



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลในระบบที่มีความซับซ้อนอย่างรวดเร็ว
โดยใช้การทดลองโดเมนความถี่ประยุกต์

Rapid Identification of Significant Factors in Complex System
Using Applied Frequency Domain Experiments

นามผู้วิจัย นายวฐา มินแสน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์พรเทพ อนุสรณินดีสาร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนันต์ มั่งวัฒนา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลในระบบที่มีความซับซ้อนอย่างรวดเร็ว
โดยใช้การทดลองโดเมนความถี่ประยุกต์

Rapid Identification of Significant Factors in Complex System
Using Applied Frequency Domain Experiments

โดย

นายวฐา มินเสน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วฐา มินเสน 2554: การระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลในระบบที่มีความซับซ้อนอย่างรวดเร็วโดยใช้การทดลองโดเมนความถี่ประยุกต์ ปรินญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์พรเทพ อนุสรณิศาร, Ph.D. 288 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีโดเมนความถี่ประยุกต์ว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการคัดเลือกปัจจัยในระบบการผลิต โดยได้นำวิธีนี้ไปเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ซึ่งวิธีการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีโดเมนความถี่ประยุกต์จะใช้จำนวนการดำเนินงานในการจำลองสถานการณ์เพื่อคัดเลือกปัจจัยน้อยกว่าการใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดยสามารถคัดเลือกปัจจัยที่เป็นผลกระทบหลัก อันตรกิริยาของปัจจัย และผลกระทบของพหุนามกำลัง 2 ต่อตัวแปรตอบสนองได้

เพื่ออธิบายวิธีโดเมนความถี่ประยุกต์ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน พิจารณาจากปัจจัยเข้าคือ 1) ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง 2) ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง และ 3) ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องผสมอยู่ด้วยกันอยู่ในระบบ โดยสร้างแบบจำลองสถานการณ์การผลิตแบบสายการประกอบ และการผลิตแบบตามงาน ในสองส่วนแรกแบ่งประเด็นการศึกษาหลักออกเป็น 4 สถานการณ์คือ 1) ผลกระทบหลัก 2) การเรียงอันดับผลกระทบหลัก 2 ปัจจัย 3) การเรียงอันดับผลกระทบหลัก 3 ปัจจัยและ 4) การเรียงอันดับผลกระทบหลักร่วมกับปัจจัยภายนอก และในส่วนที่สามแบ่งประเด็นการศึกษาหลักออกเป็น 2 สถานการณ์คือ 1) ผลกระทบหลัก และ 2) การเรียงอันดับผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอก

จากผลการศึกษาเชิงเปรียบเทียบของงานวิจัยนี้ วิธีการที่นำเสนอสามารถคัดเลือกปัจจัยได้อย่างถูกต้องเรียงอันดับตรงกันเกือบทั้งหมดกับวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k นอกจากนี้ในการทดลองที่มีจำนวนตัวแปรเข้า 20 ตัวแปร วิธีโดเมนความถี่ประยุกต์สามารถคัดเลือกปัจจัยหลักได้อย่างถูกต้อง และตรวจสอบอันตรกิริยาของปัจจัย และผลกระทบของพหุนามกำลัง 2 ต่อตัวแปรตอบสนองได้ โดยทำการดำเนินงานจำลองสถานการณ์เพียง 1,558 รอบ

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Watha Minsan 2011: Rapid Identification of Significant Factors in Complex System Using Applied Frequency Domain Experiments. Doctor of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Mr. Pornthep Anssornnitisarn, Ph.D. 288 pages.

This research presents applied frequency domain experiments as an effective method for screening factors of production. We compared the applied frequency domain experiments method with a 2^k factorial design and found that they require lower numbers of simulation runs than the 2^k factorial design. These experiments can be used for selecting main effect factors, interaction effect of factors and quadratic polynomial effect on responses.

To explain the method of applied frequency domain experiments, we designed a three-part experiment based on the following input factors 1) continuous input variables, 2) discrete input variables and 3) a mixture of continuous and discrete input variables. Assembly line production simulation and job shop simulation were established. For the first two variables, four main aspects were studied: 1) main effect, 2) effect order of the two factors, 3) effect order of the three factors, and 4) effect order of the main factors and external factors. For the third or mixed variables, two main aspects were studied: 1) main effect and 2) the effect order of the main factors and external factors.

According to the comparative studies conducted in this research, applied frequency domain experiments can be used to select factors almost as effectively as the 2^k factorial design. The experiments used 20 input variables and the applied frequency domain experiments method is able to select all the right main factors. It can also be used to investigate interaction effects of factors, and quadratic polynomial effects on responses, by running only 1,558 simulations.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ดร. พรเทพ อนุสรณินิศสาร ประธานที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไขจน วิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์
ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล ที่กรุณาให้ความรู้
คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนการเรียนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธชัย บรรเทึงจิตร ที่กรุณาให้คำแนะนำ
เกี่ยวกับเนื้อหาเพื่อการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน
และมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขอขอบคุณ คุณปรารถนา มินเสน (คาราพงษ์) ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกๆ ด้าน และเป็น
กำลังใจด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณชฎานนท์ มินเสน และคุณสุพัตรา มินเสน (น้อยบุญลือ) ที่สนับสนุน
ทางการเงิน เป็นอย่างดีจึงจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณปิยะวัติ บางโม คุณสิริมาส ป้องจันลา และคุณชนพันธ์ คงทอง ที่สนับสนุน
การใช้งานโปรแกรม Arena เป็นอย่างดีจึงจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดาและขอขอบคุณ คุณธนาพร คู่หมั้น
ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และเป็นกำลังใจในการวิทยานิพนธ์นี้
จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

วฐา มินเสน

พฤษภาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(12)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(16)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	35
ผลและวิจารณ์	84
สรุปและข้อเสนอแนะ	107
สรุป	107
ข้อเสนอแนะ	111
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	113
ภาคผนวก	120
ภาคผนวก ก วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k กับวิธี AFDE	121
ภาคผนวก ข ความถี่ของ ผลกระทบหลัก อันตรกิริยา และพหุนามลำดับที่ 2 ของปัจจัย	268
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	288

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การออกแบบการทดลอง 2^k	21
2	เครื่องหมายทางพีชคณิตสำหรับการคำนวณผลในการออกแบบ 2^k	26
3	แสดงจำนวนการทำซ้ำเมื่อกำหนดให้สมการพหุนามเป็นกำลังสอง	48
4	จำนวนการทำซ้ำเมื่อกำหนดให้สมการพหุนามเป็นกำลังสาม	49
5	จำนวนการทดลองวิธี AFDE เปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k	58
6	จำนวนการทดลองในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง	59
7	การลำดับเข้าสถานีการผลิตของระบบการผลิตแบบตามงาน	64
8	ปัจจัยเข้าและผลตอบสนองในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง	65
9	ค่าพารามิเตอร์ของ AFDE ในการทดลองปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง	68
10	จำนวนการทดลองในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง	70
11	ปัจจัยเข้าและผลตอบสนองในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง	74
12	ค่าพารามิเตอร์ของ AFDE ในการทดลองปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง	77
13	จำนวนการทดลองในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง	79
14	ปัจจัยเข้าและผลตอบสนองในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง	81
15	ค่าพารามิเตอร์ของ AFDE ในการทดลองปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องผสมอยู่ด้วยกันอยู่ในระบบ	83
16	ผลการคัดเลือกปัจจัยเรียงตามอันดับสถานีคอขวด โดยปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	84
17	ผลการคัดเลือกปัจจัยเรียงตามอันดับสถานีคอขวด โดยปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องในระบบการผลิตแบบตามงาน	89
18	ผลการคัดเลือกปัจจัยเรียงตามอันดับสถานีคอขวด โดยปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่องในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	93
19	ผลการคัดเลือกปัจจัยเรียงตามอันดับสถานีคอขวด โดยปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่องในระบบการผลิตแบบตามงาน	98

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	ผลการคัดเลือกปัจจัยเรียงตามอันดับสถานีคอกขวด โดยปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	102
21	ผลการคัดเลือกปัจจัยเรียงตามอันดับสถานีคอกขวด โดยปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องในระบบการผลิตแบบตามงาน	104
22	การเปรียบเทียบเทคนิค AFDE กับ การทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ^k	111
ตารางผนวกที่		
ก1	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด	122
ก2	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานีที่ 3 และ 1 เป็นสถานีคอกขวด	123
ก3	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด	123
ก4	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 3* เป็นสถานีคอกขวด	124
ก5	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานีที่ 1 เป็นสถานีคอกขวด	126
ก6	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานีที่ 2 และ 1 เป็นสถานีคอกขวด	127
ก7	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 3 และ 4 เป็นสถานีคอกขวด	128
ก8	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 3 และ 4* เป็นสถานีคอกขวด	129
ก9	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานีที่ 4 เป็นสถานีคอกขวด	131

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก10	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 4 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด	132
ก11	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 4, 2 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด	133
ก12	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 4, 2 และ 5* เป็นสถานีคอกขวด	134
ก13	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 5 เป็นสถานีคอกขวด	136
ก14	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 1 และ 6 เป็นสถานีคอกขวด	137
ก15	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 2, 3 และ 1 เป็นสถานีคอกขวด	138
ก16	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 2, 3 และ 1* เป็นสถานีคอกขวด	139
ก17	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 2 เป็นสถานีคอกขวด	141
ก18	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 6 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด	142
ก19	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 1, 4 และ 2 เป็นสถานีคอกขวด	143
ก20	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 1, 4 และ 2* เป็นสถานีคอกขวด	144
ก21	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 4 เป็นสถานีคอกขวด	146
ก22	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 5 และ 6 เป็นสถานีคอกขวด	148

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก23	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานีที่ 1, 6 และ 8 เป็นสถานีคอขวด	149
ก24	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานีที่ 1, 6 และ 8* เป็นสถานีคอขวด	150
ก25	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด	153
ก26	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 1 และ 2 เป็นสถานีคอขวด	154
ก27	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 3 และ 1 เป็นสถานีคอขวด	154
ก28	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 3 และ 1* เป็นสถานีคอขวด	155
ก29	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด	157
ก30	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 1 และ 2 เป็นสถานีคอขวด	158
ก31	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 4, 1 และ 3 เป็นสถานีคอขวด	159
ก32	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 4, 1 และ 3* เป็นสถานีคอขวด	160
ก33	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 4 เป็นสถานีคอขวด	162
ก34	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 5 และ 2 เป็นสถานีคอขวด	163
ก35	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 4 เป็นสถานีคอขวด	164

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก36 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 2, 1 และ 4* เป็นสถานีคอกขวด	165
ก37 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 5 เป็นสถานีคอกขวด	167
ก38 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 6 และ 2 เป็นสถานีคอกขวด	168
ก39 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 2, 1 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด	169
ก40 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 2, 1 และ 5* เป็นสถานีคอกขวด	170
ก41 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 5 เป็นสถานีคอกขวด	172
ก42 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 2 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด	173
ก43 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 3, 1 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด	174
ก44 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 3, 1 และ 5* เป็นสถานีคอกขวด	175
ก45 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 6 เป็นสถานีคอกขวด	177
ก46 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 8 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด	178
ก47 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 3, 6 และ 7 เป็นสถานีคอกขวด	180
ก48 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 3, 6 และ 7* เป็นสถานีคอกขวด	181

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก49 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 3 เป็นสถานีคอขวด	184
ก50 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 3 และ 1 เป็นสถานีคอขวด	185
ก51 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 2, 1 และ 3 เป็นสถานีคอขวด	185
ก52 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 2, 1 และ 3* เป็นสถานีคอขวด	186
ก53 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 4 เป็นสถานีคอขวด	188
ก54 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 3 และ 4 เป็นสถานีคอขวด	189
ก55 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 4, 1 และ 3 เป็นสถานีคอขวด	190
ก56 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 4, 1 และ 3* เป็นสถานีคอขวด	191
ก57 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 4 เป็นสถานีคอขวด	193
ก58 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 5 และ 2 เป็นสถานีคอขวด	194
ก59 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 1, 2 และ 4 เป็นสถานีคอขวด	195
ก60 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 1, 2 และ 4* เป็นสถานีคอขวด	196
ก61 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานที่ 4 เป็นสถานีคอขวด	198

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก62 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 6 และ 5 เป็นสถานีคอขวด	199
ก63 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 1, 6 และ 5 เป็นสถานีคอขวด	200
ก64 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 1, 6 และ 5* เป็นสถานีคอขวด	201
ก65 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด	203
ก66 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 4 และ 5 เป็นสถานีคอขวด	204
ก67 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 3, 4 และ 5 เป็นสถานีคอขวด	205
ก68 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 3, 4 และ 5* เป็นสถานีคอขวด	206
ก69 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 6 เป็นสถานีคอขวด	208
ก70 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 1 และ 5 เป็นสถานีคอขวด	209
ก71 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 3, 1 และ 6 เป็นสถานีคอขวด	211
ก72 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 3, 1 และ 6* เป็นสถานีคอขวด	212
ก73 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อกำหนดสถานีที่ 1 เป็นสถานีคอขวด	215
ก74 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อกำหนดสถานีที่ 1 และ 3 เป็นสถานีคอขวด	216

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก75 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 2, 1 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด	216
ก76 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 2, 1 และ 3* เป็นสถานีคอกขวด	217
ก77 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด	219
ก78 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 1 และ 4 เป็นสถานีคอกขวด	220
ก79 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 4, 1 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด	221
ก80 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 4, 1 และ 3* เป็นสถานีคอกขวด	222
ก81 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด	224
ก82 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 1 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด	225
ก83 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 5, 4 และ 1 เป็นสถานีคอกขวด	226
ก84 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 5, 4 และ 1* เป็นสถานีคอกขวด	227
ก85 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด	229
ก86 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 1 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด	230
ก87 การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 3, 6 และ 1 เป็นสถานีคอกขวด	231

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก88	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 3, 6 และ 1* เป็นสถานีคอขวด	232
ก89	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด	234
ก90	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 3 และ 7 เป็นสถานีคอขวด	235
ก91	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 4, 7 และ 3 เป็นสถานีคอขวด	236
ก92	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 4, 7 และ 3* เป็นสถานีคอขวด	237
ก93	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด	239
ก94	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 2 และ 4 เป็นสถานีคอขวด	241
ก95	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 5 และ 4 เป็นสถานีคอขวด	242
ก96	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 5 และ 4* เป็นสถานีคอขวด	243
ก97	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการ ประกอบเมื่อกำหนดทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด	246
ก98	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการ ประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 2 เป็นสถานีคอขวด	247
ก99	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการ ประกอบเมื่อกำหนดทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด	249
ก100	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการ ประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด	250

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก101	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด	252
ก102	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 1 เป็นสถานีคอขวด	253
ก103	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อกำหนดทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด	257
ก104	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อกำหนดสถานีที่ 2 เป็นสถานีคอขวด	258
ก105	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อกำหนดทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด	260
ก106	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อกำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด	261
ก107	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อกำหนดทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด	263
ก108	การทดลอง 2 ^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อกำหนดสถานีที่ 1 เป็นสถานีคอขวด	264
ข1	ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 2 ปัจจัย	269
ข2	ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 3 ปัจจัย	269
ข3	ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 4 ปัจจัย	270
ข4	ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 5 ปัจจัย	271
ข5	ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 6 ปัจจัย	272
ข6	ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 7 ปัจจัย	273
ข7	ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 8 ปัจจัย	275
ข8	ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 20 ปัจจัย	277

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล	13
2	เทคนิคการแยกสองทางตามลำดับ	17
3	การทดลองโดเมนความถี่	19
4	การทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบ 2^k	22
5	การทดลอง FDE	33
6	แผนภูมิการไหล AFDE	39
7	ระเบียบวิธีการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ทั่วไป (General Simulation Methodology)	40
8	แสดงความสัมพันธ์แบบเลขชี้กำลัง 2 จำนวนการดำเนินงานกับจำนวนปัจจัย เมื่อพิจารณาเทอมพหุนามกำลังสอง	46
9	การทดลอง AFDE	50
10	แสดง $y(t)$ ที่อยู่ในโดเมนเวลา	54
11	แสดงสเปกตรัมของผลตอบสนอง $y(t)$	54
12	แผนการศึกษา	56
13	ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ จำนวน 8 สถานี	62
14	ระบบการผลิตแบบตามงาน จำนวน 3 สถานี	62
15	การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่า Partial Eta ² ในการทดลอง 2^k ที่มีปัจจัยเข้า 5 ปัจจัย	87
16	การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่าสเปกตรัมในการทดลอง AFDE ที่มีปัจจัยเข้า 5 ปัจจัย	87
17	การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่า Partial Eta ² ในการทดลอง 2^k ที่มีปัจจัยเข้า 7 ปัจจัย	88
18	การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่าสเปกตรัมในการทดลอง AFDE ที่มีปัจจัยเข้า 7 ปัจจัย	88
19	การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่า Partial Eta ² ในการทดลอง 2^k ที่มีปัจจัยเข้า 6 ปัจจัย	96

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่าสเปกตรัมในการทดลอง AFDE ที่มีปัจจัยเข้า 6 ปัจจัย	96
21	การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่า Partial Eta ² ในการทดลอง 2 ^k ที่มีปัจจัยเข้า 7 ปัจจัย	97
22	การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่าสเปกตรัมในการทดลอง AFDE ที่มีปัจจัยเข้า 7 ปัจจัย	97
23	(ก) แสดงจำนวนการทำซ้ำการดำเนินงานระหว่าง AFDE และ 2 ^k ในจำนวนปัจจัย 2 – 6 ปัจจัย (ข) แสดงจำนวนการทำซ้ำการดำเนินงานระหว่าง AFDE และ 2 ^k ในจำนวนปัจจัย 2 – 20 ปัจจัย	108
ภาพผนวกที่		
ก1	การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	125
ก2	การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	130
ก3	การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	135
ก4	การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	140
ก5	การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	145
ก6	การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	151
ก7	การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 20 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	152

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก8 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	156
ก9 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	161
ก10 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	166
ก11 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	171
ก12 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	176
ก13 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	182
ก14 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 20 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	183
ก15 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	187
ก16 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	192
ก17 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	197
ก18 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	202
ก19 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	207
ก20 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	213
ก21 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 20 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	214
ก22 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	218
ก23 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	223
ก24 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	228
ก25 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	233
ก26 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	238
ก27 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	244

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก28 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 20 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	245
ก29 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	248
ก30 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	251
ก31 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	255
ก32 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 20 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ	256
ก33 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	259
ก34 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	262
ก35 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	266
ก36 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 20 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน	267

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

*	=	เป็นการกำหนดให้สถานีการผลิตมีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก เช่น 4* หมายถึง สถานีการผลิตที่ 4 เป็นสถานีที่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก
3**	=	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองในอันดับที่ 3 มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก
4**	=	การทดลองที่มีจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยและมีปัจจัยหลัก 1 ตัว ที่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก
6**	=	การทดลองที่มีจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยและมีปัจจัยหลัก 1 ตัว ที่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก
8**	=	การทดลองที่มีจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยและมีปัจจัยหลัก 1 ตัว ที่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก
20**	=	การทดลองที่มีจำนวนปัจจัย 20 ปัจจัยและมีปัจจัยหลัก 1 ตัว ที่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก
2 ^k	=	การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ^k
ACO	=	อัลกอริทึมการหาค่าเหมาะที่สุดอาณานิคมของมด
AFDE	=	การทดลองโดเมนความถี่ประยุกต์
ANN	=	โครงข่ายนิเวรอนเทียมอัลกอริทึม
CSB	=	การแยกสองทางตามลำดับถูกควบคุม
df	=	ระดับขั้นความเสรี
FDE	=	การทดลองโดเมนความถี่
GA	=	อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม
MCS _t	=	เครื่องจักรของสถานีการผลิต เช่น MCS _t 1 คือ เครื่องจักรของสถานีการผลิตที่ 1
Number Out	=	ตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ของระบบการผลิตที่พิจารณา
PSt	=	เวลาการผลิตของสถานีการผลิตเช่น PSt 1 คือ เวลาการผลิตของสถานีการผลิตที่ 1
RSM	=	วิธีการพื้นผิวผลตอบ
R&S	=	วิธีเขตไม่แตกต่างการเรียงอันดับและการคัดเลือก

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

SA	=	วิธีการจำลองสถานการณ์แอนนิลลิ่ง
SB	=	การแยกสองทางตามลำดับ
SDD	=	การวางแผนการทดลองแบบซูเปอร์เซ็ดทูเรตเตด
Sig.	=	ระดับนัยสำคัญของค่าสถิติที่ถูกทดสอบมีความหมายเช่นเดียวกับค่า P-Value (Probability Value) ในทางสถิติ และค่านี้นำไปเปรียบเทียบกับค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ยอมรับ สมมติฐาน H_1 ในการทดสอบทางสถิติ
St	=	สถานีการผลิต
StA	=	การประมาณเฟ้นสุ่ม
TS	=	วิธีการสืบค้นแบบทาบู
TSP	=	ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

การระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลในระบบที่มีความซับซ้อนอย่างรวดเร็ว โดยใช้การทดลองโดเมนความถี่ประยุกต์

Rapid Identification of Significant Factors in Complex System Using Applied Frequency Domain Experiments

คำนำ

การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้นในปัจจุบัน และกลายมาเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งของการวิจัยการดำเนินงาน เนื่องจากการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนจำนวนปัจจัย หรือปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่ศึกษาได้โดยไม่ต้องไปทำในระบบจริง ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์สามารถนำไปใช้ตัดสินใจดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งก่อนเพื่อนำไปใช้ปฏิบัติจริงได้ (Banks *et al.*, 2005) นอกจากนี้ Ranvindran *et al.* (1987) ได้ให้ความหมายของการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ไว้ว่า เทคนิคเชิงตัวเลขสำหรับการดำเนินการทดลองในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบดิจิทัลซึ่งเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์เชิงตรรกะและคณิตศาสตร์ที่มีปฏิสัมพันธ์ในการอธิบายพฤติกรรมของระบบในช่วงเวลาที่ศึกษา

นอกจากนี้การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์สามารถมาใช้ร่วมกับการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization) เนื่องจากปัญหาที่มีความซับซ้อน รูปแบบความสัมพันธ์ของผลตอบแทนและปัจจัยเข้ายากที่จะพัฒนาชุดสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายปัญหาของระบบเหล่านั้น ทำให้เป็นการยากที่จะหาคำตอบโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เช่น โปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) เป็นต้น หรือปัญหามีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Programming) ดังนั้นเทคนิคการจำลองสถานการณ์เพื่อการหาค่าเหมาะที่สุด (Simulation Optimization) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้และเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตามระบบงานที่มีความซับซ้อนมากดังเช่นระบบการผลิตแบบตามงาน (Job Shop) ถ้าใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยตรงเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของระบบ พบว่ามีการค้นหาค่าที่เหมาะสมของระบบใช้เวลาประมวลผลนานกว่าจะได้คำตอบที่ต้องการ เนื่องจากในระบบงานที่ซับซ้อนมาก การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ต้องมีจำนวนปัจจัย (Factor) ที่

เกี่ยวข้องกับจำนวนมาก การค้นหาคำตอบในพื้นที่แก้ปัญหา (Solution Space) จึงต้องการค้นหาที่ใช้เวลานาน

ระบบงานที่มีความซับซ้อน และมีปัจจัยอยู่ในระบบเป็นจำนวนมาก ปัจจัยเหล่านั้นอาจมีเพียงปัจจัยสำคัญไม่กี่ตัวที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง (Response) ดังนั้นการหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองของระบบเพื่อลดขนาดของปัญหา จะทำให้ลดเวลาในการวิเคราะห์หรือหาคำตอบที่เหมาะสมของงานได้ และยังเพิ่มความสะดวกในการนำตัวแบบ (Model) ไปใช้ เนื่องจาก ระบบที่มีความซับซ้อนจะถูกลดขนาดความซับซ้อนลง ทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ โดยวิธีการดังกล่าวเรียกว่า การคัดเลือกปัจจัย (Factor Screening) (Trociene and Malone, 2001) ยกตัวอย่างเช่น ถ้าในระบบงานมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัยที่เป็นตัวแปรจำนวนเต็ม ที่มีค่า ระหว่าง 1 ถึง 10 พื้นที่แก้ปัญหาในกรณีนี้จะมีจำนวนทั้งสิ้น 10^3 หรือ 1,000 คำตอบที่เป็นไปได้ แต่ถ้ามีเพียง 2 ปัจจัย พื้นที่แก้ปัญหาจะมีจำนวนทั้งสิ้น 10^2 หรือ 100 คำตอบที่เป็นไปได้ เป็นต้น

วิธีทั่วไปในการคัดเลือกปัจจัยใช้เทคนิค การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) วิธีนี้จะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการทดลองจะพิจารณาถึงการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลอง เช่น Vinod and Sriharan (2008) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อหลักเกณฑ์การจัดกำหนดการ (Scheduling Rules) ในระบบการผลิตแบบตามงาน โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งทำการดำเนินงาน (Run) การจำลองสถานการณ์ทั้งสิ้น 2,160 รอบ จากจำนวน 4 ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ เวลาเฉลี่ยการเข้ามาของงาน 2 ระดับ วันถึงกำหนด 3 ระดับ เวลาการติดตั้งระบบสถานีเครื่องจักร 3 ระดับ และกำหนดหลักเกณฑ์การจัดกำหนดการอีก 12 ระดับ โดยทำการทดลองจำนวน 10 ซ้ำ

วิธีการ การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล นั้นได้พัฒนาอย่างแพร่หลายในงานวิจัย และใช้เป็นรากฐานของการออกแบบชนิดอื่นๆ ที่สำคัญมากในทางปฏิบัติ กรณีพิเศษของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ กรณีที่มีปัจจัยที่ต้องการศึกษาจำนวนมาก k ปัจจัย วิธีทั่วไปในการศึกษาคือ การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k (Two-Level Factorial) โดยเทคนิคนี้จะกำหนดระดับให้มีเพียง 2 ระดับ คือ “สูง” หรือ “ต่ำ” ของปัจจัยหนึ่งๆ ดังนั้นการใช้เทคนิคดังกล่าวนี้ในการค้นหาปัจจัยที่สำคัญต่อระบบในการทำการจำลองสถานการณ์ จำเป็นต้องดำเนินการจำลองสถานการณ์หลายครั้ง เช่น ถ้ามีจำนวนปัจจัย 20 ปัจจัย จะต้องดำเนินการจำลองสถานการณ์จำนวน $2^{20} = 1,048,576$ รอบ และในแต่ละการดำเนินการจำลองสถานการณ์ถ้าทำซ้ำ 30 รอบ ก็จะพบว่าต้องดำเนินการจำลองสถานการณ์จำนวน

ทั้งสิ้น 31,457,280 รอบ จำนวนรอบการจำลองสถานการณ์ก็จะเพิ่มขึ้นแบบเลขชี้กำลัง (Exponential) ตามจำนวนปัจจัยที่เพิ่มขึ้น จะเห็นว่าเป็นข้อเสียของวิธีการนี้ อย่างไรก็ตามก็มีผู้พยายามพัฒนาเทคนิคนี้ให้มีจำนวนการดำเนินงานน้อยที่สุด เช่น Tsao and Liu (2008) ได้พิจารณาจำนวนที่เหมาะสมของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ให้มีจำนวนการดำเนินงานที่น้อยที่สุด แต่ก็พบว่า การลดจำนวนดำเนินงานทำให้เกิดโอกาสข้ามปัจจัยที่สำคัญบางอย่างที่ควรจะศึกษา

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้เทคนิคการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีโดเมนความถี่ (Frequency Domain Experiments: FDE) ที่เริ่มพัฒนาจาก Schruben and Cogliano (1981) วิธีการนี้จะค้นหาปัจจัยแบบต่อเนื่องที่มีความสำคัญโดยทำการจำลองสถานการณ์เพียง 2-3 รอบ โดยไม่จำกัดจำนวนปัจจัยเข้าที่มีอยู่ของระบบปัญหา โดยการทดลองจะทำการจำลองสถานการณ์ซึ่งจะกำหนดให้ปัจจัยที่ศึกษาเป็นตัวแปรเข้า (Input Variables) ที่เป็นตัวแปรแบบต่อเนื่องแปรเปลี่ยนค่าได้แบบคลื่นไซน์ระหว่างการดำเนินงานการจำลองสถานการณ์ โดยที่แต่ละตัวแปรเข้าจะได้รับความถี่ขับ (Driving Frequency) แตกต่างกัน และถ้าตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) แปรเปลี่ยนไปโดยมีความสัมพันธ์กับตัวแปรเข้า ซึ่งสามารถตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรเข้าเหล่านั้นได้ด้วยการเปลี่ยนตัวแปรตอบสนอง จากโดเมนเวลาไปเป็นโดเมนความถี่ หลังจากนั้นตรวจสอบโดเมนความถี่ของตัวแปรตอบสนองกับความถี่ขับที่ตัวแปรเข้าได้รับ ถ้าตัวแปรเข้าที่มีอิทธิพลมากต่อตัวแปรตอบสนอง ความถี่ขับที่ตัวแปรเข้าได้รับที่ระดับความถี่นั้นจะเด่นกว่าความถี่อื่นๆ ในตัวแปรตอบสนอง และในทางกลับกัน ถ้าตัวแปรเข้าไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองความถี่ขับที่ตัวแปรเข้าได้รับ ความถี่นั้นจะไม่เด่น Minsan and Anussornnitisarn (2009) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีโดเมนความถี่ที่ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง โดยเสนอการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์แอนนีลิ่ง (Simulated Annealing; SA) ไปพร้อมกันกับการลดจำนวนปัจจัยเข้าที่เป็นตัวแปรแบบต่อเนื่องด้วยการใช้ประโยชน์ของวิธีโดเมนความถี่ ซึ่งวิธีนี้จะลดจำนวนการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ ถ้าปัญหาที่ศึกษามีปัจจัยที่ไม่สำคัญอยู่ในปัญหานั้นด้วย

งานวิจัยนี้จึงเสนอเทคนิค การออกแบบการทดลองโดเมนความถี่ประยุกต์ (Applied Frequency Domain Experiments; AFDE) การคัดเลือกปัจจัยที่มีความสำคัญต่อระบบทั้งที่เป็นแบบปัจจัยต่อเนื่อง และแบบไม่ต่อเนื่อง โดยนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตแบบสายการประกอบ (Assembly Line) และการผลิตแบบตามงาน (Job Shop) ที่มีระบบงานซับซ้อน โดยเทคนิคที่นำเสนอนี้จะคัดเลือกปัจจัยที่สำคัญต่อระบบได้เหมือนกันกับการใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แต่วิธีการ AFDE จะมีจำนวนครั้งการทดลองน้อยกว่า

วัตถุประสงค์

1. พัฒนาวิธีการคัดเลือกปัจจัยโดเมนความถี่เพื่อประยุกต์ใช้ในระบบการผลิตที่รองรับปัจจัยเข้าที่เป็นตัวแปรแบบต่อเนื่อง (Continuous Variables) และตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete Variables)
2. เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ความสามารถของวิธีการออกแบบการทดลอง โดเมนความถี่ประยุกต์ (Applied Frequency Domain Experiments) ที่ได้พัฒนากับกรณีศึกษาระบบกระบวนการผลิตแบบสายการประกอบ (Assembly Line) และระบบกระบวนการผลิตแบบตามงาน (Job Shop)
3. เพื่อเปรียบเทียบการประยุกต์ใช้แนวทางที่พัฒนาในการคัดเลือกปัจจัยสำคัญในระบบการผลิตกับวิธีการคัดเลือกปัจจัยที่นิยมใช้ทั่วไป (Conventional Factor Screening Method)
4. วิธีการคัดเลือกปัจจัยโดเมนความถี่ประยุกต์ สามารถคัดเลือกปัจจัยจำนวนมากในระบบได้ โดยวิธีการคัดเลือกปัจจัยที่นิยมใช้ทั่วไปไม่สามารถดำเนินการในเวลาที่กำหนด

การตรวจเอกสาร

การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Computer Simulation Optimization) มีเทคนิคด้วยกันหลายเทคนิค สามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน รูปแบบความสัมพันธ์ของผลตอบแทนและปัจจัยเข้ายากที่จะพัฒนาชุดสมการทางคณิตศาสตร์ หรือปัญหา มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง เป็นต้น ดังนั้นในประเด็นแรกของการตรวจเอกสารจะกล่าวถึงการ ทบทวนการจำลองสถานการณ์ และการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามการจำลองสถานการณ์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยตรงจากทุกปัจจัยเข้าทั้งหมดอาจทำให้เกิดปัญหาเรื่องเวลาการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ เนื่องจากจำนวนปัจจัยเข้ามีมากการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดก็ต้องใช้เวลานาน ดังนั้นการศึกษาวิธีการคัดเลือกปัจจัยเข้าที่มีความสำคัญต่อระบบ ปัญหาจึงเป็นประเด็นสำคัญที่จะทบทวนเอกสารเป็นประเด็นที่ 2 โดยจะอธิบายหลักการพื้นฐานของวิธีการคัดเลือกปัจจัยแบบต่างๆ ที่พัฒนามาถึงปัจจุบัน หลังจากนั้นจะทบทวนวิธีการคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สุดของการคัดเลือกปัจจัย และมีความน่าเชื่อถือในการคัดเลือกปัจจัยมากที่สุด เหมาะสมสำหรับการนำมาเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ที่พัฒนาขึ้นมา และ สุดท้ายจะกล่าวถึงวิธีการออกแบบการทดลองโดเมนความถี่ ที่เป็นวิธีคัดเลือกปัจจัยที่ลดจำนวนครั้งการดำเนินงานลงอย่างมาก และผู้วิจัยจะนำวิธีการนี้ไปพัฒนาประยุกต์ใช้ในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และตามงานที่จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป ประเด็นทั้ง 4 ที่กล่าวถึงมีรายละเอียดดังนี้

1. การจำลองสถานการณ์ และการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

1.1. การจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการจำลอง หรือเลียนแบบการทำงาน กระบวนการทำงานที่มีอยู่จริงหรือที่คาดว่าจะจริงด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษา และหาข้อสรุปของลักษณะ หรือขั้นตอนการทำงาน ตัวแบบจำลองจะถูกสร้าง โดยอาศัยโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบันการจำลองสถานการณ์มีการใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถนำไปใช้ในการศึกษา วางแผนและประเมินผลกระทบต่างๆ ทำให้สามารถศึกษาพฤติกรรมของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำข้อมูลที่ได้มาช่วยในการตัดสินใจในระบบการทำงานที่มีความซับซ้อน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ในงานอุตสาหกรรม อาทิเช่น อุตสาหกรรมการผลิต การจัดการโลจิสติกส์ และอุตสาหกรรมการให้บริการ เป็นต้น Shannon (1975) ให้คำจำกัดความว่า

การจำลองแบบปัญหาคือ กระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริงแล้ว ดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้ นโยบาย (Strategies) ต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้และ Banks (1998) ได้ให้คำจำกัดความการจำลองสถานการณ์หมายถึง สิ่งที่ลอกเลียนการปฏิบัติการของ กระบวนการจริงหรือระบบที่ทำงานผ่านมา การจำลองสถานการณ์ยังรวมไปถึงวิวัฒนาการของ ระบบและการสังเกตปัจจัยรบกวนที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการของระบบในระบบจริง

1.1.1. ข้อดี ข้อเสีย ของการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์

ข้อดีของการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์

- ก. ช่วยในการวางแผนและประเมินผลกระทบต่างๆอย่างมีประสิทธิภาพ
- ข. ช่วยในการพัฒนา/ปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น
- ค. ช่วยในการวิเคราะห์เพื่อเตรียมการแก้ปัญหาล่วงหน้า
- ง. ช่วยในการจัดการกับปัญหาได้หลากหลาย
- จ. ช่วยให้ออกแบบการใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า ประหยัดค่าใช้จ่าย ไม่ต้อง

สูญเสียทรัพยากรเกินความจำเป็น

ข้อเสียของการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์

ก. การศึกษาพฤติกรรมของระบบใช้เวลามากในการวางแผนการศึกษา เช่น การตัดสินใจเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องหรือไม่เกี่ยวข้อง สังเกตพฤติกรรมของระบบ เครื่องมือและวิธีในการรวบรวมข้อมูล เป็นต้น

ข. ต้องใช้ความรู้พื้นฐานทางด้านสถิติในการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้น

ค. ถ้าปัจจัยมีจำนวนมากแบบจำลองจะมีขนาดใหญ่ การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ก็จะทวนสอบ (Verify) และตรวจสอบความสมเหตุสมผล (Validate) ได้ยาก

1.1.2. ขั้นตอนกระบวนการจำลองสถานการณ์

ขั้นตอนของกระบวนการจำลองสถานการณ์มีลักษณะโดยทั่วไปดังนี้

- ก. การตั้งปัญหาและให้คำจำกัดความของระบบงาน
 - 1) เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบ
 - 2) การกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดต่างๆ
 - 3) วิธีการวัดผลของระบบงาน
- ข. การสร้างแบบจำลองสถานการณ์
 - ค. การจัดเตรียมข้อมูล เป็นการวิเคราะห์หาแหล่งเก็บข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองสถานการณ์ และจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่จะนำไปใช้งานกับแบบจำลองสถานการณ์ได้
 - ง. การทดสอบความถูกต้อง เป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้ผู้เขียนและผู้ใช้แบบจำลองมั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้นั้นสามารถใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้
 - จ. การออกแบบการทดลอง เป็นการออกแบบการทดลองที่นำมาให้แบบจำลองสามารถใช้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ตามที่ต้องการ
 - ฉ. การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง เป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไรจึงจะได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลเพียงพอ
 - ช. การดำเนินการทดลอง และรวบรวมข้อมูลจากผลการดำเนินการ
 - ซ. การตีความผลการทดลอง และตีความว่าระบบงานจริงมีปัญหาอย่างไร และแก้ปัญหาจะได้ผลอย่างไร
 - ฌ. การนำไปใช้งาน จากผลการทดลอง เลือกวิธีการที่จะแก้ปัญหาได้ดีที่สุดไปใช้กับระบบงานจริง
 - ญ. การจัดทำเป็นเอกสารการใช้งาน

1.2. การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

Fu (2001) ได้กล่าวไว้ว่า การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดคือการหาคำตอบที่จะทำให้ได้ผลลัพธ์ของระบบที่ดีที่สุด โดยผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นผลลัพธ์ที่ได้

จากการจำลองสถานการณ์ภายใต้สถานการณ์ของความน่าจะเป็น Ólafsson and Kim (2002) ได้จำแนกเทคนิคการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดออกเป็น 2 ประเภทคือ

1.2.1. การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ตัวแปรตัดสินใจชนิดต่อเนื่อง (Continuous Decision Variables)

เทคนิคที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่เทคนิคที่ใช้สำหรับหาค่าของตัวแปรตัดสินใจหรือแปรตอบสนอง มีลักษณะที่ไม่สามารถนับจำนวนได้ และมีจำนวนได้ไม่จำกัด เทคนิคนี้แบ่งออกได้ 2 กลุ่มดังนี้

ก. การประมาณเฟ้นสุ่ม (Stochastic Approximation; StA)

วิธีการนี้จะเป็นการหาคำตอบแบบทีละขั้นตอน จากการค้นหาคำตอบจุดหนึ่งไปยังคำตอบอีกจุดหนึ่ง ตามแนวการประมาณของเกรเดียนต์ (Gradient) โดยที่เกรเดียนต์ไม่จำเป็นต้องเขียนให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ ต้นแบบวิธีการนี้มีผู้นำเสนอใน 2 แบบคือ Robbins and Monro (1951) โดยใช้ชื่อว่า “Robbins–Monro algorithm” และ Kiefer and Wolfowitz (1952) โดยใช้ชื่อว่า “Kiefer–Wolfowitz algorithm”

ข. วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology; RSM)

เป็นวิธีที่รวบรวมเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ตัวแปรตอบสนองที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปรอิสระ วิธีการ RSM จะหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตอบสนอง และตัวแปรอิสระ โดยปกติจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังน้อย ที่อยู่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ซึ่งโดยทั่วไปจะเริ่มที่พหุนามกำลังหนึ่งเพื่อเป็นไปตามแนวทางที่มีการปรับปรุงผลลัพธ์มากที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อให้วิ่งไปใกล้จุดที่ดีที่สุดเร็วที่สุด และเมื่อพบอาณาเขตที่ดีที่สุดแล้ว จะออกแบบการทดลองที่พหุนามมากขึ้น เช่นพหุนามกำลังสองเพื่อวิ่งเข้าหาค่าที่เหมาะสมที่สุดต่อไป วิธีการ RSM เป็นที่นิยมอย่างสูง และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น Lee *et al.* (2005) ได้พัฒนาวิธีการ RSM ให้สามารถหาคำตอบกรณีที่มีเป้าหมายมากกว่า 1 เป้าหมายได้

1.2.2. การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ตัวแปรตัดสินใจชนิดไม่ต่อเนื่อง (Discrete Decision Variables)

เทคนิคในกลุ่มนี้ ใช้หาคำตอบที่ปัญหามีพื้นที่แก้ไขปัญหายากจัด และสามารถนับจำนวนได้แน่นอน โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ในกรณีที่พื้นที่แก้ไขปัญหามีขนาดเล็ก และจำนวนที่นับได้จำนวนน้อย ซึ่งจะหาคำตอบด้วยการประเมินค่าผลลัพธ์ของทุกๆ คำตอบที่เป็นไปได้ แต่ในกรณีที่พื้นที่คำตอบมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถประเมินผลในทุกๆ คำตอบที่เป็นไปได้ จำเป็นต้องค้นหาคำตอบด้วยเทคนิคต่างๆ ดังนี้

ก. การคัดเลือกทางสถิติ (Statistical Selection)

สามารถนำไปหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในกรณีที่พื้นที่คำตอบขนาดใหญ่ มากนัก โดยมีเซตของคำตอบเป็นไปได้อย่างนี้

$$\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\} \quad (1)$$

โดย m เป็นจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้และมีค่าไม่มาก ทำให้มีความเป็นไปได้ในการที่จะประเมินค่าผลลัพธ์จากเซตของคำตอบเหล่านี้ได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามถ้าค่าพารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆ ของปัญหาเป็นค่าไม่แน่นอน วิธีหาคำตอบที่ดีที่สุดจะไม่สามารถประเมินทุกคำตอบได้ การหาคำตอบที่ดีที่สุดจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละคำตอบ โดยอยู่บนพื้นฐานสมมติฐานทางสถิติมาช่วยประเมินผล ซึ่งวิธีการเหล่านี้ได้แก่ การเลือกซัพเซต (Subset Selection) และเขตไม่แตกต่างการเรียงอันดับและการคัดเลือก (Indifference-zone Ranking and Selection; R&S) เป็นต้น (Henderson and Nelson, 2006)

ข. ค้นหาแบบสุ่ม (Random Search)

ในกรณีที่พื้นที่แก้ไขปัญหามีขนาดใหญ่มาก และเป็นไปไม่ได้ที่จะประเมินทางเลือก หรือคำตอบทุกๆ คำตอบในเซต การค้นหาแบบสุ่มจะถูกนำมาใช้เพื่อช่วยพิจารณากลุ่มของคำตอบที่เป็นไปได้ วิธีการนี้จะมีกระบวนการแบบที่ละขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนจะค้นหาคำตอบในพื้นที่แก้ไขปัญหา และจะย้ายจุดไปคำตอบใหม่ที่อยู่ใกล้เคียงกับคำตอบในปัจจุบันโดยการสุ่มและคาดว่าผลลัพธ์ที่ดีขึ้น (Rastrigin, 1963)

ก. เมทาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics)

วิธีนี้หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการทดลองกับค่าคำตอบที่เป็นไปได้หลายๆ ค่า โดยการพัฒนาวิธีการต่างๆ ที่มีแนวโน้มว่าจะนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วที่สุด วิธีการเมทาฮิวริสติกส์สามารถนำมาใช้กับเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์ Ólafsson and Kim (2002) ได้แนะนำไว้หลายๆ วิธี คือ อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm; GA) วิธีการสืบค้นแบบทาบู (Tabu Search; TS) การจำลองสถานการณ์แอนนิลลิ่ง (Simulated Annealing; SA) โครงข่ายนิวรอนเทียมอัลกอริทึม (Artificial Neural Network Algorithm; ANN) และอัลกอริทึมการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดอาณานิคมของมด (Ant Colony Optimization Algorithm; ACO) เป็นต้น ปกติแล้ววิธีการเหล่านี้ได้ถูกพัฒนาเพื่อนำมาใช้กับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ตัวแปรตัดสินใจมีหลายๆ ตัวแปร และเป็นปัญหาที่มีค่าพารามิเตอร์และผลตอบสนองของแต่ละคำตอบเป็นค่าที่แน่นอน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้สามารถที่จะนำมาใช้ได้กับตัวแปรที่เป็นค่าไม่แน่นอนเพื่อการทำการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

1) การจำลองสถานการณ์แอนนิลลิ่ง (Simulated Annealing; SA)

SA เป็นเทคนิคในการค้นหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจที่เริ่มต้นใช้ครั้งแรกโดย Kirkpatrick *et al.* (1983) และนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem; TSP) โดยมีลักษณะเด่นจากการเป็นเทคนิคที่มีอัลกอริทึมในการหาคำตอบที่ง่ายแต่มีประสิทธิภาพ แนวคิดพื้นฐานของวิธีการ SA นี้ได้ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ “Journal of Chemical Physics” โดย Metropolis *et al.* (1953) ซึ่งใช้อัลกอริทึมนี้จำลองการควบคุมการเย็นตัวของวัตถุในอ่างความร้อน ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่า แอนนิลลิ่ง เมื่อวัตถุถูกให้ความร้อนจนกระทั่งถึงจุดหลอมเหลวก็จะปล่อยให้วัตถุนั้นค่อยๆ เย็นตัวลง และจะทำให้วัตถุนั้นมีความแข็ง และโดยปกติถ้ายิ่งให้วัตถุเย็นตัวลงช้ามากเท่าไร ก็จะทำให้วัตถุนั้นมีความแข็งแรงมากขึ้นเท่านั้น โดยการเย็นตัวลงนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการทำให้วัตถุนั้นเย็นลง (Rate of Cooling) จากจุดเริ่มต้นนี้ Kirkpatrick *et al.* (1983) จึงได้นำมาใช้แก้ปัญหาการตัดสินใจเมื่อต้องการคำตอบเกี่ยวกับค่าต่ำสุดหรือค่าสูงสุดคำตอบที่หาได้ ณ ช่วงเวลาต่างๆ โดยวิธี SA นี้ จะค่อยๆ ลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดเหมือนในการทำให้วัตถุเย็นตัวลง อัลกอริทึมนี้ถูกสร้างสำหรับประยุกต์ใช้กับปัญหาทั่วไปและปัญหาที่มีส่วนประกอบของความไม่แน่นอน ซึ่งใช้ทฤษฎีการลู่เข้าสู่คำตอบ

2) วิธีการสืบค้นแบบทาบ (Tabu Search; TS)

Glover (1989, 1990) เป็นผู้นำเสนอเทคนิค TS เป็นคนแรกในวารสาร “Journal on Computing” แนวคิดสำคัญของวิธีการหาคำตอบของ TS คือ การเพิ่มความฉลาดโดยใช้ความทรงจำของคอมพิวเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้อง คอมพิวเตอร์จะทำการเรียนรู้จากทาบรอบในการทำหาคำตอบครั้งที่ผ่านมา การทำเช่นนี้วิธีการ TS จึงสามารถป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาจุดเหมาะสมที่สุดเฉพาะแห่ง (Local Optimal Point) เกิดขึ้น

3) อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm; GA)

GA ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกโดย John Holland (1975) โดยแนวคิดนี้วิธีนี้อาศัยการเลียนแบบขั้นตอนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติหลักการของนักวิทยาศาสตร์ Charles Darwin ที่คิดว่าเผ่าพันธุ์ที่มีความเข้มแข็งที่สุดจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ต่อไปได้ วิธี GA จึงเป็นวิธีการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจอันหนึ่งที่เลียนแบบลักษณะของการวิวัฒนาการ โดยตั้งอยู่บนแนวคิดของการคัดเลือกเผ่าพันธุ์ตามธรรมชาติ

วิธีการ GA มีแนวคิดโดยสรุปดังนี้ เมื่อนำโครโมโซมทั้งหมดมาประกอบกันจะเรียกว่า จีโนม (Genome) และเรียกกลุ่มของยีนส์ในจีโนมนี้ว่า จีโนไทป์ (Genotype) หรือเรียกว่าแบบชนิดพันธุกรรม ซึ่งจีโนไทป์เหล่านี้จะแปลงไปเป็นอวัยวะของสิ่งมีชีวิตต่อไป เรียกว่า ฟีนไทป์ (Phenotype) ตามทฤษฎีวิวัฒนาการ สิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงที่สุดจะมีโอกาสสืบทอดสายพันธุ์ที่แข็งแรงต่อไป การผสมยีนส์ของพ่อและแม่จะทำให้เกิดลูกซึ่งคัดลอกยีนส์ของพ่อแม่ที่ผสมกัน ทำให้เกิดสายพันธุ์ที่แข็งแรงยิ่งขึ้น บางครั้งการคัดลอกยีนส์ของพ่อแม่ไม่สมบูรณ์ อาจทำให้เกิดการผ่าเหล่า (Mutation) ในรุ่นลูก การผ่าเหล่าทำให้สิ่งมีชีวิตมีโอกาสพัฒนาสายพันธุ์ใหม่ที่ยิ่งเข้มแข็งขึ้น หากการผ่าเหล่าทำให้เกิดสายพันธุ์ด้อย สายพันธุ์ด้อยจะไม่สืบทอดต่อไป

วิธี GA สามารถแบ่งองค์ประกอบที่สำคัญออกเป็น 5 ส่วนดังนี้

1. การเขียนรูปแบบจำลองเชิงพันธุกรรมเพื่อแสดงกลุ่มคำตอบของปัญหา
2. กำหนดประชากรเริ่มต้น
3. ประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

4. พิจารณาตัวดำเนินการวิวัฒนาการทางพันธุกรรม เพื่อสร้าง
พันธุกรรมรุ่นถัดไป

5. กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีการหาค่าตอบเชิงพันธุกรรม

4) โครงข่ายนิวรอนเทียมอัลกอริทึม (Artificial Neural Network
Algorithm; ANN)

