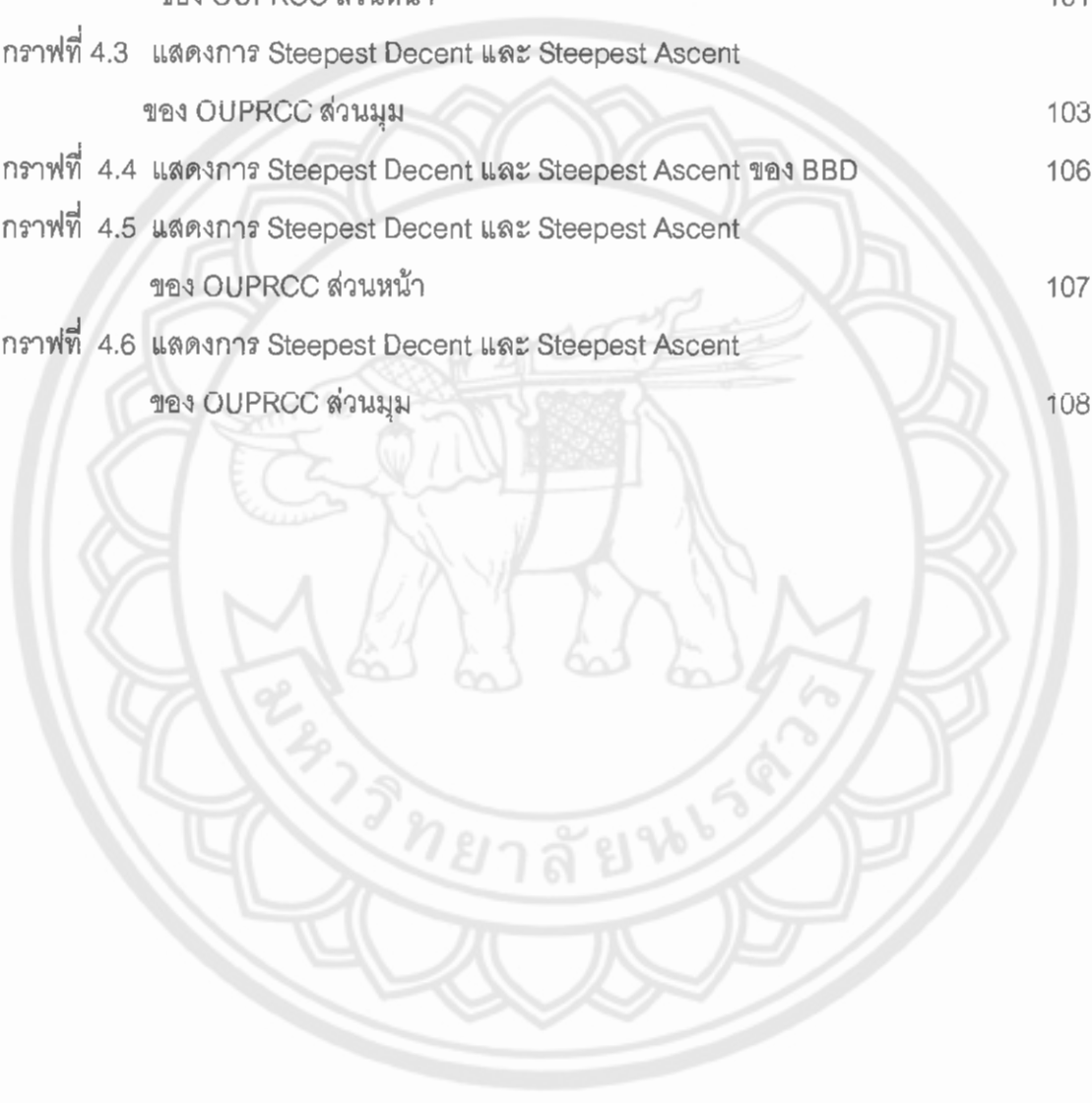
	หน้า
รูปที่ 4.11 แสดงการเลือกเวลารอคอยเฉลี่ย (AWT)	94
รูปที่ 4.12 แสดงการเลือกจำนวนการรอคอย (NOQ)	95
รูปที่ 4.13 แสดงการ Plot กราฟ ของ Main Effect ของ AWT	95
รูปที่ 4.14 แสดงการ Plot กราฟ ของ Main Effect ของ NOQ	96