Berry and Linoff (1997) สรุปไว้ว่า ANN หรือ Artificial Neural Network เป็นเครือข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางที่มีโครงสร้างเป็นลักษณะของเครือข่ายที่เชื่อมโยงกันระหว่างหน่วย ซึ่งสามารถที่จะรับรู้ข้อมูลและปรับตัวเข้ากับสถานการณ์หรือสิ่งแวดล้อมที่เผชิญอยู่ และเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้งาน เช่นการบีบอัดข้อมูล การกรองสัญญาณ และการทำนายเหตุการณ์ เป็นต้น การทำงานของ ANN ทำได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเข้าที่ป้อนเข้าระบบไปเพื่อให้ได้ตัวแปรตอบสนองที่ต้องการ ส่วนอัลกอริทึมภายในจะมองเหมือนเป็นกล่องดำที่ไม่สามารถรู้ได้ เนื่องจาก ANN จะมีกระบวนการเรียนรู้เพื่อให้ได้ผลตอบเอง ทำให้กระบวนการนี้ถูกเรียกว่า “กระบวนการการจัดการตัวเอง (Self-Organization Processes)”

5) อัลกอริทึมการหาค่าเหมาะที่สุดอาณานิคมของมด (Ant Colony
Optimization Algorithm; ACO)

นำเสนอครั้งแรกโดย Marco Dorigo (1992) ในวิทยานิพนธ์ของเขา เป็นการจำลองพฤติกรรมในการหาอาหารของมด ซึ่งเมทาฮิวริสติกส์แบบใหม่สำหรับปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัดแบบยาก เริ่มต้นมาจากปัญหา TSP โดยอัลกอริทึมนี้ เป็นการสังเกตพฤติกรรมของมดในการค้นหาอาหาร โดยมดจะมีการติดต่อสื่อสารกันด้วยการส่งผ่านข้อมูลด้วยฟีโรโมน (Pheromone) มดจะทำสัญลักษณ์ตามเส้นทางที่เดินผ่านด้วยฟีโรโมนนี้ ซึ่งฟีโรโมนจะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะทางและคุณภาพของแหล่งอาหารที่พบ แล้วมดตัวอื่นก็จะตามรอยฟีโรโมนมายังแหล่งอาหารในที่สุด

อย่างไรก็ตามเทคนิคการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าเหมาะที่สุด ยังมีอุปสรรคที่สำคัญ คือ เวลาที่ต้องใช้ในการหาค่าตอบที่เสียเวลามาก ถึงแม้จะมีคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงจนสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วก็ตาม เนื่องจากจำนวน

ปัจจัยที่มีจำนวนมากพื้นที่แก้ปัญหาย่อมมีขนาดใหญ่ยากแก่การค้นหาคำตอบ ดังนั้นการคัดเลือกปัจจัยที่สำคัญต่อผลตอบสนอง จึงเป็นสิ่งที่สนใจในงานวิจัยนี้ การลดจำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้องลงพื้นที่แก้ปัญหาย่อมมีขนาดเล็กลงด้วย เวลาการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดก็สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

2. การทบทวนวิธีการคัดเลือกปัจจัย

2.1. การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

วิธีการนี้ได้ถูกใช้เป็นที่แรกในศตวรรษที่ 19 โดย John Bennet Lawes and Joseph Henry Gilbert และ ถูกพัฒนาให้ซับซ้อนขึ้นโดย Ronald Fisher ในปี 1926 และถูกพัฒนาเรื่อยมาจนเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยในปัจจุบัน เมื่อผู้วิจัยต้องการที่จะศึกษาถึงอันตรกิริยาที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองจากปัจจัยเหล่านั้น โดยปกติแต่ละปัจจัยสามารถเป็นได้ทั้งตัวแปรเชิงปริมาณหรือเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ ปัจจัยเข้าแต่ละปัจจัยจะถูกกำหนดระดับ (Level) ให้เป็นค่าคงที่ค่าเดียวตลอดการดำเนินงานดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

ที่มา: (Sanchez *et al.*, 2006)

การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย 3 ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย 5 ระดับ การทดลองแบบ 1 ซ้ำ จะประกอบด้วย การทดลองทั้งหมด 3×5 การทดลอง หรือ 15 ครั้ง (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

แต่เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์แต่ละปัจจัย จะถูกแบ่งออกเพียง 2 ระดับ และใน ระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนด้วย สูง หรือ ต่ำ ของปัจจัยหนึ่งๆ เรียกการทดลองนี้ว่า การออกแบบการ ทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k (2^k Factorial Design) ในกรณีที่ทำการทดลองแบบ 1 ซ้ำ จะมีข้อมูลที่ เกิดขึ้นทั้งสิ้น $2 \times 2 \times 2 \dots \times 2 = 2^k$ เช่น มีปัจจัย 5 ปัจจัย ก็จะมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 25 หรือ 32 ข้อมูล นั่นคือ ต้องทำการดำเนินการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ทั้งสิ้น 32 ครั้งเพื่อศึกษาตัว แปรเข้าที่จะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k มีประโยชน์มากต่องานทดลอง เนื่องจากเป็นรูปแบบการทดลองที่ง่ายทั้งต่อการวางแผนการทดลอง การคำนวณ และการวิเคราะห์ ผล และวิธีการนี้ก็เป็นวิธีการเบื้องต้นที่ทำให้เกิดการดำเนินการจำลองสถานการณ์ด้วย คอมพิวเตอร์จำนวนน้อยครั้งที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผนการทดลองแบบอื่นที่ไม่ได้ใช้การแบ่ง แบบ 2 ระดับ

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ บ้างครั้ง เรียกวิธีนี้เป็น การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เต็มรูปแบบ (2^k Full Factorial Design) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้สามารถลดจำนวนการดำเนินการได้จำนวนหนึ่ง นั่นคือ 2^{k-p} วิธีการ ดังกล่าวนี้เรียกว่า การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล 2^{k-p} (2^{k-p} Fractional Factorial Design) เป็นวิธี ที่มีประสิทธิภาพเช่นกัน เพียงแต่วิธีการนี้สามารถศึกษาจะมีปัญหาเกี่ยวข้องกับ นามแฝง (Alias) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า p และการเลือกชุดการทดลองจากที่ออกแบบไว้ เช่น ถ้ากำหนด p เท่ากับ 2 จำนวน การดำเนินการจะลดลง $1/2$ ถ้ากำหนด p เท่ากับ 2 จำนวนการดำเนินการเท่ากับ $1/4$ เป็นต้น ซึ่ง วิธีการนี้เป็นประโยชน์ เพราะจะทำให้ใช้เวลาในการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์น้อยลง ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะมีปัญหาเรื่อง นามแฝง แต่การพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) อันตรกิริยา (Interaction Effect) แบบสองปัจจัย วิธีการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล 2^{k-p} สามารถใช้ได้ดี และลดจำนวนการดำเนินการได้อย่างมาก (Montgomery, 2009)

การสรุปผลการคัดเลือกปัจจัย จะใช้ตาราง ANOVA ในการตัดสินใจผ่านการทดสอบ สมมติฐานทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญที่ผู้วิจัยกำหนด โดยการตัดสินใจนี้สามารถตัดสินใจได้ทั้ง อิทธิพลของตัวแปรเข้าแต่ละตัวที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง และอันตรกิริยา กันของตัวแปรเข้าที่มี ผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ข้อดีในการใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

- 2.1.1. เป็นวิธีการที่น่าเชื่อถือและใช้ในการคัดเลือกปัจจัยที่นิยมใช้กันมากที่สุด
- 2.1.2. สามารถวิเคราะห์อันตรกิริยาได้ทุกปัจจัย
- 2.1.3. ใช้เวลาในส่วนการวางแผนการศึกษาและวิเคราะห์ผลลัพธ์น้อย

ข้อเสียในการใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

- 2.1.1. ใช้จำนวนการดำเนินงานมาก ถ้ามีจำนวนปัจจัยที่ต้องการศึกษามาก
- 2.1.2. ไม่สามารถวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่เป็นเชิงพหุนามได้

2.2. การวางแผนการทดลองแบบซูเปอร์เซตดูเรดเตด (Super Saturated Design; SSD)

วิธีการนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดย Booth and Cox (1962) และวิธีการนี้ได้ถูกอ้างอิง และนำไปใช้จำนวนมากในงานวิจัยต่างๆ (Lin, 1991, 1993); (Wu, 1993) เนื่องจากวิธี SSD สามารถนำไปใช้คัดเลือกปัจจัยเข้าที่มีจำนวนมากได้ เมื่อผู้วิจัยต้องการศึกษาปัจจัยที่มีมากกว่าจำนวนที่ต้องการดำเนินงาน นั่นคือถ้าจำนวนปัจจัยที่ทำการศึกษาเท่ากับ n และจำนวนที่ต้องการการดำเนินงานเท่ากับ m โดยที่ $m < n$ วิธีการ SSD เป็นวิธีการที่มีโครงสร้างและได้ผลลัพธ์ รวมถึงความสามารถในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองคล้ายกันกับวิธีการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลและวิธี Plackett-Burman (Plackett and Burman, 1946) วิธีการ SSD อาจพบปัญหาเกี่ยวกับอิทธิพลพัวพัน (Confounding) และความไม่เพียงพอในระดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom) ที่จะนำไปวิเคราะห์สมการถดถอย Hinkelmann and Kempthorne (2005) ได้กล่าวเพิ่มเติมว่าถึงแม้ว่าวิธี SSD จะลดจำนวนการดำเนินงานลงแต่วิธีการนี้ก็ไม่ได้ทำให้สูญเสียข้อมูลสำคัญในการวิเคราะห์ปัจจัย แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะเหมาะสมกับการมีปัจจัยที่ต้องศึกษาจำนวนมาก แต่ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองต้องมีจำนวนน้อย Holcomb *et al.* (2000) ได้อธิบายวิธีการของ SSD หลายโครงสร้างที่ถูกพัฒนาไว้ และได้เปรียบเทียบกับวิธีการคัดเลือกปัจจัยแบบอื่นๆ โดยให้ผลสรุปของการวิจัยว่า วิธีการ SSD ต้องถูกนำมาใช้อย่างระมัดระวัง เพราะผลลัพธ์ที่ได้ อาจได้ผลดีหรือไม่ดีก็เป็นไปได้ทั้งสิ้น การตัดสินใจหลายอย่างในวิธีการนี้ที่ต้องเลือกอย่างเชี่ยวชาญจึงจะได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง ดังนั้น Holcomb *et al.* (2000) ได้ลงความเห็นไว้ว่า พวกเราไม่ให้ความเชื่อถือวิธีการที่พัฒนาแบบ SSD ในการใช้โดยทั่วไป

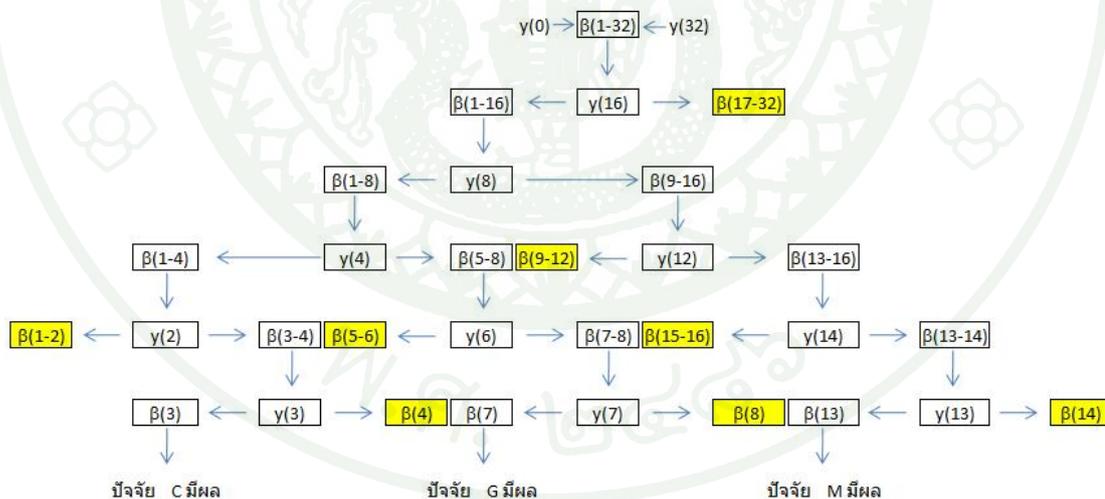
2.3. การคัดเลือกแบบกลุ่ม 2 ขั้นตอน (Two-Stage Group Screening)

เป็นเทคนิคที่นำเสนอโดย Watson ในปี 1961 และพัฒนาเป็นแบบหลายขั้นตอนโดย Patel ในปี 1962 และ Li ในปี 1962 นักวิจัย Trocine and Malone (2001) ได้สรุปวิธีการนี้ไว้ดังนี้ การคัดเลือกแบบกลุ่ม 2 ขั้นตอนเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการคัดเลือกปัจจัยอยู่ในช่วง 15 ถึง 50 ปัจจัย การวางแผนการทดลองต้องใช้ประสบการณ์และความรู้ในปัญหาที่ทำการศึกษาเพื่อทำการจัดกลุ่มปัจจัยที่ทำการศึกษาไปยังกลุ่มแต่ละกลุ่มที่ต้อง เมื่อถูกการดำเนินงานบนแต่ละกลุ่ม ที่กลุ่มไหนมีความสำคัญ ปัจจัยในกลุ่มนั้นจะถูกแยกออกเป็นกลุ่มเล็กๆ หรือ แยกเป็นแต่ละปัจจัย แล้วใช้การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลดำเนินงานบนกลุ่มย่อยๆ นั้น จนกระทั่งพบปัจจัยที่มีอิทธิพลกับตัวแปรตอบสนอง จะเห็นว่าในขั้นตอนแรกของวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบในขั้นตอนที่ 2 และดำเนินการทำซ้ำหลายครั้ง วิธีการนี้สามารถตัดกลุ่มที่พิจารณาว่าไม่สำคัญออกไปจากการทดลองได้ ดังนั้นปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยที่อยู่กลุ่มแตกต่างกันจะไม่ถูกศึกษาดังนั้นถ้าปัจจัยร่วมนั้นมีอยู่อาจเกิดปัญหาอิทธิพลพัวพันในผลสรุปของกลุ่มต่างๆ ได้

Ivanova *et al.* (1999) ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกแบบกลุ่ม 2 ขั้นตอน กับการไม่ใช้ประโยชน์การแบ่งกลุ่ม โดยนำกรณีศึกษาโรงงานผลิตเซมิคอนดักเตอร์มาสร้างรูปแบบการจำลอง ในรูปแบบมีเครื่องมือที่ใช้ในโรงงานมากกว่า 200 เครื่องมือในการผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด และมีขั้นตอนแต่ละชนิดประมาณ 250 ขั้นตอน ตัวแปรตอบสนองทำการศึกษาคือ การใช้ประโยชน์อุปกรณ์ (Equipment Utilization) และ ขนาดของแถวคอย (Queue Sizes) และผลของการศึกษาพบว่าทั้งสองวิธีได้ให้ผลสรุปที่แตกต่างกัน จากผลสรุปที่เกิดขึ้นนี้ Ivanova *et al.* (1999) จึงได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติมว่า การเลือกระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการวางแผนการทดลองต้องถูกเลือกอย่างระมัดระวัง โดยเฉพาะในช่วงขั้นตอนแรก เนื่องจาก ขั้นตอนนี้จะเป็นตัวกำหนดการออกแบบในขั้นตอนที่ 2 ด้วย แต่ถึงจะเลือกระดับนัยสำคัญอย่างระมัดระวังแล้วก็ตามปัจจัยที่ถูกเลือกกว่ามีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองไม่สามารถเหมือนกันได้ทั้ง 2 วิธีอย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดกลุ่มในขั้นตอนที่ 1 อาจมีบางกลุ่มถูกคัดออกไปก่อนที่จะผ่านไปสู่การคัดเลือกปัจจัยหรือกลุ่มย่อยในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งกลุ่มที่ถูกคัดออกไปนั้นอาจมีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองอยู่ด้วย ดังนั้นวิธีการนี้อาจทำให้จำนวนการดำเนินงานน้อยลง แต่ก็อาจได้ผลลัพธ์ไม่ตรงกับความจริงก็ได้ ซึ่ง Nazzal *et al.* (2000) ก็ได้ศึกษาเชิงเปรียบเทียบเช่นเดียวกันและผลสรุปก็ได้เช่นเดียวกันคือระดับนัยสำคัญที่ใช้ในขั้นตอนที่ 1 ควรเลือกอย่างเข้มงวดและโดยปกติการกำหนดระดับนัยสำคัญที่สูงเช่น 0.1 หรือ 0.15 จะได้ผลลัพธ์ R^2 ที่ดีกว่าและผลการคัดเลือกปัจจัยระหว่างวิธี การคัดเลือกแบบกลุ่ม 2 ขั้นตอน กับการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล 2^{k-p} จะให้ผลที่ใกล้เคียงกัน

2.4. การแยกสองทางตามลำดับ (Sequential Bifurcation; SB)

เทคนิค SB ถูกพัฒนาขึ้น โดย Bettonvil and Kleijnen (1996) เป็นเทคนิคที่ทำตามลำดับของแต่ละขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนกลุ่มของปัจจัยถูกทดสอบว่ามีความสำคัญกับตัวแปรตอบสนองหรือไม่ ขั้นตอนแรกจะทดสอบกับทุกปัจจัยที่รวมกันเป็น 1 กลุ่ม และพิจารณาแบบที่ดูผลลัพธ์เฉพาะผลกระทบของกลุ่ม (Group's effect) ถ้าผลกระทบของกลุ่มมีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าอย่างน้อย 1 ปัจจัยในกลุ่มนั้นมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังนั้นจะทำการแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่มย่อยแล้วทำการทดสอบผลกระทบของกลุ่มต่อตัวแปรตอบสนอง เช่นนี้อีกในแต่ละกลุ่มย่อย ถ้ากลุ่มย่อยใดมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองก็ทำการแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยอีกทำเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ แต่ถ้ากลุ่มย่อยใดไม่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองก็จะถูกกำจัดออกไปจากระบบการทดสอบโดยจะถือว่าปัจจัยที่อยู่ภายในกลุ่มย่อยนั้นไม่มีตัวแปรเข้าใดมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง กลุ่มย่อยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มจนกว่าจะพบตัวแปรเข้าที่เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งในขั้นตอนสุดท้ายจะกลายเป็นการทดสอบแบบตัวแปรเข้า 1 ตัวแปรในแต่ละกลุ่มที่ยังไม่ถูกกำจัดออกไปในการทดสอบก่อนหน้านั้น Trocine and Malone (2001) ได้อธิบายเทคนิคนี้ด้วยแผนภาพดังภาพที่ 2 ไว้ดังนี้



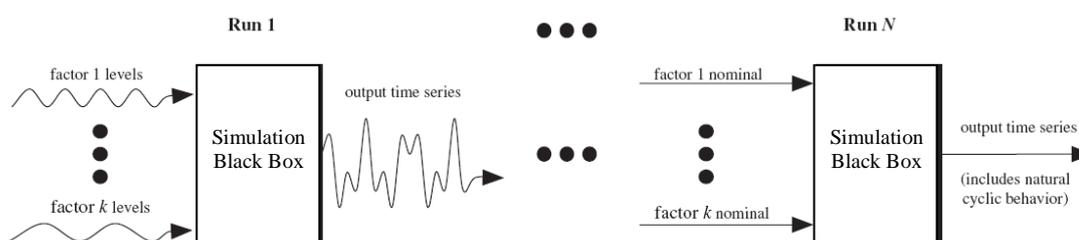
ภาพที่ 2 เทคนิคการแยกสองทางตามลำดับ

จากภาพที่ 2 จะเห็นว่าตัวแปรเข้าที่ทำการศึกษามีทั้งสิ้น 20 ตัวแปรและอีก 12 ตัวแปรที่มีอันตรกิริยากัน ทำการทดสอบด้วยเทคนิค SB ซึ่งทำการดำเนินงานเพื่อการทดสอบทั้งสิ้น 20 ครั้ง เป็นการดำเนินงานที่ส่งผลลัพธ์ต่อตัวแปรตอบสนองทั้งสิ้น 13 ครั้ง และดำเนินงานเพื่อหยุด

การแบ่งกลุ่มทดสอบอีก 9 ครั้ง ผลลัพธ์ตัวแปรเข้าที่เป็นปัจจัยสำคัญส่งอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง 3 ตัวแปรคือ C, G และ M จะเห็นเทคนิคนี้ลดจำนวนการดำเนินงานลงไปได้อย่างมาก แต่การศึกษาปัจจัยร่วมของแต่ละตัวแปรเข้าก็ทำการศึกษาได้เพียงบางคู่เท่านั้น ถ้าต้องการศึกษาทั้งหมดทุกการจัดกลุ่ม (Combinations) จะส่งผลให้การดำเนินงานเพื่อทดสอบเกิดขึ้นจำนวนมากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามเทคนิค SB ก็ถูกพัฒนาต่อโดย Wan *et al.* (2003) ได้พัฒนาเทคนิคการแยกสองทางตามลำดับถูกควบคุม (Controlled Sequential Bifurcation; CSB) เพื่อใช้คัดเลือกปัจจัยในการจำลองเหตุการณ์ที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Event Simulation เทคนิค CSB ได้เพิ่มการทดสอบเป็นสองครั้งในแต่ละขั้นตอนของการแยกสองทาง เพื่อเพิ่มอำนาจการทดสอบของแต่ละกลุ่มปัจจัย และความคาดเคลื่อนชนิดที่ 1 (Type I Error) จะถูกควบคุม และเทคนิคนี้ใช้ได้แม้ว่าเงื่อนไขความแปรปรวนของแต่ละปัจจัยจะไม่เท่ากันก็ตาม หลังจากนั้น Wan *et al.* (2006) ได้พัฒนาเทคนิค CSB เพิ่มเติมโดยมีชื่อเรียกว่า CSB-X โดยเทคนิคนี้จะยอมผ่อนคลายข้อสมมติของปัจจัยหลักแต่ก็ยังให้ค่าความคาดเคลื่อนที่ใช้ควบคุมปัจจัยหลักเช่นเดียวกับเทคนิค CSB

2.5. การทดลองโดเมนความถี่ (Frequency Domain Experiments; FDE)

เป็นเทคนิคพัฒนาโดย Schruben and Coglianò (1981) และ Schruben (1987) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในพื้นผิวผลตอบ (Response Surface) และวิธีการนี้ได้ถูกศึกษาเพิ่มเติม หรือนำไปประยุกต์ใช้โดยกลุ่มนักวิจัยเหล่านี้ Schruben (1986); Sanchez and Buss (1987); Jacobson (1989); Jacobson *et al.* (1991); Sargent and Som (1992); Morrice and Schruben (1989, 1993a, 1993b, 2001); Morrice and Bardhan (1995); Morrice (1995); Hazra *et al.* (1997); Sanchez and Konana (2000); Hsin-Fu Wu (2002); Sanchez *et al.* (2006); Horng *et al.* (2009) โดยวิธี FDE สร้างขึ้นมาเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง (Output Variable or Response Variable) การทดลองจะทำการจำลองสถานการณ์โดยกำหนดให้ตัวแปรเข้า (Input Variables) ที่เป็นตัวแปรแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องแปรเปลี่ยนค่าได้แบบคลื่นไซน์ระหว่างการดำเนินงานการจำลองสถานการณ์ (Sanchez, 1991) โดยที่แต่ละตัวแปรเข้าจะได้รับความถี่ขับเคลื่อนต่างกันดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การทดลองโดเมนความถี่

ที่มา: (Sanchez *et al.*, 2006)

ถ้าตัวแปรตอบสนองแปรเปลี่ยนไปโดยมีความสัมพันธ์กับตัวแปรเข้า ซึ่งสามารถตรวจสอบอิทธิพลของตัวแปรเข้าเหล่านั้นได้ด้วยการเปลี่ยนตัวแปรตอบสนองจากโดเมนเวลาไปเป็นโดเมนความถี่ หลังจากนั้นตรวจสอบโดเมนความถี่ของตัวแปรตอบสนองกับความถี่ขับที่ตัวแปรเข้าได้รับ ถ้าตัวแปรเข้าที่มีอิทธิพลมากในตัวแปรตอบสนองความถี่ขับที่ตัวแปรเข้าได้รับ ที่ระดับความถี่นั้นจะเด่นกว่าความถี่อื่นๆ ในตัวแปรตอบสนอง และในทางกลับกัน ถ้าตัวแปรเข้าไม่มีอิทธิพลในตัวแปรตอบสนองความถี่ที่ตัวแปรเข้าได้รับความถี่นั้นจะไม่เด่น

FDE เป็นการวิเคราะห์สเปกตรัมของตัวแปรตอบสนองที่อยู่ในตัวแบบเชิงพหุนาม (Polynomial Model) เป็นฟังก์ชันที่ได้มาจากการจำลองผ่านตัวแปรเข้า ตัวแบบดังกล่าวนี้อาจเรียกว่าตัวแบบเมตา (Meta Model) การจำลองสถานการณ์โดยวิธีนี้ ต้องการจำนวนครั้งการดำเนินงานเพื่อจำลองสถานการณ์ของระบบเพียงไม่กี่ครั้งเท่านั้นก็สามารถสรุปผลตัวแปรเข้าที่เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง

ในการสรุปผลการคัดเลือกปัจจัยโดยวิธี FDE สามารถวิเคราะห์ได้ 2 วิธี คือ 1) กราฟโดเมนความถี่ (Frequency Domain Graph) ซึ่ง Schruben and Cogliano (1981) ได้เป็นผู้พัฒนาและนำเสนอแนวคิดนี้ โดยปกติกราฟนี้ได้ค่าคำนวณจากอัตราส่วนสเปกตรัมของโดเมนความถี่ที่กำหนดความถี่ขับ ให้กับตัวแปรเข้าเพื่อใช้ในการดำเนินการจำลองสถานการณ์กับโดเมนความถี่ควบคุม โดยโดเมนความถี่ควบคุมจะไม่มีการกำหนดความถี่ขับให้ตัวแปรเข้า ผลลัพธ์ของกราฟที่ได้ จะพบว่าเมื่อตัวแปรเข้าใดที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง ที่ระดับความถี่ที่กำหนดให้ตัวแปรเข้านั้นจะส่งผลต่อกราฟที่ความถี่ดังกล่าวมีความสูงมากกว่าความถี่อื่นๆ วิธีการพิจารณาแบบกราฟโดเมนความถี่นี้เป็นวิธีการที่ง่าย สะดวกต่อการใช้งาน แต่บางครั้งก็อาจตัดสินใจได้ยากเมื่อความถี่ที่พิจารณาแตกต่างจากความถี่อื่นๆ ไม่มากพอ การตัดสินใจอาจเป็นไปได้ทั้งสองทางคือ

ตัวแปรเข้านั้นมีอิทธิพล หรือไม่มีอิทธิพล ก็ได้ ดังนั้นจึงมีวิธีอีกที่สามารถจัดปัญหาการตัดสินใจ จากกราฟคือ 2) การใช้การทดสอบทางสถิติ ซึ่ง Schruben and Cogliano (1987) ร่วมกันพัฒนาและ นำเสนอวิธีนี้ การทดสอบทางสถิติจะนำเทคนิคการวางแผนการทดลองแบบต่างๆ มาใช้เพื่อกำหนด จำนวนการดำเนินงานการจำลองสถานการณ์ เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือในการตัดสินใจทางสถิติ อย่างมีนัยสำคัญ การวางแผนการทดลองที่ Schruben and Cogliano (1987) แนะนำคือ แผนการ ทดลองแบบลาตินแสควร์ แผนการทดลองนี้จะใช้จำนวนการดำเนินงานทั้งหมด $n + 1$ เมื่อ n คือ จำนวนตัวแปรเข้า ส่วนแผนการทดลองแบบอื่นๆ ก็สามารถใช้ได้ เช่น Sanchez *et al.* (2006) ใช้ แผนการทดลองแบบเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งทำการดำเนินงานเพียงไม่กี่ครั้งเท่านั้นก็สามารถทดสอบ สมมติฐานทางสถิติได้ โดยจำนวนการดำเนินงานไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรเข้าแต่ขึ้นอยู่กับ นักวิจัยเป็นผู้กำหนดเอง

ข้อดี ในการใช้วิธีโดเมนความถี่ในการคัดเลือกปัจจัย

- 2.5.1. จำนวนครั้งที่ใช้การดำเนินงานเพื่อการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์มี จำนวนน้อย
- 2.5.2. สามารถพิจารณาอิทธิพลหลัก อันตรกิริยาของปัจจัย (อันตรกิริยาแบบ 2 ปัจจัย หรือ 3 ปัจจัย) และพหุนามกำลังสองของปัจจัยไปพร้อมๆ กับพิจารณาปัจจัยหลักได้
- 2.5.3. สามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลได้ทั้งกราฟซึ่งง่ายในการจัดทำ และแบบ การทดสอบสมมติฐานทางสถิติที่มีความน่าเชื่อถืออย่างมีนัยสำคัญ

ข้อเสีย ในการใช้วิธีโดเมนความถี่ในการคัดเลือกปัจจัย

- 2.5.1. ไม่สามารถออกแบบการทดลองได้โดยง่ายนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการ ผลิต โดยเฉพาะถ้าปัจจัยเข้าแบบไม่ต่อเนื่อง เช่น ปัจจัยเข้าเป็นจำนวนเครื่องจักรในสถานการผลิต
- 2.5.2. ผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องเข้าใจวิธีการแปลงโดเมนเวลา ไปเป็น โดเมนความถี่

3. วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

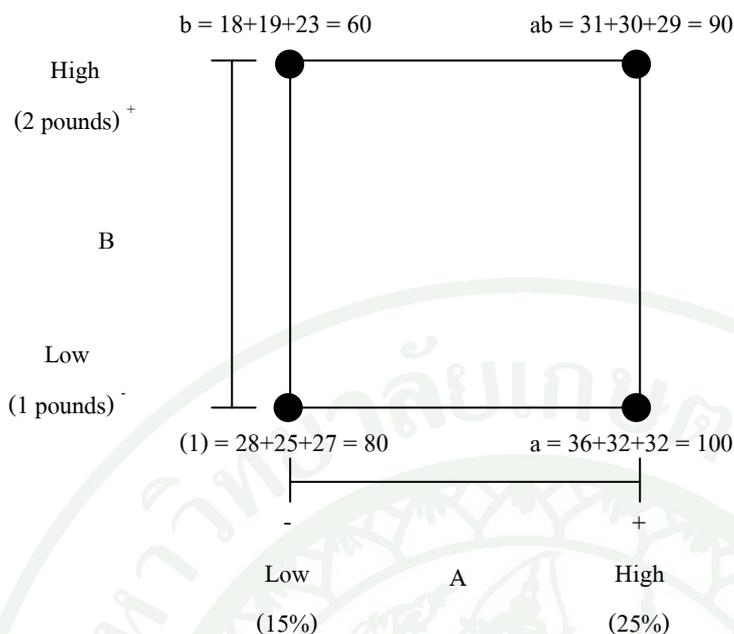
การออกแบบ 2^k มีประโยชน์มากในการทดลอง เมื่อมีปัจจัยเข้าเป็นจำนวนมากที่ต้องการ คัดเลือก การออกแบบนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้เพื่อการศึกษา ผลของปัจจัยเข้าทั้ง k ปัจจัยได้อย่างบริบูรณ์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การออกแบบ 2^k ถูกนำมาใช้อย่าง

แพร่หลายในการคัดเลือกปัจจัยเข้าที่มีอยู่จำนวนมากให้เหลือน้อยลง (Box *et al.*, 2005) เนื่องจากแต่ละปัจจัยของการออกแบบ 2^k ประกอบไปด้วย 2 ระดับ โดยมีข้อสมมติว่าผลตอบที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดช่วงระดับของปัจจัยที่เลือกขึ้นมาทำการทดลอง ตัวอย่างการออกแบบประกอบด้วย 2 ปัจจัย (A และ B) ไม่ว่าปัจจัยจะเป็นตัวแปรต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องจะถูกเลือกระดับมา 2 ระดับ ระดับของปัจจัยแต่ละตัวจะอยู่ที่ “ต่ำ” และ “สูง” ตัวอย่างเช่น พิจารณาการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารเคมีและจำนวนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อผลผลิตในกระบวนการทางเคมีอย่างหนึ่ง กำหนดให้ความเข้มข้นของสารเคมีเป็นปัจจัย A และประกอบด้วย 2 ระดับ คือ 15% และ 25% และให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปัจจัย B ซึ่งมีระดับอยู่ที่ 1 และ 2 ปอนด์ ตามลำดับ ทำการทดลองนี้จำนวน 3 ครั้ง และได้ข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลอง 2^k

ปัจจัย		การทดลองร่วมปัจจัย (Treatment Combination)	จำนวนซ้ำ			รวม
A	B		1	2	3	
-	-	A ต่ำ B ต่ำ	28	25	27	80
+	-	A สูง B ต่ำ	36	32	32	100
-	+	A ต่ำ B สูง	18	19	23	60
+	+	A สูง B สูง	31	30	29	90

การทดลองร่วมปัจจัย (Treatment Combination) สำหรับการออกแบบนี้แสดงในรูปของกราฟดังภาพที่ 4 ตามปกติแล้วเราจะแสดงผลของปัจจัยด้วยตัวอักษรลาตินตัวใหญ่ ดังนั้น A จะแทนผลของปัจจัย A, B แทนผลของปัจจัย B และ AB แทนอันตรกิริยาของปัจจัย AB ในการออกแบบ 2^2 ระดับต่ำ และสูง จะแทนด้วยเครื่องหมาย “-” และ “+” บนแกน A และ B ตามลำดับ ดังนั้น เครื่องหมาย - บนแกน A จะแทนระดับความเข้มข้นต่ำ (15%) และ + แทนระดับสูง (25%) และบนแกน B เครื่องหมาย - แทนระดับต่ำของตัวเร่งปฏิกิริยา และ + แทนด้วยระดับสูงตามลำดับ



ภาพที่ 4 การทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบ 2^k

รูปทั่วไปของการออกแบบ 2^k นั่นคือ ถ้าการออกแบบที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ แบบจำลองทางสถิติสำหรับการออกแบบ 2^k จะประกอบไปด้วยผลหลัก k ชนิด $\binom{k}{2}$ เป็นอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัย $\binom{k}{3}$ เป็นอันตรกิริยาของ 3 ปัจจัย และจนกระทั่ง 1 อันตรกิริยาของ k ปัจจัย นั่นคือ แบบจำลองบริบูรณ์สำหรับการออกแบบ 2^k จะประกอบไปด้วยผลทั้งสิ้น $2^k - 1$ ชนิด การทดลองร่วมปัจจัยสามารถเขียนให้อยู่ในลำดับมาตรฐานได้โดยการเพิ่มปัจจัยเข้าไปทีละตัว และให้ปัจจัยใหม่ที่เพิ่มขึ้นมานี้รวมกับปัจจัยที่อยู่ก่อนหน้ามัน เช่น ลำดับมาตรฐานของการออกแบบ 2^4 คือ (1), a, b, ab, c, ac, bc, abc, d, ad, bd, abd, cd, acd, bcd และ abcd ตามลำดับ

การทดลองร่วมปัจจัยทั้ง 4 สำหรับการออกแบบนี้จะแทนด้วยตัวอักษรตัวเล็กดังภาพที่ 4 จะเห็นว่า สำหรับระดับสูงของปัจจัยใดๆ จะแทนด้วยอักษรตัวเล็กของปัจจัยนั้น ในการทดลองร่วมปัจจัยที่เกิดขึ้น สำหรับระดับต่ำจะไม่ปรากฏตัวอักษรใดๆ ในการทดลองร่วมปัจจัย ดังนั้นสำหรับการออกแบบ 2^k ในที่นี้ a จะแทนการทดลองร่วมปัจจัยของปัจจัย A ที่ระดับสูง และ b แทน B ที่ระดับต่ำ ab แทนทั้งปัจจัย A และ B ที่ระดับสูง และ (1) แทนปัจจัย A และ B ที่ระดับต่ำ

สำหรับการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ระดับ กำหนดว่า ผลเฉลี่ยของปัจจัยหนึ่ง คือ ความเปลี่ยนแปลงของผลตอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ที่ถูกนำมาเฉลี่ยกับระดับ

ของปัจจัยอื่นๆ สัญลักษณ์ (1), a, b และ ab แทนผลรวมของ n ซ้ำของการทดลองร่วมปัจจัยนั้นๆ ผลของ A ที่ระดับต่ำของ B คือ $[a-(1)]/n$ และผลของ A ที่ระดับสูงของ B คือ $[ab-b]/n$ นำค่าทั้งคู่นี้มาเฉลี่ยจะได้ผลหลักของปัจจัย A คือ

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2n} \{[ab-b] + [a-(1)]\} \\ &= \frac{1}{2n} [ab + a - b - (1)] \end{aligned} \quad (2)$$

ค่าเฉลี่ยของผลหลักของปัจจัย B หาได้จากผลของ B ที่ A ระดับต่ำ คือ $[b-(1)]/n$ และผลของ B ที่ระดับสูงของ A คือ $[ab-a]/n$ นำค่าทั้งคู่นี้มาเฉลี่ยจะได้ผลหลักของปัจจัย B คือ

$$\begin{aligned} B &= \frac{1}{2n} \{[ab-a] + [b-(1)]\} \\ &= \frac{1}{2n} [ab + b - a - (1)] \end{aligned} \quad (3)$$

ผลของอันตรกิริยาของ AB คือ ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างผลของ A ที่ B ระดับสูง กับผลของ A ที่ B ระดับต่ำ ซึ่งก็คือ

$$\begin{aligned} AB &= \frac{1}{2n} \{[ab-b] - [a-(1)]\} \\ &= \frac{1}{2n} [ab + (1) - a - b] \end{aligned} \quad (4)$$

ในการทดลองที่เกี่ยวกับการออกแบบ 2^k เราจะต้องตรวจสอบทั้งขนาดและทิศทางของปัจจัยที่มีผลเพื่อที่จะหาว่า ตัวแปรตัวใดที่น่าจะเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดผลขึ้น และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนมาเป็นตัวยืนยันข้อสรุปนั้น พิจารณาผลรวมของกำลังสองของ A, B, AB กำหนดให้ว่าคอนแทรกสต์ที่จะใช้ในการประมาณผลของ A คือ

$$\text{Contrast}_A = ab + a - b - (1) \quad (5)$$

เราเรียกคอนแทรกสต์นี้ว่า ผลทั้งหมด (Total Effect) ของ A จากสมการ (3) และ (4) พบว่าคอนแทรกสต์นี้ยังสามารถใช้ในการประมาณผลของ B และ AB ได้ โดยที่คอนแทรกสต์เหล่านี้มี

คุณสมบัติเชิงตั้งฉาก (Orthogonal) และผลรวมกำลังสองของคอนแทรกต์ใดๆ จะหาได้จากคอนแทรกต์ยกกำลังสอง หากด้วยผลคูณของจำนวนของข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในคอนแทรกต์นั้น กับผลรวมกำลังสองของสัมประสิทธิ์ของคอนแทรกต์ ดังนั้นผลรวมของกำลังสองของ A, B และ AB สามารถเขียนได้ดังนี้

$$SS_A = \frac{[ab + a - b - (1)]^2}{4n} \quad (6)$$

$$SS_B = \frac{[ab + b - a - (1)]^2}{4n} \quad (7)$$

$$SS_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{4n} \quad (8)$$

ผลรวมทั้งหมดของกำลังสองสามารถหาได้จาก

$$SS_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{4n} \quad (9)$$

ค่าความผิดพลาดของผลรวมของกำลังสองซึ่งมีระดับขั้นความเป็นอิสระเท่ากับ $4(n-1)$ สามารถคำนวณได้จาก

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \quad (10)$$

ผลสรุปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะจัดทำตาราง ANOVA ดังตารางที่

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F
A	SS_A	1	SS_A	SS_A/SS_E
B	SS_B	1	SS_B	SS_B/SS_E
AB	SS_{AB}	1	SS_{AB}	SS_{AB}/SS_E
Error	SS_E	$2^k(n-1)$		
Total	SS_T	$n2^k - 1$		

ค่า F ที่คำนวณได้สามารถนำไปคำนวณหาค่าพี (P-Value) (Dallal, 2007) เพื่อสรุปผลผลกระทบของแต่ละปัจจัยได้ ตามปกติแล้ว เราจะเขียนลำดับมาตรฐานของการทดลองร่วมปัจจัย ดังนี้ (1), a, b และ ab และใช้ลำดับเช่นนี้ในการหาสัมประสิทธิ์ของคอนแทรสต์ที่จะใช้ในการประมาณผลต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น

Effects	(1)	a	b	ab
A	-1	+1	-1	+1
B	-1	-1	+1	+1
AB	+1	-1	-1	+1

ให้สังเกตว่า สัมประสิทธิ์ของคอนแทรสต์ที่ใช้สำหรับประมาณของอันตรกิริยาก็คือ ผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์ของปัจจัยหลักทั้งสองนั่นเอง สัมประสิทธิ์ของคอนแทรสต์จะมีค่าเป็น +1 หรือ -1 เท่านั้น ตารางเครื่องหมายบวกและลบในตารางที่ 2 สามารถนำมาใช้ในการหาเครื่องหมายที่เหมาะสมสำหรับการทดลองร่วมปัจจัยแต่ละตัวได้ หัวตามแนวสดมภ์ ของตาราง คือ ผลหลัก (A และ B) อันตรกิริยา (AB) และ I หมายถึง ผลรวมหรือค่าเฉลี่ยของการทดลองทั้งหมด สังเกตดูจะเห็นว่าสดมภ์ I นั้นจะมีเครื่องหมายบวกเพียงอย่างเดียวเท่านั้น หัวตามแนวอนของตาราง คือการทดลองร่วมปัจจัยที่ได้มีการเรียงลำดับมาตรฐานเรียบร้อยแล้วนั่นเอง เพื่อที่จะหาคอนแทรสต์สำหรับประมาณผลต่างๆ ที่เกิดขึ้น เราก็เพียงแต่นำเอาเครื่องหมายที่อยู่ในสดมภ์ที่ต้องการในตาราง คูณกับการทดลองร่วมปัจจัยที่เกี่ยวข้องแล้วนำทั้งหมดมาบวกกัน เช่น ถ้าต้องการประมาณค่าของ A เราจะหาคอนแทรสต์ได้จาก $-(1)+a-b+ab$ ซึ่งก็มีค่าเช่นเดียวกันกับ (2) ในกรณีทั่วไปของการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2^k ศึกษาได้จาก Montgomery (2009)

ตารางที่ 2 เครื่องหมายทางพีชคณิตสำหรับการคำนวณผลในการออกแบบ 2^k

Treatment Combination	Factorial Effect			
	I	A	B	AB
(1)	+	-	-	+
a	+	+	-	-
b	+	-	+	-
ab	+	+	+	+

อัตราค่ากำลังสอง (Eta – squared; η^2) เป็นตัวชี้วัดของขนาดอิทธิพล (Effect Size) ของปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) คล้ายกับ R^2 จากการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

สูตรการคำนวณ

$$\eta^2 = \frac{S_{\text{treatment}}}{S_{\text{total}}} \quad (11)$$

บางส่วนของอัตราค่ากำลังสอง (Partial Eta-squared; Partial η^2) เป็นตัวชี้วัดของขนาดอิทธิพล (Effect Size) ของปัจจัยใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่เป็นการทดลองหลายปัจจัยโดยการพิจารณาขนาดอิทธิพลโดยอยู่ก็จะไม่รวมขนาดอิทธิพลของปัจจัยอื่นอยู่ด้วย (Pierce et al., 2004) การคำนวณ Partial η^2 จะใช้บ่อยมากกว่า η^2 มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{Partial } \eta^2 = \frac{S_{\text{factor}}}{S_{\text{factor}} + S_{\text{Error}}} \quad (12)$$

ค่าอัตราค่ากำลังสอง หรือ บางส่วนของอัตราค่ากำลังสอง มีค่าอยู่ในช่วงช่วงระหว่าง 0 และ 1 การตีความคล้ายกันกับ R^2

4. วิธีการออกแบบการทดลองโดเมนความถี่

FDE เป็นการวิเคราะห์สเปกตรัมของผลตอบสนองที่ไม่ทราบความความสัมพันธ์ที่แน่นอนในระบบที่ทำการศึกษา เรียกระบบนั้นว่า กล่องดำ (Black Box) โดยความสัมพันธ์ในระบบจะถูก

สมมติให้มีความสัมพันธ์แบบพหุนามลำดับที่ k เมื่อกำหนดให้ปัจจัยมีจำนวน p ตัว นั่นคือ x_1, x_2, \dots, x_p ผลตอบสนองกำหนดให้เป็นตัวแปร y ค่าคาดหวังของผลตอบสนองคือ $E(y)$ เป็นฟังก์ชันของทุกตัวแปร x ดังนั้นตัวแบบมีสมการพหุนามลำดับที่ k เป็นดังนี้

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 \tau_1 + \beta_2 \tau_2 + \dots + \beta_q \tau_q \quad (13)$$

หรือ

$$E(y) = \beta_0 + \sum_{j=1}^q \beta_j \tau_j \quad (14)$$

เมื่อ

$E(y)$ เป็นค่าคาดหวังของผลตอบสนอง

τ_j เป็นเทอมในพหุนาม ลำดับที่ k โดยผลรวมของเลขชี้กำลังของตัวแปรไม่มากกว่าค่า k ยกตัวอย่างเช่น ในเทอม $j=1$ และถ้า $k=5$ แล้ว $\tau_1 = x_1^2 x_2^4$ จะไม่อยู่ในเทอมของสมการ เพราะเลขชี้กำลัง $2+4$ มากกว่า 5 เป็นต้น

β_j เป็นสัมประสิทธิ์ของเทอม τ_j ถ้าเทอมของ τ_j ใดๆ ที่มีความหมายต่อฟังก์ชันค่าสัมประสิทธิ์ β_j จะมีค่าไม่เท่ากับ 0

q เป็นจำนวนเทอมทั้งหมดของฟังก์ชันผลตอบสนอง

การจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีนี้ ต้องการจำนวนครั้งการทำ การดำเนินงานจำลองสถานการณ์ 2 ถึง 3 ครั้ง โดยหนึ่งในการจำลองระบบนั้นคือ 1) การดำเนินงานสิ่งรบกวน (Noise Run) โดยจะกำหนดค่าปัจจัยเข้าที่ระดับค่าคงที่ค่ากลางค่าหนึ่ง (Nominal Values) ระหว่างการจำลองสถานการณ์ แล้วเก็บข้อมูลในตัวแปรตอบสนองที่พิจารณาจากการจำลองสถานการณ์นั้น การทำการทดลองนี้จะทำให้ทราบว่าธรรมชาติของระบบการจำลองสถานการณ์นี้เป็นอย่างไร การดำเนินงานจำลองสถานการณ์ที่ 2) การดำเนินงานสัญญาณ (Signal Runs) โดยกำหนดให้ปัจจัยเข้าที่เป็นแบบต่อเนื่องแปรเปลี่ยนค่าได้แบบคลื่นไซน์ระหว่างการดำเนินงานการจำลองสถานการณ์ โดยที่แต่ละปัจจัยจะได้รับความถี่ขับ แตกต่างกัน และถ้าผลตอบสนองเปลี่ยนไปในแต่ละเวลา โดยมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ได้รับความถี่ขับ ซึ่งตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยเหล่านั้นได้ด้วยการเปลี่ยนผลตอบสนองที่อยู่ในรูปโดเมนเวลาไปเป็นผลตอบสนองโดเมนความถี่แล้วตรวจสอบโดเมนความถี่ของผลตอบสนองกับความถี่ขับคลื่นไซน์ที่ปัจจัยได้รับ ถ้าปัจจัยที่มีอิทธิพลมากกับ

ผลตอบสนอง ค่าของความถี่ขับเคลื่อนไซน์ที่ปัจจัยได้รับที่ระดับความถี่นั้นจะเด่นกว่าความถี่อื่นๆ นั่นคือ ความถี่คลื่นไซน์นั้นจะโด่งมากในผลตอบสนอง และในทางกลับกันถ้าปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง ความถี่คลื่นไซน์ที่ปัจจัยได้รับนั้นจะไม่เด่น นั่นคือความถี่จะโด่งเท่าๆ กันกับระดับคลื่นไซน์อื่น

การใช้ FDE ในการคัดเลือกปัจจัย ระบบที่ทำการจำลองสถานการณ์นั้นต้องมีข้อกำหนด 3 ข้อ คือ (Schruben and Cogliano, 1987)

1. ปัจจัยเข้าที่เป็นตัวแปรในระบบต้องสามารถเปลี่ยนค่าได้ระหว่างการดำเนินงาน
2. ตัวแปรตอบสนองถูกเก็บข้อมูลในลักษณะระยะห่างตามช่วงเวลา
3. ตัวแปรตอบสนองต้องจัดอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้ เมื่อกำหนดให้มี p ปัจจัยที่พิจารณาในช่วงระยะเวลาห่าง t เช่น t เป็นเวลาที่ขึ้นส่วนเข้าระบบการผลิต/ออกจากระบบการผลิต เป็นต้น ดังนั้น t จะเป็นช่วงเวลาที่ 1 ถึง n ดังนั้นจะเขียนเทอมพหุนามของเทอมทั้งหมดของฟังก์ชันผลตอบสนอง q ได้ดังนี้

$$\tau_j(t) = \prod_{i=1}^p [x_i(t)]^{e_{ij}} \quad \text{โดย } j=1, \dots, q \quad (15)$$

เมื่อ

- $x_i(t)$ ปัจจัยเข้า i ที่เวลา t โดย $i=1, \dots, p$ และ $t=1, 2, \dots, n$
- q เป็นจำนวนเทอมทั้งหมดของฟังก์ชันผลตอบสนอง
- e_{ij} เป็นจำนวนเต็มบวก

ดังนั้นจะได้สมการตัวแปรตอบสนอง ที่เป็นรูปแบบการจัดหมู่เส้นตรงไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Time-invariant Linear Combination)

$$y(t) = \sum_{j=1}^q \sum_{k=-\infty}^{\infty} h_{jk} \tau_j(t-k) + \varepsilon(t) \quad (16)$$

เมื่อ

h_{jk} เป็นน้ำหนัก หรือเป็นฟังก์ชันตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse Response Function) ที่ตรงกันกับการนำเข้าของ $\tau_j(t)$ (Ljung, 1987)

$\varepsilon(t)$ เป็นสิ่งรบกวนของระบบที่เวลาที่ t โดย $t=1,2,\dots,n$

ในสมการที่ (16) จะถูกเรียกว่าเป็นรูปแบบพื้นผิวผลตอบเชิงพลวัต (Dynamical Response Surface Model) สำหรับระบบที่ถูกจำลองสถานการณ์ ดังนั้นถ้าตัวแปรตอบสนองสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการพหุนาม และมีข้อกำหนด 3 ข้อที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ก็สามารถทำ FDE ได้

ขั้นตอนการดำเนินการของ FDE ประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้

4.1. กำหนดแผนการทดลอง

แผนการทดลองแบบละตินสแควร์ถูกนำมาใช้ในการทดลอง FDE เป็นแผนการทดลองแรกนำเสนอโดย Schruben and Cogliano (1987) แผนการทดลองนี้จะใช้จำนวนการดำเนินงานทั้งหมด $n + 1$ เมื่อ n คือจำนวนตัวแปรเข้า อย่างไรก็ตามแผนการทดลองนี้จะทำให้การจำลองสถานการณ์เพิ่มขึ้นตามจำนวนปัจจัยที่เพิ่มขึ้น Sanchez *et al.* (2006) ใช้แผนการทดลองแบบเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งทำการดำเนินงานเพียง 4 ครั้ง โดยดำเนินการครั้งแรกเป็น ดำเนินงานสิ่งรบกวนและอีก 3 ครั้งเป็น ดำเนินงานสัญญาณ ที่ปัจจัยได้รับความถี่ขับในระดับ สูง กลาง และต่ำ ไม่ซ้ำกันก็สามารถทดสอบสมมติฐานทางสถิติได้ จะเห็นว่าจำนวนการดำเนินงานไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรเข้าแต่ขึ้นอยู่กับนักวิจัยเป็นผู้กำหนดเองตามแผนการทดลอง

4.2. การกำหนดความถี่ขับของปัจจัย (Driving Frequency; ω)

การเลือกความถี่ขับ ω (รอบ/เวลา) ให้กับปัจจัยเพื่อทำการจำลองสถานการณ์นั้น ปัจจัยทุกตัวแปรต้องได้รับความถี่ขับที่ค่าไม่เท่ากัน เมื่อกำหนดให้ n คาบเวลาที่สนใจ ซึ่งเป็นจำนวนข้อมูลที่ต้องการได้จากการทำการทดลอง การวิเคราะห์สเปกตรัมในโดเมนความถี่ของ ω ที่กำหนดให้จะไม่แม่นยำถ้ากำหนดให้ ω ที่มีค่าต่ำกว่า $1/n$ (1 รอบ/คาบเวลา n) และค่าสูงสุดที่สามารถวิเคราะห์สเปกตรัมของความถี่ได้คือ 0.5 นั่นคือการกำหนดความถี่ขับจะอยู่ในช่วง $1/n \leq \omega \leq 0.5$ อย่างไรก็ตามการเลือก ω นอกจากกำหนดให้ค่าของ ω ไม่เท่ากันในแต่ละปัจจัยแล้ว ถ้ามีการพิจารณาในเทอมของอันตรกิริยา และในเทอมของพหุนาม ของปัจจัย เช่น พหุนามลำดับที่ 2 เป็นต้น การพิจารณาค่า ω เหล่านั้นต้องพิจารณาเพิ่มเติม Jacobson *et al.* (1991) ได้ทำการศึกษาเพื่อกำหนดความถี่ขับไม่ให้เกิดการใช้ความถี่ขับร่วมกันในการจำลองสถานการณ์แบบ

ไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Event Simulations) โดยทำการศึกษาไว้ทั้งสิ้น 21 ปัจจัย ที่พหุนามลำดับ 2 และ ทำการศึกษา 11 ปัจจัย ที่พหุนามลำดับ 3

4.3. การเลือกแอมพลิจูดของความถี่ขับ (Amplitude; a)

การกำหนดค่าแอมพลิจูดจะมีผลต่อขนาดของสเปกตรัมของผลตอบสนอง นั่นคือ ความสูงของสเปกตรัมของผลตอบสนองจะเป็นสัดส่วนกับความสูงของสเปกตรัมของปัจจัยที่ ความถี่เดียวกัน ถ้ากำหนดแอมพลิจูดเล็กเกินไป ผลของการแกว่งก็ยากที่จะถูกตรวจสอบเจอ ถ้า กำหนดแอมพลิจูดใหญ่เกินไป ก็จะทำให้ค่าของปัจจัยออกนอกช่วงค่าที่เป็นไปได้ Jacobson (1989) ได้ทำการศึกษาค่าเลือกแอมพลิจูด โดยศึกษาอิทธิพลของแอมพลิจูด 3 อย่างคือ 1) ความเป็นไปได้ (Feasibility) 2) สิ่งรบกวน (Noise) 3) เทอมพหุนามที่ลำดับสูง ๆ และได้สรุปผลไว้ว่า ถ้าต้องการให้ ปัจจัยอยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ และศึกษาในเทอมพหุนามที่ลำดับต่ำ แอมพลิจูดสามารถกำหนดอยู่ใน ช่วงน้อย ๆ ได้ และถ้าต้องการลดผลกระทบที่เป็นสิ่งรบกวนก็ควรที่จะเลือกแอมพลิจูดที่กว้าง เท่าที่ระบบจะเป็นไปได้ อย่างไรก็ตามอิทธิพลของแอมพลิจูดทั้ง 3 นั้นยากที่จะทำให้เป็นไปได้ในทาง เดียวกันได้ ถ้าจำเป็นต้องเรียงลำดับความสำคัญก็ควรพิจารณาที่ เลือกความเป็นไปได้ของตัวปัจจัย เป็นอันดับแรก และผลกระทบของเทอมพหุนามที่ลำดับสูงๆ เป็นอันดับถัดมา และสุดท้ายจึง พิจารณาอิทธิพลของสิ่งรบกวน

การเลือกช่วงแอมพลิจูดของปัจจัย

$$\left\{ \left((x_1, x_2, \dots, x_p) \mid \text{Lower}_i \leq x_i \leq \text{Upper}_i \right) \right\} \quad (17)$$

$$a_i = 1/2(\text{Upper}_i - \text{Lower}_i)$$

เมื่อ

Lower_i เป็นค่าที่ต่ำสุดของปัจจัย $i, i = 1, \dots, p$

Upper_i เป็นค่าที่สูงสุดของปัจจัย $i, i = 1, \dots, p$

แอมพลิจูดถูกเลือกในแต่ละปัจจัยในช่วงที่เป็นไปได้มีรูปแบบดังสมการต่อไปนี้

$$x_i(t) = 1/2(\text{Upper}_i + \text{Lower}_i) + a_i \cos 2\pi\omega_i t \quad (18)$$

เมื่อ $1/2(Upper_i + Lower_i)$ เป็นค่ากึ่งกลางระหว่างค่า $Upper_i$ และ $Lower_i$ (Nominal Value)

ในการพิจารณากรณีที่ปัจจัยแบบไม่ต่อเนื่องแบบไบนารี (Binary) จะมีสูตรแตกต่างไปจากสมการที่ (18) ดังนี้คือ (Sanchez, 1991)

$$P(x_i(t) = a_i) = 1/2 + 1/2 \cos 2\pi\omega_i t \tag{19}$$

นำค่าความน่าจะเป็นที่ได้มาเทียบกับตารางเพื่อกำหนดค่าให้ปัจจัย $x_i(t)$ ยกตัวอย่างเช่น

$P(x_i(t))$	ค่าที่ได้
0 - 0.49	a_1
0.50 - 1	a_2

เมื่อ a_1 และ a_2 คือค่าคงที่

4.4. การกำหนดความยาวของการทดลอง (Run Length; n)

จำนวนความยาวของการทดลองควรมีความยาวในการทดลองแต่ละรอบการดำเนินงานที่เพียงพอ โดยกำหนดให้จำนวนความยาวในการดำเนินงานควรให้ความถี่ขั้วที่มีค่าน้อยที่สุดที่กำหนดให้ปัจจัยมากกว่าจำนวนรอบ 10 รอบของคลื่น เช่นถ้ากำหนดความถี่ขั้ว 0.11 จำนวนความยาวในการดำเนินงานเก็บข้อมูลที่ทำให้ ความถี่ขั้วนี้เกิน 10 รอบ คือ ความยาวการดำเนินงาน 92 ช่วงเวลา นั่นคือ $t=1,2,\dots,n$ โดยที่ $n=92$ เป็นต้น หรืออาจจะคำนวณจากสูตรตามขั้นตอนดังนี้

ให้พิจารณาว่าความถี่ขั้วที่ต้องการตรวจสอบมีความถี่ขั้วใดบ้าง เช่น ถ้ากำหนดให้มีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย โดยมีความถี่ขั้วหลักที่กำหนดให้แต่ละปัจจัยเป็น $\omega_1 = 0.11, \omega_2 = 0.18$ และ $\omega_3 = 0.43$ ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อพิจารณาเทอมพหุนามลำดับที่ 2 จะพบว่าเกิดความถี่ขั้วที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมคือ $\{.22,.36,.14\}$ และเมื่อพิจารณาอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัย จะได้ความถี่ขั้วที่ต้องวิเคราะห์เพิ่มเติมคือ $\{.07,.29,.32,.46,.25,.39\}$ ดังนั้นความถี่ขั้วที่ต้องพิจารณาทั้งหมด คือ

{.11,.18,.43,.22,.36,.14,.07,.29,.32,.46,.25,.39} จากความถี่ข้างดังกล่าวนี้ ให้คำนวณความแตกต่างของความถี่ข้างของทุกคู่ และให้เลือกค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดเป็นค่าความกว้างแถบความถี่ (Bandwidth) เท่ากับ b จากตัวอย่างนี้จะได้ว่า $b=0.03$ ดังนั้นสามารถคำนวณความยาวในการดำเนินงาน (n) ได้ดังนี้

$$n = \left(\frac{4}{6b} \right)^2 \quad (20)$$

จากตัวอย่างจะให้ความยาวการดำเนินงาน $n=494$ อย่างไรก็ตามถ้าผู้วิจัยต้องการความแม่นยำในการตรวจสอบสเปกตรัมในโดเมนความถี่ การรันควรมีจำนวนมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในการจำลองสถานการณ์ เพราะจะทำให้สเปกตรัมมีความโค้งมาก การแยกแยะสเปกตรัมที่ความถี่ข้างจะทำได้ง่าย

4.5. การแปลงโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่

เทคนิคการแปลงโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่นี้ Schruben and Cogliano (1987) ได้แนะนำวิธีการไว้ดังนี้

เมื่อกำหนดให้

$$F(\omega) = \sum_{k=-m}^m \lambda_k c_k \cos(2\pi\omega k), \quad 0 \leq |\omega| \leq 1/2 \quad (21)$$

ตัวประมาณความแปรปรวนร่วมอัตโนมัติ (Autocovariance) กำหนดให้เป็น

$$c_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (y(t) - \bar{y})(y(t+k) - \bar{y}) \quad \text{ถ้า } 0 \leq k \leq (n-1) \quad (22)$$

และ $c_k = c_{-k} \quad \text{ถ้า } -(n-1) \leq k \leq 0$

กำหนดน้ำหนัก (เรียก Tukey Lag Window)

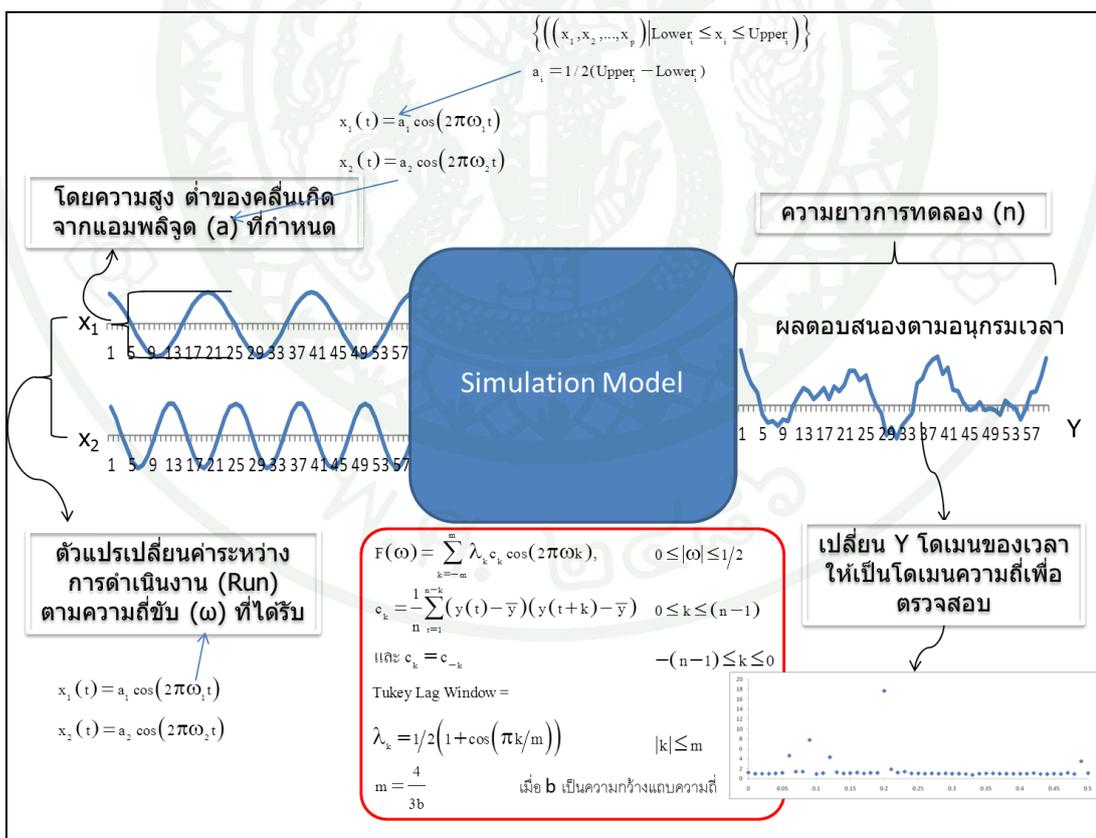
$$\lambda_k = 1/2 \left(1 + \cos\left(\pi k/m\right) \right) \quad \text{เมื่อ } |k| \leq m \quad (23)$$

ค่า m จะถูกกำหนดให้มีค่ามากพอในการหาสเปกตรัมของ โดเมนความถี่ เรียกว่า m ว่า จุดตัด (Truncation Point) การเลือกค่า m น้อยจะทำให้ตัวประมาณเที่ยงตรงสูง ความแปรปรวนต่ำ แต่การให้ m มากจะทำให้อำนาจจำแนกสูง (High Resolution) และทำให้ความกว้างแถบความถี่แคบ (Small Bandwidth)

$$m = \frac{4}{3b} \quad (24)$$

เมื่อ b เป็นความกว้างแถบความถี่ (Bandwidth)

จาก 4.2 ถึง 4.5 เขียนรูปภาพแสดงการทดลอง FDE ได้ดังนี้



ภาพที่ 5 การทดลอง FDE

4.6. การวิเคราะห์ผลตามแผนการทดลอง

ในการสรุปผลการคัดเลือกปัจจัยโดยวิธี FDE สามารถวิเคราะห์ได้โดยการคำนวณค่าทางสถิติตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้ในขั้นตอนแรก อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ผลสามารถสร้างกราฟโดเมนความถี่ (Frequency Domain Graph) เพื่อพิจารณาได้โดยตรงจากลักษณะเด่นที่เกิดขึ้นในกราฟ โดยกราฟหาได้จากการคำนวณจากอัตราส่วนสเปกตรัมของโดเมนความถี่ที่กำหนดความถี่ขับต่างๆ ให้กับปัจจัยในการดำเนินงานสัญญาณ (Signal Run) เพื่อใช้ในการดำเนินงานการจำลองสถานการณ์กับโดเมนความถี่ที่ได้จากการดำเนินงานสิ่งรบกวน (Noise Run or Control Run) เมื่อไม่มีการกำหนดความถี่ขับให้ปัจจัย ผลลัพธ์ของกราฟที่ได้ จะพบว่าเมื่อปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อตัวผลตอบสนองที่ระดับความถี่ขับที่กำหนดให้ปัจจัยนั้นจะส่งผลต่อกราฟที่ความถี่ขับดังกล่าวมีความสูงมากกว่าความถี่ขับอื่นๆ วิธีการพิจารณาแบบกราฟโดเมนความถี่นี้เป็นวิธีการที่สะดวกต่อการใช้งานซึ่งจะเป็นวิธีที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์
 - CPU ULV SU7300
 - RAM 3 GB
 - Hard Disk Drive 500 GB
 - จอภาพ LCD
 - DVD-RW
 - OS: Windows 7
2. โปรแกรม Microsoft Office 2003
3. โปรแกรม Arena Version 12
4. เครื่องพิมพ์เลเซอร์

วิธีการ

AFDE เป็นเทคนิคที่นำวิธีการ FDE มาปรับปรุงวิธีการเพื่อนำไปใช้ได้กับการคัดเลือกปัจจัยในระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมได้ไม่ว่าปัจจัยเข้าที่ต้องการศึกษาเป็นแบบใด คือ 1) ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง 2) ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง หรือ 3) ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องผสมอยู่ด้วยกันอยู่ในระบบ และวิธี AFDE ยังสามารถนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้ทั้งแบบสายการประกอบที่มีความซับซ้อนในการผลิตน้อย หรือนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมแบบตามงานที่มีความซับซ้อนในการผลิตมาก ดังนั้นวิธีการศึกษาจะแบ่งส่วนสำคัญออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะอธิบายถึงวิธีที่นำเสนอ AFDE และส่วนที่สองจะนำวิธีการ AFDE ไปพิสูจน์การผ่านการจำลองสถานการณ์ทั้ง 3 แบบที่กล่าวมาข้างต้น

1. การออกแบบการทดลองโดเมนความถี่ประยุกต์

การคัดเลือกปัจจัยโดยวิธีการ AFDE อยู่บนพื้นฐานการจำลองสถานการณ์ในระบบการผลิต นั่นคือ ในระบบการผลิตใดที่ต้องการศึกษาผลกระทบของปัจจัยเข้าที่มีผลต่อผลตอบสนองที่ต้องการศึกษา เราต้องสร้างระบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model) ขึ้นเพื่อเลียนแบบ

พฤติกรรมการทำงานในระบบการผลิตนั้น โดยระบบที่จำลองสถานการณ์ขึ้นมาจะเรียกว่า ก่อกล่องดำ (Black Box) ซึ่งมีข้อสมมติพื้นฐานของกล่องดำ ดังนี้

ข้อสมมติพื้นฐาน

1. ความสัมพันธ์ของตัวแบบเป็นพหุนาม (Polynomial Model)

Schruben and Cogliano (1987) กำหนดให้ความสัมพันธ์ในระบบมีความสัมพันธ์แบบพหุนามลำดับที่ k เมื่อกำหนดให้ปัจจัยมีจำนวน p ตัว นั่นคือ x_1, x_2, \dots, x_p ผลตอบสนองกำหนดให้เป็นเป็นตัวแปร y ค่าคาดหวังของผลตอบสนองคือ $E(y)$ เป็นฟังก์ชันของทุกตัวแปร x ดังนั้นตัวแบบมีสมการพหุนามลำดับที่ k เป็นสมการ (13) ที่กล่าวไว้ข้างต้น

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 \tau_1 + \beta_2 \tau_2 + \dots + \beta_q \tau_q$$

หรือ

$$E(y) = \beta_0 + \sum_{j=1}^q \beta_j \tau_j$$

เมื่อ

$E(y)$ เป็นค่าคาดหวังของผลตอบสนอง

τ_j เป็นเทอมในพหุนาม ลำดับที่ k โดยผลรวมของเลขชี้กำลังของตัวแปรไม่มากกว่าค่า k ยกตัวอย่างเช่น ในเทอม $j=1$ และถ้า $k=4$ แล้ว $\tau_1 = x_1^4$ จะไม่อยู่ในเทอมของสมการ เพราะเลขชี้กำลัง $1+4$ มากกว่า 4 เป็นต้น

β_j เป็นสัมประสิทธิ์ของเทอม τ_j ถ้าเทอมของ τ_j ใดๆ ที่มีความหมายต่อฟังก์ชันค่าสัมประสิทธิ์ β_j จะมีค่าไม่เท่ากับ 0

q เป็นจำนวนเทอมทั้งหมดของฟังก์ชันผลตอบสนอง

2. ปัจจัยเข้าของระบบ (Input Factor)

การใช้ AFDE ในการคัดเลือกปัจจัย ปัจจัยเข้าที่เป็นตัวแปรในระบบไม่ต้องเปลี่ยนค่าระหว่างการดำเนินงาน นั่นหมายความว่าในการดำเนินงาน 1 ครั้ง ค่าพารามิเตอร์ของระบบการจำลองสถานการณ์จะไม่เปลี่ยนแปลง การดำเนินงานนี้จะเป็นเช่นเดียวกันกับการวางแผนการทดลองแฟกทอเรียล 2^k

3. ตัวแปรผลตอบสนอง (Response Variable)

1. ตัวแปรตอบสนองถูกเก็บข้อมูลในลักษณะระยะห่างตามช่วงเวลา และ
2. ตัวแปรตอบสนองต้องจัดอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้ เมื่อกำหนดให้มี p ปัจจัยที่พิจารณาในช่วงระยะเวลาห่างเท่าๆ กัน t เช่น t เป็นวันทำงาน ดังนั้นทุกๆ ครั้งที่ t เพิ่มเท่ากับ 1 วันทำงานก็จะเปลี่ยนเป็น 1 วัน เท่าๆ กัน เป็นต้น ดังนั้นตัวแปรตอบสนองของระบบที่ทุกๆ เวลาของ t จะไม่เกี่ยวข้องกัน (Non Association) และ t ไม่เกิดเวลาล่า (Lag Time) t จะเป็นช่วงเวลาที่ 1 ถึง n ดังนั้นจะเขียนเทอมพหุนามของเทอมทั้งหมดของฟังก์ชันผลตอบสนอง q ได้ดังนี้

$$\tau_j(t) = \prod_{i=1}^p [x_i(t)]^{e_{ij}} \quad \text{โดย } j=1, \dots, q \quad (25)$$

เมื่อ

$x_i(t)$ ปัจจัยเข้า i ที่เวลา t โดย $i=1, \dots, p$ และ $t=1, 2, \dots, n$

q เป็นจำนวนเทอมทั้งหมดของฟังก์ชันผลตอบสนอง

e_{ij} เป็นจำนวนเต็มบวก

ดังนั้นจะได้สมการตัวแปรตอบสนอง ที่เป็นรูปแบบการจัดหมู่เส้นตรงไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Time-invariant Linear Combination)

$$y(t) = \sum_{j=1}^q h_j \tau_j(t) + \varepsilon(t) \quad (26)$$

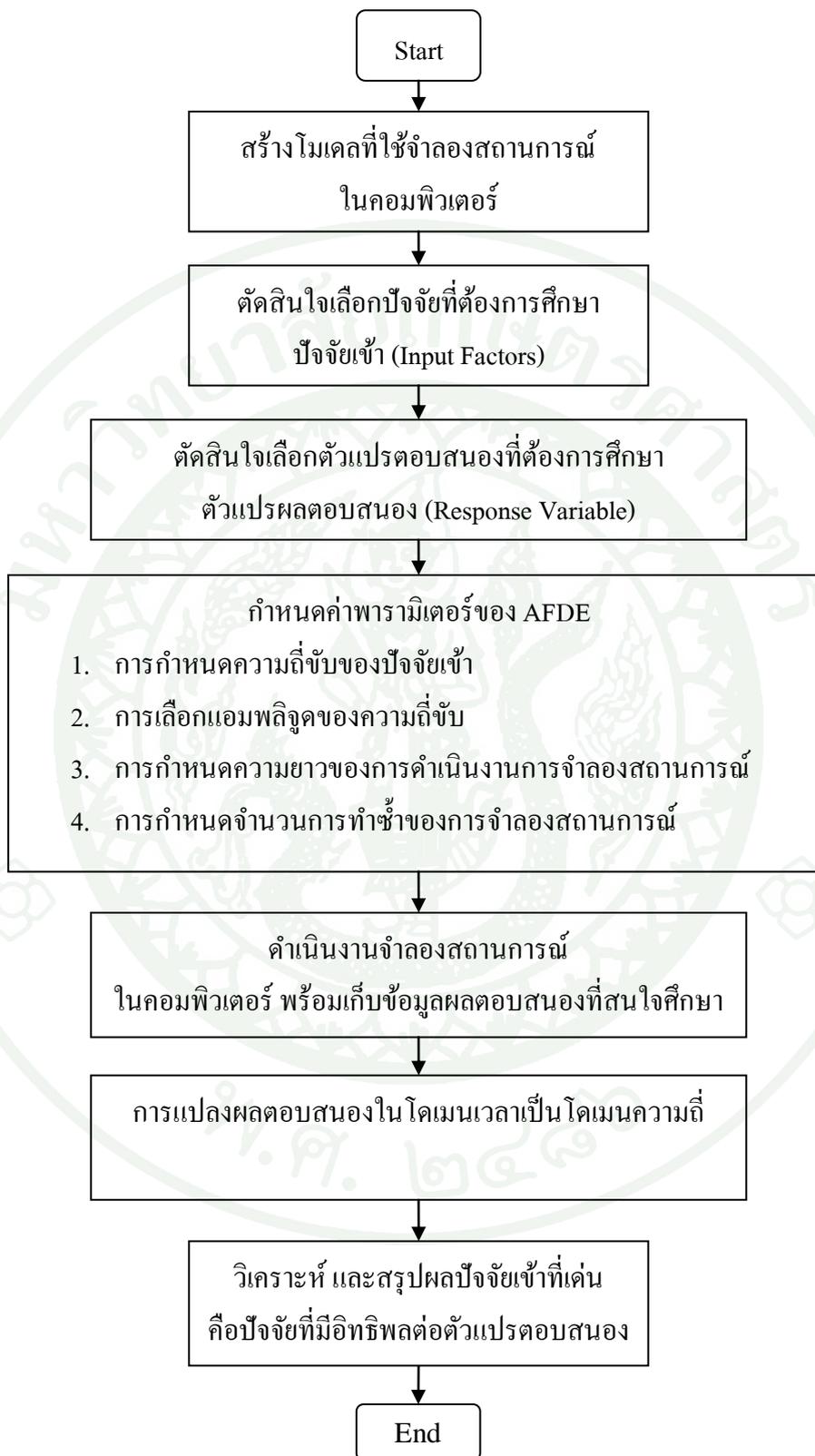
เมื่อ

h_j เป็นน้ำหนัก หรือฟังก์ชันตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse Response Function) ที่ตรงกันกับการนำเข้าของ $\tau_j(t)$

$\varepsilon(t)$ เป็นสิ่งรบกวนของระบบที่เวลาที่ t โดย $t=1,2,\dots,n$

ในสมการที่ (26) จะถูกเรียกว่าเป็นรูปแบบพื้นผิวผลตอบเชิงพลวัต (Dynamical Response Surface Model) แต่ไม่มีการพิจารณาเวลาล่า ของระบบ สำหรับระบบที่ถูกจำลองสถานการณ์ ดังนั้นถ้าตัวแปรตอบสนองสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการพหุนาม และมีข้อกำหนด 3 ข้อที่กล่าวมาข้างต้นแล้วก็สามารถทำ AFDE ได้

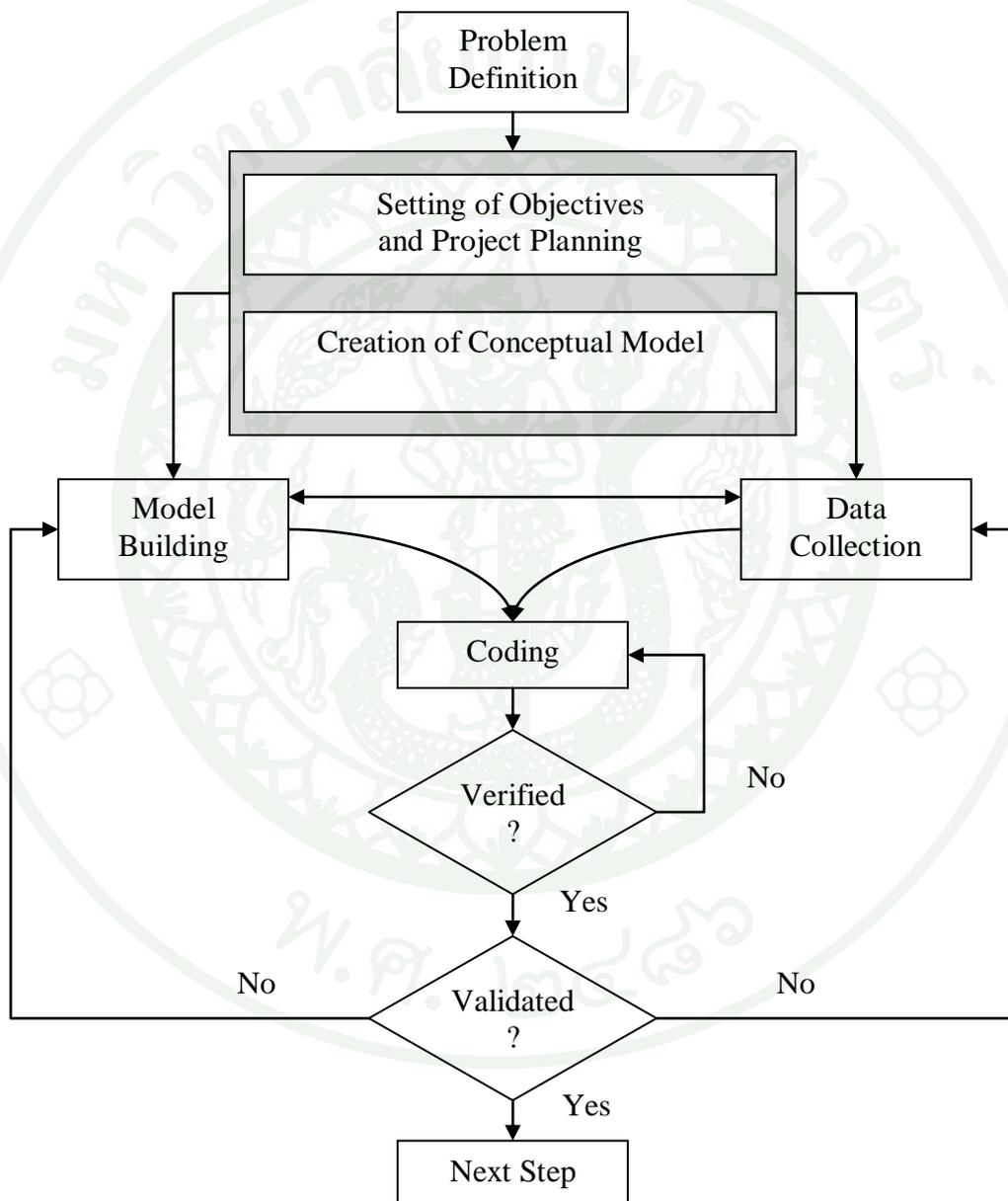
ขั้นตอนการดำเนินการของ AFDE มีขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 6 แผนภูมิการไหล AFDE

1.1. สร้างโมเดลที่ใช้จำลองสถานการณ์ในคอมพิวเตอร์

การสร้างการจำลองสถานการณ์ในคอมพิวเตอร์ ใช้ระเบียบวิธีการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ทั่วไป (General Simulation Methodology) Rossetti (2010) ได้เขียนแผนภูมิการไหลของการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ไว้ดังนี้



ภาพที่ 7 ระเบียบวิธีการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ทั่วไป (General Simulation Methodology)

1.2. ตัดสินใจเลือกปัจจัยที่ต้องการศึกษา

เลือกปัจจัยเข้าที่ต้องการศึกษาเป็นปัจจัยที่ต้องการทราบว่ามียุทธพลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่ โดยปัจจัยเข้าที่ถูกเลือกเหล่านั้นจะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่อไป ส่วนปัจจัยใดที่ไม่ต้องการศึกษาจะถูกกำหนดให้คงที่

1.3. กำหนดค่าพารามิเตอร์ของ AFDE

1.3.1. การกำหนดความถี่ขับของปัจจัย (Driving Frequency; ω)

การเลือกความถี่ขับ ω (รอบ/เวลา) ให้กับปัจจัยเพื่อทำการจำลองสถานการณ์นั้น ปัจจัยทุกตัวแปรต้องได้รับความถี่ขับที่ค่าแตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้ n เป็นจำนวนข้อมูลที่ต้องการได้จากการทำการทดลอง การวิเคราะห์สเปกตรัมในโดเมนความถี่ของ ω ที่กำหนดให้จะไม่แม่นยำถ้ากำหนดให้ ω ที่มีค่าต่ำกว่า $1/n$ (1 รอบ/ช่วงการเก็บข้อมูล n) และค่าสูงสุดที่สามารถวิเคราะห์สเปกตรัมของความถี่ได้คือ 0.5 นั่นคือการกำหนดความถี่ขับให้ปัจจัยจะอยู่ในช่วง $1/n \leq \omega \leq 0.5$ อย่างไรก็ตามการเลือก ω นอกจากกำหนดให้ค่าของ ω แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยแล้ว ถ้ามีการพิจารณาในเทอมของอันตรกิริยา และในเทอมของพหุนามของปัจจัย เช่น พหุนามลำดับที่ 2 เป็นต้น การพิจารณาค่า ω เหล่านั้นต้องพิจารณาเพิ่มเติม

เมื่อมีการพิจารณาในเทอมของอันตรกิริยา และในเทอมของพหุนาม เช่น พหุนามลำดับที่ 2 การพิจารณาความถี่ขับเหล่านั้นสามารถคำนวณได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ถ้ากำหนดให้มีตัวแปรเข้า x_1 และ x_2 อันตรกิริยาของสองตัวแปรคือ $x_1 x_2$ ความถี่ที่เป็นตัวชี้ของอันตรกิริยานี้คือ

$$\begin{aligned} x_1(t) &= a_1 \cos(2\pi\omega_1 t) \\ x_2(t) &= a_2 \cos(2\pi\omega_2 t) \end{aligned} \tag{27}$$

เมื่อ

- a เป็นแอมพลิจูดของแต่ละตัวแปรเข้า
- t เป็นข้อมูลที่เก็บ ณ เวลา 1,2,...,n
- ω เป็นความถี่ขั้วที่ตัวแปรเข้า 1 และ 2 ตามลำดับ
- π มีค่าเท่ากับ $22/7$

ดังนั้น

$$x_1(t)x_2(t) = 1/2 a_1 a_2 (\cos 2\pi(\omega_1 + \omega_2)t + \cos 2\pi(\omega_1 - \omega_2)t) \quad (28)$$

ดังนั้นอันตรกิริยาของ $x_1(t)x_2(t)$ จะมีความถี่ที่ต้องตรวจสอบ 2 ค่าคือ $(\omega_1 + \omega_2)$ และ $(\omega_1 - \omega_2)$

ในกรณีหาตัวชี้ความถี่ของพหุนามลำดับที่ 2 ของตัวแปรเข้าก็สามารถจัดทำ
ได้ดังนี้

ตัวชี้คือ

ถ้ากำหนดให้มีตัวแปรเข้า x_1 ตัวแปรพหุนามลำดับที่ 2 คือ x_1^2 ความถี่ที่เป็น

$$x_1^2(t) = a_1^2 \cos^2(2\pi\omega_1 t) \quad (29)$$

$$x_1^2(t) = 1/2 a_1^2 (1 + \cos(2\pi(2\omega_1)t)) \quad (30)$$

$$x_1^2(t) = 1/2 a_1^2 \cos(2\pi(0)t) + 1/2 a_1^2 \cos(2\pi(2\omega_1)t) \quad (31)$$

ดังนั้นตัวแปรพหุนามลำดับที่ 2 x_1^2 มีความถี่ที่ต้องการตรวจสอบ 2 ค่าคือ 0 และ $2\omega_1$ จากตัวอย่างข้างต้นทำให้ทราบว่าในกรณีต้องการตรวจสอบตัวแปรที่เป็นพหุนามลำดับ 2 สามารถจัดทำได้โดยนำ $2 \times \omega$ และถ้าเป็นการศึกษาอันตรกิริยาของตัวแปรเข้า 2 ตัวแปรก็สามารถจัดทำได้โดยนำ $(\omega_i \pm \omega_j)$ ซึ่งจะได้ตัวความถี่ที่ต้องตรวจสอบ 2 ตัว แต่จากข้อกำหนดที่ว่าความถี่ ω จะอยู่ในช่วง $1/n \leq \omega \leq 0.5$ ดังนั้นถ้าเมื่อใดที่ ω ที่คำนวณจากทั้งตัว

แปรที่มีอันตรกิริยาและตัวแปรที่เป็นพหุนามลำดับที่ 2 ขึ้นไป มีค่าเกินกว่า 0.5 จะต้องนำค่า 1 นั้นไปลบออกเพื่อให้ค่า ω อยู่ในช่วงที่กำหนด

เงื่อนไขการปรับค่าความถี่ซับ คือ

ถ้า $\omega < 0$	$-\omega$ กลายเป็น ω
ถ้า $0 \leq \omega < 0.5$	ω ไม่เปลี่ยน
ถ้า $0.5 < \omega \leq 1$	$1-\omega$ กลายเป็น ω
ถ้า $\omega > 1$	$\omega-1$ กลายเป็น ω

จากกฎที่กำหนดให้นี้จะทำให้ ω มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 0.5]$

การที่ต้องตรวจสอบความถี่ซับของทั้งตัวแปรเข้า ตัวแปรพหุนามและตัวแปรที่เป็นอันตรกิริยา ทำให้โอกาสการใช้ ω ร่วมกันในบางตัว (Partial Confounding) เช่น เมื่อกำหนดให้ตัวแปรเข้า x_1 และ x_2 มีความถี่ซับ $\omega_1 = 0.3$ และ $\omega_2 = 0.4$ อันตรกิริยาของ $x_1 x_2$ จะมีความถี่ซับที่ต้องตรวจสอบ 2 ค่าคือ $0.3 + 0.4 = 0.7$ นั่นคือ $1 - 0.7 = 0.3$ และ $0.3 - 0.4 = -0.1$ นั่นคือ 0.1 จะเห็นว่าเกิดการใช้ความถี่ซับร่วมกันของตัวแปรเข้า x_1 และตัวแปรที่เป็นอันตรกิริยา $x_1 x_2$ ดังนั้นการเลือกความถี่ซับจึงจำเป็นต้องเลือกอย่างระมัดระวัง Jacobson *et al.* (1991) ได้ทำการศึกษาเพื่อกำหนดความถี่ซับไม่ให้เกิดการใช้ความถี่ซับร่วมกันในการจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Event Simulations) โดยทำการศึกษาไว้ทั้งสิ้น 21 ตัวแปรเข้า พหุนามลำดับ 2 ($k=2$) และทำการศึกษา 11 ตัวแปรเข้า ที่พหุนามลำดับ 3 ($k=3$)

1.3.2. การเลือกแอมพลิจูดของความถี่ซับ (Amplitude; a)

การกำหนดค่าแอมพลิจูดเป็นดังเช่น Schruben and Cogliano (1987) จัดทำไว้ข้างต้น แอมพลิจูดจะมีผลต่อขนาดของสเปกตรัมของผลตอบสนอง นั่นคือความสูงของสเปกตรัมของผลตอบสนองจะเป็นสัดส่วนกับความสูงของสเปกตรัมของปัจจัยที่ความถี่เดียวกัน ถ้ากำหนดแอมพลิจูดเล็กเกินไปผลของการแกว่งก็ตรวจเจอได้ยาก ถ้ากำหนดแอมพลิจูดใหญ่เกินไป ก็จะทำให้ค่าของปัจจัยออกนอกช่วงที่ค่าปัจจัยจะเป็นไปได้ การศึกษาการเลือกแอมพลิจูด ต้องพิจารณาอิทธิพลเหล่านี้คือ 1) ความเป็นไปได้ (Feasibility) 2) สิ่งรบกวน (Noise) 3) เทอมพหุนามที่ลำดับสูงๆ สรุปผลไว้ว่า ถ้าต้องการให้ปัจจัยอยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ และศึกษาในเทอมพหุนามที่ลำดับต่ำ แอม

พลิจูดสามารถกำหนดอยู่ในช่วงน้อยๆ ได้ แต่การเพิ่มช่วงก็สามารถลดผลกระทบที่เป็นสิ่งรบกวน อย่างไรก็ตามอิทธิพลของแอมพลิจูดทั้ง 3 นั้นยากที่จะทำให้เป็นไปในทางบวกเหมือนกัน ดังนั้นถ้าจำเป็นต้องเรียงลำดับความสำคัญก็ควรพิจารณาที่เลือกค่าที่เป็นไปได้ของตัวปัจจัยเป็นอันดับแรก และผลกระทบของเทอมพหุนามที่ลำดับสูงๆ เป็นอันดับถัดมา และสุดท้ายจึงพิจารณาอิทธิพลของสิ่งรบกวน

ก. การเลือกช่วงแอมพลิจูดของปัจจัยในกรณีปัจจัยเป็นตัวแปรต่อเนื่อง

$$\left\{ \left((x_1, x_2, \dots, x_p) \mid \text{Lower}_i \leq x_i \leq \text{Upper}_i \right) \right\} \quad (32)$$

$$a_i = 1/2(\text{Upper}_i - \text{Lower}_i)$$

เมื่อ

Lower_i เป็นค่าที่ต่ำสุดของปัจจัย $i, i=1, \dots, p$

Upper_i เป็นค่าที่สูงสุดของปัจจัย $i, i=1, \dots, p$

แอมพลิจูดถูกเลือกในแต่ละปัจจัยในช่วงที่เป็นไปได้มีรูปแบบดังสมการ

ต่อไปนี้เป็น

$$x_i(t) = 1/2(\text{Upper}_i + \text{Lower}_i) + a_i \cos 2\pi\omega_i t \quad (33)$$

เมื่อ $1/2(\text{Upper}_i + \text{Lower}_i)$ เป็นค่ากึ่งกลางระหว่างค่า Upper_i และ Lower_i

(Nominal Value)

ข. ในการพิจารณากรณีที่ปัจจัยเป็นตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่องมีสูตรดังนี้คือ

$$P(x_i(t) = a_i) = 1/2 + 1/2 \cos 2\pi\omega_i t \quad (34)$$

นำค่าความน่าจะเป็นที่ได้มาเทียบกับตารางเพื่อกำหนดค่าให้ปัจจัย

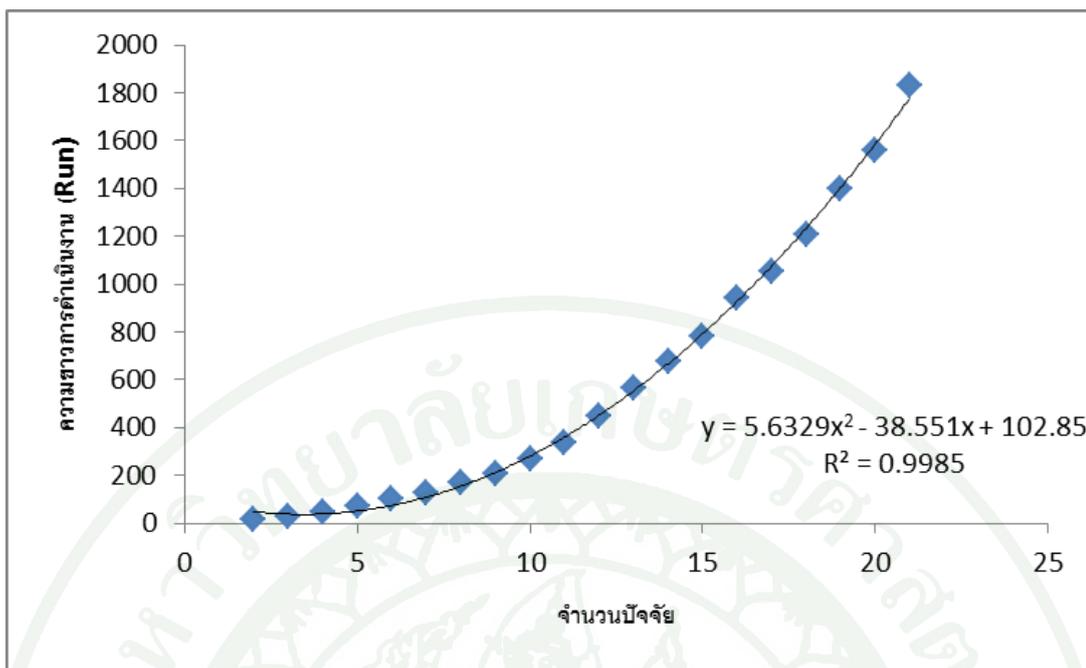
$x_i(t)$ ยกตัวอย่างเช่น

$P(x_i(t))$	ค่าที่ได้
0 – 0.24	a_1
0.25 – 0.49	a_2
0.5 – 0.74	a_3
0.75 – 0.99	a_4

เมื่อ a_1, a_2, a_3 และ a_4 คือค่าคงที่

1.3.3. การกำหนดความยาวของการทดลองต่อครั้ง (Run Length; L)

ความยาวของการทดลองในวิธี AFDE เป็นอิสระจากจำนวนปัจจัย แตกต่างจากวิธี FDE ที่ความยาวของการทดลองมีความสัมพันธ์กับจำนวนปัจจัยที่เพิ่มขึ้นแบบเลขชี้กำลังดังภาพที่ 8 ความยาวการทดลอง AFDE สามารถจัดทำตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ได้ อย่างไรก็ตามการทดลองให้ผลการทดลองเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady State) ผ่านช่วงเวลาที่มีการแกว่ง (Warm-Up Period or Transient State) เนื่องจากเมื่อเริ่มระบบในช่วงแรกอาจจะมีการแกว่งของข้อมูลผลตอบสนอง ทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานของระบบยังไม่เต็มที่ ดังนั้นเพื่อให้ผลสรุปการคัดเลือกปัจจัยมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นจึงควรดำเนินงานให้มีความยาวที่เพียงพอเข้าสู่สถานะคงตัว (Jacobson *et al.*, 1991)



ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์แบบเลขชี้กำลัง 2 จำนวนการดำเนิงานกับจำนวนบั้งจัญ เมื่อพิจารณาเทอมพหุนามกำลังสอง

1.3.4. การกำหนดจำนวนการทำซ้ำของการดำเนิงานจำลองสถานการณ์

(Replication; n)

จำนวนการทำซ้ำของการดำเนิงานควรมีจำนวนการทำซ้ำในการดำเนิงานที่เพียงพอ โดยกำหนดให้จำนวนการทำซ้ำในการดำเนิงานมีวิธีด้วยกัน 3 วิธีคือ

ก. ควรให้ความถี่ขั้วที่มีค่าน้อยที่สุดที่กำหนดให้บั้งจัญมากกว่าจำนวนรอบ 10 รอบของคลื่น

ถ้ากำหนดความถี่ขั้ว 0.11 จำนวนการทำซ้ำของการจำลองสถานการณ์ในการดำเนิงานเก็บข้อมูลที่ทำให้ ความถี่ขั้ว 0.11 มากกว่า 10 รอบ คือ จำนวนการทำซ้ำการดำเนิงาน 92 ครั้ง นั่นคือ $t = 1, 2, \dots, n$ โดยที่ $n = 92$ เป็นจำนวนทำซ้ำ เป็นต้น

ข. กำหนดจากความกว้างของแถบความถี่ที่เปรียบเทียบคู่ความแตกต่างน้อยที่สุด

ให้พิจารณาว่าความถี่ที่ต้องตรวจสอบมีความถี่ขั้นต่ำบ้าง เช่น ถ้ากำหนดให้มีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย โดยมีความถี่หลักที่กำหนดให้แต่ละปัจจัยเป็น $\omega_1 = 0.11$, $\omega_2 = 0.18$ และ $\omega_3 = 0.43$ ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อพิจารณาเทอมพหุนามลำดับที่ 2 จะพบว่าเกิดความถี่ที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมคือ $\{.22, .36, .14\}$ และเมื่อพิจารณาอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัย จะได้ความถี่ที่ต้องวิเคราะห์เพิ่มเติมคือ $\{.07, .29, .32, .46, .25, .39\}$ ดังนั้นความถี่ที่ต้องพิจารณาทั้งหมด คือ $\{.11, .18, .43, .22, .36, .14, .07, .29, .32, .46, .25, .39\}$ จากความถี่ดังกล่าวนี้ ให้คำนวณความแตกต่างของความถี่ของทุกคู่ และให้เลือกค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดเป็นค่า b จากตัวอย่างนี้จะได้ค่า $b = 0.03$ ดังนั้นสามารถคำนวณการทําซ้ำในการดําเนินงาน (n) ได้ดังนี้

$$n \geq \left(\frac{4}{6b} \right)^2 \quad (35)$$

ค. เลือกจำนวนการทําซ้ำจากตารางต่อไปนี้

Jacobson *et al.* (1991) ได้พัฒนาขั้นตอนวิธี (Algorithm) เพื่อกำหนดจำนวนความยาวการจำลองสถานการณ์ต่อครั้งในการทํา FDE ซึ่งขั้นตอนวิธีดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใน AFDE ได้เช่นเดียวกัน โดยได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงจำนวนการทำซ้ำเมื่อกำหนดให้สมการพหุนามเป็นกำลังสอง

จำนวนปัจจัย (p)	เซตของความถี่	จำนวนรอบ การทำซ้ำ
2	{1,4} {2,3}	14
3	{1,5,8} {1,4,11} {3,4,13} {3,5,12} {8,9,13} {9,11,12}	28
4	{1,4,10,17} {6,8,9,13} {2,3,11,18} {4,5,7,20} {3,5,12,16} {2,9,10,15} {1,6,16,19}	46
5	{1,4,13,19,29} {4,5,7,20,26} {2,5,11,25,26}	69
6	{1,11,28,31,35,49} {3,4,13,28,40,42} {4,9,10,21,37,44} {6,32,40,42,43,47} {8,15,18,20,29,42} {10,12,15,21,28,29} {11,27,35,36,48,50} {16,23,24,43,45,49} {20,24,30,42,45,47}	103
7	{1,41,19,31,44,53,60} {4,7,9,24,30,49,59} {1,9,14,21,40,46,57} {1,7,18,22,27,57,60} {2,3,12,29,37,50,57} {7,9,17,20,32,62,63} {3,7,19,28,30,43,48} {1,10,16,29,34,37,41} {3,8,10,27,41,42,63} {2,17,22,23,30,33,59} {6,9,19,20,36,41,43} {6,31,40,47,51,61,64} {3,21,41,49,50,54,64} {10,11,36,44,49,51,63} {8,33,47,48,51,53,60} {11,16,17,20,46,59,61} {10,11,18,23,37,53,62} {19,29,30,33,54,56,61} {11,14,23,24,29,31,50} {21,27,34,51,56,59,60} {12,17,21,27,40,47,58} {31,32,38,40,43,53,57} {20,33,37,42,43,58,61} {23,28,38,47,49,50,63}	130
8	{10,16,29,33,38,40,41,75}	168
9	{8,30,33,39,40,44,57,59,94}	209
10	{10,12,13,27,31,59,65,94,101,110} {2,15,22,23,47,56,75,83,121,126}	268
11	{9,21,22,26,32,46,55,105,117,135,166}	340
12	{27,44,56,57,59,63,77,102,124,150,155,219}	448
13	{29,37,39,43,44,55,64,77,96,166,208,211,257}	565