## สารบัญกราฟ

	หน้า
กราฟที่ 2.1 แสดงภาพตัวอย่างของการ Plot กราฟ	11
กราฟที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอนการหาค่าในพื้นที่ที่ชันที่สุดกับจุด Yield	28
กราฟที่ 4.1 แสดงการ Steepest Decent และ Steepest Ascent ของ BBD	99
กราฟที่ 4.2 แสดงการ Steepest Decent และ Steepest Ascent ของ OUPRCC ส่วนหน้า	101
กราฟที่ 4.3 แสดงการ Steepest Decent และ Steepest Ascent ของ OUPRCC ส่วนมุม	103
กราฟที่ 4.4 แสดงการ Steepest Decent และ Steepest Ascent ของ BBD	106
กราฟที่ 4.5 แสดงการ Steepest Decent และ Steepest Ascent ของ OUPRCC ส่วนหน้า	107
กราฟที่ 4.6 แสดงการ Steepest Decent และ Steepest Ascent ของ OUPRCC ส่วนมุม	108



สารบัญสูตร

หน้า

สูตรที่ 1  $SN_T = 10 \log \left( \frac{y^2}{S^2} \right)^{-2}$  10

สูตรที่ 2  $SN_L = -10 \log \left( \frac{1}{n \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}} \right)$  11

สูตรที่ 3  $SN_S = -10 \log \left( \frac{1}{n \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}} \right)$  11

สูตรที่ 4  $Y = f(x_1, x_2) + \mathcal{E}$  22

สูตรที่ 5  $\Delta = f(x_1, x_2)$  22

สูตรที่ 6  $Y = \beta_0 + \beta_{1x_1} + \beta_{2x_2} + \dots + \beta_{kx_k} + \varepsilon$  23

สูตรที่ 7  $Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j < i} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$  23

สูตรที่ 8  $\hat{y} = \hat{B} + \sum_{i=1}^k \hat{B}_i X_i$  24

สูตรที่ 9  $\Delta X_i = \frac{\hat{\beta}_i}{\hat{\beta}_i / \Delta X_i} \quad i=1, 2, 3, \dots, k; \quad i \Delta j$  24

สูตรที่ 10  $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j < i} \hat{\beta}_{ij} x_i x_j$  25

สูตรที่ 11  $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + x'b + x'Bx$  25

สูตรที่ 12  $x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_k \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \dots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \quad \text{และ } B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11}, \hat{\beta}_{12}/2, \dots, \hat{\beta}_{1k}/2 \end{bmatrix}$  25

สูตรที่ 13  $\frac{\partial \hat{y}}{\partial x} = b + 2Bx = 0$  26

สูตรที่ 14  $x_0 = -\frac{1}{2} B^{-1}b$  26

สารบัญสูตร(ต่อ)

	หน้า
สูตรที่ 15 $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \frac{1}{2} x'_0 b$	26
สูตรที่ 16 $\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(X_i - np_i)^2}{np_i}$	37
สูตรที่ 17 $\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(X_i - np_i)^2}{np_i}$ $= \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$	37
สูตรที่ 18 $\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$	37
สูตรที่ 19 $\Delta AWT =  AWT (NK) - AWT (PL)  +  AWT (NK) - AWT (NU)  +$ $ AWT (PL) - AWT (NU) $	45
สูตรที่ 20 $\Delta NOQ =  NOQ (NK) - NOQ (PL)  +  NOQ (NK) - NOQ (NU)  +$ $ NOQ (PL) - NOQ (NU) $	45
สูตรที่ 21 $AWT = 0.005 + 9.89 NK - 9.14 PL + 10.6 NU$	53
สูตรที่ 22 $NOQ = 1.32 - 1.154 NK - 0.919 PL + 0.585 NU$	53
สูตรที่ 23 $AWT = -0.107 + 10.95 NK - 9.83 PL + 10.2 NU$	54
สูตรที่ 24 $NOQ = 1.13 + 0.997 NK - 0.592 PL + 0.614 NU$	54
สูตรที่ 25 $AWT = -0.289 + 11.1 NK - 9.41 PL + 9.73 NU$	55
สูตรที่ 26 $NOQ = 1.12 + 0.995 NK - 0.479 PL + 0.553 NU$	55
สูตรที่ 27 $\Delta X_i - \frac{\hat{\beta}_i}{\hat{\beta}_i / \Delta X_i} \quad i=1, 2, 3, \dots k;  \Delta $	55