ตารางที่ 3 (ต่อ)

จำนวนปัจจัย (p)	เซตของความถี่	จำนวนรอบ การทำซ้ำ
14	{29,42,53,57,62,63,65,79,109,140,210,242,269,310}	675
15	{20,28,32,41,42,47,58,65,145,176,179,222,247,298,342}	780
16	{29,38,46,48,49,53,71,83,110,176,217,223,302,358,372,427}	942
17	{37,46,63,66,67,73,78,91,122,160,162,239,309,325,377,430,495}	1052
18	{37,53,78,86,87,89,93,107,117,155,190,236,255,318,377,453,475,574}	1208
19	{18,38,42,45,47,53,70,86,96,163,197,218,299,300,372,429,469,589,620}	1398
20	{15,29,37,40,41,46,64,100,148,167,195,257,291,329,382,447, 535,608,705,707}	1558
21	{31,32,48,57,59,67,71,100,113,206,221,266,315,389,407,493,570, 576,716,767,774}	1834

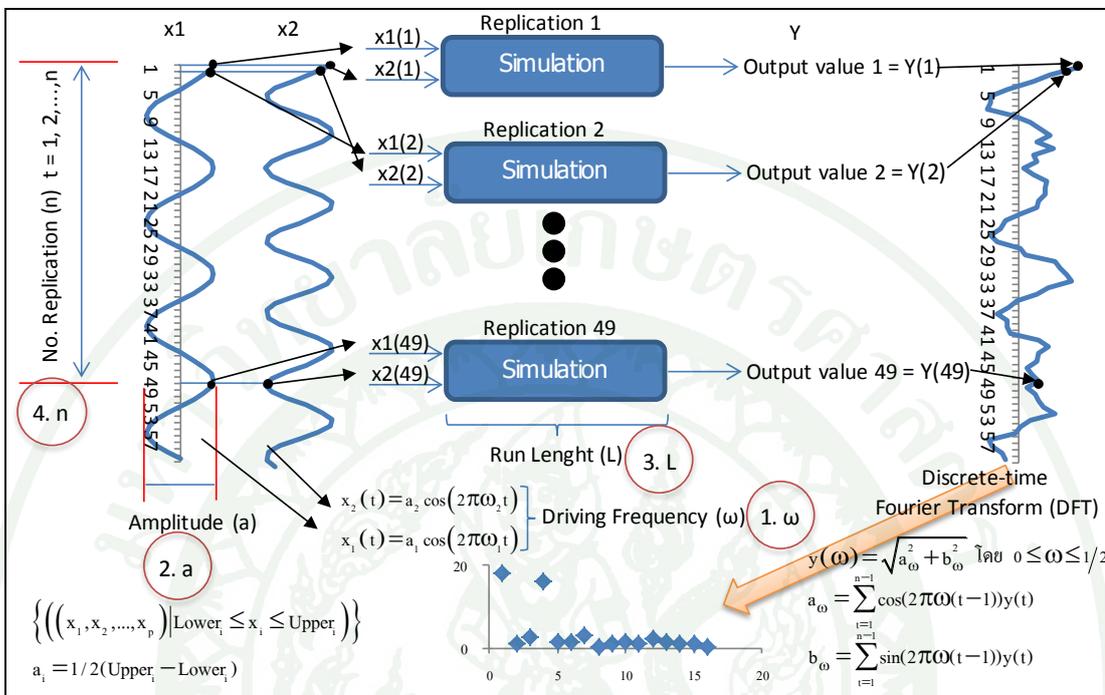
ตารางที่ 4 จำนวนการทำซ้ำเมื่อกำหนดให้สมการพหุนามเป็นกำลังสาม

จำนวนปัจจัย (p)	เซตของความถี่	จำนวนรอบ การทำซ้ำ
2	{2,5} {3,4}	26
3	{3,5,22 4,9,15} {5,8,17 15,18,23}	70
4	{17,20,21,32}	152
5	{27,37,45,48,97}	319
6	{25,34,37,39,159,192}	600
7	{10,14,23,68,143,219,336}	1023
8	{10,16,17,72,142,227,462,575}	1801
9	{10,14,23,68,143,219,336,687,923}	2808
10	{15,16,19,40,122,251,402,711,1165,1314}	4097
11	{2,5,21,55,130,287,455,788,1160,1515,1769}	5522

จากตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4 การใช้เซตของความถี่ ให้นำเซตที่เลือกไปหารจำนวนรอบการทำซ้ำ เช่น จำนวนปัจจัย 2 ปัจจัยเลือกเซตความถี่เพื่อศึกษาสมการพหุนามเป็นกำลังสาม {2,5} ดังนั้น $\omega_1 = 2/26$ และ $\omega_2 = 5/26$ เป็นต้น

จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ω , a , L และ n เขียนรูปภาพแสดงการทดลอง AFDE

ได้ดังนี้



ภาพที่ 9 การทดลอง AFDE

1.4. คำเนิงานจำลองสถานการณ์ในคอมพิวเตอร์

ให้คำเนิงานจำลองสถานการณ์ในคอมพิวเตอร์ตามแบบจำลองที่สร้างไว้ พร้อมทั้งกำหนดให้ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรเข้าที่เป็นไปตามค่าที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ของ AFDE พร้อมเก็บข้อมูลผลตอบสนองที่สนใจศึกษาตามลำดับการคำเนิงานจำลองสถานการณ์ในแต่ละรอบการทำซ้ำ

1.5. การแปลงโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่

จากข้อมูลผลตอบสนองที่สนใจศึกษาที่รวบรวมไว้ตามลำดับ ให้แปลงข้อมูลดังกล่าวที่อยู่ในรูปโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่เพื่อศึกษาสเปกตรัม เทคนิคการแปลงโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่นี้จะใช้เทคนิคการแปลงฟูรีเยร์ (Fourier Transform) ที่คิดค้นโดยนักคณิตศาสตร์ ฌ็อง

บาติสต์ โฌแซ็ฟ ฟูรีเย (ฝรั่งเศส: Jean Baptiste Joseph Fourier; 1768 - 1830) เกิดที่เมืองโอแซร์ ประเทศฝรั่งเศส (Carslaw, 1930)

การวิเคราะห์ฟูรีเยร์ (Fourier Analysis) แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท

1. อนุกรมฟูรีเยร์ที่ต่อเนื่องทางเวลา (Continuous-time Fourier Series: CFS)
2. อนุกรมฟูรีเยร์ที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete-time Fourier Series: DFS)
3. การแปลงฟูรีเยร์ที่ต่อเนื่องทางเวลา (Continuous-time Fourier Transform: CFT)
4. การแปลงฟูรีเยร์ที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete-time Fourier Transform: DFT)

ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์ (2552) ได้อธิบายการแปลงฟูรีเยร์ที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลาไว้ดังนี้

ในอนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series) สัญญาณที่ได้รับเป็นสัญญาณคาบ (Periodic Signal) ส่วนในการแปลงฟูรีเยร์ (Fourier Transform) สัญญาณที่ได้รับไม่เป็นคาบ (Aperiodic Signal) สัญญาณคาบคือสัญญาณที่มีรูปร่างซ้ำตัวมันเองทุกๆ ช่วงเวลาที่กำหนด โดยจะเรียกช่วงเวลานี้ว่า “คาบ (Period)” ของสัญญาณ

สัญญาณคาบมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ สัญญาณคาบเพียงหนึ่งคาบจะมีคุณลักษณะเทียบเท่ากับสัญญาณคาบทั้งหมด ดังนั้นสัญญาณคาบเพียงหนึ่งคาบสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ได้ครบถ้วน แทนที่จะวิเคราะห์ข้อมูลจากสัญญาณคาบทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ในกรณีกลับกันถ้าสัญญาณไม่เป็นคาบ เราจะกำหนดให้เป็นสัญญาณที่มีคาบที่คาบมีค่าเข้าใกล้ค่าอนันต์

ใน AFDE จะใช้เทคนิค DFT มาช่วยในการแปลงโดเมนเวลาไปยังโดเมนความถี่ เนื่องจากสัญญาณที่ได้รับไม่เป็นคาบ (คาบจะมีค่าเข้าใกล้ค่าอนันต์) ที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา ฟูรีเยร์แบบไม่ต่อเนื่องทางเวลา เป็นชนิดที่เฉพาะเจาะจงของการแปลงที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา และเป็นหนึ่งในการวิเคราะห์ฟูรีเยร์ (Fourier Analysis) โดยแปลงโดเมนเวลาไปยังโดเมนความถี่ ที่ใช้ฟังก์ชันการป้อนข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง เป็นความจริงที่ว่า DFT สามารถคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพในการปฏิบัติโดยใช้ขั้นตอนวิธีฟูรีเยร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform; FFT) ขั้นตอนวิธี FFT เป็นวิธีการทั่วไปในการคำนวณ DFTs ให้รวดเร็วขึ้น โดยปกติคำว่า "FFT" มักใช้หมายถึง "DFT" แต่นิยามอย่างเป็นทางการมีความแตกต่างที่ชัดเจนคือ DFT หมายถึงการเปลี่ยนแปลงทางคณิตศาสตร์

หรือทำงานโดยไม่คำนึงถึงวิธีการคำนวณ ในขณะที่ FFT หมายถึงวิธีการที่เฉพาะเจาะจงของขั้นตอนวิธีการคำนวณเพื่อ DFTs (Cooley, 1969)

ดังนั้นการแปลงโดเมนเวลาไปเป็นโดเมนความถี่สามารถทำได้ดังนี้

$$y(F) = \sqrt{a_\omega^2 + b_\omega^2} \quad \text{โดย} \quad 1/n \leq \omega \leq 0.5 \quad (36)$$

$$a_\omega = \sum_{t=1}^n \cos(2\pi\omega(t-1))y(t)$$

$$b_\omega = \sum_{t=1}^n \sin(2\pi\omega(t-1))y(t)$$

เมื่อ

$y(F)$ เป็นสเปกตรัมเชิงแอมพลิจูดของความถี่ที่ตำแหน่ง F

เมื่อ $F = \omega n$ ถ้า n เป็นเลขคู่ ; $F = 1, 2, 3, \dots, 0.5n$

และ $F = \omega(n-1)$ ถ้า n เป็นเลขคี่ ; $F = 1, 2, 3, \dots, 0.5(n-1)$

n การทำซ้ำในการดำเนินงาน

1.6. วิเคราะห์ และสรุปผลปัจจัยเข้าที่เด่น คือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรผลตอบสนอง

การวิเคราะห์ และสรุปผลปัจจัยเข้าที่เด่นสามารถพิจารณาได้จากกราฟสเปกตรัมที่ได้จากการแปลงข้อมูลตัวแปรผลตอบสนองในโดเมนเวลาไปเป็น โดเมนความถี่ เทคนิคการพิจารณาจากกราฟ FDE และ AFDE จะพิจารณาเหมือนกัน โดยพิจารณาจากความสูงของสเปกตรัม ถ้าความถี่ขีดใดที่กำหนดให้กับปัจจัยเป็นความถี่ขีดเด่น(สเปกตรัมมีค่ามาก กราฟสูง) ก็จะเป็นปัจจัยเข้าที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่ศึกษา ส่วนความถี่ขีดที่ไม่เด่นใน โดเมนความถี่ก็พิจารณาในทางกลับกัน พิจารณาจากตัวอย่างได้ดังนี้

ตัวอย่าง สมมติสมการเป็นดังนี้

$$y(t) = 2x_1 + 3x_2 + 4x_3 + \varepsilon(t) \quad \text{โดย} \quad t = 1, 2, \dots, 28$$

โดย $\varepsilon(t)$ เป็นสิ่งรบกวนที่แต่ละ t เป็นอิสระกันมีค่าเท่ากับ $\text{Rand}() \times 10$ และปัจจัยเข้าเป็นตัวแปร x_1, x_2 และ x_3 มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 35 จากสมการดังกล่าวนี้จะเห็นว่าตัวแปรผลลัพธ์ได้รับอิทธิพลจาก ปัจจัยเข้าที่มีอิทธิพลเด่น เป็นตัวแปร x_3, x_2 และ x_1 ตามลำดับ เมื่อพิจารณา AFDE การทดลองนี้ทำการดำเนินงานจำนวน 28 ครั้ง ($n = 28$) ตั้งแต่ ครั้งที่ 1 ($t = 1$) จนถึง ครั้งที่ 28 ($t = 28$)

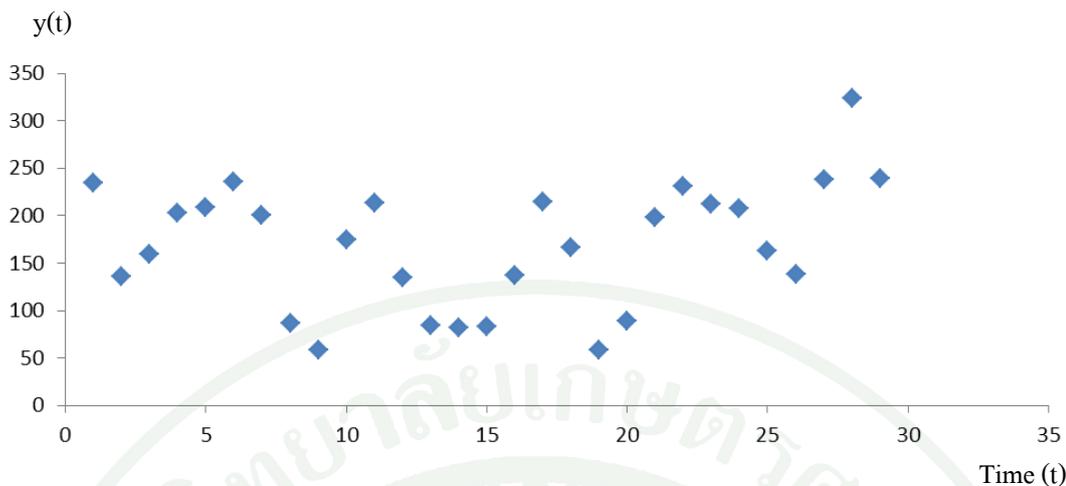
ดังนั้นค่าพารามิเตอร์มีค่าดังต่อไปนี้

1. ค่า ω $\omega_1 = 8/28, \omega_2 = 1/28, \omega_3 = 5/28$
2. ค่า a $1 \leq a_1 \leq 35, 1 \leq a_2 \leq 35, 1 \leq a_3 \leq 35$
3. ค่า $L = 1$
4. ค่า $n = 28$

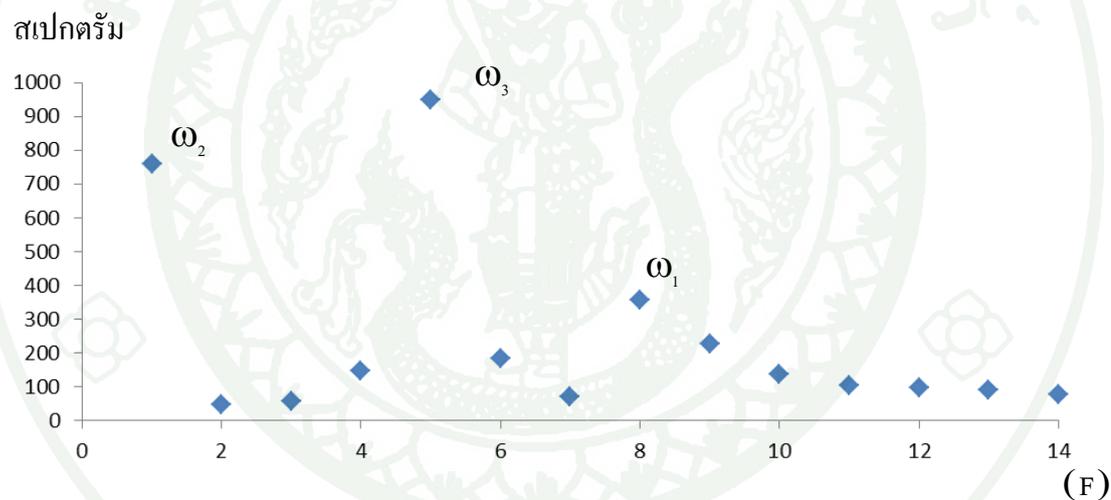
ได้การแกว่งค่าตัวแปรทั้ง 3 ดังนี้

$$\begin{aligned}
 x_1(t) &= 18 + 17 \cos\left(2\pi \frac{8}{28}t\right) ; \quad \omega_1 = 8/28 \text{ or } F_1 = 8 \\
 x_2(t) &= 18 + 17 \cos\left(2\pi \frac{1}{28}t\right) ; \quad \omega_2 = 1/28 \text{ or } F_2 = 1 \\
 x_3(t) &= 18 + 17 \cos\left(2\pi \frac{5}{28}t\right) ; \quad \omega_3 = 5/28 \text{ or } F_3 = 5
 \end{aligned}$$

โดย $t = 1, 2, \dots, 28$



ภาพที่ 10 แสดง $y(t)$ ที่อยู่ในโดเมนเวลา

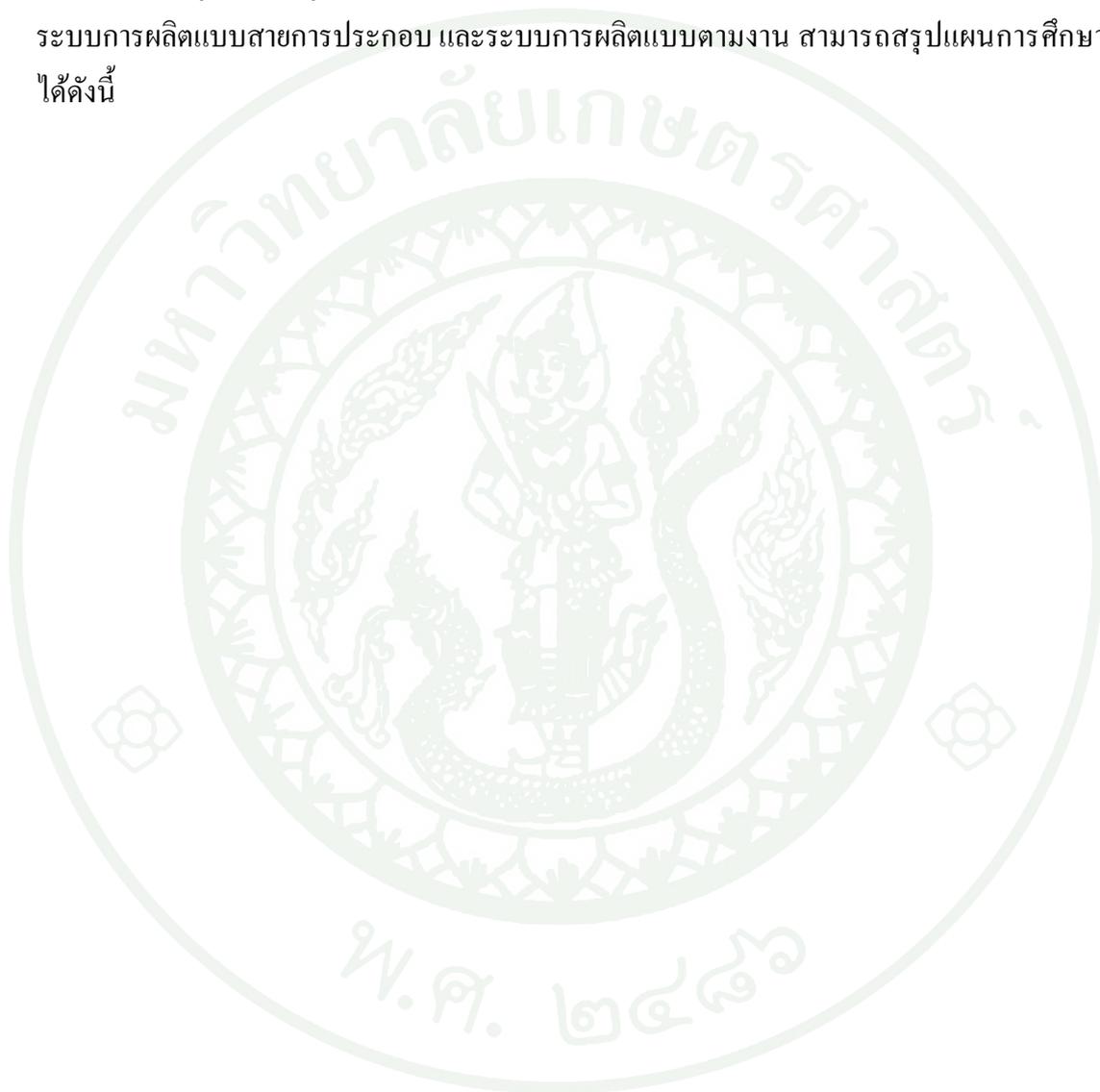


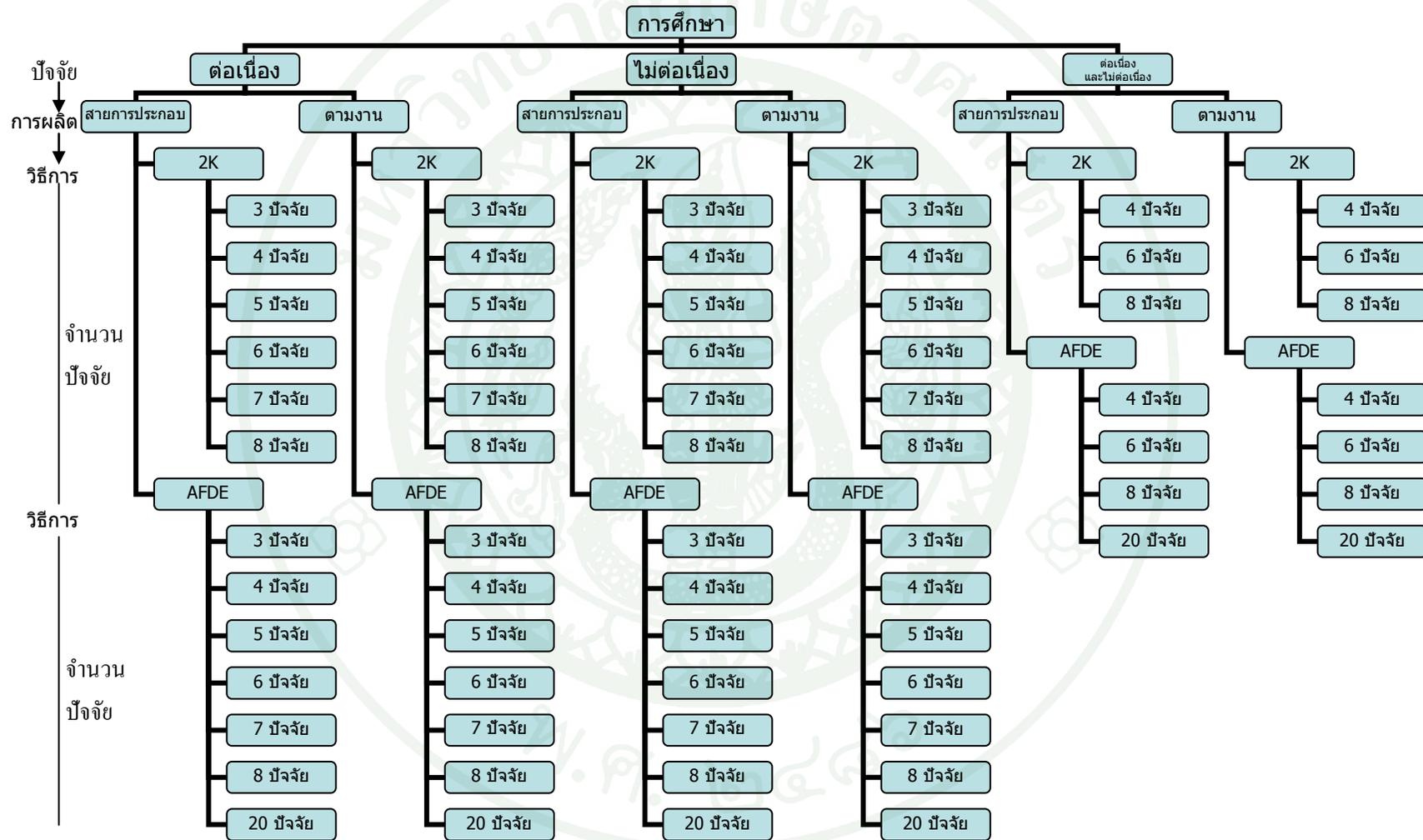
ภาพที่ 11 แสดงสเปกตรัมของผลตอบสนอง $y(t)$

จากภาพที่ 11 จะพบว่า ω_3 มีความเด่นที่สุด นั่นแสดงว่าปัจจัยที่ x_3 นั้นมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองมากที่สุดและ ω_2 มีความเด่นรองลงมา นั่นแสดงว่าปัจจัยที่ x_2 อิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองรองจาก x_3 และสุดท้าย ω_1 มีความน้อยสุดเมื่อเทียบกับความถี่ทั้ง 2 นั่นแสดงว่าปัจจัยที่ x_1 อิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองน้อยที่สุด จะเห็นว่าผลสรุปจากกราฟสอดคล้องกับสมการที่ถูกกำหนดขึ้น

2. การศึกษา

การศึกษาในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยพิจารณาจากปัจจัยเข้าคือ 1) ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง 2) ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง หรือ 3) ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องผสมอยู่ด้วยกันอยู่ในระบบ โดยแต่ละส่วนทำการทดลองกับระบบการผลิต 2 ประเภทคือ ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และระบบการผลิตแบบตามงาน สามารถสรุปแผนการศึกษาได้ดังนี้





ภาพที่ 12 แผนการศึกษา

2.1. ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง

ปัจจัยเข้าในการศึกษาครั้งนี้เป็นสถานีการผลิต (Station) แต่ละสถานี โดยในแต่ละสถานีจะมีจำนวนเครื่องจักรจำนวน 5 เครื่อง ตัวแปรต่อเนื่องที่ทำการศึกษาคือระยะเวลาในการผลิตของแต่ละเครื่องจักร โดยการศึกษาส่วนนี้จะจำแนกออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีแรกทำการศึกษานระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และกรณีที่สองทำการศึกษานระบบการผลิตแบบตามงาน โดยในแต่ละกรณีที่ทำการศึกษาจะทำการศึกษา 6 รูปแบบคือ ศึกษาปัจจัยเข้าที่เป็นสถานีการผลิตตั้งแต่ 3 ปัจจัย (สถานี) ถึง 8 ปัจจัย ในแต่ละรูปแบบได้สร้างระบบการจำลองสถานการณ์ในแบบต่างๆ กัน 4 สถานการณ์ คือ 1) ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย 2) ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย 3) ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย และ 4) ผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอก และเนื่องจากต้องการเปรียบเทียบวิธีการ AFDE กับวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการที่นำเสนอ ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองกำหนดค่าปัจจัยเข้าด้วยเทคนิค AFDE และวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แบบซ้ำ 2 ครั้ง ซึ่งจะนำเสนอเพื่อพิสูจน์ว่าวิธีการ AFDE สามารถคัดเลือกปัจจัยที่มีจำนวนมากในระบบได้

หลังจากนั้นจะทำการศึกษากรณีปัจจัยเข้า 20 ปัจจัยด้วยวิธีการ AFDE เพื่อพิสูจน์ว่าวิธีการ AFDE ใช้คัดเลือกปัจจัยเข้าในระบบที่มีจำนวนมากได้ โดยที่วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากจำนวนครั้งที่ต้องทดลองมากเกินไป พิจารณาจากตารางที่ 5 จะเห็นว่าจำนวนการดำเนินงานเพิ่มขึ้นอย่างมากใน วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แบบซ้ำ 2 ครั้ง จากการศึกษาที่กล่าวมานี้จำแนกจำนวนการทดลองทั้งหมดได้ 48 คู่ หรือ 96 ครั้ง และการทดลองเฉพาะ AFDE 20 ปัจจัย จำนวน 8 การทดลองรวมเป็น 104 ครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 จำนวนการทดลองวิธี AFDE เปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

จำนวนปัจจัย	จำนวนซ้ำการดำเนินงาน	
	AFDE	Factorial 2^k (2 Replications)
2	14	8
3	28	16
4	46	32
5	69	64
6	103	128
7	130	256
8	168	512
9	209	1,024
10	268	2,048
11	340	4,096
12	448	8,192
13	565	16,384
14	675	32,768
15	780	65,536
16	942	131,072
17	1,052	262,144
18	1,208	524,288
19	1,398	1,048,576
20	1,558	2,097,152

ตารางที่ 6 จำนวนการทดลองในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง

ครั้งที่	ระบบการผลิต	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบ	วิธีการ		สถานีคอกขวด		
						อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3
1	ประกอบ	3	1	2^k	AFDE	St 3		
2	ประกอบ	3	2	2^k	AFDE	St 3	St 1	
3	ประกอบ	3	3	2^k	AFDE	St 2	St 1	St 3
4	ประกอบ	3	3**	2^k	AFDE	St 2	St 1	St 3
5	ประกอบ	4	1	2^k	AFDE	St 1		
6	ประกอบ	4	2	2^k	AFDE	St 2	St 1	
7	ประกอบ	4	3	2^k	AFDE	St 2	St 3	St 4
8	ประกอบ	4	3**	2^k	AFDE	St 2	St 3	St 4
9	ประกอบ	5	1	2^k	AFDE	St 4		
10	ประกอบ	5	2	2^k	AFDE	St 4	St 5	
11	ประกอบ	5	3	2^k	AFDE	St 4	St 2	St 5
12	ประกอบ	5	3**	2^k	AFDE	St 4	St 2	St 5
13	ประกอบ	6	1	2^k	AFDE	St 5		
14	ประกอบ	6	2	2^k	AFDE	St 1	St 6	
15	ประกอบ	6	3	2^k	AFDE	St 2	St 3	St 1
16	ประกอบ	6	3**	2^k	AFDE	St 2	St 3	St 1
17	ประกอบ	7	1	2^k	AFDE	St 2		
18	ประกอบ	7	2	2^k	AFDE	St 6	St 5	
19	ประกอบ	7	3	2^k	AFDE	St 1	St 4	St 2
20	ประกอบ	7	3**	2^k	AFDE	St 1	St 4	St 2

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ครั้งที่	ระบบการผลิต	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบ	วิธีการ		สถานีคอกขวด		
						อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3
21	ประกอบ	8	1	2 ^k	AFDE	St 4		
22	ประกอบ	8	2	2 ^k	AFDE	St 5	St 6	
23	ประกอบ	8	3	2 ^k	AFDE	St 1	St 6	St 8
24	ประกอบ	8	3**	2 ^k	AFDE	St 1	St 6	St 8
25	ประกอบ	20	1	-	AFDE	St 15		
26	ประกอบ	20	2	-	AFDE	St 20	St 6	
27	ประกอบ	20	3	-	AFDE	St 8	St 1	St 15
28	ประกอบ	20	3**	-	AFDE	St 8	St 1	St 15
29	ตามงาน	3	1	2 ^k	AFDE	St 3		
30	ตามงาน	3	2	2 ^k	AFDE	St 1	St 2	
31	ตามงาน	3	3	2 ^k	AFDE	St 2	St 3	St 1
32	ตามงาน	3	3**	2 ^k	AFDE	St 2	St 3	St 1
33	ตามงาน	4	1	2 ^k	AFDE	St 3		
34	ตามงาน	4	2	2 ^k	AFDE	St 1	St 2	
35	ตามงาน	4	3	2 ^k	AFDE	St 4	St 1	St 3
36	ตามงาน	4	3**	2 ^k	AFDE	St 4	St 1	St 3
37	ตามงาน	5	1	2 ^k	AFDE	St 4		
38	ตามงาน	5	2	2 ^k	AFDE	St 5	St 2	
39	ตามงาน	5	3	2 ^k	AFDE	St 2	St 1	St 4
40	ตามงาน	5	3**	2 ^k	AFDE	St 2	St 1	St 4

ตารางที่ 6 (ต่อ)

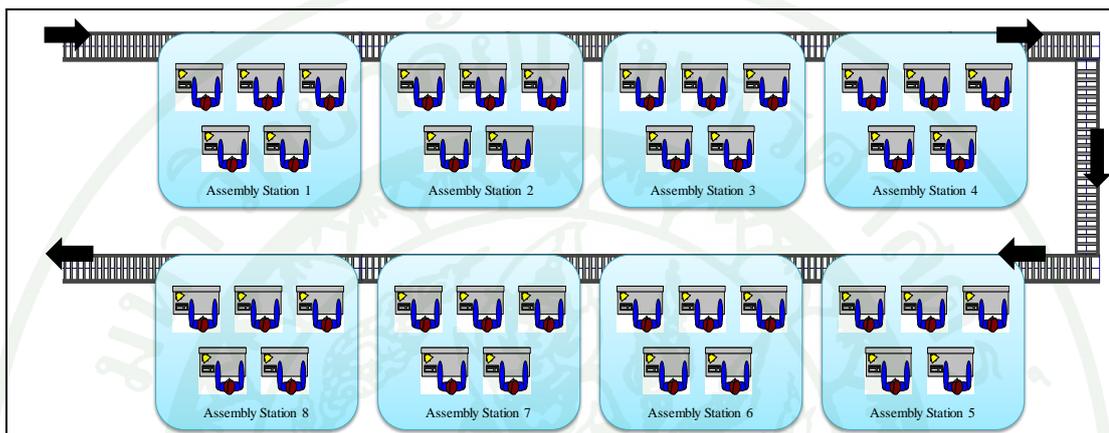
ครั้งที่	ระบบการผลิต	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบ	วิธีการ		สถานีคอขวด		
						อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3
41	ตามงาน	6	1	2 ^k	AFDE	St 5		
42	ตามงาน	6	2	2 ^k	AFDE	St 6	St 2	
43	ตามงาน	6	3	2 ^k	AFDE	St 2	St 1	St 5
44	ตามงาน	6	3**	2 ^k	AFDE	St 2	St 1	St 5
45	ตามงาน	7	1	2 ^k	AFDE	St 5		
46	ตามงาน	7	2	2 ^k	AFDE	St 2	St 3	
47	ตามงาน	7	3	2 ^k	AFDE	St 3	St 1	St 5
48	ตามงาน	7	3**	2 ^k	AFDE	St 3	St 1	St 5
49	ตามงาน	8	1	2 ^k	AFDE	St 6		
50	ตามงาน	8	2	2 ^k	AFDE	St 8	St 3	
51	ตามงาน	8	3	2 ^k	AFDE	St 3	St 6	St 7
52	ตามงาน	8	3**	2 ^k	AFDE	St 3	St 6	St 7
53	ตามงาน	20	1	-	AFDE	St 15		
54	ตามงาน	20	2	-	AFDE	St 20	St 6	
55	ตามงาน	20	3	-	AFDE	St 8	St 1	St 15
56	ตามงาน	20	3**	-	AFDE	St 8	St 1	St 15

- หมายเหตุ: 1) 3** หมายถึง ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองในอันดับที่ 3 มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก
- 2) 2^k หมายถึง วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

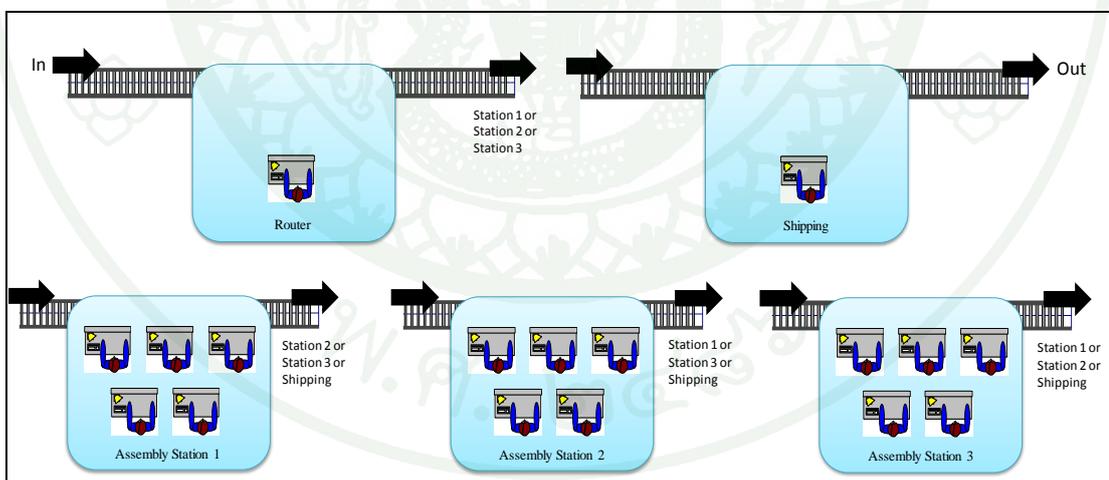
2.1.1. สร้างโมเดลที่ใช้จำลองสถานการณ์ในคอมพิวเตอร์

การวิจัยนี้ใช้ การผลิตแบบสายการประกอบ และการผลิตแบบตามงาน มาเป็นโมเดลในการทดลองคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธี AFDE สร้างโมเดลที่ใช้จำลองสถานการณ์ในคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Arena Version 12.0 ในการศึกษาส่วนนี้จะจำแนกออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีแรกทำการศึกษาระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และกรณีที่สองทำการศึกษาระบบการผลิตแบบตามงาน โดยในแต่ละกรณีที่ทำการศึกษาจะทำการศึกษา 7 รูปแบบคือ ศึกษาปัจจัยเข้าตั้งแต่ 3 ปัจจัย ถึง 8 ปัจจัย และหลังจากนั้นจะทำการศึกษาระบบปัจจัยเข้า 20 ปัจจัย ตัวอย่างระบบการผลิตแบบสายการประกอบ จำนวน 8 สถานีดังภาพที่ 13 และระบบการผลิตแบบตามงาน จำนวน 3 สถานีดังภาพที่ 14



ภาพที่ 13 ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ จำนวน 8 สถานี



ภาพที่ 14 ระบบการผลิตแบบตามงาน จำนวน 3 สถานี

ก. ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ

จากภาพที่ 13 ตัวอย่างระบบการผลิตแบบสายการประกอบมีสถานีประกอบสินค้าที่กำหนดให้เป็นปัจจัยที่ต้องการศึกษาจำนวน 8 สถานี ในโมเดลระบบการผลิตแบบสายการประกอบนี้จะมีกำหนดให้มีการประกอบสินค้าเพียง 1 ชนิดเดินตามสถานีจากสถานี 1 ไป สถานี 2 ,..., ถึงสถานีสุดท้าย ตามลำดับ แต่ละสถานีมีเครื่องจักรเพื่อให้พนักงานควบคุมการประกอบใช้งานได้จำนวน 5 เครื่อง โดยมีช่วงเวลาห่างการเข้ามาของวัสดุที่ต้นสายการผลิตสินค้ามีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10 วินาทีต่อชิ้น กำหนดให้โมเดลการผลิตนี้ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน ทำงานต่อเนื่องจำนวน 168 ชั่วโมงหรือ 7 วัน

เวลาการผลิตของเครื่องจักรมีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยตามพนักงานควบคุมการผลิตสามารถกำหนด โดยเวลาในการผลิตเฉลี่ยในแต่ละสถานีกำหนดได้ตั้งแต่ 1 ถึง 35 วินาทีต่อชิ้น มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5 วินาทีต่อชิ้น โดยควบคุมการผลิตจะกำหนดความเร็วในการผลิตแต่ละสถานีจากความสำคัญของสถานีเหล่านั้น ซึ่งความสำคัญของสถานีเป็นสิ่งที่สนใจในงานวิจัยนี้ สถานีใดเป็นสถานีที่มีความสำคัญ หรืออาจจะเรียกได้ว่าเป็นสถานีคอขวดในการผลิต ซึ่งหมายถึง ถ้าสถานีมีเวลาในการผลิตเฉลี่ยมาก เช่น 30 วินาทีต่อชิ้น จะส่งผลให้จำนวนผลผลิตที่ออกจากระบบมีจำนวนน้อยด้วย แต่ในทางกลับกันถ้าสถานีมีเวลาในการผลิตเฉลี่ยน้อย เช่น 5 วินาทีต่อชิ้น จะส่งผลให้จำนวนผลผลิตที่ออกจากระบบมีจำนวนมากด้วยเช่นกัน และสถานีใดที่ไม่สำคัญต่อระบบการผลิตนี้ ไม่ว่าจะกำหนดเวลาการผลิตเป็นเท่าใดในสถานี จะไม่มีอิทธิพลหรือมีอิทธิพลน้อยต่อจำนวนผลผลิตที่ออกจากระบบ ซึ่งการกำหนดสถานีคอขวดให้ระบบจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

ข. ระบบการผลิตแบบตามงาน

จากภาพที่ 14 ตัวอย่างระบบการผลิตแบบตามงาน จำนวน 3 สถานี ในโมเดลระบบการผลิตแบบตามงานนี้จะมีกำหนดให้มีการผลิตสินค้า 4 ชนิดกำหนดให้แต่ละชนิดมีอัตราส่วนการผลิตเท่ากันคือ $1/4$. โดยมีช่วงเวลาห่างการเข้ามาของวัสดุที่ต้นสายการผลิตสินค้ามีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10 วินาทีต่อชิ้น แต่ละสินค้าและการทดลองมีสินค้ามีลำดับเข้าสถานีการผลิตแตกต่างกัน โดยการสุ่ม ได้ผลดังตารางที่ 7 และกำหนดให้โมเดลการผลิตนี้ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 4,160 ชั่วโมง

ตารางที่ 7 การลำดับเข้าสถานีการผลิตของระบบการผลิตแบบตามงาน

จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	สินค้า	ลำดับการเข้าสถานี
3	1	{1,3,2}
	2	{3,2,1}
	3	{2,1,3}
	4	{2,3,1}
4	1	{1,4,3,2}
	2	{3,2,1,4}
	3	{4,2,1,3}
	4	{2,3,4,1}
5	1	{1,4,3,5,2}
	2	{3,2,1,5,4}
	3	{5,4,2,1,3}
	4	{2,3,5,4,1}
6	1	{1,4,3,5,2,6}
	2	{3,2,1,6,5,4}
	3	{5,6,4,2,1,3}
	4	{2,3,5,4,1,6}
7	1	{1,4,3,7,5,2,6}
	2	{3,2,1,6,5,7,4}
	3	{5,6,4,2,1,7,3}
	4	{2,3,7,5,4,1,6}
8	1	{1,4,3,7,8,5,2,6}
	2	{3,2,1,6,5,7,8,4}
	3	{8,5,6,4,2,1,7,3}
	4	{2,8,3,7,5,4,1,6}
20	1	{17,13,4,19,10,16,18,20,1,11,3,7,8,5,2,6,9,12,14,15}
	2	{3,2,1,6,5,7,8,4,20,10,12,14,16,19,11,18,15,17,9,13}
	3	{10,11,12,6,5,2,3,4,16,18,13,1,7,9,17,20,19,8,14,15}
	4	{2,8,3,17,5,4,1,6,10,11,20,9,19,15,14,12,13,16,7,18}

เวลาการผลิตของเครื่องจักรมีการแจกแจงแบบเอกซ์โปเนนเชียลมีค่าเฉลี่ยตามพนักงานควบคุมการผลิตสามารถกำหนด โดยเวลาในการผลิตเฉลี่ยในแต่ละสถานี

กำหนดได้ตั้งแต่ 1 ถึง 35 วินาทีต่อชิ้น การกำหนดเร่งเวลาการผลิตจะพิจารณาจากความสำคัญของสถานีเหล่านั้น ในเบื้องต้นสถานีมีเครื่องจักรเพื่อให้พนักงานควบคุมการผลิตใช้งานได้จำนวน 5 เครื่อง ซึ่งการกำหนดสถานีคอกวนให้ระบบจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

2.1.2. ปัจจัยและผลตอบสนองที่ต้องการศึกษา

ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และระบบการผลิตแบบตามงาน จากที่กล่าวมาแล้วสามารถอธิบายปัจจัยเข้า และผลตอบสนองที่ต้องการศึกษา ของระบบการผลิตทั้งสองได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปัจจัยเข้าและผลตอบสนองในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง

จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	ปัจจัยเข้า เป็นเวลาการผลิตของเครื่องจักรในแต่ละสถานี (Station; St)									ผลตอบสนองที่ต้องการศึกษา
	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	St 9	
2	St 1	St 2								จำนวนผลผลิตออกจากระบบ
3	St 1	St 2	St 3							
4	St 1	St 2	St 3	St 4						
5	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5					
6	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6				
7	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7			
8	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8		
20	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	St 9	
	St 10	St 11	St 12	St 13	St 14	St 15	St 16	St 17	St 18	
	St 19	St 20								

ในแต่ละรูปแบบได้สร้างระบบการจำลองสถานการณ์ในรูปแบบต่างๆ กัน 4 สถานการณ์ดังนี้

ก. ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย

ลดจำนวนเครื่องจักรในสถานีจำนวน 1 สถานีอย่างสุ่ม (ตารางที่ 6) เหลือเครื่องจักร 3 เครื่องจาก 5 เครื่อง เพื่อให้สถานีนั้นเป็นสถานีคอกขวด

ข. ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย

ลดจำนวนเครื่องจักรในสถานีจำนวน 2 สถานีอย่างสุ่มตามลำดับ (ตารางที่ 6) เพื่อให้สถานีเหล่านั้นเป็นสถานีคอกขวด โดยสถานีแรกที่สุ่มได้สถานีนั้นจะมีจำนวนเครื่องจักรเหลือ 3 เครื่อง และสถานีอันดับที่ 2 ที่สุ่มได้สถานีนั้นจะมีจำนวนเครื่องจักรเหลือ 2 เครื่อง

ค. ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย

ลดจำนวนเครื่องจักรในสถานีจำนวน 3 สถานีอย่างสุ่มตามลำดับ (ตารางที่ 6) เพื่อให้สถานีเหล่านั้นเป็นสถานีคอกขวด โดยสถานีแรกที่สุ่มได้สถานีนั้นจะมีจำนวนเครื่องจักรเหลือ 3 เครื่อง สถานีอันดับที่ 2 ที่สุ่มได้สถานีนั้นจะมีจำนวนเครื่องจักรเหลือ 2 เครื่อง และสถานีอันดับที่ 3 ที่สุ่มได้สถานีนั้นจะมีจำนวนเครื่องจักรเหลือ 1 เครื่อง

ง. ผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอก

ลดจำนวนเครื่องจักรในสถานีจำนวน 3 สถานีอย่างสุ่มตามลำดับ (ตารางที่ 6) เพื่อให้สถานีเหล่านั้นเป็นสถานีคอกขวด โดยสถานีแรกที่สุ่มได้สถานีนั้นจะมีจำนวนเครื่องจักรเหลือ 3 เครื่อง สถานีอันดับที่ 2 ที่สุ่มได้สถานีนั้นจะมีจำนวนเครื่องจักรเหลือ 2 เครื่อง และสถานีอันดับที่ 3 ที่สุ่มได้สถานีนั้นจะมีจำนวนเครื่องจักรเหลือ 1 เครื่องและกำหนดให้สถานีนี้จะทำงาน 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง การทดลองนี้พยายามเพิ่มความซับซ้อนให้ระบบ และให้เทคนิค AFDE ช่วยตรวจจับสถานีคอกขวดที่ควรจะเปลี่ยนแปลงไป

2.1.3. กำหนดค่าพารามิเตอร์ของ AFDE

กำหนดค่าพารามิเตอร์ของการทดลอง AFDE ในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และระบบการผลิตแบบตามงาน โดยการเลือกความถี่จะใช้วิธีการสุ่มความถี่ให้กับ

ปัจจัย ส่วนแอมพลิจูดกำหนดตามระบบการจำลองสถานการณ์เบื้องต้นคือ สถานีงานที่เป็นปัจจัย
เข้า เครื่องจักรจะมีเวลาทำการผลิต 1 ถึง 35 วินาทีต่อชิ้นเป็นแอมพลิจูดของ AFDE ดังนั้นจะสรุป
การกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อการทดลอง AFDE ได้ดังตารางที่ 9



ตารางที่ 9 ค่าพารามิเตอร์ของ AFDE ในการทดลองปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง

ระบบการผลิต	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	ความถี่ขั้นที่สถานีการผลิตได้รับ (O)																				แอมพลิจูด (a)	ความยาวของการดำเนินงาน (L)	จำนวนการทำซ้ำ (n)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
ประกอบ	3	1	5	8																		1 ถึง 35	168 ชม.	28
ประกอบ	4	17	4	10	1																	1 ถึง 35	168 ชม.	46
ประกอบ	5	13	29	19	4	1																1 ถึง 35	168 ชม.	69
ประกอบ	6	31	35	11	1	28	49															1 ถึง 35	168 ชม.	103
ประกอบ	7	4	19	31	1	53	60	44														1 ถึง 35	168 ชม.	130
ประกอบ	8	75	29	41	40	16	38	33	10													1 ถึง 35	168 ชม.	168
ประกอบ	20	37	46	15	535	447	64	167	257	41	100	195	148	29	707	705	40	329	382	291	608	1 ถึง 35	168 ชม.	1558
ตามงาน	3	8	1	5																		1 ถึง 35	4160 ชม.	28
ตามงาน	4	10	1	17	4																	1 ถึง 35	4160 ชม.	46
ตามงาน	5	29	13	1	4	19																1 ถึง 35	4160 ชม.	69
ตามงาน	6	28	11	49	35	1	31															1 ถึง 35	4160 ชม.	103
ตามงาน	7	19	44	60	53	31	1	4														1 ถึง 35	4160 ชม.	130
ตามงาน	8	38	33	10	41	40	75	29	16													1 ถึง 35	4160 ชม.	168
ตามงาน	20	15	608	167	382	447	535	41	148	64	195	291	29	46	707	100	329	257	40	37	705	1 ถึง 35	4160 ชม.	1558

2.2. ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง

ปัจจัยเข้าในการศึกษาครั้งนี้เป็นสถานีการผลิต (Station) แต่ละสถานี โดยในแต่ละสถานีจะมีจำนวนเครื่องจักรที่มีลักษณะเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่องตั้งแต่จำนวน 1 ถึง 5 เครื่อง โดยการศึกษาส่วนนี้จะจำแนกออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีแรกทำการศึกษานระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และกรณีที่สองทำการศึกษานระบบการผลิตแบบตามงาน แต่ละกรณีที่ทำการศึกษาจะทำการศึกษา 6 รูปแบบคือ ศึกษาปัจจัยเข้าที่เป็นสถานีการผลิตตั้งแต่ 3 ปัจจัย (สถานี) ถึง 8 ปัจจัย และแต่ละรูปแบบได้สร้างระบบการจำลองสถานการณ์ในแบบต่างๆ กัน 4 สถานการณ์ คือ 1) ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย 2) ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย 3) ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย และ 4) ผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอก และเนื่องจากต้องการเปรียบเทียบวิธีการ AFDE กับวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการที่นำเสนอ ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองกำหนดค่าปัจจัยเข้าด้วยเทคนิค AFDE และ วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แบบซ้ำ 2 ครั้ง

หลังจากนั้นจะทำการศึกษากรณีปัจจัยเข้า 20 ปัจจัยด้วยวิธีการ AFDE เพื่อพิสูจน์ว่าวิธีการ AFDE ใช้คัดเลือกปัจจัยเข้าในระบบที่มีจำนวนมากได้ โดยที่วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากจำนวนครั้งที่ต้องทดลองมากเกินไป จากการศึกษาที่กล่าวมานี้จำแนกจำนวนการทดลองทั้งหมดได้ 104 ครั้งการทดลอง ได้ผลดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 จำนวนการทดลองในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง

ครั้งที่	ระบบการผลิต	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบ	วิธีการ		สถานีคอกขวด		
						อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3
1	ประกอบ	3	1	2 ^k	AFDE	St 1		
2	ประกอบ	3	2	2 ^k	AFDE	St 3	St 1	
3	ประกอบ	3	3	2 ^k	AFDE	St 2	St 1	St 3
4	ประกอบ	3	3**	2 ^k	AFDE	St 2	St 1	St 3
5	ประกอบ	4	1	2 ^k	AFDE	St 4		
6	ประกอบ	4	2	2 ^k	AFDE	St 3	St 4	
7	ประกอบ	4	3	2 ^k	AFDE	St 4	St 1	St 3
8	ประกอบ	4	3**	2 ^k	AFDE	St 4	St 1	St 3
9	ประกอบ	5	1	2 ^k	AFDE	St 4		
10	ประกอบ	5	2	2 ^k	AFDE	St 5	St 2	
11	ประกอบ	5	3	2 ^k	AFDE	St 1	St 2	St 4
12	ประกอบ	5	3**	2 ^k	AFDE	St 1	St 2	St 4
13	ประกอบ	6	1	2 ^k	AFDE	St 4		
14	ประกอบ	6	2	2 ^k	AFDE	St 6	St 5	
15	ประกอบ	6	3	2 ^k	AFDE	St 1	St 5	St 6
16	ประกอบ	6	3**	2 ^k	AFDE	St 1	St 5	St 6
17	ประกอบ	7	1	2 ^k	AFDE	St 3		
18	ประกอบ	7	2	2 ^k	AFDE	St 4	St 5	
19	ประกอบ	7	3	2 ^k	AFDE	St 3	St 4	St5
20	ประกอบ	7	3**	2 ^k	AFDE	St 3	St 4	St5

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ครั้งที่	ระบบการผลิต	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบ	วิธีการ		สถานีคอกขวด		
						อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3
21	ประกอบ	8	1	2 ^k	AFDE	St 6		
22	ประกอบ	8	2	2 ^k	AFDE	St 1	St 5	
23	ประกอบ	8	3	2 ^k	AFDE	St 5	St 8	St 1
24	ประกอบ	8	3**	2 ^k	AFDE	St 5	St 8	St 1
25	ประกอบ	20	1	-	AFDE	St 16		
26	ประกอบ	20	2	-	AFDE	St 2	St 6	
27	ประกอบ	20	3	-	AFDE	St 20	St 10	St 5
28	ประกอบ	20	3**	-	AFDE	St 20	St 10	St 5
29	ตามงาน	3	1	2 ^k	AFDE	St 1		
30	ตามงาน	3	2	2 ^k	AFDE	St 1	St 3	
31	ตามงาน	3	3	2 ^k	AFDE	St 2	St 1	St 3
32	ตามงาน	3	3**	2 ^k	AFDE	St 2	St 1	St 3
33	ตามงาน	4	1	2 ^k	AFDE	St 3		
34	ตามงาน	4	2	2 ^k	AFDE	St 1	St 4	
35	ตามงาน	4	3	2 ^k	AFDE	St 4	St 1	St 3
36	ตามงาน	4	3**	2 ^k	AFDE	St 4	St 1	St 3
37	ตามงาน	5	1	2 ^k	AFDE	St 3		
38	ตามงาน	5	2	2 ^k	AFDE	St 1	St 5	
39	ตามงาน	5	3	2 ^k	AFDE	St 5	St 4	St 1
40	ตามงาน	5	3**	2 ^k	AFDE	St 5	St 4	St 1

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ครั้งที่	ระบบการผลิต	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบ	วิธีการ		สถานีคอกขวด		
						อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3
41	ตามงาน	6	1	2 ^k	AFDE	St 3		
42	ตามงาน	6	2	2 ^k	AFDE	St 1	St 5	
43	ตามงาน	6	3	2 ^k	AFDE	St 3	St 6	St 1
44	ตามงาน	6	3**	2 ^k	AFDE	St 3	St 6	St 1
45	ตามงาน	7	1	2 ^k	AFDE	St 3		
46	ตามงาน	7	2	2 ^k	AFDE	St 3	St 7	
47	ตามงาน	7	3	2 ^k	AFDE	St 4	St 7	St 3
48	ตามงาน	7	3**	2 ^k	AFDE	St 4	St 7	St 3
49	ตามงาน	8	1	2 ^k	AFDE	St 3		
50	ตามงาน	8	2	2 ^k	AFDE	St 2	St 4	
51	ตามงาน	8	3	2 ^k	AFDE	St 2	St 5	St 4
52	ตามงาน	8	3**	2 ^k	AFDE	St 2	St 5	St 4
53	ตามงาน	20	1	-	AFDE	St 4		
54	ตามงาน	20	2	-	AFDE	St 14	St 9	
55	ตามงาน	20	3	-	AFDE	St 9	St 2	St 12
56	ตามงาน	20	3**	-	AFDE	St 9	St 2	St 12

หมายเหตุ: 1) 3** หมายถึง ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองในอันดับที่ 3
มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก

2) 2^k หมายถึง วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

2.2.1. สร้างโมเดลที่ใช้จำลองสถานการณ์ในคอมพิวเตอร์

การวิจัยนี้ใช้ การผลิตแบบสายการประกอบ และการผลิตแบบตามงาน มาเป็นโมเดลในการทดลองคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธี AFDE สร้างโมเดลที่ใช้จำลองสถานการณ์ใน

คอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Arena Version 12.0 ดังเช่นการศึกษาตัวแปรเข้าเป็นแบบต่อเนื่อง ดังภาพที่ 13 และภาพที่ 14 ที่แสดงไว้ข้างต้น

ก. ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ

ในโมเดลระบบการผลิตแบบสายการประกอบนี้จะมีกำหนดให้มีการประกอบสินค้าเพียง 1 ชนิดเดินตามสถานีจากสถานี 1 ไปสถานี 2 ,..., ถึงสถานีสุดท้าย ตามลำดับ แต่ละสถานีมีเครื่องจักรเพื่อให้พนักงานควบคุมการประกอบเลือกไปใช้งานได้จำนวน 1 ถึง 5 เครื่อง โดยพนักงานควบคุมการผลิตเป็นผู้กำหนดจำนวนเครื่องจักรที่จะติดตั้งในแต่ละสถานีจากความสำคัญของสถานีเหล่านั้น ในเบื้องต้นจะกำหนดให้แต่ละเครื่องจักรมีเวลาในการผลิตเท่ากัน มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5 วินาทีต่อชิ้น ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5 วินาทีต่อชิ้น กำหนดให้โมเดลการผลิตนี้ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 168 ชั่วโมง หรือ 7 วัน

ความสำคัญของสถานีเป็นสิ่งสนใจในงานวิจัยนี้ สถานีใดเป็นสถานีที่มีความสำคัญ หรืออาจจะเรียกได้ว่าเป็นสถานีคอขวดในการผลิต ซึ่งหมายถึง ถ้าสถานีมีจำนวนเครื่องจักรน้อย เช่น 1 เครื่อง จะส่งผลให้จำนวนผลผลิตที่ออกจากระบบมีจำนวนน้อยด้วย แต่ในทางกลับกันถ้าจำนวนเครื่องจักรในสถานีมีจำนวนมาก เช่น 5 เครื่อง จะส่งผลให้จำนวนผลผลิตที่ออกจากระบบมีจำนวนมากด้วยเช่นกัน และสถานีใดที่ไม่สำคัญต่อระบบการผลิตนี้ จำนวนเครื่องจักรที่มีอยู่ในสถานีจะไม่มีอิทธิพล หรือมีอิทธิพลน้อยต่อจำนวนผลผลิตที่ออกจากระบบ ซึ่งการกำหนดสถานีคอขวดให้ระบบจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

ข. ระบบการผลิตแบบตามงาน

ในโมเดลระบบการผลิตแบบตามงานนี้จะมีกำหนดให้มีการผลิตสินค้า 4 ชนิดกำหนดให้แต่ละชนิดมีอัตราส่วนการผลิตเท่ากันคือ $1/4$. โดยมีช่วงเวลาห่างการเข้ามาของวัสดุที่ต้นสายการผลิตสินค้ามีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10 วินาทีต่อชิ้น แต่ละสินค้าและการทดลองมีสินค้ามีลำดับเข้าสถานีการผลิตแตกต่างกันโดยการสุ่ม ได้ผลดังตารางที่ 7 ในการศึกษาปัจจัยเข้าแบบต่อเนื่องที่กล่าวมาข้างต้น โดยกำหนดให้โมเดลการผลิตนี้ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 4,160 ชั่วโมงเช่นกัน

พนักงานควบคุมการผลิตแต่ละสถานีมีเครื่องจักรเพื่อเลือกให้นำไปใช้งานจำนวน 1 ถึง 5 เครื่อง โดยพนักงานควบคุมการผลิตเป็นผู้กำหนดจำนวนเครื่องจักรที่จะติดตั้งในแต่ละสถานีจากความสำคัญของสถานีเหล่านั้น ในเบื้องต้นจะกำหนดให้แต่ละเครื่องจักรมีเวลาในการผลิตเท่ากันมีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5 วินาทีต่อชิ้น ซึ่งการกำหนดสถานีคอขวดให้ระบบจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

2.2.2. ปัจจัยและผลตอบสนองที่ต้องการศึกษา

ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และระบบการผลิตแบบตามงาน จากที่กล่าวมาแล้วสามารถอธิบายปัจจัยเข้า และผลตอบสนองที่ต้องการศึกษา ของระบบการผลิตทั้งสองได้ดังตารางที่ 11 เช่นเดียวกันกับการศึกษาปัจจัยเข้าแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 11 ปัจจัยเข้าและผลตอบสนองในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง

จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	ปัจจัยเข้า เป็นจำนวนเครื่องจักรในแต่ละสถานี (Station; St)									ผลตอบ สนองที่ ต้องการ ศึกษา
	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	St 9	
2	St 1	St 2								จำนวน ผลผลิต ออกจาก ระบบ
3	St 1	St 2	St 3							
4	St 1	St 2	St 3	St 4						
5	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5					
6	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6				
7	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7			
8	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8		
20	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	St 9	
	St 10	St 11	St 12	St 13	St 14	St 15	St 16	St 17	St 18	
	St 19	St 20								

ในแต่ละรูปแบบได้สร้างระบบการจำลองสถานการณ์ในรูปแบบต่างๆ กัน 4 สถานการณ์ดังนี้

ก. ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย

เพิ่มเวลาการผลิตในสถานีจำนวน 1 สถานีอย่างสุ่ม (ตารางที่ 10) เพื่อให้สถานีนั้นเป็นสถานีคอขวด โดยแต่ละเครื่องจักรในสถานีนั้นมีเวลาในการผลิตเท่ากัน มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35 วินาทีต่อชิ้น

ข. ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย

เพิ่มเวลาการผลิตในสถานีจำนวน 2 สถานีอย่างสุ่มตามลำดับ (ตารางที่ 10) เพื่อให้สถานีเหล่านั้นเป็นสถานีคอขวด โดยสถานีแรกที่สุ่มได้แต่ละเครื่องจักรในสถานีนั้นมีเวลาในการผลิตเท่ากัน มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35 วินาทีต่อชิ้น และสถานีอันดับที่ 2 ที่สุ่มได้แต่ละเครื่องจักรในสถานีนั้นมีเวลาในการผลิตเท่ากัน มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.5 วินาทีต่อชิ้น

ค. ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย

เพิ่มเวลาการผลิตในสถานีจำนวน 3 สถานีอย่างสุ่มตามลำดับ (ตารางที่ 10) เพื่อให้สถานีเหล่านั้นเป็นสถานีคอขวด โดยสถานีแรกที่สุ่มได้แต่ละเครื่องจักรในสถานีนั้นมีเวลาในการผลิตเท่ากัน มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35 วินาทีต่อชิ้น และสถานีอันดับที่ 2 ที่สุ่มได้แต่ละเครื่องจักรในสถานีนั้นมีเวลาในการผลิตเท่ากัน มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.5 วินาทีต่อชิ้น และสถานีอันดับที่ 3 ที่สุ่มได้แต่ละเครื่องจักรในสถานีนั้นมีเวลาในการผลิตเท่ากัน มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.25 วินาทีต่อชิ้น

ง. ผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอก

เพิ่มเวลาการผลิตในสถานีจำนวน 3 สถานีอย่างสุ่มตามลำดับ (ตารางที่ 10) เพื่อให้สถานีเหล่านั้นเป็นสถานีคอขวด โดยสถานีแรกที่สุ่มได้แต่ละเครื่องจักรในสถานีนั้นมีเวลาในการผลิตเท่ากัน มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35 วินาทีต่อชิ้น และสถานีลำดับที่ 2 ที่สุ่มได้แต่ละเครื่องจักรในสถานีนั้นมีเวลาในการผลิตเท่ากัน มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.5 วินาทีต่อชิ้น และสถานีลำดับที่ 3 ที่สุ่มได้แต่ละเครื่องจักรในสถานีนั้นมีเวลาในการผลิตเท่ากัน มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.25 วินาทีต่อชิ้น สถานีนี้จะทำงาน 16 ชั่วโมง

และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง เป็นต้น การทดลองนี้พยายามเพิ่มความซับซ้อนให้ระบบ และให้เทคนิค AFDE ช่วยตรวจจับสถานีคอขวดที่ควรจะเปลี่ยนแปลงไป

2.2.3. กำหนดค่าพารามิเตอร์ของ AFDE

กำหนดค่าพารามิเตอร์ของการทดลอง AFDE ในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และระบบการผลิตแบบตามงาน โดยการเลือกความถี่จะใช้วิธีการสุ่มความถี่ให้กับปัจจัย ส่วนแอมพลิจูดกำหนดตามระบบการจำลองสถานการณ์เบื้องต้นคือสถานีงานที่เป็นปัจจัยเข้ามีจำนวนเครื่องจักรตั้งแต่ 1 ถึง 5 เป็นแอมพลิจูดของ AFDE ดังนั้นจะสรุปการกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อการทดลอง AFDE ได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าพารามิเตอร์ของ AFDE ในการทดลองปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง

ระบบ การผลิต	จำนวน ปัจจัยที่ ศึกษา	ความถี่ขั้นที่สถานีการผลิตได้รับ (O)																				แอมพลี จูด (a)	ความยาว ของการ ดำเนิน งาน (L)	จำนวน การ ทำซ้ำ (n)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
ประกอบ	3	5	8	1																		1,2,3,4,5	168 ชม.	28
ประกอบ	4	17	4	1	10																	1,2,3,4,5	168 ชม.	46
ประกอบ	5	13	4	29	1	19																1,2,3,4,5	168 ชม.	69
ประกอบ	6	35	1	31	28	11	49															1,2,3,4,5	168 ชม.	103
ประกอบ	7	31	60	44	4	53	19	1														1,2,3,4,5	168 ชม.	130
ประกอบ	8	16	38	75	10	33	41	29	40													1,2,3,4,5	168 ชม.	168
ประกอบ	20	40	291	148	382	64	41	257	29	167	705	46	447	100	329	535	15	195	707	37	608	1,2,3,4,5	168 ชม.	1558
ตามงาน	3	8	1	5																		1,2,3,4,5	4160 ชม.	28
ตามงาน	4	4	1	17	10																	1,2,3,4,5	4160 ชม.	46
ตามงาน	5	4	29	19	13	1																1,2,3,4,5	4160 ชม.	69
ตามงาน	6	1	11	49	28	35	31															1,2,3,4,5	4160 ชม.	103
ตามงาน	7	44	1	4	60	19	53	31														1,2,3,4,5	4160 ชม.	130
ตามงาน	8	16	29	40	38	33	10	75	41													1,2,3,4,5	4160 ชม.	168
ตามงาน	20	382	195	257	46	64	447	15	535	148	608	100	707	29	705	167	291	41	329	37	40	1,2,3,4,5	4160 ชม.	1558

2.3. ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องผสมอยู่ด้วยกันอยู่ในระบบ

ปัจจัยเข้าในการศึกษาครั้งนี้เป็นสถานีการผลิต (Station) แต่ละสถานี โดยในแต่ละสถานีจะมีจำนวนเครื่องจักรที่มีลักษณะเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่องตั้งแต่จำนวน 1 ถึง 5 เครื่อง และระยะเวลาในการผลิตของแต่ละเครื่องจักรเป็นตัวแปรต่อเนื่องที่ทำการศึกษา ดังนั้นในแต่ละสถานีจะมีปัจจัยที่ต้องศึกษา 2 ปัจจัย คือ 1) จำนวนเครื่องจักร และ 2) เวลาการผลิต

การศึกษาจะจำแนกออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีแรกทำการศึกษาระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และกรณีที่สองทำการศึกษาระบบการผลิตแบบตามงาน แต่ละกรณีที่ทำการศึกษาจะทำการศึกษา 3 รูปแบบคือ ศึกษาปัจจัยเข้าที่เป็นสถานีการผลิตตั้งแต่ 4 ปัจจัย 6 ปัจจัย และ 8 ปัจจัย และแต่ละรูปแบบได้สร้างระบบการจำลองสถานการณ์ในแบบต่างๆ กัน 2 สถานการณ์ คือ 1) ผลกระทบปัจจัยเข้าหลักทุกปัจจัย และ 2) ผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอก และเนื่องจากต้องการเปรียบเทียบวิธีการ AFDE กับวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการที่นำเสนอ ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองกำหนดค่าปัจจัยเข้าด้วยเทคนิค AFDE และ วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

หลังจากนั้นจะทำการศึกษกรณีปัจจัยเข้า 20 ปัจจัยด้วยวิธีการ AFDE เพื่อพิสูจน์ว่าวิธีการ AFDE ใช้คัดเลือกปัจจัยเข้าในระบบที่มีจำนวนมากได้ โดยที่วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากจำนวนครั้งที่ต้องทดลองมากเกินไป จากการศึกษาที่กล่าวมานี้จำแนกจำนวนการทดลองทั้งหมดได้ 28 ครั้งการทดลอง ได้ผลดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 จำนวนการทดลองในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

คู่อันที่	ระบบการผลิต	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบ	วิธีการ		สถานีคอบวด
1	ประกอบ	4	4 ปัจจัย	2 ^k	AFDE	สถานี 1 ถึง 2
2	ประกอบ	4	4**	2 ^k	AFDE	สถานี 1 ถึง 2
3	ประกอบ	6	6 ปัจจัย	2 ^k	AFDE	สถานี 1 ถึง 3
4	ประกอบ	6	6**	2 ^k	AFDE	สถานี 1 ถึง 3
5	ประกอบ	8	8 ปัจจัย	2 ^k	AFDE	สถานี 1 ถึง 4
6	ประกอบ	8	8**	2 ^k	AFDE	สถานี 1 ถึง 4
7	ประกอบ	20	20 ปัจจัย	-	AFDE	สถานี 1 ถึง 10
8	ประกอบ	20	20**	-	AFDE	สถานี 1 ถึง 10
9	ตามงาน	4	4 ปัจจัย	2 ^k	AFDE	สถานี 1 ถึง 2
10	ตามงาน	4	4**	2 ^k	AFDE	สถานี 1 ถึง 2
11	ตามงาน	6	6 ปัจจัย	2 ^k	AFDE	สถานี 1 ถึง 3
12	ตามงาน	6	6**	2 ^k	AFDE	สถานี 1 ถึง 3
13	ตามงาน	8	8 ปัจจัย	2 ^k	AFDE	สถานี 1 ถึง 4
14	ตามงาน	8	8**	2 ^k	AFDE	สถานี 1 ถึง 4
15	ตามงาน	20	20 ปัจจัย	-	AFDE	สถานี 1 ถึง 10
16	ตามงาน	20	20**	-	AFDE	สถานี 1 ถึง 10

หมายเหตุ: 1) 4**, 6**, 8**, 20** หมายถึง การทดลองที่มีจำนวนปัจจัย 4, 6, 8 หรือ 20 ที่มีปัจจัยหลัก 1 ตัว ที่มีมีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก
2) 2^k หมายถึง วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

2.3.1. สร้างโมเดลที่ใช้จำลองสถานการณ์ในคอมพิวเตอร์

การวิจัยนี้ใช้ การผลิตแบบสายการประกอบ และการผลิตแบบตามงาน มาเป็นโมเดลในการทดลองคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธี AFDE สร้างโมเดลที่ใช้จำลองสถานการณ์ใน

คอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Arena Version 12.0 ดังเช่นการศึกษาตัวแปรเข้าเป็นแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง ดังภาพที่ 13 และภาพที่ 14 ที่แสดงไว้ข้างต้น

ก. ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ

ใน โมเดลระบบการผลิตแบบสายการประกอบนี้จะมีกำหนดให้มีการประกอบสินค้าเพียง 1 ชนิดเดินตามสถานีจากสถานี 1 ไปสถานี 2 ,..., ถึงสถานีสุดท้าย ตามลำดับ แต่ละสถานีมีปัจจัยเข้าที่ต้องศึกษา 2 ปัจจัย คือเครื่องจักรเพื่อให้พนักงานควบคุมการประกอบเลือกไปใช้งานได้จำนวน 1 ถึง 5 เครื่อง และระยะเวลาเฉลี่ยในการผลิตในช่วงเวลา 1 ถึง 35 วินาทีต่อชิ้นของการแจกแจงแบบปกติ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5 วินาทีต่อชิ้น ของแต่ละเครื่องจักร โดยพนักงานควบคุมการผลิตเป็นผู้กำหนดจำนวนเครื่องจักรที่จะติดตั้งในแต่ละสถานีจากความสำคัญของสถานีเหล่านั้น ในเบื้องต้นจะกำหนดให้โมเดลการผลิตนี้ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 168 ชั่วโมง หรือ 7 วัน

การกำหนดสถานีคอขวดให้ระบบจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

ข. ระบบการผลิตแบบตามงาน

ใน โมเดลระบบการผลิตแบบตามงานนี้จะมีกำหนดให้มีการผลิตสินค้า 4 ชนิดกำหนดให้แต่ละชนิดมีอัตราส่วนการผลิตเท่ากันคือ $1/4$ โดยมีช่วงเวลาห่างการเข้ามาของวัสดุที่ต้นสายการผลิตสินค้ามีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10 วินาทีต่อชิ้น แต่ละสินค้าและการทดลองมีลำดับเข้าสถานีการผลิตแตกต่างกัน โดยการสุ่ม ได้ผลดังตารางที่ 7 และกำหนดให้โมเดลการผลิตนี้ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 4,160 ชั่วโมง

ในแต่ละสถานีมีปัจจัยเข้าที่ต้องศึกษา 2 ปัจจัย คือเครื่องจักรเพื่อให้พนักงานควบคุมการประกอบเลือกไปใช้งานได้จำนวน 1 ถึง 5 เครื่อง และระยะเวลาเฉลี่ยในการผลิตในช่วงเวลา 1 ถึง 35 วินาทีต่อชิ้น ของการแจกแจงแบบปกติ มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5 วินาทีต่อชิ้น ของแต่ละเครื่องจักร โดยพนักงานควบคุมการผลิตเป็นผู้กำหนดจำนวนเครื่องจักรที่จะติดตั้งในแต่ละสถานีจากความสำคัญของสถานีเหล่านั้น

การกำหนดสถานีคอขวดให้ระบบจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

2.3.2. ปัจจัยและผลตอบสนองที่ต้องการศึกษา

ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และระบบการผลิตแบบตามงาน จากที่กล่าวมาแล้วสามารถอธิบายปัจจัยเข้า และผลตอบสนองที่ต้องการศึกษาของระบบการผลิตทั้งสองได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ปัจจัยเข้าและผลตอบสนองในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง

จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	ปัจจัยเข้า เป็นจำนวนเครื่องจักร และระยะเวลาการผลิตในแต่ละสถานี									ผลตอบสนองที่ต้องการศึกษา
4	M 1	T 1	M 2	T 2						จำนวนผลผลิตออกจากระบบ
6	M 1	T 1	M 2	T 2	M 3	T 3				
8	M 1	T 1	M 2	T 2	M 3	T 3	M 4	T 4		
20	M 1	T 1	M 2	T 2	M 3	T 3	M 4	T 4	M 5	
	T 5	M 6	T 6	M 7	T 7	M 8	T 8	M 9	T 9	
	M 10	T 10								

หมายเหตุ: M คือ เครื่องจักร เช่น M 1 หมายถึง เครื่องจักรของสถานีที่ 1 เป็นต้น
T คือ ระยะเวลาการผลิต เช่น T 1 หมายถึง ระยะเวลาการผลิตของสถานีที่ 1 เป็นต้น

ในแต่ละรูปแบบได้สร้างระบบการจำลองสถานการณ์ในรูปแบบต่างๆ กัน 2 สถานการณ์ดังนี้

ก. ผลกระทบปัจจัยเข้าหลักทุกปัจจัย

ดำเนินงานตามแผนที่ได้ดำเนินการไว้ โดยไม่มีการเพิ่ม/ลดเวลาการผลิต และไม่มีการลด/เพิ่มจำนวนเครื่องจักรที่สถานี

ข. ผลกระทบปัจจัยเข้าหลักกับปัจจัยอื่นในระบบ

กลุ่มสถานีในระบบให้เป็นสถานีที่มีผลกระทบกับปัจจัยอื่นในระบบ โดยสถานีที่สู่มได้นี้จะทำงานเพียง 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง สถานีอื่นยังคงทำงาน 24 ชั่วโมงตามปกติ การทดลองนี้พยายามเพิ่มคอขวดให้กับสถานีจากการหยุดการทำงานของเครื่องจักรและให้เทคนิค AFDE ช่วยตรวจจับสถานีคอขวดที่ควรจะเปลี่ยนแปลงไป

2.3.3. กำหนดค่าพารามิเตอร์ของ AFDE

กำหนดค่าพารามิเตอร์ของการทดลอง AFDE ในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และระบบการผลิตแบบตามงาน โดยการเลือกความถี่จับจะใช้วิธีการสุ่มความถี่จับให้กับปัจจัย ส่วนแอมพลิจูดกำหนดตามระบบการจำลองสถานการณ์เบื้องต้นคือสถานีงานที่เป็นปัจจัยเข้า มีจำนวนเครื่องจักรตั้งแต่ 1 ถึง 5 เป็นแอมพลิจูดของ AFDE ดังนั้นจะสรุปการกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อการทดลอง AFDE ได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าพารามิเตอร์ของ AFDE ในการทดลองปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องผสมอยู่ด้วยกันอยู่ในระบบ

ระบบการผลิต	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	ชนิดปัจจัย	ความถี่ขั้นที่สถานีการผลิตได้รับ (ω)										แอมพลิจูด (a)	ความยาวของการดำเนินงาน (L)	จำนวนการทำซ้ำ (n)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
ประกอบ	4	ต่อเนื่อง	4	17									1 ถึง 35	168 ชั่วโมง	46
		ไม่ต่อเนื่อง	1	10									1, 2, 3, 4, 5		
ประกอบ	6	ต่อเนื่อง	1	11	31								1 ถึง 35	168 ชั่วโมง	103
		ไม่ต่อเนื่อง	35	49	28								1, 2, 3, 4, 5		
ประกอบ	8	ต่อเนื่อง	38	16	33	10							1 ถึง 35	168 ชั่วโมง	168
		ไม่ต่อเนื่อง	41	29	40	75							1, 2, 3, 4, 5		
ประกอบ	20	ต่อเนื่อง	29	329	195	707	15	46	608	37	257	382	1 ถึง 35	168 ชั่วโมง	1558
		ไม่ต่อเนื่อง	705	41	535	148	167	447	100	40	64	291	1, 2, 3, 4, 5		
ตามงาน	4	ต่อเนื่อง	17	1									1 ถึง 35	4160 ชั่วโมง	46
		ไม่ต่อเนื่อง	10	4									1, 2, 3, 4, 5		
ตามงาน	6	ต่อเนื่อง	49	31	28								1 ถึง 35	4160 ชั่วโมง	103
		ไม่ต่อเนื่อง	1	35	11								1, 2, 3, 4, 5		
ตามงาน	8	ต่อเนื่อง	16	29	41	38							1 ถึง 35	4160 ชั่วโมง	168
		ไม่ต่อเนื่อง	40	10	33	75							1, 2, 3, 4, 5		
ตามงาน	20	ต่อเนื่อง	64	167	257	447	46	29	608	291	15	195	1 ถึง 35	4160 ชั่วโมง	1558
		ไม่ต่อเนื่อง	707	41	40	100	705	37	382	535	329	148	1, 2, 3, 4, 5		

ผลและวิจารณ์

ผลการศึกษาในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยพิจารณาจากปัจจัยเข้าคือ 1) ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง 2) ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง และ 3) ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องผสมอยู่ด้วยกันในระบบ ผลการทดลองแสดงในตารางผนวกที่ ก1 ถึง ก108 และภาพผนวกที่ ก1 ถึง ก36 นำมาสรุปไว้ตารางที่ 16 ถึงตารางที่ 21 มีรายละเอียดดังนี้

1. ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง

1.1. การผลิตแบบสายการประกอบ

ตารางที่ 16 ผลการคัดเลือกปัจจัยเรียงตามอันดับสถานีของชุด โดยปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ

คู่ที่	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบ	เปรียบเทียบการคัดเลือกปัจจัย						ผลของการเปรียบเทียบ
			สถานีของชุดของ ¹ 2 ^k			สถานีของชุดของ ² AFDE			
			อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	
1	3	1	St 3			St 3			ตรงกัน
2	3	2	St 3	St 1		St 3	St 1		ตรงกัน
3	3	3	St 2	St 1	St 3	St 2	St 1	St 3	ตรงกัน
4	3	3**	St 2	St 1	St 3	St 2	St 1	St 3	ตรงกัน
5	4	1	St 1			St 1			ตรงกัน
6	4	2	St 2	St 1		St 2	St 1		ตรงกัน
7	4	3	St 2	St 3	St 4	St 2	St 3	St 4	ตรงกัน
8	4	3**	St 2	St 3	St 4	St 2	St 3	St 4	ตรงกัน
9	5	1	St 4			St 4			ตรงกัน

ตารางที่ 16 (ต่อ)

คู่ที่	จำนวน ปัจจัยที่ ศึกษา	จำนวน ปัจจัยที่มี ผลกระทบ	เปรียบเทียบการคัดเลือกปัจจัย						ผลของการ เปรียบเทียบ
			สถานีคอกขอของ ¹ 2 ^k			สถานีคอกขอของ ² AFDE			
			อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	
10	5	2	St 4	St 5		St 4	St 5		ตรงกัน
11	5	3	St 4	St 2	St 5	St 4	St 2	St 5	ตรงกัน
12	5	3**	St 4	St 2	St 5	St 4	St 5	St 2	ไม่ตรง
13	6	1	St 5			St 5			ตรงกัน
14	6	2	St 1	St 6		St 1	St 6		ตรงกัน
15	6	3	St 2	St 3	St 1	St 2	St 3	St 1	ตรงกัน
16	6	3**	St 2	St 1	St 3	St 2	St 1	St 3	ตรงกัน
17	7	1	St 2			St 2			ตรงกัน
18	7	2	St 6	St 5		St 6	St 5		ตรงกัน
19	7	3	St 1	St 4	St 2	St 1	St 4	St 2	ตรงกัน
20	7	3**	St 1	St 2	St 4	St 1	St 4	St 2	ไม่ตรง
21	8	1	St 4			St 4			ตรงกัน
22	8	2	St 5	St 6		St 5	St 6		ตรงกัน
23	8	3	St 1	St 6	St 8	St 1	St 6	St 8	ตรงกัน
24	8	3**	St 1	St 6	St 8	St 1	St 6	St 8	ตรงกัน
25	20	1				St 15			คัดเลือกได้
26	20	2				St 20	St 6		คัดเลือกได้
27	20	3				St 8	St 1	St 15	คัดเลือกได้
28	20	3**				St 8	St 1	St 15	คัดเลือกได้

หมายเหตุ: 1 แสดงเฉพาะผลการทดสอบที่ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และเรียงตามค่า Partial Eta²

2 เรียงตามลำดับสเปกตรัมเชิงแอมพลิจูดที่สูงที่สุด

St คือ สถานีการผลิต เช่น St 1 คือ สถานีที่ 1

การทดลองเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k กับวิธี AFDE ในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องที่เป็นเวลาในการผลิตของแต่ละสถานี โดยทำการทดลองวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k 24 ครั้ง และ AFDE 24 ครั้ง โดยกำหนดให้แต่ละครั้งของทั้งสองวิธีมีชุดเลขสุ่มการทดลองชุดเดียวกัน ได้ผลสรุปจากตารางที่ 16 ตารางผนวกที่ ก1 ถึงตารางผนวกที่ ก24 และภาพผนวกที่ ก1 ถึงตารางผนวกที่ ก7 ดังนี้

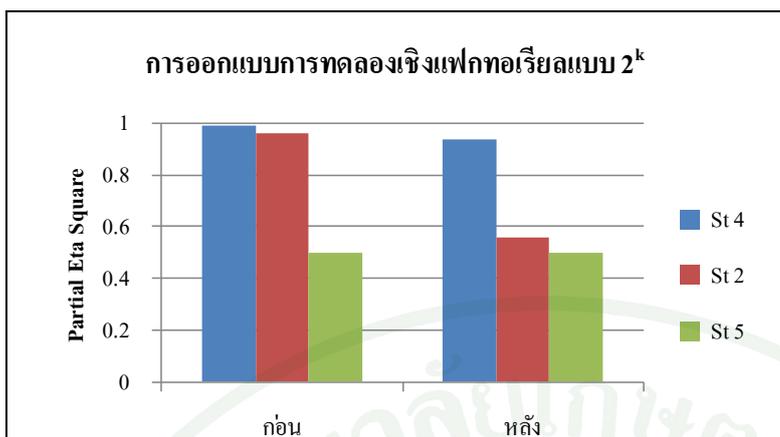
โดยภาพรวมการคัดเลือกปัจจัยโดยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ AFDE ได้ผลลัพธ์ในการคัดเลือกปัจจัยคล้ายกัน ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาที่พิจารณา ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย และการตรวจสอบผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบการผลิต เมื่อสถานีอันดับที่ 3 ที่สุ่มได้สถานีนั้นจะมีจำนวนเครื่องจักรเหลือ 1 เครื่องและกำหนดให้สถานีนี้จะทำงาน 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง ทั้งสองวิธีมีความไวต่อการตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานีอันดับที่ 3 ได้

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย ไม่ว่าจะจำนวนปัจจัยจะเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกปัจจัยได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย โดยมีการกำหนดสถานีคอกขวดให้มีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน พบว่า ไม่ว่าจะจำนวนปัจจัยจะเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกปัจจัย และเรียงลำดับทั้ง 2 สถานีคอกขวด ได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

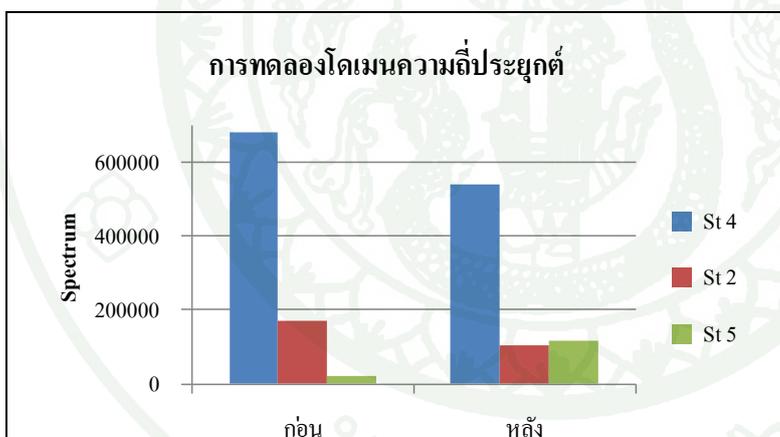
เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย โดยมีการกำหนดสถานีคอกขวดให้มีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน พบว่า ไม่ว่าจะจำนวนปัจจัยจะเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกปัจจัยและเรียงลำดับทั้ง 3 สถานีคอกขวด ได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย โดยมีการกำหนดสถานีคอกขวดให้มีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน และกำหนดให้สถานีอันดับที่ 3 ที่สุ่มได้สถานีนั้นทำงานเพียง 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้สถานีอันดับที่ 3 เป็นคอกขวดมากขึ้น จากการคัดเลือกปัจจัย ทั้งสองวิธีพบว่า มีความไวต่อการตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานีอันดับที่ 3 ได้ เพียงแต่มีความแตกต่างกันในการเรียงอันดับสถานีคอกขวดดังภาพที่ 15 ถึงภาพที่ 18 ในการทดลองที่มีจำนวนปัจจัยเข้าในระบบ 5 ปัจจัย และ 7 ปัจจัย แสดงว่าได้ตรงกัน 66 เปอร์เซ็นต์



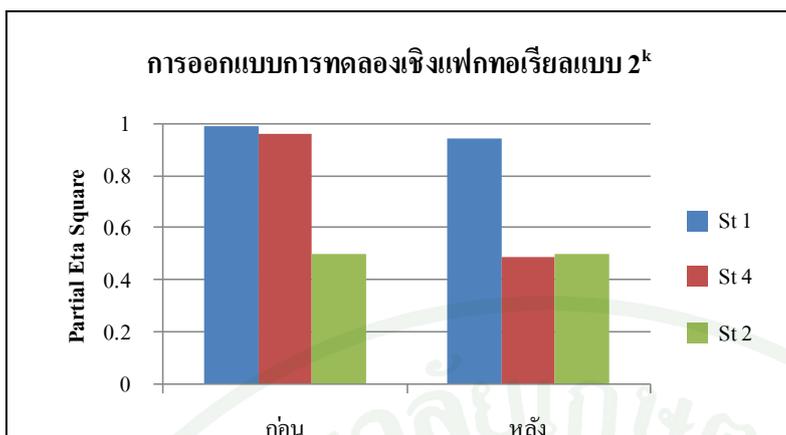
ภาพที่ 15 การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่า Partial Eta² ในการทดลอง 2^k ที่มีปัจจัยเข้า 5 ปัจจัย

หมายเหตุ: ก่อน หมายถึง สถานี 5 ไม่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก และ หลัง หมายถึง สถานี 5 มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก



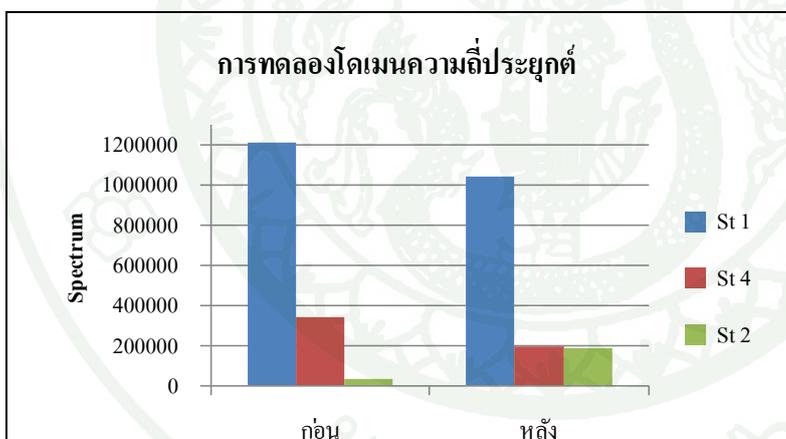
ภาพที่ 16 การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่าสเปกตรัมในการทดลอง AFDE ที่มีปัจจัยเข้า 5 ปัจจัย

หมายเหตุ: ก่อน หมายถึง สถานี 5 ไม่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก และ หลัง หมายถึง สถานี 5 มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 17 การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่า Partial Eta² ในการทดลอง 2^k ที่มีปัจจัยเข้า 7 ปัจจัย

หมายเหตุ: ก่อน หมายถึง สถานี 2 ไม่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก และ หลัง หมายถึง สถานี 2 มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 18 การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่าสเปกตรัมในการทดลอง AFDE ที่มีปัจจัยเข้า 7 ปัจจัย

หมายเหตุ: ก่อน หมายถึง สถานี 2 ไม่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก และ หลัง หมายถึง สถานี 2 มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก

หลังจากนั้นจะทำการศึกษาคณณิปัจจัยเข้า 20 ปัจจัยด้วยวิธีการ AFDE เพื่อพิสูจน์ว่าวิธีการ AFDE ใช้คัดเลือกปัจจัยเข้าในระบบที่มีจำนวนมากได้ โดยที่วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากจำนวนครั้งที่ต้องทดลองมากเกินไป เมื่อพิจารณาจาก ตารางที่ 16 และรูปภาพผนวกที่ ก7 พบว่า ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาที่พิจารณา ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย AFDE สามารถคัดเลือกปัจจัยที่เป็นสถานียคขอวดได้อย่างถูกต้อง และเมื่อศึกษาผลกระทบปัจจัยเข้าหลักกับร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบ เมื่อสถานียคขอวดที่ 3 (สถานียคขอวดที่ 15) ที่สุ่มได้สถานียคขอวดนั้นจะทำงานเพียง 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง วิธี AFDE ก็สามารถตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานียคขอวดที่ 3 ได้ โดยมีค่าสเปกตรัมจาก 437,641 เพิ่มขึ้นเป็น 2,435,720 เพียงแต่จากการทดลองสถานียคขอวดที่ 3 ยังเพิ่มอันดับความสำคัญไม่มากพอที่จะกลายเป็นสถานียคขอวดอันดับที่ 2 (สถานียคขอวดที่ 1) ที่มีสเปกตรัม 2,681,033

1.2. การผลิตแบบตามงาน

ตารางที่ 17 ผลการคัดเลือกปัจจัยเรียงตามอันดับสถานียคขอวด โดยปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องในระบบการผลิตแบบตามงาน

คู่ที่	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบ	เปรียบเทียบการคัดเลือกปัจจัย						ผลของการเปรียบเทียบ
			สถานียคขอวดของ ¹ 2^k			สถานียคขอวดของ ² AFDE			
			อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	
1	3	1	St 3			St 3			ตรงกัน
2	3	2	St 1	St 2		St 1	St 2		ตรงกัน
3	3	3	St 2	St 3	St 1	St 2	St 3	St 1	ตรงกัน
4	3	3**	St 2	St 3	St 1	St 2	St 3	St 1	ตรงกัน
5	4	1	St 3			St 3			ตรงกัน
6	4	2	St 1	St 2		St 1	St 2		ตรงกัน
7	4	3	St 4	St 1	St 3	St 4	St 1	St 3	ตรงกัน
8	4	3**	St 4	St 1	St 3	St 4	St 1	St 3	ตรงกัน

ตารางที่ 17 (ต่อ)

คู่ที่	จำนวน ปัจจัยที่ ศึกษา	จำนวน ปัจจัยที่มี ผลกระทบ	เปรียบเทียบการคัดเลือกปัจจัย						ผลของการ เปรียบเทียบ
			สถานีคอกขอของ ¹ 2 ^k			สถานีคอกขอของ ² AFDE			
			อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	
9	5	1	St 4			St 4			ตรงกัน
10	5	2	St 5	St 2		St 5	St 2		ตรงกัน
11	5	3	St 2	St 1	St 4	St 2	St 1	St 4	ตรงกัน
12	5	3**	St 2	St 4	St 1	St 2	St 4	St 1	ตรงกัน
13	6	1	St 5			St 5			ตรงกัน
14	6	2	St 6	St 2		St 6	St 2		ตรงกัน
15	6	3	St 2	St 1	St 5	St 2	St 1	St 5	ตรงกัน
16	6	3**	St 2	St 5	St 1	St 2	St 5	St 1	ตรงกัน
17	7	1	St 5			St 5			ตรงกัน
18	7	2	St 2	St 3		St 2	St 3		ตรงกัน
19	7	3	St 3	St 1	St 5	St 3	St 1	St 5	ตรงกัน
20	7	3**	St 3	St 1	St 5	St 3	St 1	St 5	ตรงกัน
21	8	1	St 6			St 6			ตรงกัน
22	8	2	St 8	St 3		St 8	St 3		ตรงกัน
23	8	3	St 3	St 6	St 7	St 3	St 6	St 7	ตรงกัน
24	8	3**	St 3	St 7	St 6	St 3	St 7	St 6	ตรงกัน
25	20	1				St 15			คัดเลือกได้
26	20	2				St 20	St 6		คัดเลือกได้
27	20	3				St 8	St 1	St 15	คัดเลือกได้
28	20	3**				St 8	St 1	St 15	คัดเลือกได้

หมายเหตุ: 1 แสดงเฉพาะผลการทดสอบที่ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และเรียงตามค่า Partial Eta²

2 เรียงตามลำดับสเปกตรัมเชิงแอมพลิจูดที่สูงที่สุด

St คือ สถานีการผลิต เช่น St 1 คือ สถานีที่ 1

ในกรณีการผลิตแบบตามงานที่มีความซับซ้อนของระบบการผลิตมากกว่าการผลิตแบบสายการประกอบ การทดลองเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k กับวิธี AFDE ในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องที่เป็นเวลาในการผลิตของแต่ละสถานี โดยทำการทดลองวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k 24 ครั้ง และ AFDE 24 ครั้ง โดยกำหนดให้แต่ละครั้งของทั้งสองวิธีมีชุดเลขสุ่มการทดลองชุดเดียวกัน ได้ผลสรุปจากตารางที่ 17 ตารางผนวกที่ ก25 ถึงตารางผนวกที่ ก48 และภาพผนวกที่ ก8 ถึงภาพผนวกที่ ก14 ดังนี้

โดยภาพรวมการคัดเลือกปัจจัยการผลิตแบบตามงานได้สรุปเช่นเดียวกันกับการผลิตแบบสายการประกอบ โดยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ AFDE ได้ผลลัพธ์ในการคัดเลือกปัจจัยตรงกันทั้งสองวิธี 100 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือการศึกษาที่พิจารณา ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย และการตรวจสอบผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบการผลิต เมื่อสถานีอันดับที่ 3 ที่สุ่มได้สถานินั้นจะมีจำนวนเครื่องจักรเหลือ 1 เครื่องและกำหนดให้สถานินี้จะทำงาน 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง ทั้งสองวิธีมีความไวต่อการตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานีอันดับที่ 3 ได้ จากกล่าวมาการคัดเลือกปัจจัยทั้งสองวิธีตรงกันทั้งหมด

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย ไม่ว่าจะจำนวนปัจจัยจะเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกปัจจัยได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย โดยมีการกำหนดสถานีคือ ขวดให้มีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน พบว่า ไม่ว่าจะจำนวนปัจจัยจะเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกปัจจัย และเรียงลำดับทั้ง 2 สถานีคือขวด ได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย โดยมีการกำหนดสถานีคือ ขวดให้มีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน พบว่า ไม่ว่าจะจำนวนปัจจัยจะเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกปัจจัยและเรียงลำดับทั้ง 3 สถานีคือขวด ได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย โดยมีการกำหนดสถานีคือ ขวดให้มีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน และกำหนดให้สถานีอันดับที่ 3 ที่สุ่มได้สถานินั้นทำงานเพียง 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้สถานีอันดับที่ 3 เป็นคอขวดมากขึ้น จากการ

คัดเลือกปัจจัย ทั้งสองวิธีพบว่า ก็สามารถตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานียันดับที่ 3 ได้ เพียงไม่มีความแตกต่างในการเรียงอันดับ แสดงว่าได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

หลังจากนั้นจะทำการศึกษาระดับปัจจัยเข้า 20 ปัจจัยด้วยวิธีการ AFDE เมื่อพิจารณา จากตารางที่ 17 และภาพผนวกที่ ก14 พบว่า การศึกษาที่พิจารณา ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย AFDE สามารถคัดเลือกปัจจัยที่เป็นสถานีคอกขวดได้อย่างถูกต้อง และเมื่อศึกษาผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบ เมื่อสถานียันดับที่ 3 (สถานีที่ 15) ที่สู่มได้สถานีนั้นจะทำงานเพียง 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง วิธี AFDE ก็มีความไวสามารถตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานียันดับที่ 3 ได้ โดยมีค่าสเปกตรัมจาก 434,111 เพิ่มขึ้นเป็น 2,401,097 เพียงแต่จากการทดลอง สถานีอันดับที่ 3 ยังเพิ่มอันดับความสำคัญไม่มากพอที่จะกลายเป็นสถานีคอกขวดอันดับที่ 2 (สถานีที่ 1) ที่มีสเปกตรัม 3,196,352

2. ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง

2.1. การผลิตแบบสายการประกอบ

ตารางที่ 18 ผลการคัดเลือกปัจจัยเรียงตามอันดับสถานีคอกวอด โดยปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง ในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ

คู่ที่	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบ	เปรียบเทียบการคัดเลือกปัจจัย						ผลของการเปรียบเทียบ
			สถานีคอกวอดของ ¹			สถานีคอกวอดของ ²			
			2 ^k			AFDE			
อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3				
1	3	1	St 1			St 1			ตรงกัน
2	3	2	St 3	St 1		St 3	St 1		ตรงกัน
3	3	3	St 2	St 1	St 3	St 2	St 1	St 3	ตรงกัน
4	3	3**	St 2	St 3	St 1	St 2	St 3	St 1	ตรงกัน
5	4	1	St 4			St 4			ตรงกัน
6	4	2	St 3	St 4		St 3	St 4		ตรงกัน
7	4	3	St 4	St 1	St 3	St 4	St 1	St 3	ตรงกัน
8	4	3**	St 4	St 3	St 1	St 4	St 3	St 1	ตรงกัน
9	5	1	St 4			St 4			ตรงกัน
10	5	2	St 5	St 2		St 5	St 2		ตรงกัน
11	5	3	St 1	St 2	St 4	St 1	St 2	St 4	ตรงกัน
12	5	3**	St 1	St 4	St 2	St 1	St 4	St 2	ตรงกัน
13	6	1	St 4			St 4			ตรงกัน
14	6	2	St 6	St 5		St 6	St 5		ตรงกัน
15	6	3	St 1	St 5	St 6	St 1	St 5	St 6	ตรงกัน
16	6	3**	St 1	St 6	St 5	St 1	St 5	St 6	ไม่ตรงกัน

ตารางที่ 18 (ต่อ)

คู่ที่	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบ	เปรียบเทียบการคัดเลือกปัจจัย						ผลของการเปรียบเทียบ
			สถานีคอกขอของ ¹			สถานีคอกขอของ ²			
			2 ^k			AFDE			
อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3				
17	7	1	St 3			St 3			ตรงกัน
18	7	2	St 4	St 5		St 4	St 5		ตรงกัน
19	7	3	St 3	St 4	St 5	St 3	St 4	St 5	ตรงกัน
20	7	3**	St 3	St 5	St 4	St 3	St 4	St 5	ไม่ตรงกัน
21	8	1	St 6			St 6			ตรงกัน
22	8	2	St 1	St 5		St 1	St 5		ตรงกัน
23	8	3	St 5	St 8	St 1	St 5	St 8	St 1	ตรงกัน
24	8	3**	St 5	St 1	St 8	St 5	St 1	St 8	ตรงกัน
25	20	1				St 16			คัดเลือกได้
26	20	2				St 2	St 6		คัดเลือกได้
27	20	3				St 20	St 10	St 5	คัดเลือกได้
28	20	3**				St 20	St 5	St 10	คัดเลือกได้

หมายเหตุ: 1 แสดงเฉพาะผลการทดสอบที่ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และเรียงตามค่า Partial Eta²

2 เรียงตามลำดับสเปกตรัมเชิงแอมพลิจูดที่สูงที่สุด

St คือ สถานีการผลิต เช่น St 1 คือ สถานีที่ 1

การทดลองเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k กับวิธี AFDE ในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องที่เป็นเวลาในการผลิตของแต่ละสถานี โดยทำการทดลองวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k 24 ครั้ง และ AFDE 24 ครั้ง โดยกำหนดให้แต่ละครั้งของทั้งสองวิธีมีชุดเลขสุ่มการทดลองชุดเดียวกัน ได้ผลสรุปจากตารางที่ 18 ตารางผนวกที่ ก49 ถึงตารางผนวกที่ ก72 และภาพผนวกที่ ก15 ถึงภาพผนวกที่ ก21 ดังนี้

โดยภาพรวมการคัดเลือกปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่องได้ผลสรุปเช่นเดียวกันกับการปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง โดยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ

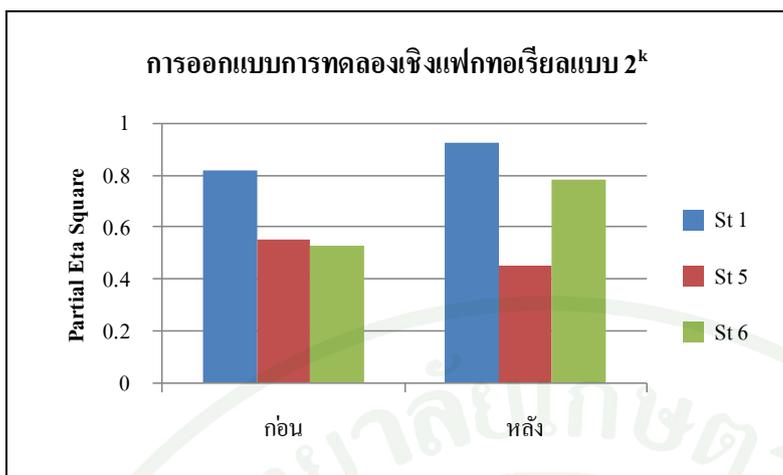
AFDE ได้ผลลัพธ์ในการคัดเลือกปัจจัยคล้ายกันไม่ว่าจะเป็นการศึกษาที่พิจารณา ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย และผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบการผลิต เมื่อสถานีอันดับที่ 3 ที่สุ่มได้สถานีนั้นกำหนดให้สถานีนี้จะทำงาน 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง ทั้งสองวิธีมีความไวต่อการตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานีอันดับที่ 3 ได้

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย ไม่ว่าจำนวนปัจจัยจะเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกปัจจัยได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย โดยมีการกำหนดสถานีคอบวดให้มีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน พบว่า ไม่ว่าจำนวนปัจจัยจะเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกปัจจัย และเรียงลำดับทั้ง 2 สถานีคอบวด ได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

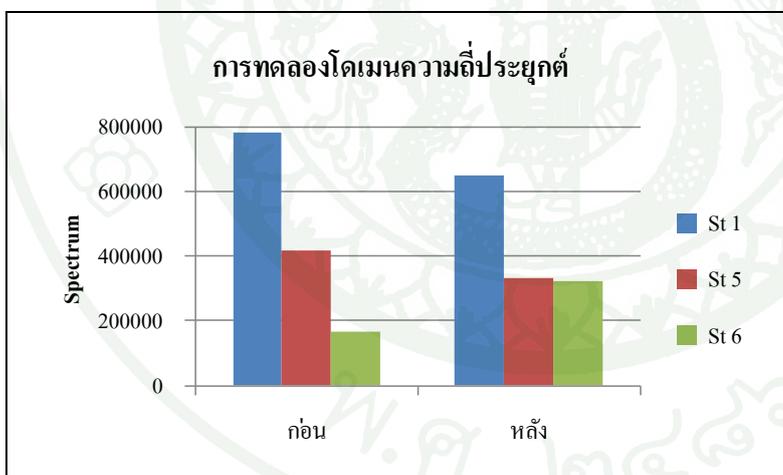
เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย โดยมีการกำหนดสถานีคอบวดให้มีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน พบว่า ไม่ว่าจำนวนปัจจัยจะเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกปัจจัยและเรียงลำดับทั้ง 3 สถานีคอบวด ได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์ เช่นกัน

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย โดยมีการกำหนดสถานีคอบวดให้มีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน และกำหนดให้สถานีอันดับที่ 3 ที่สุ่มได้สถานีนั้นทำงานเพียง 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้สถานีอันดับที่ 3 เป็นคอบวดมากขึ้น จากการคัดเลือกปัจจัย ทั้งสองวิธีพบว่า ก็สามารถตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานีอันดับที่ 3 เพียงแต่มีความแตกต่างกันในการเรียงอันดับสถานีคอบวดดังภาพที่ 19 ถึงภาพที่ 22 ในการทดลองที่มีจำนวนปัจจัยเข้าในระบบ 6 ปัจจัย และ 7 ปัจจัย แสดงว่าได้ตรงกัน 66 เปอร์เซ็นต์



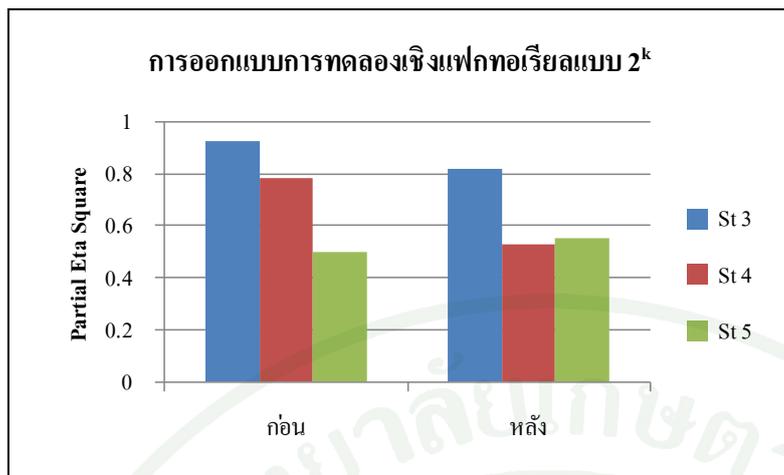
ภาพที่ 19 การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่า Partial Eta² ในการทดลอง 2^k ที่มีปัจจัยเข้า 6 ปัจจัย

หมายเหตุ: ก่อน หมายถึง สถานี 6 ไม่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก และ หลัง หมายถึง สถานี 6 มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก



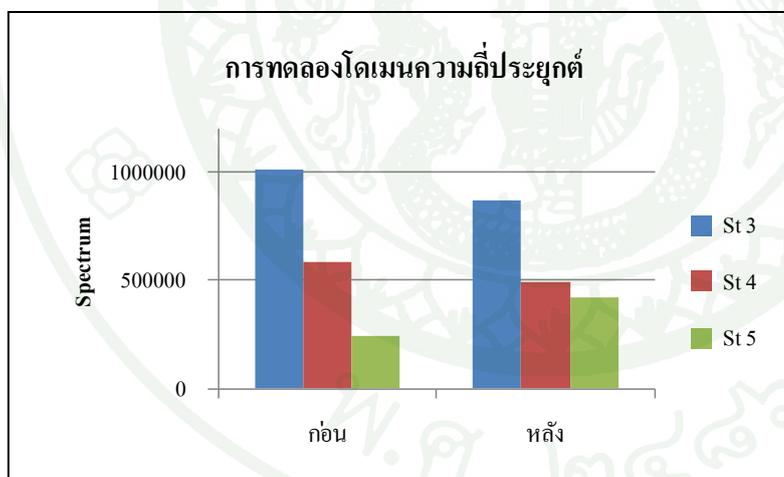
ภาพที่ 20 การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่าสเปกตรัมในการทดลอง AFDE ที่มีปัจจัยเข้า 6 ปัจจัย

หมายเหตุ: ก่อน หมายถึง สถานี 6 ไม่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก และ หลัง หมายถึง สถานี 6 มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 21 การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่า Partial Eta² ในการทดลอง 2^k ที่มีปัจจัยเข้า 7 ปัจจัย

หมายเหตุ: ก่อน หมายถึง สถานี 5 ไม่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก และ หลัง หมายถึง สถานี 5 มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 22 การเรียงลำดับความสำคัญของสถานีด้วยค่าสเปกตรัมในการทดลอง AFDE ที่มีปัจจัยเข้า 7 ปัจจัย

หมายเหตุ: ก่อน หมายถึง สถานี 5 ไม่มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก และ หลัง หมายถึง สถานี 5 มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอก

หลังจากนั้นจะทำการศึกษาระดับปัจจัยเข้า 20 ปัจจัยด้วยวิธีการ AFDE เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 18 และภาพผนวกที่ ก21 พบว่า ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย AFDE สามารถคัดเลือกปัจจัยที่เป็นสถานีกอขวดได้อย่างถูกต้อง และเมื่อศึกษาผลกระทบปัจจัยเข้าหลักกับปัจจัยอื่นในระบบเมื่อ สถานีอันดับที่ 3 (สถานีที่ 5) ที่สุ่มได้สถานีนั้นจะทำงานเพียง 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง วิธี AFDE ก็สามารถตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานีอันดับที่ 3 ได้ โดยมีค่าสเปกตรัมจาก 3,240,454 เพิ่มขึ้นเป็น 5,532,564 และสถานีอันดับที่ 3 ได้เลื่อนความเป็นคอขวดเป็นอันดับที่ 2 (สถานีที่ 10) ที่มีสเปกตรัม 4,737,381 แสดงว่าสถานีอันดับที่ 3 มีความสำคัญที่ต้องพิจารณามากขึ้นกว่าสถานีอันดับที่ 2 เดิม

2.2. การผลิตแบบตามงาน

ตารางที่ 19 ผลการคัดเลือกปัจจัยเรียงตามอันดับสถานีคอขวด โดยปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่องในระบบการผลิตแบบตามงาน

คู่ที่	จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบ	เปรียบเทียบการคัดเลือกปัจจัย						ผลของการเปรียบเทียบ
			สถานีคอขวดของ ¹ 2 ^k			สถานีคอขวดของ ² AFDE			
			อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	
1	3	1	St 1			St 1			ตรงกัน
2	3	2	St 1	St 3		St 1	St 3		ตรงกัน
3	3	3	St 2	St 1	St 3	St 2	St 1	St 3	ตรงกัน
4	3	3**	St 2	St 3	St 1	St 2	St 3	St 1	ตรงกัน
5	4	1	St 3			St 3			ตรงกัน
6	4	2	St 1	St 4		St 1	St 4		ตรงกัน
7	4	3	St 4	St 1	St 3	St 4	St 1	St 3	ตรงกัน
8	4	3**	St 4	St 1	St 3	St 4	St 1	St 3	ตรงกัน

ตารางที่ 19 (ต่อ)

คู่ที่	จำนวน ปัจจัยที่ ศึกษา	จำนวน ปัจจัยที่มี ผลกระทบ	เปรียบเทียบการคัดเลือกปัจจัย						ผลของการ เปรียบเทียบ
			สถานีคอกขอของ ¹			สถานีคอกขอของ ²			
			2 ^k			AFDE			
อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3	อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 3				
9	5	1	St 3			St 3			ตรงกัน
10	5	2	St 1	St 5		St 1	St 5		ตรงกัน
11	5	3	St 5	St 4	St 1	St 5	St 4	St 1	ตรงกัน
12	5	3**	St 5	St 1	St 4	St 5	St 1	St 4	ตรงกัน
13	6	1	St 3			St 3			ตรงกัน
14	6	2	St 1	St 5		St 1	St 5		ตรงกัน
15	6	3	St 3	St 6	St 1	St 3	St 6	St 1	ตรงกัน
16	6	3**	St 3	St 1	St 6	St 3	St 1	St 6	ตรงกัน
17	7	1	St 3			St 3			ตรงกัน
18	7	2	St 3	St 7		St 3	St 7		ตรงกัน
19	7	3	St 4	St 7	St 3	St 4	St 7	St 3	ตรงกัน
20	7	3**	St 4	St 3	St 7	St 4	St 3	St 7	ตรงกัน
21	8	1	St 3			St 3			ตรงกัน
22	8	2	St 2	St 4		St 2	St 4		ตรงกัน
23	8	3	St 2	St 5	St 4	St 2	St 5	St 4	ตรงกัน
24	8	3**	St 2	St 4	St 5	St 2	St 4	St 5	ตรงกัน
25	20	1				St 4			คัดเลือกได้
26	20	2				St 14	St 9		คัดเลือกได้
27	20	3				St 9	St 2	St 12	คัดเลือกได้
28	20	3**				St 9	St 12	St 2	คัดเลือกได้

หมายเหตุ: 1 แสดงเฉพาะผลการทดสอบที่ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และเรียงตามค่า Partial Eta²

2 เรียงตามลำดับสเปกตรัมเชิงแอมพลิจูดที่สูงที่สุด

St คือ สถานีการผลิต เช่น St 1 คือ สถานีที่ 1

ในกรณีการผลิตแบบตามงานที่มีความซับซ้อนของระบบการผลิตมากกว่าการผลิตแบบสายการประกอบ การทดลองเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k กับวิธี AFDE ในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องที่เป็นเวลาในการผลิตของแต่ละสถานี โดยทำการทดลองวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k 24 ครั้ง และ AFDE 24 ครั้ง โดยกำหนดให้แต่ละครั้งของทั้งสองวิธีมีชุดเลขสุ่มการทดลองชุดเดียวกัน ได้ผลสรุปจากตารางที่ 19 ตารางผนวกที่ ก73 ถึงตารางผนวกที่ ก96 และภาพผนวกที่ ก22 ถึงภาพผนวกที่ ก28 ดังนี้

โดยภาพรวมการคัดเลือกปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่องในการผลิตแบบตามงานได้สรุปเช่นเดียวกันกับปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องในการผลิตแบบตามงาน โดยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ AFDE ได้ผลลัพธ์ในการคัดเลือกปัจจัยตรงกันทั้งสองวิธี 100 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือการศึกษาที่พิจารณา ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย และการตรวจสอบผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบการผลิต เมื่อสถานีอันดับที่ 3 ที่สุ่มได้สถานีนั้นจะมีจำนวนเครื่องจักรเหลือ 1 เครื่องและกำหนดให้สถานีนี้จะทำงาน 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง ทั้งสองวิธีมีความไวต่อการตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานีอันดับที่ 3 ได้ จากกล่าวมาการคัดเลือกปัจจัยทั้งสองวิธีตรงกันทั้งหมด

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย ไม่ว่าจะจำนวนปัจจัยจะเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกปัจจัยได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย โดยมีการกำหนดสถานีคอกขวดให้มีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน พบว่า ไม่ว่าจะจำนวนปัจจัยจะเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกปัจจัย และเรียงลำดับทั้ง 2 สถานีคอกขวด ได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย โดยมีการกำหนดสถานีคอกขวดให้มีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน พบว่า ไม่ว่าจะจำนวนปัจจัยจะเป็น 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกปัจจัยและเรียงลำดับทั้ง 3 สถานีคอกขวด ได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย โดยมีการกำหนดสถานีคอกขวดให้มีอันดับความสำคัญไม่เท่ากัน และกำหนดให้สถานีอันดับที่ 3 ที่สุ่มได้สถานีนั้นทำงานเพียง 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้สถานีอันดับที่ 3 เป็นคอกขวดมากขึ้น จากการ

คัดเลือกปัจจัย ทั้งสองวิธีพบว่า ก็สามารถตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานีอันดับที่ 3 ได้ เพียงไม่มีความแตกต่างในการเรียงอันดับ แสดงว่าได้ตรงกัน 100 เปอร์เซ็นต์

หลังจากนั้นจะทำการศึกษากรณีปัจจัยเข้า 20 ปัจจัยด้วยวิธีการ AFDE เมื่อพิจารณา จาก ตารางที่ 19 และภาพผนวกที่ ก28 พบว่า การศึกษาที่พิจารณา ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 1 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 2 ปัจจัย ผลกระทบปัจจัยเข้าหลัก 3 ปัจจัย AFDE สามารถคัดเลือกปัจจัยที่เป็นสถานีคอขวดได้อย่างถูกต้อง และเมื่อศึกษาผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบ เมื่อสถานีอันดับที่ 3 (สถานีที่ 12) ที่สุ่มได้สถานีนั้นจะทำงานเพียง 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง วิธี AFDE ก็มีความไวสามารถตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานีอันดับที่ 3 ได้ โดยมีค่าสเปกตรัมจาก 3,407,827 เพิ่มขึ้นเป็น 6,490,708 และสถานีอันดับที่ 3 ได้เลื่อนความเป็นคอขวดเป็นอันดับที่ 2 (สถานีที่ 2) ที่มีสเปกตรัม 5,247,105 แสดงว่าสถานีอันดับที่ 3 มีความสำคัญที่ต้องพิจารณามากขึ้นกว่าสถานีอันดับที่ 2 เดิม

3. ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องผสมอยู่ด้วยกันอยู่ในระบบ

3.1. การผลิตแบบสายการประกอบ

ตารางที่ 20 ผลการคัดเลือกปัจจัยเรียงตามอันดับสถานีคอขวด โดยปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ

คู่อันดับ	จำนวนปัจจัย		เปรียบเทียบการคัดเลือกปัจจัย					ผลการคัดเลือก
	ทั้งหมด	เป็นคอขวด	สถานีคอขวดของ ¹ 2 ^k		สถานีคอขวดของ ² AFDE		สถานีถูกทำให้เป็นคอขวด	
			อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 1	อันดับ 2		
1	4	4	PSt 2	MCSSt 2	MCSSt 2	PSt 1	ทุกสถานี	ถูกต้องทั้ง 2 วิธี
2	4	4*	PSt 2	MCSSt 2	MCSSt 2	PSt 2	St 2	
3	6	6	MCSSt 2	PSt 3	MCSSt 1	MCSSt 2	ทุกสถานี	ถูกต้องทั้ง 2 วิธี
4	6	6*	PSt 3	MCSSt 3	PSt 3	MCSSt 3	St 3	
5	8	8	PSt 2	MCSSt 3	MCSSt 1	MCSSt 4	ทุกสถานี	ถูกต้องทั้ง 2 วิธี
6	8	8*	PSt 1	MCSSt 1	MCSSt 1	PSt 1	St 1	
7	20	20			MCSSt 3	MCSSt 1	ทุกสถานี	ถูกต้อง
8	20	20*			PSt 8	MCSSt 8	St 8	

หมายเหตุ: MCSSt คือ เครื่องจักรของสถานีการผลิต

เช่น MCSSt 1 คือ เครื่องจักรของสถานีการผลิตที่ 1

PSt คือ เวลาการผลิตของสถานีการผลิต

1 แสดงเฉพาะผลการทดสอบที่ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และเรียงตามค่า Partial Eta²

2 เรียงตามลำดับสเปกตรัมเชิงแอมพลิจูดที่สูงที่สุด

การทดลองเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k กับวิธี AFDE ในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรตัวแปรต่อเนื่องที่เป็นเวลาในการผลิตและไม่ต่อเนื่องที่เป็นจำนวนเครื่องจักรของแต่ละสถานี โดยทำการทดลองวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k 6 ครั้ง และ AFDE 6 ครั้ง โดยกำหนดให้แต่ละครั้งของทั้งสองวิธีมีชุดเลขคู่การทดลองชุด

เดียวกัน ได้ผลสรุปจากตารางที่ 20 ตารางผนวกที่ ก97 ถึงตารางผนวกที่ ก102 และภาพผนวกที่ ก29 ถึงภาพผนวกที่ ก32 ดังนี้

โดยภาพรวมวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ AFDE สามารถคัดเลือกปัจจัยที่เป็นสถานีคอกขวดได้ นั่นคือการศึกษาที่พิจารณา ผลกระทบปัจจัยเข้าหลักทุกสถานีเป็นสถานีคอกขวด และการตรวจสอบผลกระทบปัจจัยเข้าหลักที่ถูกสุ่มมา 1 สถานี (2 ปัจจัย) ร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบการผลิต คือกำหนดให้สถานีนี้จะทำงาน 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมงผลกระทบจากปัจจัยภายนอกนี้จะทำให้สถานีการผลิตที่ถูกสุ่มมีความเป็นคอกขวดมากกว่าสถานีการผลิตอื่นๆ ทั้งสองวิธีมีความไวต่อการตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นได้

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลักทุกสถานีเป็นสถานีคอกขวด กรณีการศึกษามีสถานี 2 สถานี (4 ปัจจัย) โดยจำนวนเครื่องจักร และเวลาการผลิตของสถานีเป็นปัจจัยที่ต้องการศึกษา ผลการทดลองพบว่า วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ในตารางผนวกที่ ก97 พบว่า ทุกปัจจัยถูกยอมรับว่ามีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และผลการทดลอง AFDE ในภาพผนวกที่ ก29 ก) ทุกความถี่ขั้วที่ปัจจัยได้รับมีสเปกตรัมที่โด่ง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีการทั้งสองสามารถคัดเลือกปัจจัยได้ และผลการสรุปนี้ก็เช่นเดียวกันกับกรณีมีสถานี 3 สถานี (6 ปัจจัย) และ 4 สถานี (8 ปัจจัย)

เมื่อการตรวจสอบผลกระทบปัจจัยเข้าหลักที่ถูกสุ่มมา 1 สถานี (2 ปัจจัย) ร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบการผลิต คือกำหนดให้สถานีนี้จะทำงาน 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง กรณีมีสถานี 2 สถานี (4 ปัจจัย) โดยจำนวนเครื่องจักร และเวลาการผลิตของสถานีเป็นปัจจัยที่ต้องการศึกษา ผลการทดลองพบว่า วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ในตารางผนวกที่ ก98 สถานีที่ 2 ที่ถูกสุ่มให้มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอกมีค่า Partial η^2 เพิ่มขึ้นมากกว่าสถานีอื่น แสดงว่ามีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองมากกว่า และผลการทดลอง AFDE ในภาพผนวกที่ ก29 ข) ความถี่ขั้วที่สถานีที่ 2 ได้รับก็โด่งเพิ่มขึ้นกว่าความถี่ขั้วที่สถานีที่ 1 ได้รับ แสดงว่ามีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองมากกว่า ผลสรุปทั้งสองวิธีจึงตรงกัน และผลการสรุปนี้ก็เช่นเดียวกันกับกรณีมีสถานี 3 สถานี (6 ปัจจัย) และ 4 สถานี (8 ปัจจัย) ตามลำดับ

หลังจากนั้นจะทำการศึกษกรณีปัจจัยเข้า 20 ปัจจัยด้วยวิธีการ AFDE เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 20 และภาพผนวกที่ ก32 จากการทดลองพบว่า การศึกษาที่พิจารณาผลกระทบปัจจัยเข้าหลักทุกสถานีเป็นสถานีคอกขวด กรณีการศึกษามีสถานี 10 สถานี (20 ปัจจัย) AFDE สามารถคัดเลือก

ปัจจัยที่เป็นสถานีคอขวดได้อย่างถูกต้อง โดยความถี่ที่ปัจจัยได้รับจะโด่งและเด่น และเมื่อศึกษาผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบ เมื่อสถานีที่ 8 ถูกสุ่มสถานีนี้จะทำงานเพียง 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง วิธี AFDE ก็มีความไวสามารถตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานีที่ 8 ได้ โดยทั้ง 2 ปัจจัยมีสเปกตรัมที่มากขึ้นกว่าความถี่อื่น ๆ ทั้งหมด

3.2. การผลิตแบบตามงาน

ตารางที่ 21 ผลการคัดเลือกปัจจัยเรียงตามอันดับสถานีคอขวด โดยปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องในระบบการผลิตแบบตามงาน

คู่ที่	จำนวนปัจจัย		เปรียบเทียบการคัดเลือกปัจจัย					
	ทั้งหมด	เป็นคอขวด	สถานีคอขวดของ ¹ 2 ^k		สถานีคอขวดของ ² AFDE		สถานีถูกทำให้เป็นคอขวด	ผลการคัดเลือก
			อันดับ 1	อันดับ 2	อันดับ 1	อันดับ 2		
1	4	4	PSt 2	MCS _t 1	MCS _t 1	PSt 2	ทุกสถานี	AFDE ไม่ถูกต้อง
2	4	4*	PSt 2	MCS_t 2	PSt 2	MCS_t 1	St 2	ถูกต้อง
3	6	6	PSt 3	MCS _t 3	MCS _t 3	MCS _t 2	ทุกสถานี	ถูกต้องทั้ง 2 วิธี
4	6	6*	PSt 3	MCS_t 3	MCS_t 3	PSt 3	St 3	
5	8	8	PSt 3	MCS _t 3	MCS _t 4	MCS _t 1	ทุกสถานี	ถูกต้องทั้ง 2 วิธี
6	8	8*	PSt 1	MCS_t 1	MCS_t 1	PSt 1	St 1	
7	20	20			MCS _t 10	MCS _t 4	ทุกสถานี	ถูกต้อง
8	20	20*			MCS_t 10	PSt 10	St 10	

หมายเหตุ: MCS_t คือ เครื่องจักรของสถานีการผลิต

เช่น MCS_t 1 คือ เครื่องจักรของสถานีการผลิตที่ 1

PSt คือ เวลาการผลิตของสถานีการผลิต

1 แสดงเฉพาะผลการทดสอบที่ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และเรียงตามค่า Partial Eta²

2 เรียงตามลำดับสเปกตรัมเชิงแอมพลิจูดที่สูงที่สุด

การทดลองเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k กับวิธี AFDE ในกรณีปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรตัวแปรต่อเนื่องที่เป็นเวลาในการผลิตและไม่ต่อเนื่องที่เป็นจำนวนเครื่องจักรของแต่ละสถานี โดยทำการทดลองวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

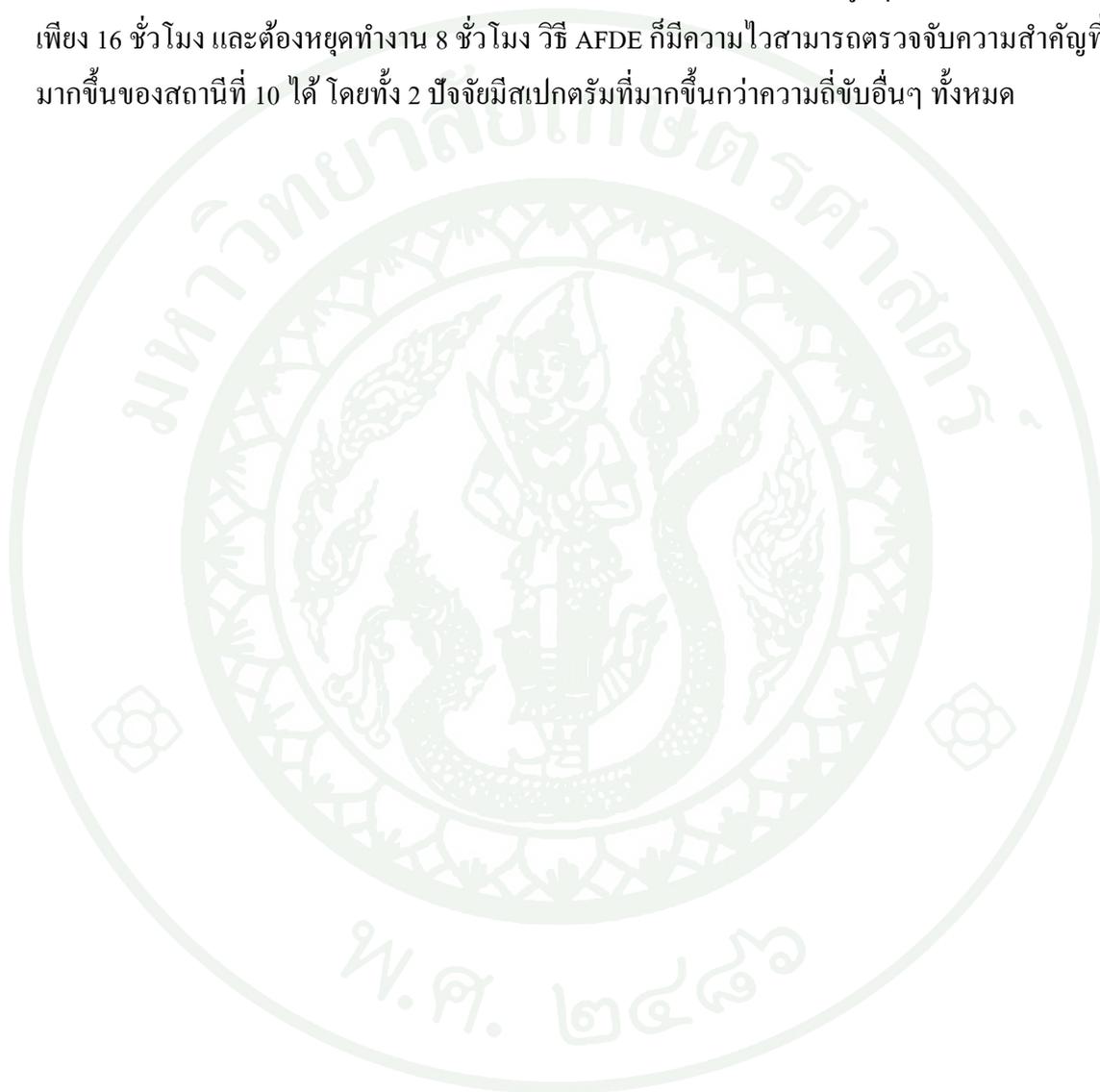
แบบ 2^k 6 ครั้ง และ AFDE 6 ครั้ง โดยกำหนดให้แต่ละครั้งของทั้งสองวิธีมีชุดเลขสุ่มการทดลองชุดเดียวกัน ได้ผลสรุปจากตารางที่ 21 ตารางผนวกที่ ก103 ถึงตารางผนวกที่ ก108 และภาพผนวกที่ ก33 ถึงภาพผนวกที่ ก36 ดังนี้

โดยภาพรวมวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ AFDE สามารถคัดเลือกปัจจัยที่เป็นสถานีคอกขวดได้ นั่นคือการศึกษาที่พิจารณา ผลกระทบปัจจัยเข้าหลักทุกสถานีเป็นสถานีคอกขวด และการตรวจสอบผลกระทบปัจจัยเข้าหลักที่ถูกสุ่มมา 1 สถานี (2 ปัจจัย) ร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบการผลิต คือกำหนดให้สถานีนี้อาจทำงาน 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมงผลกระทบจากปัจจัยภายนอกนี้จะทำให้สถานีการผลิตที่ถูกสุ่มมีความเป็นคอกขวดมากกว่าสถานีการผลิตอื่นๆ ทั้งสองวิธีมีความไวต่อการตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นได้

เมื่อพิจารณาแยกตามผลกระทบปัจจัยเข้าหลักทุกสถานีเป็นสถานีคอกขวด กรณีการศึกษามีสถานี 2 สถานี (4 ปัจจัย) โดยจำนวนเครื่องจักร และเวลาการผลิตของสถานีเป็นปัจจัยที่ต้องการศึกษา ผลการทดลองพบว่า วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ในตารางผนวกที่ ก103 พบว่า ทุกปัจจัยถูกยอมรับว่ามีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และผลการทดลอง AFDE ในภาพผนวกที่ ก33 ก) ทุกความถี่ขั้วที่ปัจจัยได้รับมีสเปกตรัมที่โด่ง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีการทั้งสองสามารถคัดเลือกปัจจัยได้ และผลการสรุปนี้ก็เช่นเดียวกันกับกรณีมีสถานี 3 สถานี (6 ปัจจัย) และ 4 สถานี (8 ปัจจัย)

เมื่อการตรวจสอบผลกระทบปัจจัยเข้าหลักที่ถูกสุ่มมา 1 สถานี (2 ปัจจัย) ร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบการผลิต คือกำหนดให้สถานีนี้อาจทำงาน 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง กรณีมีสถานี 2 สถานี (4 ปัจจัย) โดยจำนวนเครื่องจักร และเวลาการผลิตของสถานีเป็นปัจจัยที่ต้องการศึกษา ผลการทดลองพบว่า วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ในตารางผนวกที่ ก104 สถานีที่ 2 ที่ถูกสุ่มให้มีผลกระทบร่วมกับปัจจัยภายนอกมีค่า Partial Eta² เพิ่มขึ้นมากกว่าสถานีอื่น แสดงว่ามีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองมากกว่าและผลการทดลอง AFDE ในภาพผนวกที่ ก33 ข) ความถี่ขั้วที่สถานีที่ 2 ในปัจจัยเวลาการผลิตของสถานีการผลิต โด่งเพิ่มขึ้นกว่าความถี่ขั้วที่สถานีที่ 1 ได้รับ แต่ในปัจจัยเครื่องจักรของสถานีการผลิต โด่งเพิ่มขึ้นแต่ยังไม่มากกว่าปัจจัยเครื่องจักรของสถานีที่ 1 จะเห็นว่าวิธีการคัดเลือกปัจจัยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และ AFDE มีความแตกต่างกัน และจากการออกแบบการทดลองมีความเชื่อว่าวิธี AFDE ให้ผลการคัดเลือกปัจจัยได้ไม่ถูกต้อง อย่างไรก็ตาม ผลสรุปทั้งสองวิธีตรงกันในกรณีมีปัจจัยเพิ่มขึ้นคือ กรณีศึกษาสถานี 3 สถานี (6 ปัจจัย) และ 4 สถานี (8 ปัจจัย) ตามลำดับ

หลังจากนั้นจะทำการศึกษากรณีปัจจัยเข้า 20 ปัจจัยด้วยวิธีการ AFDE เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 21 และภาพผนวกที่ ก36 จากการทดลองพบว่า การศึกษาที่พิจารณาผลกระทบปัจจัยเข้าหลักทุกสถานเป็นสถานคอกวด กรณีการศึกษามีสถาน 10 สถาน (20 ปัจจัย) AFDE สามารถคัดเลือกปัจจัยที่เป็นสถานคอกวดได้อย่างถูกต้องโดยความถี่ที่ปัจจัยได้รับจะโด่งและเด่น และเมื่อศึกษาผลกระทบปัจจัยเข้าหลักร่วมกับปัจจัยภายนอกในระบบ เมื่อสถานี่ 10 ถูกสุ่มสถานี่นี้จะทำงานเพียง 16 ชั่วโมง และต้องหยุดทำงาน 8 ชั่วโมง วิธี AFDE ก็มีความไวสามารถตรวจจับความสำคัญที่มากขึ้นของสถานี่ 10 ได้ โดยทั้ง 2 ปัจจัยมีสเปกตรัมที่มากขึ้นกว่าความถี่อื่นๆ ทั้งหมด



สรุปและข้อเสนอแนะ

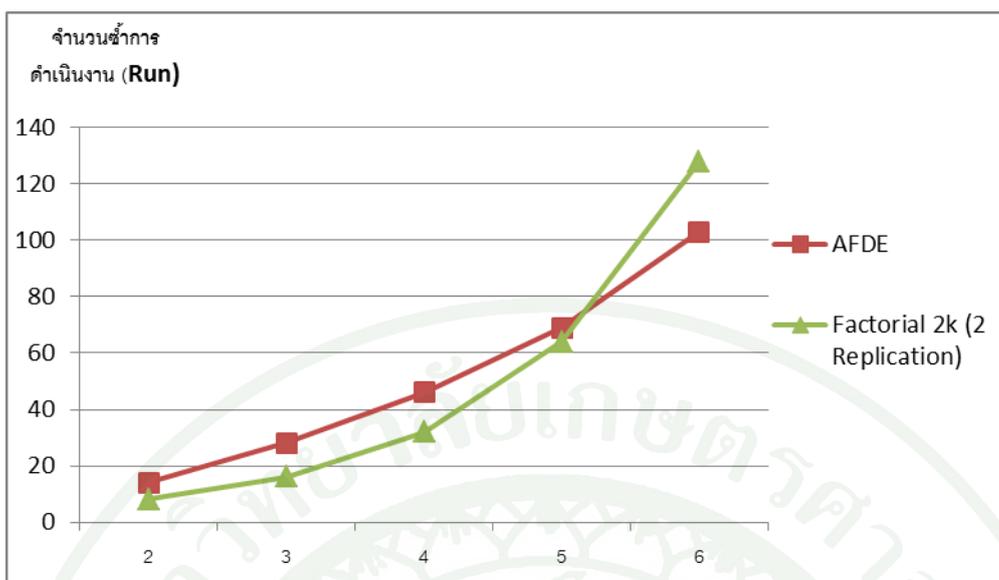
สรุป

วิธีการ AFDE เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นมาจากวิธีการ FDE วิธีที่พัฒนาขึ้นมาสามารถประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้โดยไม่จำกัดประเภทของปัจจัยว่าเป็นตัวแปรชนิดใด นั่นคือ ปัจจัยจะเป็นตัวแปรแบบต่อเนื่อง หรือไม่ต่อเนื่อง ก็สามารถนำวิธี AFDE ไปประยุกต์ใช้ได้ ต่างกันกับวิธี FDE ที่สะดวกในการนำไปใช้เพียงการคัดเลือกปัจจัยที่เป็นตัวแปรแบบต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าวิธี AFDE จะสามารถใช้ได้กับตัวแปรทั้งสองประเภทได้ แต่จำนวนครั้งการดำเนินงานหรือการทำการทดลองซ้ำ ก็เพิ่มขึ้นมากกว่าวิธี FDE แต่ก็มีข้อได้เปรียบตรงความยาวการรันของ AFDE จะไม่เพิ่มขึ้นตามจำนวนปัจจัยที่เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธี FDE จะต้องเพิ่มความยาวการรันเมื่อจำนวนปัจจัยเพิ่มขึ้น

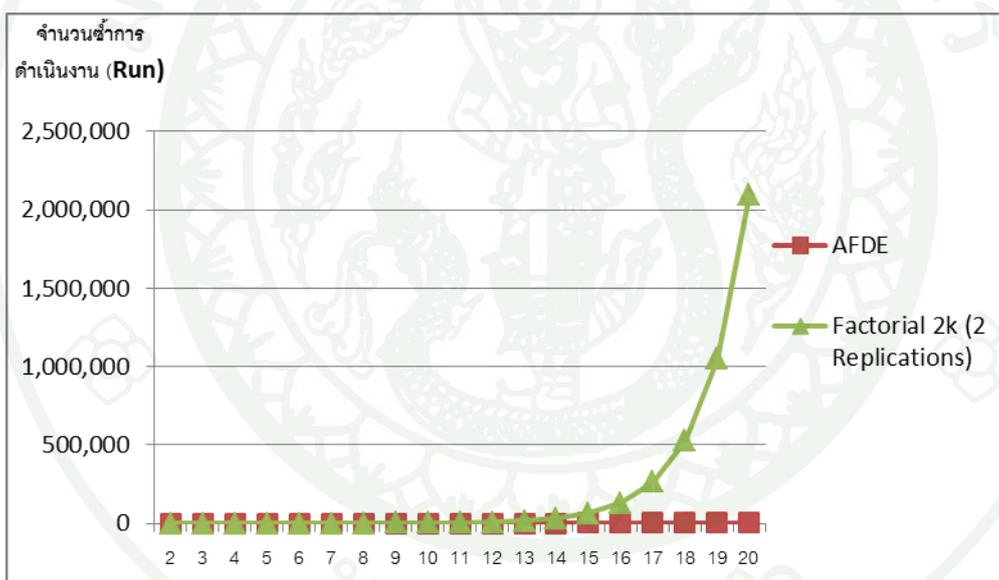
ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัยสามารถแยกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. ผลการพัฒนาวิธีการคัดเลือกปัจจัย AFDE

วิธีที่พัฒนาขึ้นมาสามารถประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตได้ทุกประเภท เนื่องจาก AFDE ไม่จำกัดประเภทของปัจจัยว่าเป็นตัวแปรชนิดใด นั่นคือ ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง โดยที่ระบบควรมีจำนวนปัจจัยเข้ามากกว่า 5 ปัจจัย



ก)



ข)

ภาพที่ 23

(ก) แสดงจำนวนการทำซ้ำการดำเนินงานระหว่าง AFDE และ 2^k ในจำนวนปัจจัย 2 – 6 ปัจจัย

(ข) แสดงจำนวนการทำซ้ำการดำเนินงานระหว่าง AFDE และ 2^k ในจำนวนปัจจัย 2 – 20 ปัจจัย

ในกรณีผู้วิจัยต้องการคัดเลือกปัจจัยจากอิทธิพลหลัก และอันตรกิริยาแบบสองปัจจัยจากภาพที่ 23 พบว่า วิธีการ AFDE จะมีประโยชน์กว่าวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เมื่อจำนวนปัจจัยมากกว่า 5 ปัจจัย เพราะจะมีจำนวนซ้ำการดำเนินงานที่น้อยกว่า

ในกรณีผู้วิจัยต้องการคัดเลือกปัจจัยจากอิทธิพลหลัก อันตรกิริยาแบบสองปัจจัย และพหุนามกำลัง 2 จะพบว่าวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ไม่สามารถจัดทำได้ ถ้าจะตรวจสอบอิทธิพลของพหุนามกำลัง 2 จะต้องมีการทำการดำเนินงานซ้ำที่ค่า “กลาง” ของค่า “สูง” และ “ต่ำ” ของแต่ละปัจจัย หรือจะเรียกการทดลองนั้นว่า วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k หรืออาจจะใช้วิธีการที่ดีกว่าคือการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ อย่างไรก็ตามทั้งสองวิธีนี้จำนวนการดำเนินงานจะเพิ่มสูงขึ้น ต่างจากวิธีการ AFDE จะสามารถคัดเลือกปัจจัยได้ในจำนวนครั้งการทดลองที่ไม่แตกต่างจากการคัดเลือกปัจจัยจากอิทธิพลหลัก และอันตรกิริยาแบบสองปัจจัย แสดงให้เห็นว่าในกรณีนี้วิธี AFDE จะให้ประโยชน์กว่าในการคัดเลือกปัจจัย

2. ความสามารถของวิธีการคัดเลือกปัจจัย AFDE ในระบบการผลิต

วิธีการคัดเลือกปัจจัย AFDE ได้ถูกนำไปทดลองกับการจำลองสถานการณ์ในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ และตามงาน โดยผลของการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวิธีการคัดเลือกปัจจัย AFDE นำไปคัดเลือกปัจจัยในระบบการผลิตเหล่านี้ได้ตรงตามแผนการทดลองที่ได้กำหนดไว้ นั่นคือ 1) สามารถคัดเลือกปัจจัยหลัก 2) สามารถคัดเลือกปัจจัยหลักและเรียงลำดับการมีอิทธิพลต่อระบบการผลิตได้ รวมทั้ง 3) สามารถตรวจจับความผิดปกติของปัจจัยภายนอกที่มีอันตรกิริยากับปัจจัยภายในที่ทำให้ปัจจัยภายในมีลำดับการมีอิทธิพลเพิ่มขึ้นได้

3. การเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกปัจจัย AFDE และ วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบวิธี AFDE กับวิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบันและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปในการคัดเลือกปัจจัยคือ วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดยในการทดลอง 2 ส่วนคือ ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง และปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง ที่สนใจพิจารณา 1) การคัดเลือกปัจจัยหลัก 2) สามารถคัดเลือกปัจจัยหลักและเรียงลำดับการมีอิทธิพลต่อระบบการผลิต และ 3) สามารถตรวจจับความผิดปกติของปัจจัยภายนอกที่มีอันตรกิริยากับปัจจัยภายในที่ทำให้ปัจจัยภายในมีลำดับการมีอิทธิพลเพิ่มขึ้น ผลการทดลองโดยส่วนใหญ่เกือบทั้งหมด

ทั้งสองวิธีนั้นได้ผลการทดลองที่ตรงกัน โดยผลการเปรียบเทียบสรุปได้คือ 1) บั๊จจี้เข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง จากจำนวนการทดลองทั้งหมด 48 การทดลอง ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกบั๊จจี้ได้ตรงกัน 46 การทดลอง คิดเป็น 96 เปอร์เซ็นต์ 2) บั๊จจี้เข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง จากจำนวนการทดลองทั้งหมด 48 การทดลอง ทั้งสองวิธีสามารถคัดเลือกบั๊จจี้ได้ตรงกัน 46 การทดลอง คิดเป็น 96 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ไม่ตรงกันนั้นเป็นกรณีบั๊จจี้หลักมีผลกระทบร่วมกับบั๊จจี้ภายนอก ซึ่งผลการทดลอง การเรียงอันดับความสำคัญของบั๊จจี้แตกต่างกัน แต่ผลความแตกต่างนั้นก็มีความแตกต่างกันไม่มาก และยากที่จะบอกได้ว่าวิธีการใดคัดเลือกบั๊จจี้ได้ถูกต้อง

ในการทดลองส่วนที่ 3 บั๊จจี้เข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องผสมกันอยู่ในระบบ ในการทดลองส่วนแรก พิจารณาให้สถานีนงานทั้งหมดที่มีสิ่งที่น่าสนใจศึกษาในแต่ละสถานีนงาน 2 ส่วน คือ เวลาการผลิต และจำนวนเครื่องจักร เป็นคอขวดของระบบ พบว่าทั้งสองวิธีตรวจสอบได้ว่าทุกสถานีนมีความสำคัญต่อระบบ ในการทดลองส่วนที่สอง พิจารณาให้สถานีนงาน 1 สถานีนงานได้รับผลกระทบจากบั๊จจี้ภายนอก พบว่าวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ตรวจสอบความไวของผลกระทบได้ทั้งหมด 12 การทดลอง ส่วนวิธี AFDE ตรวจสอบความไวของผลกระทบได้เกือบทั้งหมด 11 การทดลอง มีเพียง 1 กรณีที่มีจำนวน 4 บั๊จจี้ในระบบการผลิตแบบตามงานเท่านั้นที่ไม่ตรงกับที่ออกแบบไว้

4. การใช้วิธีการคัดเลือกบั๊จจี้โดเมนความถี่ประยุกต์คัดเลือกบั๊จจี้จำนวน 20 บั๊จจี้

การศึกษกรณีบั๊จจี้เข้า 20 บั๊จจี้ด้วยวิธีการ AFDE เพื่อพิสูจน์ว่าวิธีการ AFDE ใช้คัดเลือกบั๊จจี้เข้าในระบบที่มีจำนวนมากได้ โดยที่วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากจำนวนครั้งที่ต้องทดลองมากเกินไปไม่สามารถดำเนินงานได้ในเวลาที่เป็นไปได้ โดยต้องทำการดำเนินงาน 2,097,152 ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบเทคนิค AFDE กับ การทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k

รายการ	AFDE	การทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ^k
จำนวนดำเนินงาน	1,558	2,097,152
เวลาในการดำเนินงาน (หน่วย: นาที)	1 ชั่วโมง 30 นาที	ประมาณ 121,145 นาที (2,019 ชั่วโมง หรือ 84 วัน)

ผลการทดลองการศึกษาในส่วนี้ บั๊จจ็เข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง บั๊จจ็เข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง และบั๊จจ็เข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องผสมกันอยู่ในระบบ การทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง ได้ผลตรงกับที่กำหนดไว้ สามารถคัดเลือกบั๊จจ็หลักได้ และสามารถเรียงบั๊จจ็หลักที่มีอิทธิพลได้มากไปหาน้อยได้ และสามารถตรวจจับความไวของบั๊จจ็ที่มีอิทธิพลมากขึ้นเมื่อมีบั๊จจ็ภายนอกมีผลกระทบร่วม

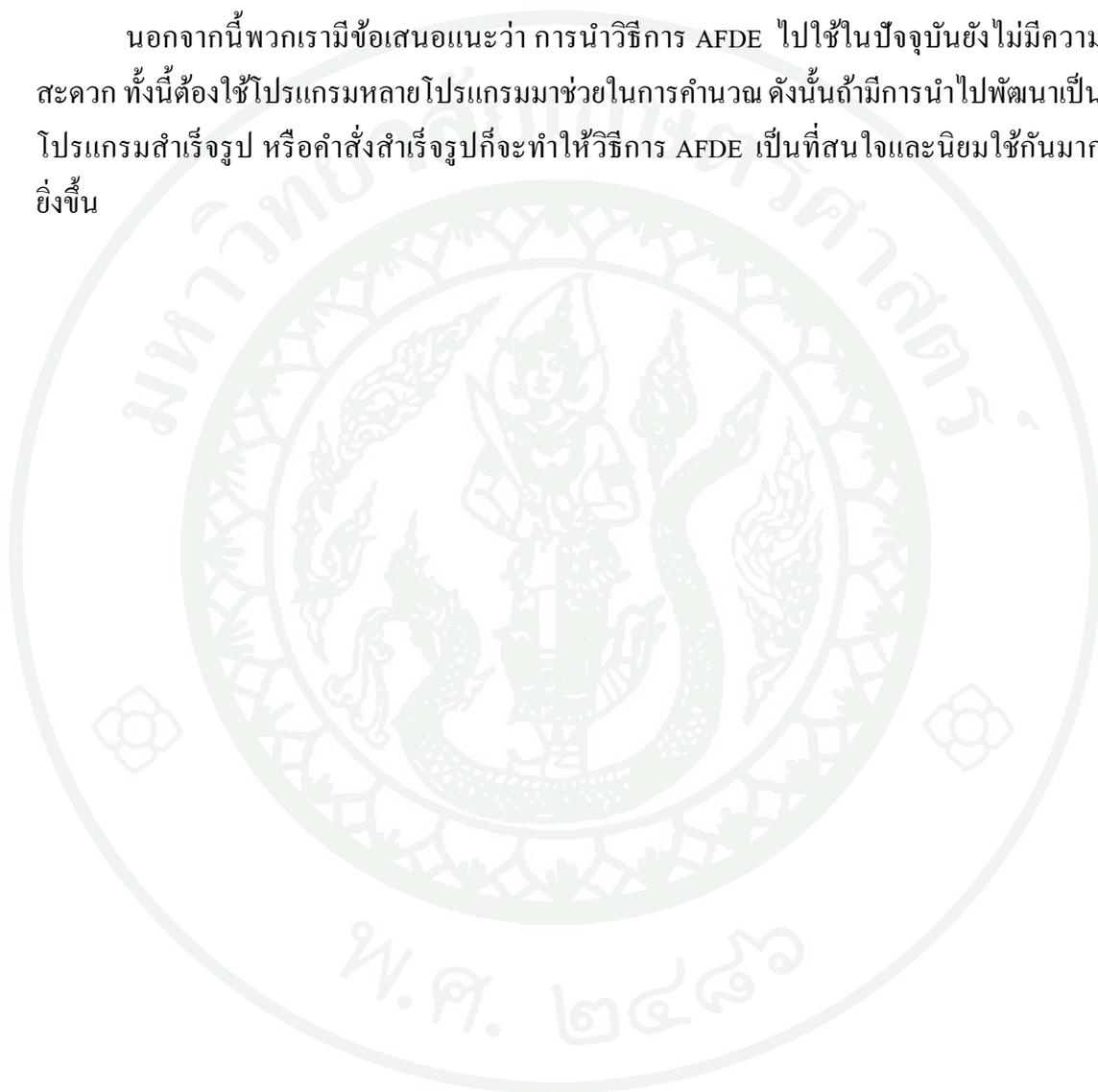
ข้อเสนอแนะ

วิธีการ AFDE ที่ได้พัฒนาขึ้นมาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกบั๊จจ็ทั้งรูปแบบการทดลองเสมือน (Visual Experiments or Simulation) และการทดลองจริง (Actual Experiments) แต่อย่างไรก็ตามการนำวิธีการ AFDE ไปคัดเลือกบั๊จจ็ในกรณีทำการทดลองจริง ไม่ได้ใช้การจำลองสถานการณ์ผ่านคอมพิวเตอร์ วิธีการนี้จะไม่สะดวกนัก ทั้งการกำหนดความถี่จับให้บั๊จจ็ การดำเนินการทดลองที่อาจสร้างความสับสนให้ผู้ทดลองได้ รวมทั้งวิธีการ AFDE นี้เหมาะสมกับการคัดเลือกบั๊จจ็ในกรณีที่มีบั๊จจ็จำนวนมาก และยังคงอาศัยการดำเนินงานซ้ำหลายครั้ง ซึ่งไม่เหมาะสมกับการทดลองจริง ดังนั้นผู้สนใจควรพิจารณาความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ด้วย

วิธีการ AFDE สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาค่าเหมาะที่สุดได้ โดยมีแนวทางในการดำเนินการ 2 วิธีคือ 1) การหาค่าเหมาะที่สุดไปพร้อมกับการคัดเลือกบั๊จจ็ตามที่ Minsan and Anussornmitisarn (2009) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการคัดเลือกบั๊จจ็ด้วยวิธี FDE ที่บั๊จจ็เข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง โดยเสนอการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์แอนนิลลิ่ง (Simulated Annealing; SA) ไปพร้อมกันกับการลดจำนวนบั๊จจ็เข้าที่เป็นตัวแปรแบบต่อเนื่องด้วยการใช้ประโยชน์ของวิธี FDE ซึ่งวิธีนี้จะลดจำนวนการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ ถ้าปัญหาที่ศึกษามีบั๊จจ็ที่ไม่สำคัญอยู่ในปัญหานั้นด้วย และ 2) การหาค่าเหมาะที่สุดหลังจากการใช้วิธี AFDE คัดเลือกบั๊จจ็

การนำไปประยุกต์ใช้ทั้ง 2 วิธีนี้ พวกเราแนะนำว่า วิธีการแรกจะขาดความยืดหยุ่นในการทำงานแต่จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบจะน้อย ส่วนวิธีการที่สองจะมีความยืดหยุ่นในการทำงานมากกว่า เพราะหลังจากคัดเลือกปัจจัยแล้วจะใช้วิธีการใดมาหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดก็ได้ แต่จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบจะมากกว่าวิธีการแรก

นอกจากนี้พวกเรามีข้อเสนอแนะว่า การนำวิธีการ AFDE ไปใช้ในปัจจุบันยังไม่มีความสะดวก ทั้งนี้ต้องใช้โปรแกรมหลายโปรแกรมมาช่วยในการคำนวณ ดังนั้นถ้ามีการนำไปพัฒนาเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป หรือคำสั่งสำเร็จรูปก็จะทำให้วิธีการ AFDE เป็นที่สนใจและนิยมใช้กันมากยิ่งขึ้น



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ปราเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์. 2552. ศึกษานโยบายและระบบกับการประยุกต์ใช้โปรแกรม SCILAB, โปรแกรมวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม.
- Banks, J. 1998. **Handbook of Simulation**. Wiley-Interscience, United State of America.
- _____, J. Carson, B. L. Nelson and D. Nicol. 2005. **Discrete-event System Simulation**. 7th edition, Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Berry, M. J. A. and G. Linoff. 1997. **Data Mining Techniques: for Marketing Sales, and Customer Support**. John Wiley, New York.
- Bettonvil, B. and J. P. C. Kleijnen. 1996. Searching for important factors in simulation models with many factor: sequential bifurcation. **European Journal of Operational Research**, 96: 180-194.
- Booth, K. H. V. and D. R. Cox. 1962. Some systematic supersaturated designs. **Technometrics** 4: 489-495.
- Box, G. E., W. G. Hunter and J. S. Hunter. 2005. **Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery**. 2nd edition. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey.
- Carlsaw, H. S. 1930. **Introduction to The Theory of Fourier's Series and Integrals**. N.Y. : Dover, New York.

- Cooley, J., P. Lewis and P. Welch. 1969. The finite Fourier transform. **IEEE Trans.** Audio Electroacoustics 17 (2): 77–85.
- Dallal, G. E. 2007. **The Little Handbook of Statistical Practice.** n.p.
- Dorigo, M. 1992. **Optimization, Learning and Natural Algorithms.** PhD. Thesis, Politecnico di Milano, Italy.
- Fu, M. C. 2001. Simulation optimization. **Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference:** 53-61.
- Glover, F. 1989. Tabu search — part I. **ORSA Journal on Computing.** 1: 3, 190-206.
- _____. 1990. Tabu search — part II. **ORSA Journal on Computing.** 2: 1, 4-32.
- Hazra, M. M., D. J. Morrice and S. K. Park. 1997. A simulation clock-based solution to the frequency domain experiment indexing problem. **IIE Transactions** 29: 769-782.
- Henderson, S. G. and B. L. Nelson. 2006. **Handbooks in Operations Research and Management Science, Volume 13 Simulation.** Elsevier, North-Holland.
- Hinkelmann, K. and O. Kempthorne. 2005. **Design and Analysis of Experiments, Volume 2 Advanced Experimental Design.** John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Holland, J. H. 1975. **Adaptation in Natural and Artificial Systems.** University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Holcomb, D. R., D. C. Montgomery and W. M. Carlyle. 2000. Analysis of supersaturated design. **Technical Report,** Arizona State University.

- Horng, H. C., C. C. Hu and T. M. Cheng. 2009. Evaluating the effectiveness of FDM in identifying important factors in a dynamic flowshop. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing** 25: 894–900.
- Wu, H. F. 2002. **Spectral Analysis and Sonification of Simulation Data Generated in a Frequency Domain Experiment**. M.S. Thesis, Naval Postgraduate School Monterey, California.
- Ivanova, T., L. Malone and M. Mollaghasemi. 1999. Comparison of a two-stage group-screening design to a standard 2^{k-p} design for a whole-line semiconductor manufacturing simulation model. **Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference**: 640-646.
- Jacobson, S. H. 1989. Oscillation amplitude considerations in frequency domain experiments. **Proceedings of the 1989 Winter Simulation Conference**: 406-410.
- _____, A. H. Buss and L. W. Schruben. 1991. Driving frequency selection for frequency domain simulation experiments. **Operations Research** 39: 917-924.
- Kiefer, J. and J. Wolfowitz. 1952. Stochastic estimation of the maximum of a regression function. **Annals of Mathematical Statistics** 23, #3 (September 1952): 462–466.
- Kirkpatrick, S., C. D. Gelatt and M. P. Vecchi. 1983. Optimization by simulated annealing. **Science**, Vol 220, Number 4598: 671-680.
- Lee, Y. H., S. Teng, E. P. Chew, I. A. Karimi, K. W. Lye, K. Chen and C. H. Koh. 2005. Application of multi-objective simulation-optimization techniques to inventory management problem. **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference**: 1684-1691.
- Lin, D. K. J. 1991. Supersaturated designs. **Working Papers**, No. 264. College of Business Administration, University of Tennessee.

- _____. 1993. A New class of supersaturated designs. **Technometrics** 35: 28-31.
- Ljung, L. 1987. **System Identification: Theory for the User**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Metropolis, N., A. W. Rosenbluth, M. N. Rosenbluth, A. H. Teller and E. Teller. 1953. Equations of state calculations by fast computing machines. **Journal of Chemical Physics**, 21(6): 1087-1092.
- Minsan, W. and P. Anussornnitisarn. 2009. The solution space reduction using frequency domain of simulated annealing. **Proceeding of AISSIMOD 2009**, January 22-23, Bangkok, Thailand, 185-190. Source: <http://watha.gendit.com/asimmod2009/>.
- Montgomery, D. C. 2009. **Design and Analysis of Experiments**. 7th edition. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Morrice, D. J. 1995. A comparison of frequency domain methodology and conventional factor screening methods. **Operations Research Letters** 17: 165-174.
- Morrice, D. J. and I. R. Bardhan. 1995. A weighted least squares approach to computer simulation factor screening. **Operations Research** Vol. 43, No. 5, September-October: 792-806.
- _____ and L. W. Schruben. 1989. Simulation sensitivity analysis using frequency domain experiments. **Proceedings of the 1989 Winter Simulation Conference**: 367-373.
- Morrice, D. J. and L. W. Schruben. 1993. Simulation factor screening using harmonic analysis. **Management Science** 39: 1459-1476.

- _____. 1993. Simulation factor screening using cross-spectral methods. **Operation Research Letters** 13: 247-257.
- _____. 2001. A frequency domain metamodeling approach to transient sensitivity analysis. **IIE Transactions** 33: 229-244.
- Nazzal, D., M. Mollaghasemi and L. Malone. 2000. Evaluation of the effectiveness of group screening methods as compared to no group screening. **Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference**: 1499-1504.
- Ólafsson, S. and J. Kim. 2002. Simulation optimization. **Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference**: 70-84.
- Pierce, C. A., Block, R. A. and H. Aguinis. 2004. Cautionary note on reporting eta-squared values from multifactor ANOVA designs. **Educational and Psychological Measurement**, 64: 916-924.
- Plackett, R. L. and J. P. Burman. 1946. The design of optimum multifactorial experiments. **Biometrika** 33 (4): 305-25.
- Rastrigin, L.A. 1963. The convergence of the random search method in the extremal control of a many parameter system. **Automation and Remote Control** 24 (10): 1337–1342.
- Ravindran, A, D. Phillips and J. Solberg. 1987. **Operations Research Principles and Practice**. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.
- Robbins, H. and S. Monro. 1951. A stochastic approximation method. **Annals of Mathematical Statistics** 22, #3 (September 1951): 400–407.
- Rossetti, M. D. 2010. **Simulation Modeling and Arena**. John Wiley & Sons, New York.

Sanchez, P. J. 1991. Design of frequency-domain experiments for discrete-valued factors.

Technical Report, Systems and Industrial Engineering, University of Arizona, Tucson, Arizona.

Sanchez, P. J. and A. H. Buss. 1987. A model for frequency domain experiments. **Proceedings of the 1987 Winter Simulation Conference**. Atlanta, Georgia: 424-427.

Sanchez, S. M. and P. Konana. 2000. Efficient data allocation for frequency domain experiments. **Operations Research Letters** 26: 81-89.

_____, F. Moeeni and P. J. Sanchez. 2006. So many factors, so little time... simulation experiments in the frequency domain. **Science Direct**, Int. J. Production Economics 103: 149-165.

Sargent, R. G. and T. K. Som. 1992. Current issues in frequency domain experimentation. **Management Sci.** 38: 667-687.

Schruben, L. W. 1986. Simulation optimization using frequency domain methods. **Proceedings of the 1986 Winter Simulation Conference**: 366-369.

_____ and V. J. Cogliano. 1981. Simulation sensitivity analysis: a frequency domain approach. **Proceedings of the 1981 Winter Simulation Conference**. Atlanta (GA): 455-460.

_____. 1987. An experimental procedure for simulation response surface. **Comm. ACM** 30, 716-730.

Shannon, R. E. 1975. **System Simulation; the Art and Science**. Prentice Hall Inc., USA.

Trocine, L. and L. C. Malone. 2001. An overview of newer, advanced screening methods for the initial phase in an experimental design. **Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference**: 169-178.

Tsao, H. S. J. and H. Liu. 2008. Optimal sequencing of test conditions in 2^k factorial experimental design for run-size minimization. **Computers & Industrial Engineering** 55: 450-464.

Vinod, V. and R. Sridharan. 2008. Scheduling a dynamic job shop production system with sequence-dependent setups: an experimental study. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing** 24: 435-449.

Wan, H., B. Ankenman and B. L. Nelson. 2003. Controlled sequential bifurcation: a new factor-screening method for discrete-event simulation. **Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference**: 565-573.

_____. 2006. Simulation factor screening with controlled sequential bifurcation in the presence of interactions. **Report**, Purdue University, West Lafayette.

Source <http://web.ics.purdue.edu/~hwan/WanAnkenmanNelsonCSBX.pdf>.

Wu, C. F. J. 1993. Construction of supersaturated design through partially aliased interactions, **Biometrika** 80: 661-669.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k กับวิธี AFDE

1. ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่อง

1.1. ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ

1.1.1. 3 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก1 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	7,219,777,412	6	1,203,296,235	90,463	.000	0.99998
Intercept	23,357,849,473	1	23,357,849,473	1,756,023	.000	0.99999
St1	45,903	1	45,903	3	.096	0.27716
St2	22,276	1	22,276	2	.228	0.15688
St3	7,219,603,508	1	7,219,603,508	542,764	.000	0.99998
St1 * St2	22,726	1	22,726	2	.224	0.15955
St1 * St3	57,480	1	57,480	4	.067	0.32439
St2 * St3	25,520	1	25,520	2	.199	0.17572
Error	119,714	9	13,302			
Total	30,577,746,599	16				
Corrected Total	7,219,897,126	15				

ตารางผนวกที่ ก2 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 3 และ 1 เป็นสถานีคอขวด

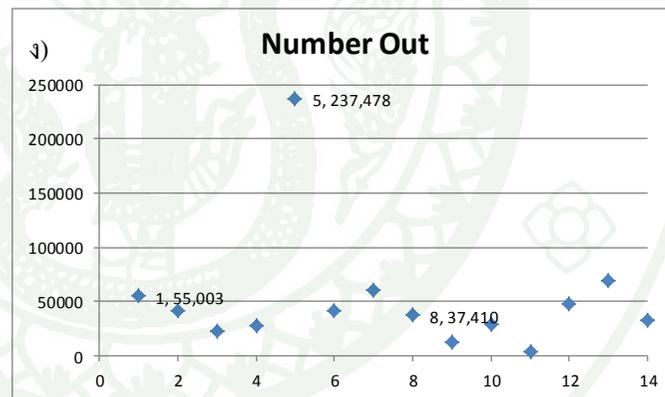
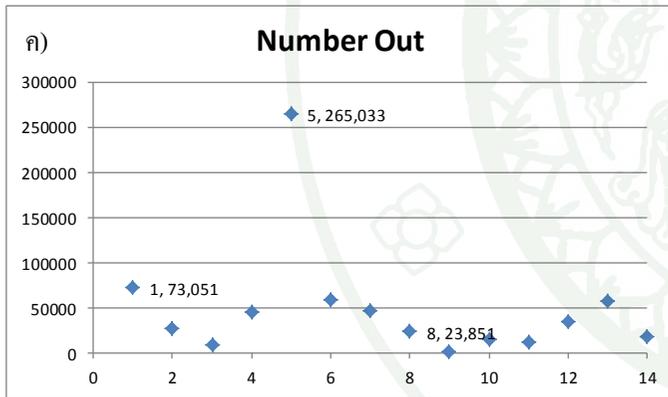
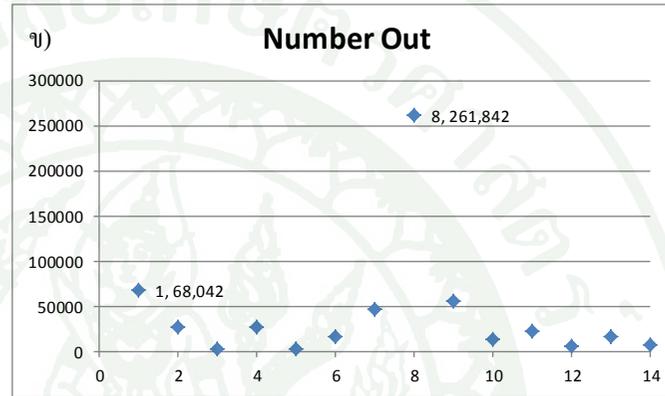
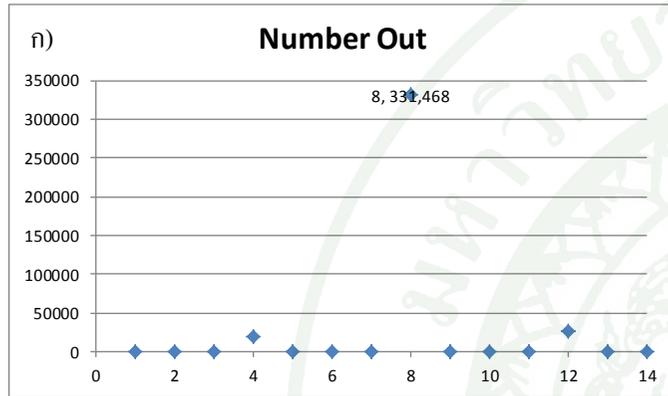
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	4,810,675,127	6	801,779,188	186,884.0	.000	0.99999
Intercept	16,176,532,969	1	16,176,532,969	3,770,533.9	.000	1.00000
St1	646,176,400	1	646,176,400	150,615.1	.000	0.99994
St2	182	1	182	0.0	.841	0.00470
St3	3,517,913,344	1	3,517,913,344	819,978.6	.000	0.99999
St1 * St2	210	1	210	0.0	.830	0.00542
St1 * St3	646,583,184	1	646,583,184	150,709.9	.000	0.99994
St2 * St3	1,806	1	1,806	0.4	.533	0.04469
Error	38,612	9	4,290			
Total	20,987,246,708	16				
Corrected Total	4,810,713,739	15				

ตารางผนวกที่ ก3 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	3,992,067,028	6	665,344,505	333.347	.000	0.99552
Intercept	15,119,714,925	1	15,119,714,925	7575.184	.000	0.99881
St1	448,730,081	1	448,730,081	224.820	.000	0.96151
St2	3,042,487,702	1	3,042,487,702	1524.328	.000	0.99413
St3	17,852,738	1	17,852,738	8.944	.015	0.49845
St1 * St2	447,142,743	1	447,142,743	224.025	.000	0.96138
St1 * St3	18,022,148	1	18,022,148	9.029	.015	0.50081
St2 * St3	17,831,618	1	17,831,618	8.934	.015	0.49816
Error	17,963,582	9	1,995,954			
Total	19,129,745,535	16				
Corrected Total	4,010,030,610	15				

ตารางผนวกที่ ก4 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 3* เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	2,743,487,246	6	457,247,874	31.654	.000	0.95476
Intercept	12,010,790,039	1	12,010,790,039	831.463	.000	0.98929
St1	163,245,341	1	163,245,341	11.301	.008	0.55667
St2	2,028,398,925	1	2,028,398,925	140.419	.000	0.93977
St3	129,863,118	1	129,863,118	8.990	.015	0.49972
St1 * St2	162,709,158	1	162,709,158	11.264	.008	0.55586
St1 * St3	129,475,952	1	129,475,952	8.963	.015	0.49897
St2 * St3	129,794,753	1	129,794,753	8.985	.015	0.49959
Error	130,008,388	9	14,445,376			
Total	14,884,285,673	16				
Corrected Total	2,873,495,634	15				



ภาพผนวกที่ ก1 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 1 เป็นสถานีคอกวด ข) สถานีที่ 3 และ 1 เป็นสถานีคอกวด ค) สถานีที่ 2, 1 และ 3 เป็นสถานีคอกวด ง) สถานีที่ 2, 1 และ 3* เป็นสถานีคอกวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 9

1.1.2. 4 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก5 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 1 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	14,428,808,830	10	1,442,880,883	91219.304	.000	.99998
Intercept	46,702,097,821	1	46,702,097,821	2952518.738	.000	.99999
St1	14,428,333,128	1	14,428,333,128	912162.963	.000	.99998
St2	10,878	1	10,878	.688	.416	.03171
St3	143,380	1	143,380	9.065	.007	.30150
St4	36,856	1	36,856	2.330	.142	.09987
St1 * St2	2,048	1	2,048	.129	.723	.00613
St1 * St3	190,345	1	190,345	12.034	.002	.36428
St1 * St4	34,848	1	34,848	2.203	.153	.09495
St2 * St3	1,058	1	1,058	.067	.798	.00317
St2 * St4	50,881	1	50,881	3.217	.087	.13283
St3 * St4	5,408	1	5,408	.342	.565	.01602
Error	332,172	21	15,818			
Total	61,131,238,822	32				
Corrected Total	14,429,141,002	31				

ตารางผนวกที่ ก6 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 2 และ 1 เป็นสถานีคอกขวด

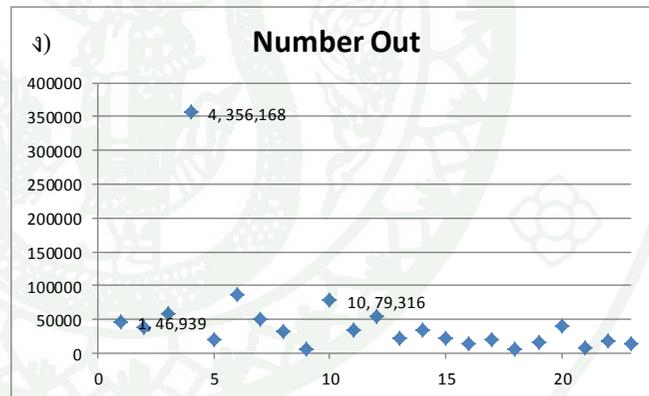
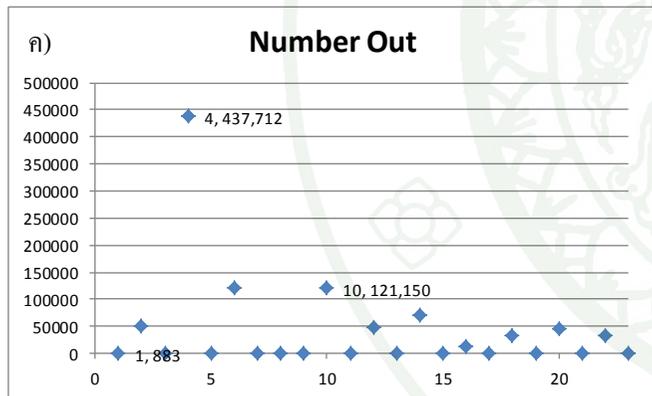
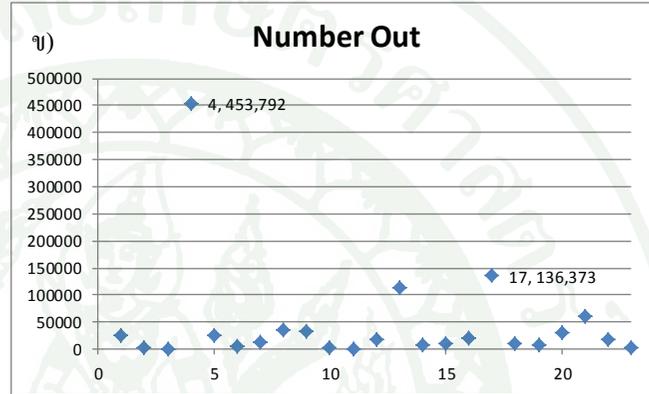
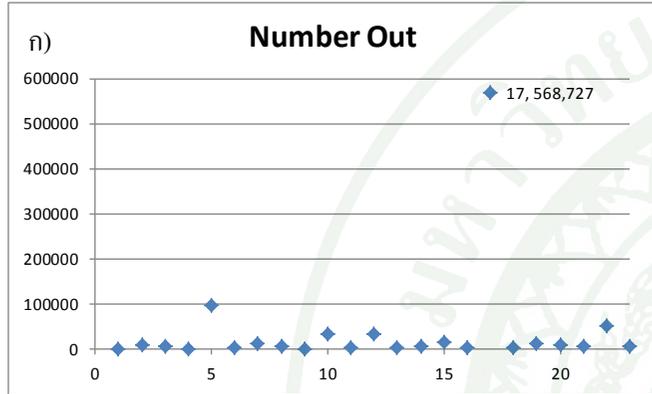
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	9,667,350,503	10	966,735,050	174487.929	.000	.99999
Intercept	32,383,407,148	1	32,383,407,148	5844945.460	.000	1.00000
St1	1,296,741,470	1	1,296,741,470	234051.443	.000	.99991
St2	7,074,462,038	1	7,074,462,038	1276883.701	.000	.99998
St3	28,144	1	28,144	5.080	.035	.19478
St4	17	1	17	.003	.957	.00014
St1 * St2	1,296,028,600	1	1,296,028,600	233922.776	.000	.99991
St1 * St3	51,923	1	51,923	9.372	.006	.30856
St1 * St4	140	1	140	.025	.875	.00120
St2 * St3	27,437	1	27,437	4.952	.037	.19082
St2 * St4	830	1	830	.150	.703	.00709
St3 * St4	9,905	1	9,905	1.788	.195	.07846
Error	116,349	21	5,540			
Total	42,050,873,999	32				
Corrected Total	9,667,466,851	31				

ตารางผนวกที่ ก7 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 3 และ 4 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	8,003,507,789	10	800,350,779	463.885	.000	.99549
Intercept	30,273,007,861	1	30,273,007,861	17546.299	.000	.99880
St1	1,953	1	1,953	.001	.973	.00005
St2	6,090,658,081	1	6,090,658,081	3530.158	.000	.99409
St3	902,806,278	1	902,806,278	523.268	.000	.96142
St4	36,325,026	1	36,325,026	21.054	.000	.50064
St1 * St2	4,005	1	4,005	.002	.962	.00011
St1 * St3	200	1	200	.000	.992	.00001
St1 * St4	1,985	1	1,985	.001	.973	.00005
St2 * St3	901,489,491	1	901,489,491	522.505	.000	.96136
St2 * St4	35,917,050	1	35,917,050	20.818	.000	.49782
St3 * St4	36,303,721	1	36,303,721	21.042	.000	.50050
Error	36,231,752	21	1,725,322			
Total	38,312,747,402	32				
Corrected Total	8,039,739,542	31				

ตารางผนวกที่ ก8 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 3 และ 4* เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	5,510,443,116	10	551,044,312	44.016	.000	.95446
Intercept	24,048,821,844	1	24,048,821,844	1920.964	.000	.98919
St1	810	1	810	.000	.994	.00000
St2	4,063,488,713	1	4,063,488,713	324.582	.000	.93923
St3	328,877,893	1	328,877,893	26.270	.000	.55574
St4	262,875,253	1	262,875,253	20.998	.000	.49997
St1 * St2	1,116	1	1,116	.000	.993	.00000
St1 * St3	2,683	1	2,683	.000	.988	.00001
St1 * St4	2,295	1	2,295	.000	.989	.00001
St2 * St3	328,800,957	1	328,800,957	26.264	.000	.55569
St2 * St4	263,793,223	1	263,793,223	21.071	.000	.50085
St3 * St4	262,600,174	1	262,600,174	20.976	.000	.49971
Error	262,901,975	21	12,519,142			
Total	29,822,166,935	32				
Corrected Total	5,773,345,091	31				



ภาพผนวกที่ ก2 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 1 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 2 และ 1 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 2, 3 และ 4 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 2, 3 และ 4* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 9

1.1.3. 5 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก9 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 4 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	28,906,296,651	15	1,927,086,443	69,647.05	.000	.99995
Intercept	93,457,457,691	1	93,457,457,691	3,377,656.75	.000	.99999
St1	24,297	1	24,297	0.88	.353	.01797
St2	4,953	1	4,953	0.18	.674	.00372
St3	27,101	1	27,101	0.98	.327	.02000
St4	28,906,077,820	1	28,906,077,820	1,044,697.89	.000	.99995
St5	25,800	1	25,800	0.93	.339	.01906
St1 * St2	1,287	1	1,287	0.05	.830	.00097
St1 * St3	8,766	1	8,766	0.32	.576	.00656
St1 * St4	34,643	1	34,643	1.25	.269	.02542
St1 * St5	2,389	1	2,389	0.09	.770	.00180
St2 * St3	2,849	1	2,849	0.10	.750	.00214
St2 * St4	7,504	1	7,504	0.27	.605	.00562
St2 * St5	36,338	1	36,338	1.31	.257	.02663
St3 * St4	22,463	1	22,463	0.81	.372	.01663
St3 * St5	878	1	878	0.03	.859	.00066
St4 * St5	19,565	1	19,565	0.71	.405	.01452
Error	1,328,127	48	27,669			
Total	122,365,082,469	64				
Corrected Total	28,907,624,778	63				

ตารางผนวกที่ ก10 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 4 และ 5 เป็นสถานีคอขวด

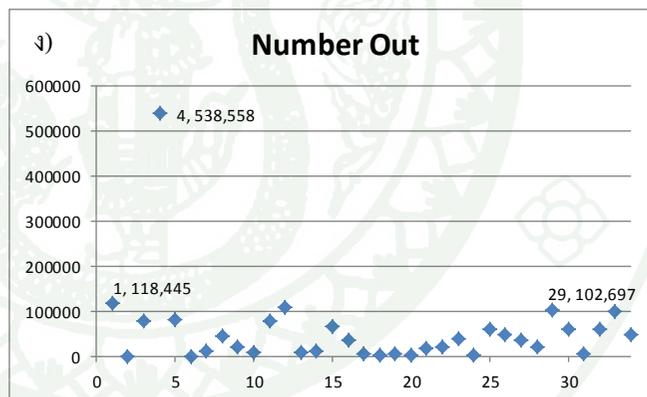
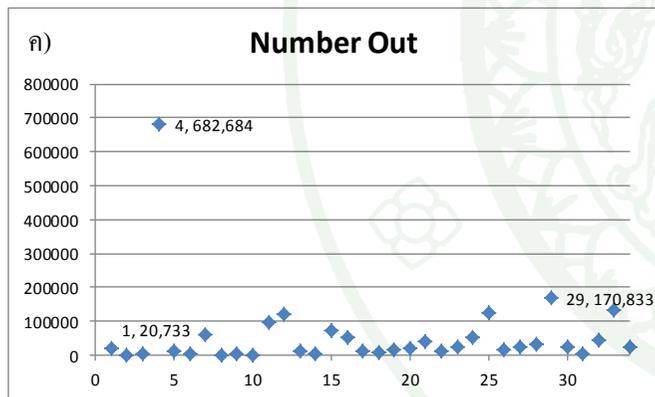
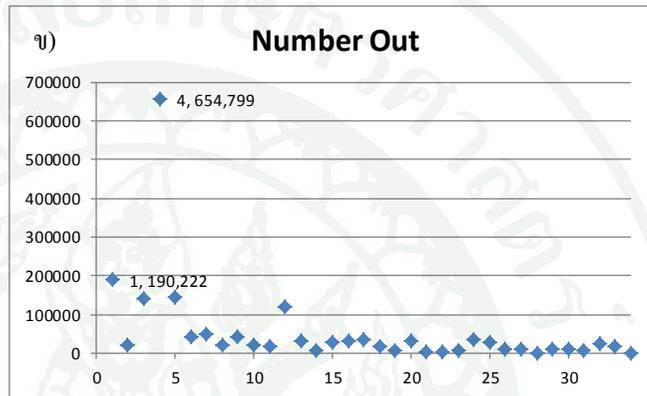
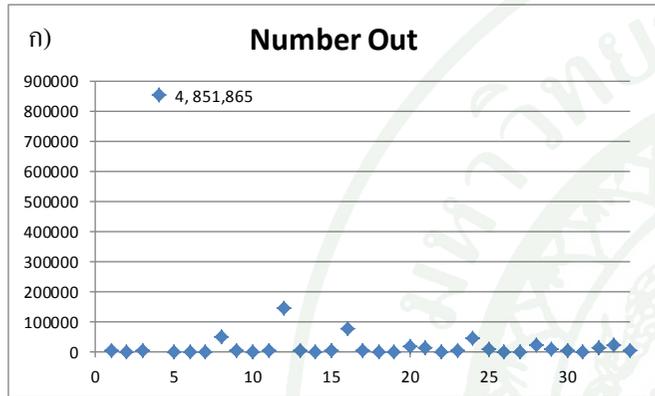
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	19,331,982,246	15	1,288,798,816	76,059.33	.000	.99996
Intercept	64,809,894,440	1	64,809,894,440	3,824,799.59	.000	.99999
St1	558	1	558	0.03	.857	.00069
St2	14,490	1	14,490	0.86	.360	.01750
St3	4,274	1	4,274	0.25	.618	.00523
St4	14,133,435,177	1	14,133,435,177	834,094.20	.000	.99994
St5	2,597,953,643	1	2,597,953,643	153,319.98	.000	.99969
St1 * St2	7,766	1	7,766	0.46	.502	.00946
St1 * St3	49,896	1	49,896	2.94	.093	.05780
St1 * St4	3,829	1	3,829	0.23	.637	.00469
St1 * St5	7,035	1	7,035	0.42	.522	.00858
St2 * St3	34,736	1	34,736	2.05	.159	.04096
St2 * St4	16,673	1	16,673	0.98	.326	.02009
St2 * St5	19,916	1	19,916	1.18	.284	.02390
St3 * St4	2,984	1	2,984	0.18	.677	.00366
St3 * St5	4,988	1	4,988	0.29	.590	.00610
St4 * St5	2,600,426,282	1	2,600,426,282	153,465.91	.000	.99969
Error	813,343	48	16,945			
Total	84,142,690,029	64				
Corrected Total	19,332,795,589	63				

ตารางผนวกที่ ก11 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 4, 2 และ 5 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	16,025,218,297	15	1,068,347,886	688.16	.000	.99537
Intercept	60,564,594,752	1	60,564,594,752	39,011.62	.000	.99877
St1	2,576	1	2,576	0.00	.968	.00003
St2	1,808,822,165	1	1,808,822,165	1,165.12	.000	.96043
St3	11,503	1	11,503	0.01	.932	.00015
St4	12,187,663,205	1	12,187,663,205	7,850.47	.000	.99392
St5	73,835,353	1	73,835,353	47.56	.000	.49770
St1 * St2	8,236	1	8,236	0.01	.942	.00011
St1 * St3	977	1	977	0.00	.980	.00001
St1 * St4	5,077	1	5,077	0.00	.955	.00007
St1 * St5	4,658	1	4,658	0.00	.957	.00006
St2 * St3	28,646	1	28,646	0.02	.893	.00038
St2 * St4	1,806,696,278	1	1,806,696,278	1,163.75	.000	.96039
St2 * St5	73,800,986	1	73,800,986	47.54	.000	.49758
St3 * St4	11,503	1	11,503	0.01	.932	.00015
St3 * St5	18,428	1	18,428	0.01	.914	.00025
St4 * St5	74,308,710	1	74,308,710	47.86	.000	.49929
Error	74,518,834	48	1,552,476			
Total	76,664,331,882	64				
Corrected Total	16,099,737,130	63				

ตารางผนวกที่ ก12 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 4, 2 และ 5* เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	11,039,633,148	15	735,975,543	67.06	.000	.95445
Intercept	48,099,672,343	1	48,099,672,343	4,382.71	.000	.98917
St1	10,125	1	10,125	0.00	.976	.00002
St2	660,098,133	1	660,098,133	60.15	.000	.55616
St3	3,675	1	3,675	0.00	.985	.00001
St4	8,134,168,458	1	8,134,168,458	741.16	.000	.93918
St5	529,178,265	1	529,178,265	48.22	.000	.50113
St1 * St2	7,504	1	7,504	0.00	.979	.00001
St1 * St3	11,263	1	11,263	0.00	.975	.00002
St1 * St4	14,013	1	14,013	0.00	.972	.00003
St1 * St5	13,369	1	13,369	0.00	.972	.00003
St2 * St3	6,827	1	6,827	0.00	.980	.00001
St2 * St4	658,852,641	1	658,852,641	60.03	.000	.55569
St2 * St5	528,879,257	1	528,879,257	48.19	.000	.50099
St3 * St4	12,516	1	12,516	0.00	.973	.00002
St3 * St5	15,160	1	15,160	0.00	.971	.00003
St4 * St5	528,361,943	1	528,361,943	48.14	.000	.50074
Error	526,794,118	48	10,974,877			
Total	59,666,099,609	64				
Corrected Total	11,566,427,266	63				



ภาพผนวกที่ ๓ การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 4 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 4 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 4, 2 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 4, 2 และ 5* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 9

1.1.4. 6 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก13 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 5 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	57,672,953,230	21	2,746,331,106	111,385.61	.000	1.000
Intercept	186,687,996,013	1	186,687,996,013	7,571,685.70	.000	1.000
St1	4,950	1	4,950	0.20	.655	.002
St2	131,841	1	131,841	5.35	.023	.048
St3	21,841	1	21,841	0.89	.349	.008
St4	5,832	1	5,832	0.24	.628	.002
St5	57,672,485,406	1	57,672,485,406	2,339,078.80	.000	1.000
St6	1,860	1	1,860	0.08	.784	.001
St1 * St2	70,688	1	70,688	2.87	.093	.026
St1 * St3	10,805	1	10,805	0.44	.509	.004
St1 * St4	903	1	903	0.04	.849	.000
St1 * St5	5,913	1	5,913	0.24	.625	.002
St1 * St6	595	1	595	0.02	.877	.000
St2 * St3	3,570	1	3,570	0.14	.704	.001
St2 * St4	128	1	128	0.01	.943	.000
St2 * St5	103,626	1	103,626	4.20	.043	.038
St2 * St6	59,685	1	59,685	2.42	.123	.022
St3 * St4	162	1	162	0.01	.936	.000
St3 * St5	20,554	1	20,554	0.83	.363	.008
St3 * St6	8,845	1	8,845	0.36	.550	.003
St4 * St5	8,224	1	8,224	0.33	.565	.003
St4 * St6	7,626	1	7,626	0.31	.579	.003
St5 * St6	176	1	176	0.01	.933	.000
Error	2,613,543	106	24,656			
Total	244,363,562,786	128				
Corrected Total	57,675,566,774	127				

ตารางผนวกที่ ก14 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 1 และ 6 เป็นสถานีคอขวด

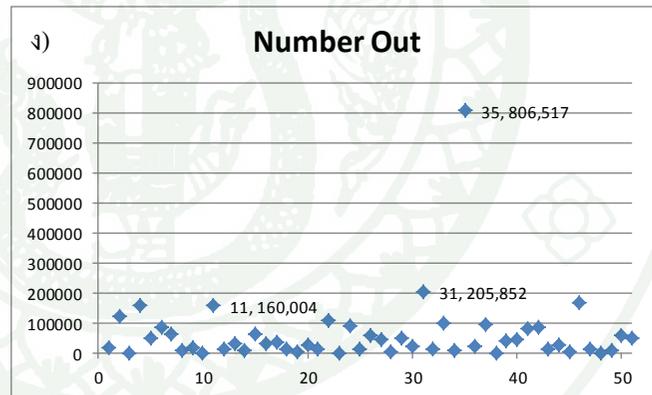
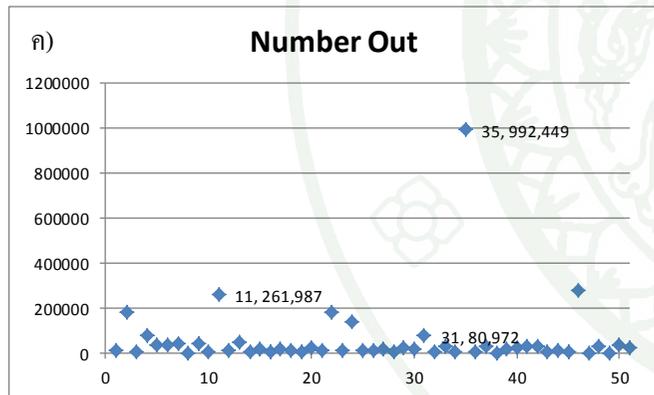
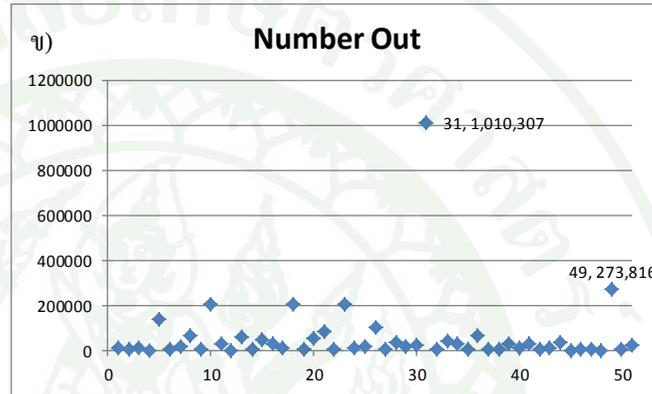
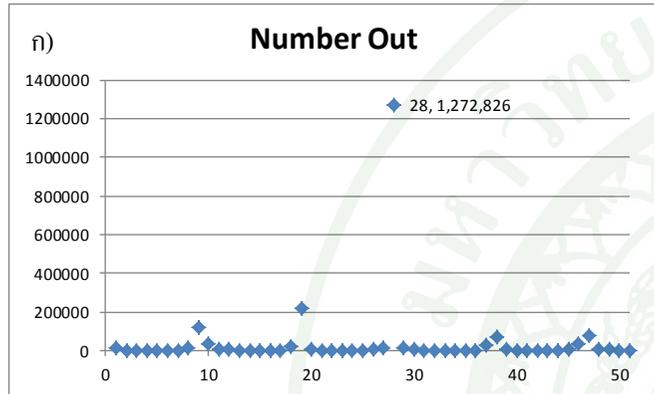
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	38,701,425,960	21	1,842,925,046	162,334.06	0.000	1.000
Intercept	129,674,274,269	1	129,674,274,269	11,422,358.77	0.000	1.000
St1	28,293,625,610	1	28,293,625,610	2,492,244.08	0.000	1.000
St2	16,426	1	16,426	1.45	0.232	.013
St3	13,654	1	13,654	1.20	0.275	.011
St4	666	1	666	0.06	0.809	.001
St5	4,656	1	4,656	0.41	0.523	.004
St6	5,203,632,128	1	5,203,632,128	458,361.95	0.000	1.000
St1 * St2	35,711	1	35,711	3.15	0.079	.029
St1 * St3	2,984	1	2,984	0.26	0.609	.002
St1 * St4	4,656	1	4,656	0.41	0.523	.004
St1 * St5	10,440	1	10,440	0.92	0.340	.009
St1 * St6	5,203,938,181	1	5,203,938,181	458,388.91	0.000	1.000
St2 * St3	23	1	23	0.00	0.964	.000
St2 * St4	48,050	1	48,050	4.23	0.042	.038
St2 * St5	7,442	1	7,442	0.66	0.420	.006
St2 * St6	23,981	1	23,981	2.11	0.149	.020
St3 * St4	11,250	1	11,250	0.99	0.322	.009
St3 * St5	44,551	1	44,551	3.92	0.050	.036
St3 * St6	1,682	1	1,682	0.15	0.701	.001
St4 * St5	851	1	851	0.07	0.785	.001
St4 * St6	621	1	621	0.05	0.815	.001
St5 * St6	2,398	1	2,398	0.21	0.647	.002
Error	1,203,383	106	11,353			
Total	168,376,903,612	128				
Corrected Total	38,702,629,343	127				

ตารางผนวกที่ ก15 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 2, 3 และ 1 เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	31,949,452,046	21	1,521,402,478	1,121.51	.000	.996
Intercept	121,033,168,503	1	121,033,168,503	89,220.12	.000	.999
St1	143,475,448	1	143,475,448	105.76	.000	.499
St2	24,317,209,079	1	24,317,209,079	17,925.54	.000	.994
St3	3,601,108,370	1	3,601,108,370	2,654.57	.000	.962
St4	856	1	856	0.00	.980	.000
St5	1	1	1	0.00	.999	.000
St6	25	1	25	0.00	.997	.000
St1 * St2	144,234,497	1	144,234,497	106.32	.000	.501
St1 * St3	144,204,776	1	144,204,776	106.30	.000	.501
St1 * St4	2,424	1	2,424	0.00	.966	.000
St1 * St5	417	1	417	0.00	.986	.000
St1 * St6	13	1	13	0.00	.998	.000
St2 * St3	3,599,177,930	1	3,599,177,930	2,653.15	.000	.962
St2 * St4	930	1	930	0.00	.979	.000
St2 * St5	234	1	234	0.00	.990	.000
St2 * St6	19	1	19	0.00	.997	.000
St3 * St4	417	1	417	0.00	.986	.000
St3 * St5	1,194	1	1,194	0.00	.976	.000
St3 * St6	4,221	1	4,221	0.00	.956	.000
St4 * St5	1,733	1	1,733	0.00	.972	.000
St4 * St6	13,510	1	13,510	0.01	.921	.000
St5 * St6	15,953	1	15,953	0.01	.914	.000
Error	143,796,217	106	1,356,568			
Total	153,126,416,765	128				
Corrected Total	32,093,248,262	127				

ตารางผนวกที่ ก16 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 2, 3 และ 1* เป็นสถานีคอกวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	21,378,619,865	21	1,018,029,517	103.36	.000	.953
Intercept	102,010,290,680	1	102,010,290,680	10,357.54	.000	.990
St1	1,049,444,118	1	1,049,444,118	106.55	.000	.501
St2	16,243,026,031	1	16,243,026,031	1,649.22	.000	.940
St3	997,040,094	1	997,040,094	101.23	.000	.489
St4	223	1	223	0.00	.996	.000
St5	188	1	188	0.00	.997	.000
St6	208	1	208	0.00	.996	.000
St1 * St2	1,047,955,703	1	1,047,955,703	106.40	.000	.501
St1 * St3	1,044,970,614	1	1,044,970,614	106.10	.000	.500
St1 * St4	335	1	335	0.00	.995	.000
St1 * St5	33	1	33	0.00	.999	.000
St1 * St6	805	1	805	0.00	.993	.000
St2 * St3	996,169,510	1	996,169,510	101.15	.000	.488
St2 * St4	126	1	126	0.00	.997	.000
St2 * St5	74	1	74	0.00	.998	.000
St2 * St6	662	1	662	0.00	.993	.000
St3 * St4	644	1	644	0.00	.994	.000
St3 * St5	424	1	424	0.00	.995	.000
St3 * St6	160	1	160	0.00	.997	.000
St4 * St5	671	1	671	0.00	.993	.000
St4 * St6	877	1	877	0.00	.992	.000
St5 * St6	8,369	1	8,369	0.00	.977	.000
Error	1,043,982,086	106	9,848,888			
Total	124,432,892,631	128				
Corrected Total	22,422,601,951	127				



ภาพผนวกที่ ก4 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 5 เป็นสถานีคอขวด ข) สถานีที่ 1 และ 6 เป็นสถานีคอขวด ค) สถานีที่ 2, 3 และ 1 เป็นสถานีคอขวด ง) สถานีที่ 2, 3 และ 1* เป็นสถานีคอขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 9

1.1.5. 7 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก17 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดสถานีที่ 2 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	115,403,711,238	28	4,121,561,116	127,960.20	.000	.99994
Intercept	373,438,855,925	1	373,438,855,925	11,593,983.70	.000	.99998
St1	5,541	1	5,541	0.17	.679	.00076
St2	115,402,841,636	1	115,402,841,636	3,582,858.73	.000	.99994
St3	32	1	32	0.00	.975	.00000
St4	8,568	1	8,568	0.27	.607	.00117
St5	6,899	1	6,899	0.21	.644	.00094
St6	25,380	1	25,380	0.79	.376	.00346
St7	20,646	1	20,646	0.64	.424	.00282
St1 * St2	4,414	1	4,414	0.14	.712	.00060
St1 * St3	809	1	809	0.03	.874	.00011
St1 * St4	52,871	1	52,871	1.64	.201	.00718
St1 * St5	4,944	1	4,944	0.15	.696	.00068
St1 * St6	238,449	1	238,449	7.40	.007	.03158
St1 * St7	30,037	1	30,037	0.93	.335	.00409
St2 * St3	96	1	96	0.00	.956	.00001
St2 * St4	2,262	1	2,262	0.07	.791	.00031
St2 * St5	3,977	1	3,977	0.12	.726	.00054
St2 * St6	36,314	1	36,314	1.13	.289	.00494
St2 * St7	23,161	1	23,161	0.72	.397	.00316
St3 * St4	63,347	1	63,347	1.97	.162	.00859
St3 * St5	44,495	1	44,495	1.38	.241	.00605
St3 * St6	58,413	1	58,413	1.81	.179	.00793
St3 * St7	47,770	1	47,770	1.48	.225	.00649
St4 * St5	5,977	1	5,977	0.19	.667	.00082
St4 * St6	21,444	1	21,444	0.67	.415	.00292
St4 * St7	12,530	1	12,530	0.39	.533	.00171
St5 * St6	31,617	1	31,617	0.98	.323	.00431
St5 * St7	25,780	1	25,780	0.80	.372	.00351
St6 * St7	93,827	1	93,827	2.91	.089	.01267
Error	7,311,604	227	32,210			
Total	488,849,878,767	256				
Corrected Total	115,411,022,842	255				

ตารางผนวกที่ ก18 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 6 และ 5 เป็นสถานีคอขวด

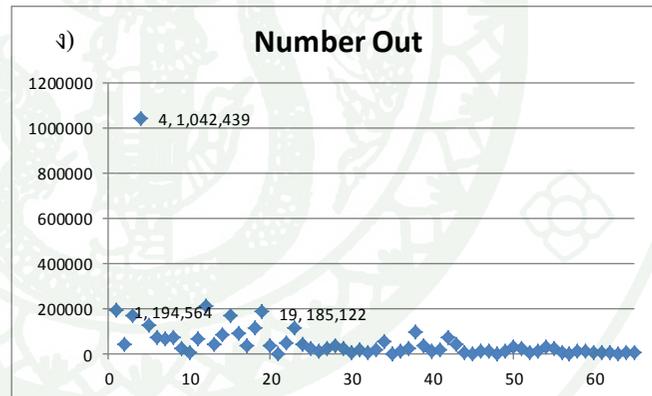
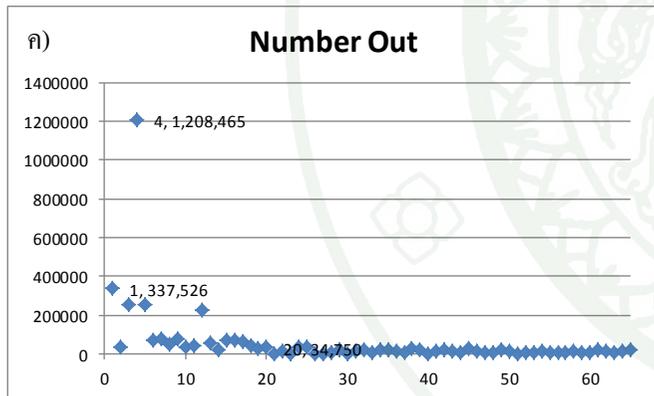
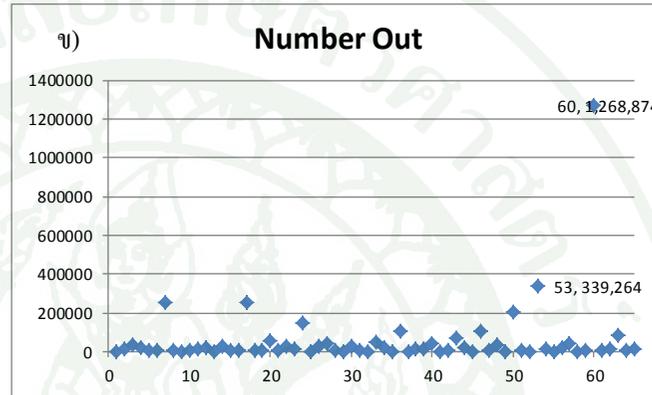
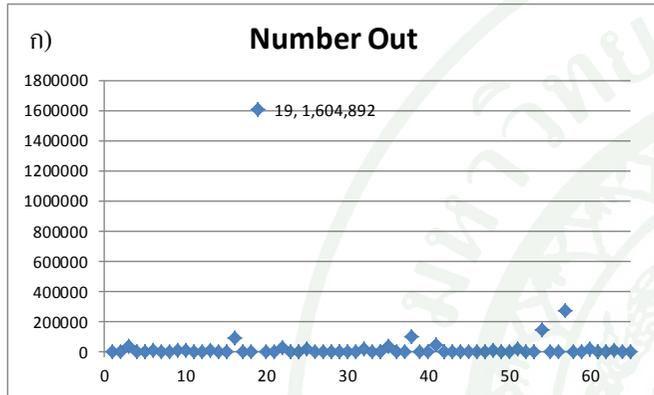
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	77,286,143,386	28	2,760,219,407	211,291.56	.000	.99996
Intercept	259,320,794,460	1	259,320,794,460	19,850,702.50	.000	.99999
St1	6,951	1	6,951	0.53	.466	.00234
St2	14,370	1	14,370	1.10	.295	.00482
St3	1,671	1	1,671	0.13	.721	.00056
St4	7,788	1	7,788	0.60	.441	.00262
St5	10,395,255,338	1	10,395,255,338	795,744.60	.000	.99971
St6	56,494,991,126	1	56,494,991,126	4,324,625.27	.000	.99995
St7	462	1	462	0.04	.851	.00016
St1 * St2	3,335	1	3,335	0.26	.614	.00112
St1 * St3	13,110	1	13,110	1.00	.318	.00440
St1 * St4	457	1	457	0.03	.852	.00015
St1 * St5	1,444	1	1,444	0.11	.740	.00049
St1 * St6	4,080	1	4,080	0.31	.577	.00137
St1 * St7	3,122	1	3,122	0.24	.625	.00105
St2 * St3	7,569	1	7,569	0.58	.447	.00255
St2 * St4	4,953	1	4,953	0.38	.539	.00167
St2 * St5	3,025	1	3,025	0.23	.631	.00102
St2 * St6	3,555	1	3,555	0.27	.602	.00120
St2 * St7	31,907	1	31,907	2.44	.119	.01065
St3 * St4	3,706	1	3,706	0.28	.595	.00125
St3 * St5	1,369	1	1,369	0.10	.746	.00046
St3 * St6	2,538	1	2,538	0.19	.660	.00086
St3 * St7	722	1	722	0.06	.814	.00024
St4 * St5	2,563	1	2,563	0.20	.658	.00086
St4 * St6	4,692	1	4,692	0.36	.550	.00158
St4 * St7	756	1	756	0.06	.810	.00025
St5 * St6	10,395,765,130	1	10,395,765,130	795,783.62	.000	.99971
St5 * St7	7,375	1	7,375	0.56	.453	.00248
St6 * St7	272	1	272	0.02	.885	.00009
Error	2,965,428	227	13,064			
Total	336,609,903,274	256				
Corrected Total	77,289,108,814	255				

ตารางผนวกที่ ก19 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 1, 4 และ 2 เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	63,970,117,113	28	2,284,647,040	1,772.77	.000	.99545
Intercept	242,130,732,099	1	242,130,732,099	187,880.87	.000	.99879
St1	48,685,677,809	1	48,685,677,809	37,777.56	.000	.99403
St2	291,596,180	1	291,596,180	226.26	.000	.49919
St3	845	1	845	0.00	.980	.00000
St4	7,212,563,481	1	7,212,563,481	5,596.57	.000	.96102
St5	1,402	1	1,402	0.00	.974	.00000
St6	85,959	1	85,959	0.07	.796	.00029
St7	4,104	1	4,104	0.00	.955	.00001
St1 * St2	289,295,450	1	289,295,450	224.48	.000	.49721
St1 * St3	5,786	1	5,786	0.00	.947	.00002
St1 * St4	7,203,564,048	1	7,203,564,048	5,589.59	.000	.96097
St1 * St5	181	1	181	0.00	.991	.00000
St1 * St6	100,608	1	100,608	0.08	.780	.00034
St1 * St7	4,233	1	4,233	0.00	.954	.00001
St2 * St3	201	1	201	0.00	.990	.00000
St2 * St4	287,012,305	1	287,012,305	222.71	.000	.49523
St2 * St5	117	1	117	0.00	.992	.00000
St2 * St6	68,284	1	68,284	0.05	.818	.00023
St2 * St7	7,910	1	7,910	0.01	.938	.00003
St3 * St4	816	1	816	0.00	.980	.00000
St3 * St5	6,330	1	6,330	0.00	.944	.00002
St3 * St6	0	1	0	0.00	1.000	.00000
St3 * St7	2,469	1	2,469	0.00	.965	.00001
St4 * St5	322	1	322	0.00	.987	.00000
St4 * St6	78,365	1	78,365	0.06	.805	.00027
St4 * St7	18,923	1	18,923	0.01	.904	.00006
St5 * St6	859	1	859	0.00	.979	.00000
St5 * St7	1,986	1	1,986	0.00	.969	.00001
St6 * St7	18,141	1	18,141	0.01	.906	.00006
Error	292,545,360	227	1,288,746			
Total	306,393,394,571	256				
Corrected Total	64,262,662,472	255				

ตารางผนวกที่ ก20 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 1, 4 และ 2* เป็นสถานีคอกวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	45,219,750,276	28	1,614,991,081	175.09	.000	.95575
Intercept	198,167,592,535	1	198,167,592,535	21,484.45	.000	.98954
St1	34,936,165,836	1	34,936,165,836	3,787.62	.000	.94346
St2	2,100,600,869	1	2,100,600,869	227.74	.000	.50081
St3	823	1	823	0.00	.992	.00000
St4	1,995,939,392	1	1,995,939,392	216.39	.000	.48804
St5	388	1	388	0.00	.995	.00000
St6	73,950	1	73,950	0.01	.929	.00004
St7	7,932	1	7,932	0.00	.977	.00000
St1 * St2	2,101,380,091	1	2,101,380,091	227.82	.000	.50090
St1 * St3	5,767	1	5,767	0.00	.980	.00000
St1 * St4	1,993,282,058	1	1,993,282,058	216.10	.000	.48770
St1 * St5	1,780	1	1,780	0.00	.989	.00000
St1 * St6	81,903	1	81,903	0.01	.925	.00004
St1 * St7	8,661	1	8,661	0.00	.976	.00000
St2 * St3	3,852	1	3,852	0.00	.984	.00000
St2 * St4	2,092,016,100	1	2,092,016,100	226.81	.000	.49979
St2 * St5	1,060	1	1,060	0.00	.991	.00000
St2 * St6	63,410	1	63,410	0.01	.934	.00003
St2 * St7	3,683	1	3,683	0.00	.984	.00000
St3 * St4	2,322	1	2,322	0.00	.987	.00000
St3 * St5	7,799	1	7,799	0.00	.977	.00000
St3 * St6	428	1	428	0.00	.995	.00000
St3 * St7	699	1	699	0.00	.993	.00000
St4 * St5	3,713	1	3,713	0.00	.984	.00000
St4 * St6	80,621	1	80,621	0.01	.926	.00004
St4 * St7	8,156	1	8,156	0.00	.976	.00000
St5 * St6	2,156	1	2,156	0.00	.988	.00000
St5 * St7	12	1	12	0.00	.999	.00000
St6 * St7	6,817	1	6,817	0.00	.978	.00000
Error	2,093,794,988	227	9,223,766			
Total	245,481,137,799	256				
Corrected Total	47,313,545,264	255				



ภาพผนวกที่ ๑๕ การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 2 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 6 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 1, 4 และ 2 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 1, 4 และ 2* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 9

1.1.6. 8 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก21 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 4 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	230,605,014,360	36	6,405,694,843	207,232.24	.000	.99994
Intercept	746,682,479,299	1	746,682,479,299	24,156,112.00	.000	.99998
St1	39,025	1	39,025	1.26	.262	.00265
St2	22,393	1	22,393	0.72	.395	.00152
St3	22,260	1	22,260	0.72	.397	.00151
St4	230,604,109,455	1	230,604,109,455	7,460,331.33	.000	.99994
St5	64,082	1	64,082	2.07	.151	.00435
St6	134	1	134	0.00	.948	.00001
St7	6,888	1	6,888	0.22	.637	.00047
St8	16,358	1	16,358	0.53	.467	.00111
St1 * St2	1,018	1	1,018	0.03	.856	.00007
St1 * St3	41,256	1	41,256	1.33	.249	.00280
St1 * St4	40,577	1	40,577	1.31	.252	.00276
St1 * St5	28,620	1	28,620	0.93	.336	.00195
St1 * St6	8,795	1	8,795	0.28	.594	.00060
St1 * St7	65,567	1	65,567	2.12	.146	.00445
St1 * St8	2,993	1	2,993	0.10	.756	.00020
St2 * St3	1	1	1	0.00	.995	.00000
St2 * St4	21,867	1	21,867	0.71	.401	.00149
St2 * St5	153	1	153	0.00	.944	.00001
St2 * St6	17	1	17	0.00	.981	.00000
St2 * St7	147,900	1	147,900	4.78	.029	.00997
St2 * St8	403	1	403	0.01	.909	.00003
St3 * St4	26,623	1	26,623	0.86	.354	.00181
St3 * St5	746	1	746	0.02	.877	.00005
St3 * St6	5,434	1	5,434	0.18	.675	.00037
St3 * St7	41,041	1	41,041	1.33	.250	.00279
St3 * St8	9,282	1	9,282	0.30	.584	.00063

ตารางผนวกที่ ก21 (ต่อ)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
St4 * St5	61,163	1	61,163	1.98	.160	.00415
St4 * St6	565	1	565	0.02	.892	.00004
St4 * St7	12,900	1	12,900	0.42	.519	.00088
St4 * St8	17,414	1	17,414	0.56	.453	.00118
St5 * St6	15,798	1	15,798	0.51	.475	.00107
St5 * St7	14,535	1	14,535	0.47	.493	.00099
St5 * St8	17,298	1	17,298	0.56	.455	.00118
St6 * St7	116,222	1	116,222	3.76	.053	.00785
St6 * St8	22,393	1	22,393	0.72	.395	.00152
St7 * St8	13,183	1	13,183	0.43	.514	.00090
Error	14,682,585	475	30,911			
Total	977,302,176,244	512				
Corrected Total	230,619,696,945	511				

ตารางผนวกที่ ก22 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 5 และ 6 เป็นสถานีคอขวด

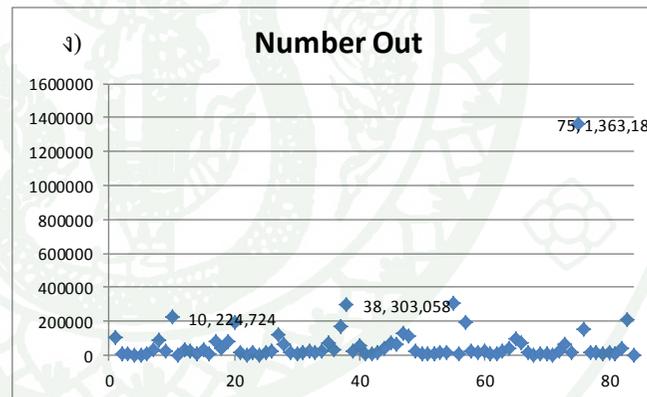
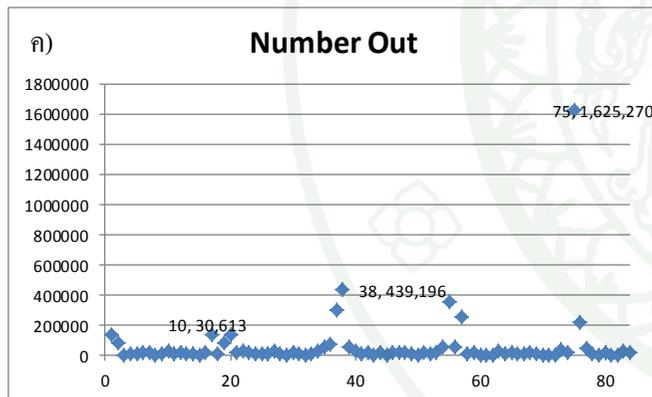
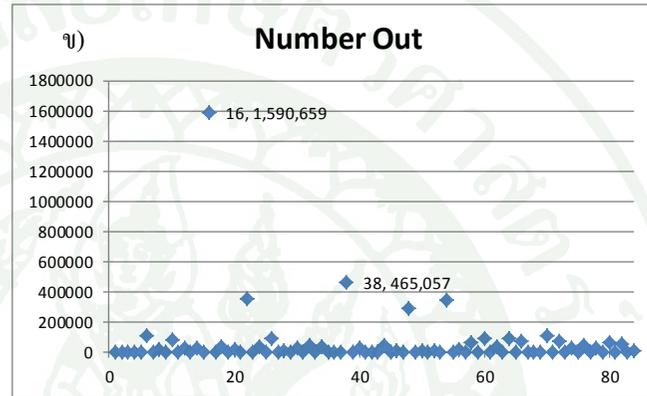
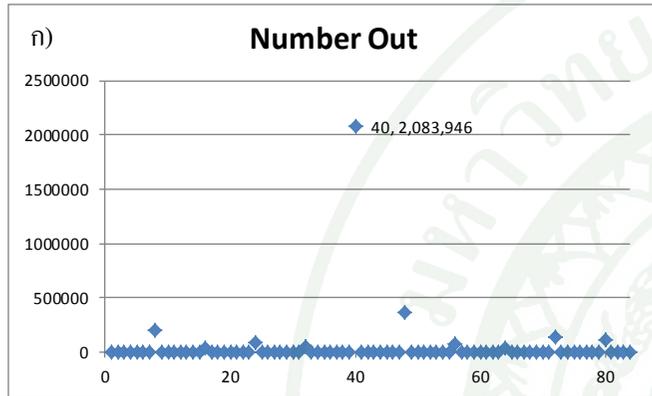
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	154,445,388,945	36	4,290,149,693	300,387.60	.000	.99996
Intercept	518,448,988,477	1	518,448,988,477	36,300,748.49	.000	.99999
St1	371	1	371	0.03	.872	.00005
St2	1,070	1	1,070	0.07	.784	.00016
St3	270	1	270	0.02	.891	.00004
St4	30,876	1	30,876	2.16	.142	.00453
St5	112,940,667,633	1	112,940,667,633	7,907,876.88	.000	.99994
St6	20,748,118,145	1	20,748,118,145	1,452,741.22	.000	.99967
St7	82,164	1	82,164	5.75	.017	.01197
St8	2,655	1	2,655	0.19	.667	.00039
St1 * St2	5,846	1	5,846	0.41	.523	.00086
St1 * St3	4,336	1	4,336	0.30	.582	.00064
St1 * St4	291	1	291	0.02	.887	.00004
St1 * St5	689	1	689	0.05	.826	.00010
St1 * St6	3,311	1	3,311	0.23	.630	.00049
St1 * St7	23,113	1	23,113	1.62	.204	.00340
St1 * St8	11,628	1	11,628	0.81	.367	.00171
St2 * St3	2,372	1	2,372	0.17	.684	.00035
St2 * St4	508	1	508	0.04	.850	.00007
St2 * St5	1,122	1	1,122	0.08	.779	.00017
St2 * St6	3	1	3	0.00	.988	.00000
St2 * St7	39,762	1	39,762	2.78	.096	.00583
St2 * St8	16,653	1	16,653	1.17	.281	.00245
St3 * St4	27,466	1	27,466	1.92	.166	.00403
St3 * St5	941	1	941	0.07	.798	.00014
St3 * St6	111	1	111	0.01	.930	.00002
St3 * St7	21,945	1	21,945	1.54	.216	.00322
St3 * St8	14,792	1	14,792	1.04	.309	.00218
St4 * St5	28,114	1	28,114	1.97	.161	.00413
St4 * St6	25,172	1	25,172	1.76	.185	.00370
St4 * St7	9,488	1	9,488	0.66	.415	.00140
St4 * St8	990	1	990	0.07	.792	.00015
St5 * St6	20,756,088,917	1	20,756,088,917	1,453,299.32	.000	.99967
St5 * St7	76,538	1	76,538	5.36	.021	.01116
St5 * St8	5,618	1	5,618	0.39	.531	.00083
St6 * St7	64,890	1	64,890	4.54	.034	.00947
St6 * St8	10,878	1	10,878	0.76	.383	.00160
St7 * St8	267	1	267	0.02	.891	.00004
Error	6,783,972	475	14,282			
Total	672,901,161,394	512				
Corrected Total	154,452,172,917	511				

ตารางผนวกที่ ก23 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 1, 6 และ 8 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	128,017,159,579	36	3,556,032,211	2,897.71	.000	.99547
Intercept	484,397,961,124	1	484,397,961,124	394,721.89	.000	.99880
St1	97,433,229,715	1	97,433,229,715	79,395.52	.000	.99405
St2	327	1	327	0.00	.987	.00000
St3	650	1	650	0.00	.982	.00000
St4	17,801	1	17,801	0.01	.904	.00003
St5	26,753	1	26,753	0.02	.883	.00005
St6	14,430,127,462	1	14,430,127,462	11,758.69	.000	.96117
St7	85	1	85	0.00	.993	.00000
St8	580,802,013	1	580,802,013	473.28	.000	.49909
St1 * St2	6,577	1	6,577	0.01	.942	.00001
St1 * St3	482	1	482	0.00	.984	.00000
St1 * St4	17,849	1	17,849	0.01	.904	.00003
St1 * St5	30,089	1	30,089	0.02	.876	.00005
St1 * St6	14,412,125,476	1	14,412,125,476	11,744.02	.000	.96113
St1 * St7	232	1	232	0.00	.989	.00000
St1 * St8	580,776,451	1	580,776,451	473.26	.000	.49908
St2 * St3	965	1	965	0.00	.978	.00000
St2 * St4	7,223	1	7,223	0.01	.939	.00001
St2 * St5	33	1	33	0.00	.996	.00000
St2 * St6	70	1	70	0.00	.994	.00000
St2 * St7	11,848	1	11,848	0.01	.922	.00002
St2 * St8	3,357	1	3,357	0.00	.958	.00001
St3 * St4	8,986	1	8,986	0.01	.932	.00002
St3 * St5	42,687	1	42,687	0.03	.852	.00007
St3 * St6	373	1	373	0.00	.986	.00000
St3 * St7	34	1	34	0.00	.996	.00000
St3 * St8	63	1	63	0.00	.994	.00000
St4 * St5	1,336	1	1,336	0.00	.974	.00000
St4 * St6	8,936	1	8,936	0.01	.932	.00002
St4 * St7	3,639	1	3,639	0.00	.957	.00001
St4 * St8	17,566	1	17,566	0.01	.905	.00003
St5 * St6	22,326	1	22,326	0.02	.893	.00004
St5 * St7	284	1	284	0.00	.988	.00000
St5 * St8	25,046	1	25,046	0.02	.886	.00004
St6 * St7	2,761	1	2,761	0.00	.962	.00000
St6 * St8	579,839,586	1	579,839,586	472.49	.000	.49868
St7 * St8	498	1	498	0.00	.984	.00000
Error	582,914,300	475	1,227,188			
Total	612,998,035,003	512				
Corrected Total	128,600,073,879	511				

ตารางผนวกที่ ก24 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 1, 6 และ 8* เป็นสถานีคอขวด

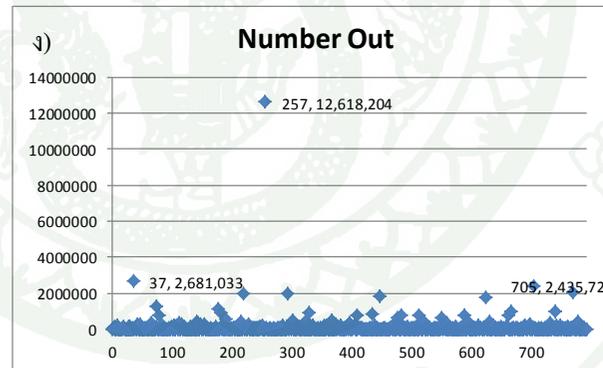
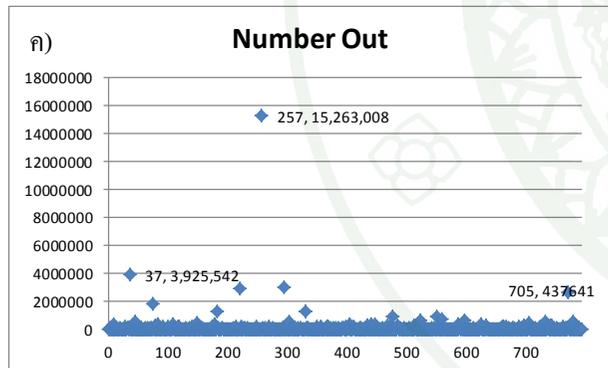
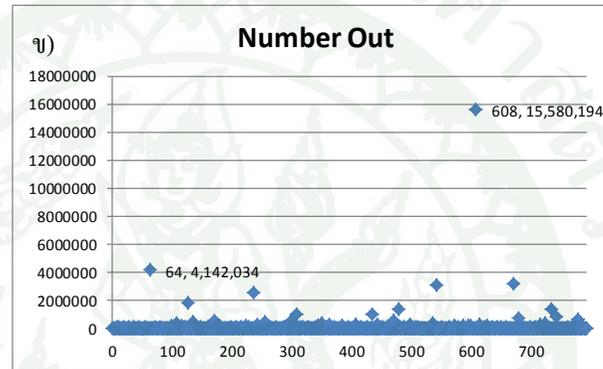
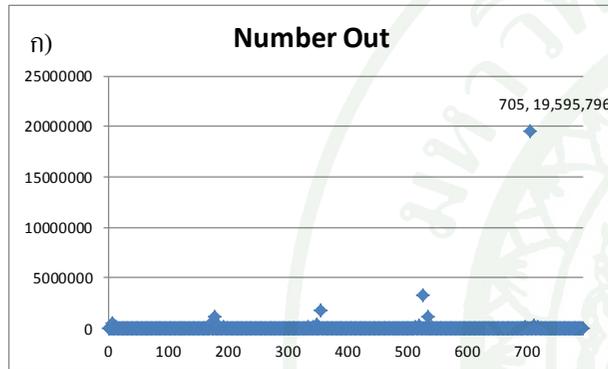
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	88,159,533,726	36	2,448,875,937	277.65	.000	.95463
Intercept	384,798,584,986	1	384,798,584,986	43,627.69	.000	.98923
St1	65,077,000,392	1	65,077,000,392	7,378.30	.000	.93952
St2	5,512	1	5,512	0.00	.980	.00000
St3	3,130	1	3,130	0.00	.985	.00000
St4	16,699	1	16,699	0.00	.965	.00000
St5	5,038	1	5,038	0.00	.981	.00000
St6	5,244,902,595	1	5,244,902,595	594.66	.000	.55593
St7	71	1	71	0.00	.998	.00000
St8	4,200,388,254	1	4,200,388,254	476.23	.000	.50065
St1 * St2	1	1	1	0.00	1.000	.00000
St1 * St3	431	1	431	0.00	.994	.00000
St1 * St4	20,050	1	20,050	0.00	.962	.00000
St1 * St5	13,061	1	13,061	0.00	.969	.00000
St1 * St6	5,242,777,601	1	5,242,777,601	594.42	.000	.55583
St1 * St7	3	1	3	0.00	1.000	.00000
St1 * St8	4,202,817,483	1	4,202,817,483	476.51	.000	.50079
St2 * St3	190	1	190	0.00	.996	.00000
St2 * St4	6,888	1	6,888	0.00	.978	.00000
St2 * St5	11	1	11	0.00	.999	.00000
St2 * St6	0	1	0	0.00	1.000	.00000
St2 * St7	16,021	1	16,021	0.00	.966	.00000
St2 * St8	1,992	1	1,992	0.00	.988	.00000
St3 * St4	9,800	1	9,800	0.00	.973	.00000
St3 * St5	23,193	1	23,193	0.00	.959	.00001
St3 * St6	2,295	1	2,295	0.00	.987	.00000
St3 * St7	0	1	0	0.00	1.000	.00000
St3 * St8	820	1	820	0.00	.992	.00000
St4 * St5	1,176	1	1,176	0.00	.991	.00000
St4 * St6	6,918	1	6,918	0.00	.978	.00000
St4 * St7	1,152	1	1,152	0.00	.991	.00000
St4 * St8	21,971	1	21,971	0.00	.960	.00001
St5 * St6	12,601	1	12,601	0.00	.970	.00000
St5 * St7	8	1	8	0.00	.999	.00000
St5 * St8	10,296	1	10,296	0.00	.973	.00000
St6 * St7	28	1	28	0.00	.999	.00000
St6 * St8	4,191,468,016	1	4,191,468,016	475.22	.000	.50012
St7 * St8	28	1	28	0.00	.999	.00000
Error	4,189,525,509	475	8,820,054			
Total	477,147,644,222	512				
Corrected Total	92,349,059,236	511				



ภาพผนวกที่ 6 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 4 เป็นสถานีคอกวด ข) สถานีที่ 5 และ 6 เป็นสถานีคอกวด ค) สถานีที่ 1, 6 และ 8 เป็นสถานีคอกวด ง) สถานีที่ 1, 6 และ 8* เป็นสถานีคอกวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 9

1.1.7. 20 ปีจจัย



ภาพผนวกที่ ก7 การทดลอง AFDE กับจำนวนปีจจัย 20 ปีจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 15 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 20 และ 6 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 8, 1 และ 15 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 8, 1 และ 15* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 9

1.2. ระบบการผลิตแบบตามงาน

1.2.1. 3 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก25 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	7,256,062,497	6	1,209,343,749	59,206.02	.000	.99997
Intercept	23,291,338,225	1	23,291,338,225	1,140,277.42	.000	.99999
St1	47,742	1	47,742	2.34	.161	.20616
St2	21,756	1	21,756	1.07	.329	.10582
St3	7,255,887,942	1	7,255,887,942	355,227.56	.000	.99997
St1 * St2	24,336	1	24,336	1.19	.303	.11690
St1 * St3	53,824	1	53,824	2.64	.139	.22648
St2 * St3	26,896	1	26,896	1.32	.281	.12763
Error	183,834	9	20,426			
Total	30,547,584,556	16				
Corrected Total	7,256,246,331	15				

ตารางผนวกที่ ก26 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 1 และ 2 เป็นสถานีคอขวด

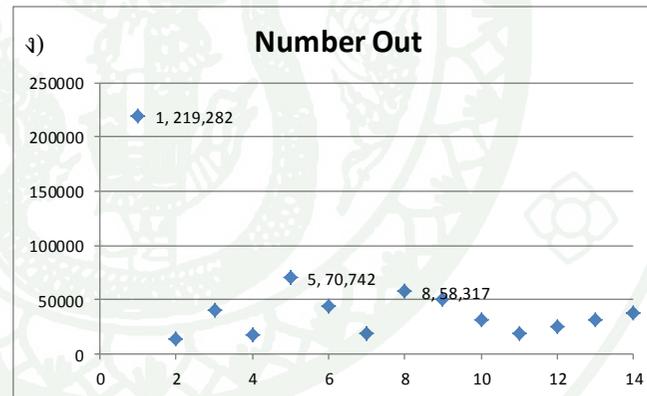
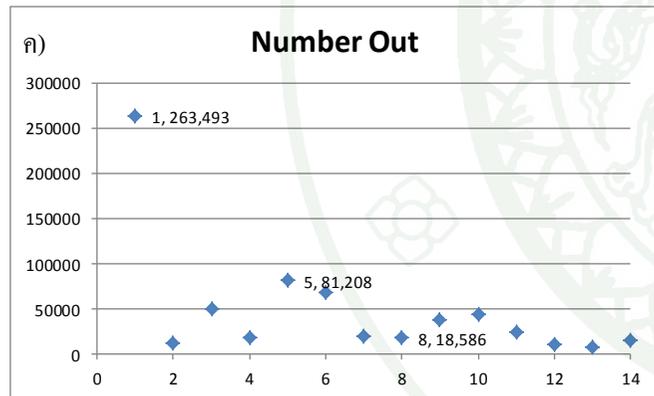
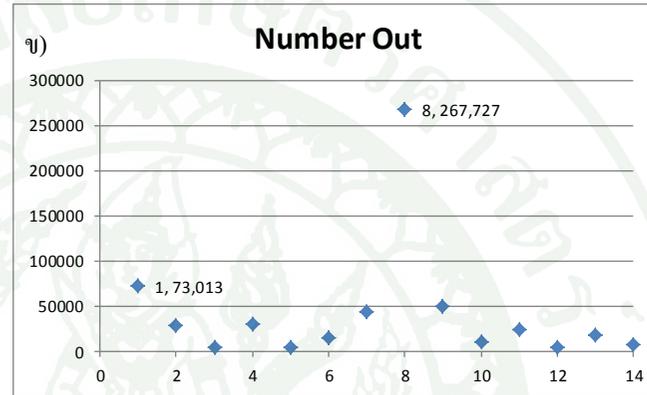
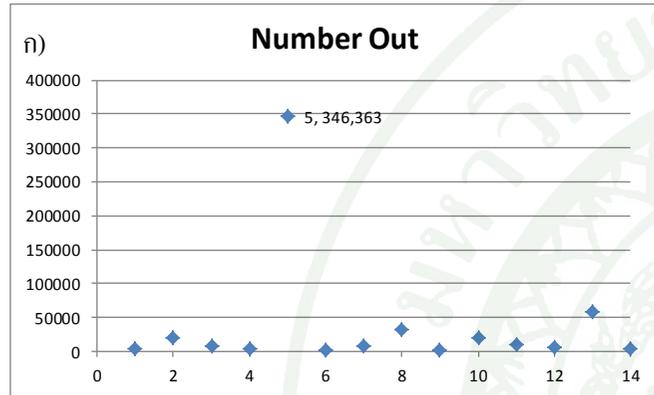
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	5,080,692,920	6	846,782,153	27,752.63	.000	.99995
Intercept	15,762,802,500	1	15,762,802,500	516,613.70	.000	.99998
St1	3,778,622,370	1	3,778,622,370	123,841.44	.000	.99993
St2	745,262,700	1	745,262,700	24,425.41	.000	.99963
St3	1,156	1	1,156	0.04	.850	.00419
St1 * St2	556,724,025	1	556,724,025	18,246.20	.000	.99951
St1 * St3	2,862	1	2,862	0.09	.766	.01032
St2 * St3	79,806	1	79,806	2.62	.140	.22518
Error	274,606	9	30,512			
Total	20,843,770,026	16				
Corrected Total	5,080,967,526	15				

ตารางผนวกที่ ก27 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 2, 3 และ 1 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	4,147,316,357	6	691,219,393	371.09	.000	.99597
Intercept	14,784,796,853	1	14,784,796,853	7,937.32	.000	.99887
St1	17,730,416	1	17,730,416	9.52	.013	.51400
St2	3,190,978,877	1	3,190,978,877	1,713.10	.000	.99477
St3	495,919,496	1	495,919,496	266.24	.000	.96730
St1 * St2	18,505,053	1	18,505,053	9.93	.012	.52468
St1 * St3	18,431,996	1	18,431,996	9.90	.012	.52369
St2 * St3	405,750,521	1	405,750,521	217.83	.000	.96032
Error	16,764,250	9	1,862,694			
Total	18,948,877,459	16				
Corrected Total	4,164,080,606	15				

ตารางผนวกที่ ก28 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 2, 3 และ 1* เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	2,863,549,070	6	477,258,178	64.89	.000	.97741
Intercept	11,478,443,906	1	11,478,443,906	1,560.76	.000	.99427
St1	223,532,401	1	223,532,401	30.39	.000	.77154
St2	1,950,723,889	1	1,950,723,889	265.25	.000	.96718
St3	238,100,330	1	238,100,330	32.38	.000	.78248
St1 * St2	214,783,680	1	214,783,680	29.20	.000	.76443
St1 * St3	70,308,225	1	70,308,225	9.56	.013	.51509
St2 * St3	166,100,544	1	166,100,544	22.59	.001	.71506
Error	66,189,562	9	7,354,396			
Total	14,408,182,538	16				
Corrected Total	2,929,738,632	15				



ภาพผนวกที่ ๑๘ การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 1 และ 2 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 2, 3 และ 1 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 2, 3 และ 1* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 9

1.2.2. 4 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก29 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอกขาด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	14,516,870,101	10	1,451,687,010	42,000.82	.000	.99995
Intercept	46,760,489,672	1	46,760,489,672	1,352,894.34	.000	.99998
St1	1,711	1	1,711	0.05	.826	.00235
St2	41,328	1	41,328	1.20	.287	.05387
St3	14,516,631,636	1	14,516,631,636	420,001.35	.000	.99995
St4	3,200	1	3,200	0.09	.764	.00439
St1 * St2	16,928	1	16,928	0.49	.492	.02279
St1 * St3	72,581	1	72,581	2.10	.162	.09091
St1 * St4	39,621	1	39,621	1.15	.296	.05176
St2 * St3	265	1	265	0.01	.931	.00036
St2 * St4	62,128	1	62,128	1.80	.194	.07885
St3 * St4	703	1	703	0.02	.888	.00097
Error	725,829	21	34,563			
Total	61,278,085,602	32				
Corrected Total	14,517,595,930	31				

ตารางผนวกที่ ก30 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 1 และ 2 เป็นสถานีคอขวด

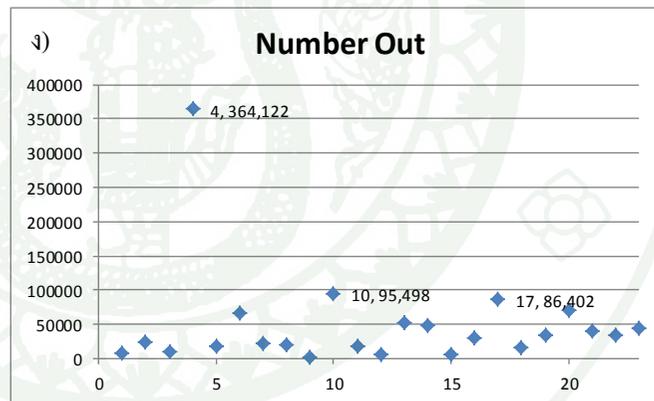
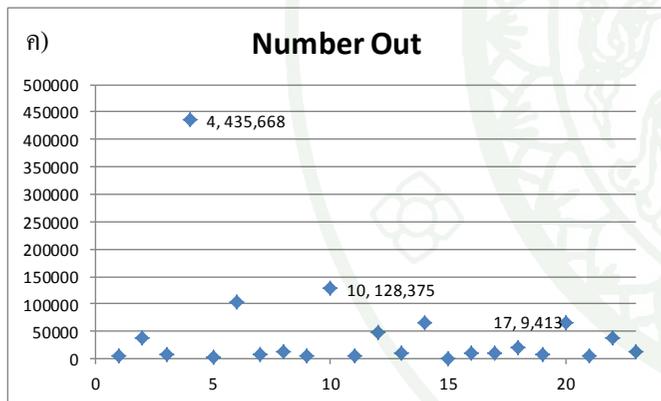
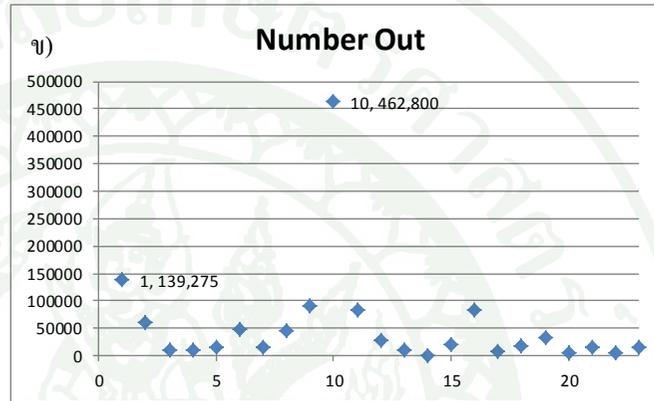
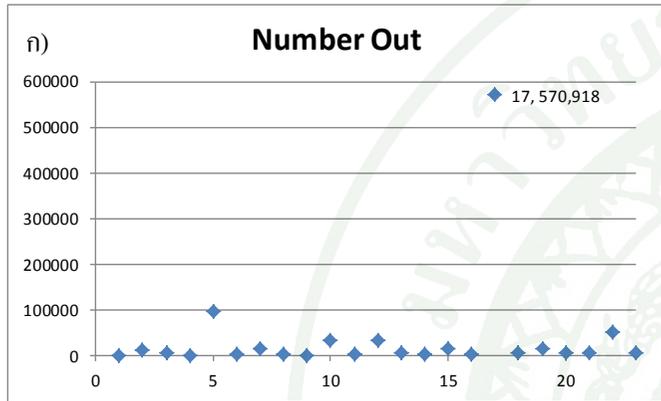
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	10,151,376,246	10	1,015,137,625	48,330.49	.000	.99996
Intercept	31,322,041,472	1	31,322,041,472	1,491,235.82	.000	.99999
St1	7,517,525,653	1	7,517,525,653	357,907.82	.000	.99994
St2	1,501,437,801	1	1,501,437,801	71,483.14	.000	.99971
St3	130,050	1	130,050	6.19	.021	.22770
St4	38,088	1	38,088	1.81	.192	.07949
St1 * St2	1,132,070,945	1	1,132,070,945	53,897.66	.000	.99961
St1 * St3	62,835	1	62,835	2.99	.098	.12469
St1 * St4	20,100	1	20,100	0.96	.339	.04358
St2 * St3	33,670	1	33,670	1.60	.219	.07092
St2 * St4	41,616	1	41,616	1.98	.174	.08621
St3 * St4	15,488	1	15,488	0.74	.400	.03392
Error	441,086	21	21,004			
Total	41,473,858,804	32				
Corrected Total	10,151,817,332	31				

ตารางผนวกที่ ก31 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 4, 1 และ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	8,318,408,113	10	831,840,811	446.26	.000	.99532
Intercept	29,788,743,613	1	29,788,743,613	15,980.80	.000	.99869
St1	1,020,774,336	1	1,020,774,336	547.62	.000	.96307
St2	2,628	1	2,628	0.00	.970	.00007
St3	37,294,566	1	37,294,566	20.01	.000	.48790
St4	6,371,229,403	1	6,371,229,403	3,417.98	.000	.99389
St1 * St2	19,602	1	19,602	0.01	.919	.00050
St1 * St3	38,544,200	1	38,544,200	20.68	.000	.49614
St1 * St4	812,448,050	1	812,448,050	435.86	.000	.95403
St2 * St3	91,165	1	91,165	0.05	.827	.00232
St2 * St4	37,265	1	37,265	0.02	.889	.00095
St3 * St4	37,966,898	1	37,966,898	20.37	.000	.49236
Error	39,144,689	21	1,864,033			
Total	38,146,296,414	32				
Corrected Total	8,357,552,802	31				

ตารางผนวกที่ ก32 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 4, 1 และ 3* เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	5,885,888,491	10	588,588,849	93.27	.000	.97798
Intercept	22,716,088,239	1	22,716,088,239	3,599.52	.000	.99420
St1	514,763,720	1	514,763,720	81.57	.000	.79526
St2	1,907	1	1,907	0.00	.986	.00001
St3	489,931,079	1	489,931,079	77.63	.000	.78709
St4	3,992,671,820	1	3,992,671,820	632.67	.000	.96787
St1 * St2	14,921	1	14,921	0.00	.962	.00011
St1 * St3	164,815,629	1	164,815,629	26.12	.000	.55429
St1 * St4	358,470,394	1	358,470,394	56.80	.000	.73008
St2 * St3	1,445	1	1,445	0.00	.988	.00001
St2 * St4	8,483	1	8,483	0.00	.971	.00006
St3 * St4	365,209,095	1	365,209,095	57.87	.000	.73374
Error	132,528,011	21	6,310,858			
Total	28,734,504,741	32				
Corrected Total	6,018,416,502	31				



ภาพผนวกที่ ก9 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 1 และ 2 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 4, 1 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 4, 1 และ 3* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 9

1.2.3. 5 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก33 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 4 เป็นสถานีคอกขาด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	29,011,848,258	15	1,934,123,217	52,363.98	.000	.99994
Intercept	93,357,976,184	1	93,357,976,184	2,527,551.10	.000	.99998
St1	5,384	1	5,384	0.15	.704	.00303
St2	5,384	1	5,384	0.15	.704	.00303
St3	1,473	1	1,473	0.04	.843	.00083
St4	29,011,499,838	1	29,011,499,838	785,450.28	.000	.99994
St5	113,316	1	113,316	3.07	.086	.06007
St1 * St2	26,937	1	26,937	0.73	.397	.01497
St1 * St3	9,288	1	9,288	0.25	.618	.00521
St1 * St4	15,656	1	15,656	0.42	.518	.00875
St1 * St5	15,845	1	15,845	0.43	.516	.00886
St2 * St3	6	1	6	0.00	.990	.00000
St2 * St4	6,221	1	6,221	0.17	.683	.00350
St2 * St5	81,296	1	81,296	2.20	.144	.04384
St3 * St4	19,079	1	19,079	0.52	.476	.01065
St3 * St5	36,243	1	36,243	0.98	.327	.02003
St4 * St5	12,293	1	12,293	0.33	.567	.00689
Error	1,772,935	48	36,936			
Total	122,371,597,377	64				
Corrected Total	29,013,621,193	63				

ตารางผนวกที่ ก34 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 5 และ 2 เป็นสถานีคอขวด

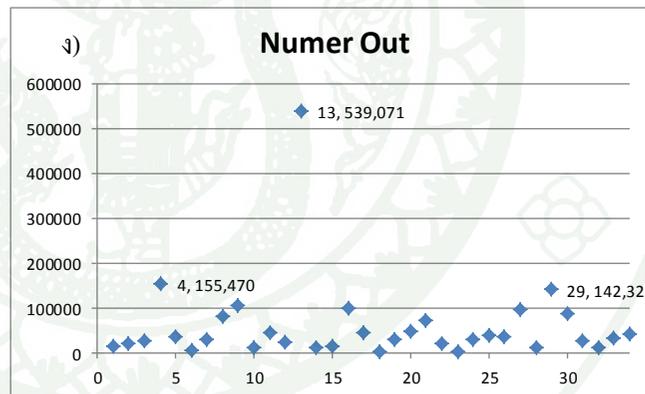
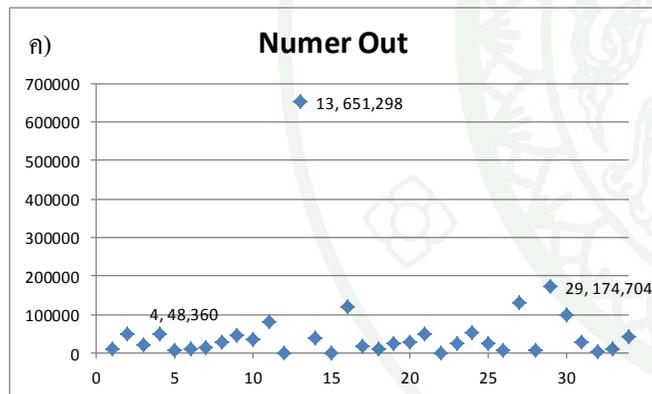
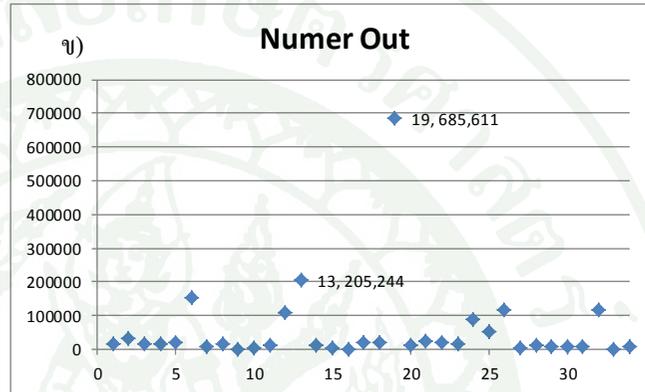
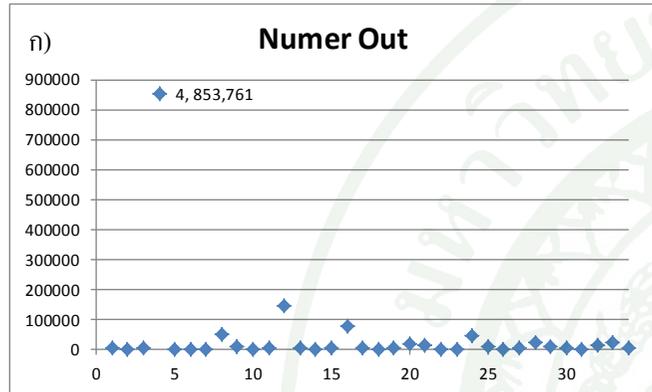
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	19,884,394,322	15	1,325,626,288	36,791.78	.000	.99991
Intercept	63,501,228,030	1	63,501,228,030	1,762,429.58	.000	.99997
St1	134,506	1	134,506	3.73	.059	.07216
St2	2,842,249,313	1	2,842,249,313	78,884.53	.000	.99939
St3	6,561	1	6,561	0.18	.671	.00378
St4	529	1	529	0.01	.904	.00031
St5	14,648,745,024	1	14,648,745,024	406,565.07	.000	.99988
St1 * St2	38,809	1	38,809	1.08	.305	.02195
St1 * St3	40,905	1	40,905	1.14	.292	.02311
St1 * St4	20,093	1	20,093	0.56	.459	.01148
St1 * St5	107,748	1	107,748	2.99	.090	.05865
St2 * St3	145,733	1	145,733	4.04	.050	.07772
St2 * St4	25,202	1	25,202	0.70	.407	.01436
St2 * St5	2,392,799,514	1	2,392,799,514	66,410.38	.000	.99928
St3 * St4	7,569	1	7,569	0.21	.649	.00436
St3 * St5	71,556	1	71,556	1.99	.165	.03973
St4 * St5	1,260	1	1,260	0.03	.852	.00073
Error	1,729,464	48	36,031			
Total	83,387,351,816	64				
Corrected Total	19,886,123,786	63				

ตารางผนวกที่ ก35 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 4 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	16,024,344,838	15	1,068,289,656	663.45	.000	.99520
Intercept	60,262,946,596	1	60,262,946,596	37,425.89	.000	.99872
St1	1,822,638,883	1	1,822,638,883	1,131.94	.000	.95932
St2	12,155,861,826	1	12,155,861,826	7,549.31	.000	.99368
St3	395	1	395	0.00	.988	.00001
St4	72,537,160	1	72,537,160	45.05	.000	.48414
St5	12,854	1	12,854	0.01	.929	.00017
St1 * St2	1,824,645,977	1	1,824,645,977	1,133.18	.000	.95936
St1 * St3	12,741	1	12,741	0.01	.929	.00016
St1 * St4	76,354,829	1	76,354,829	47.42	.000	.49696
St1 * St5	39,750	1	39,750	0.02	.876	.00051
St2 * St3	24,925	1	24,925	0.02	.902	.00032
St2 * St4	72,120,433	1	72,120,433	44.79	.000	.48270
St2 * St5	7,722	1	7,722	0.00	.945	.00010
St3 * St4	214	1	214	0.00	.991	.00000
St3 * St5	86,951	1	86,951	0.05	.817	.00112
St4 * St5	179	1	179	0.00	.992	.00000
Error	77,289,319	48	1,610,194			
Total	76,364,580,753	64				
Corrected Total	16,101,634,157	63				

ตารางผนวกที่ ก36 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 4* เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	11,278,961,380	15	751,930,759	123.34	.000	.97471
Intercept	46,286,187,735	1	46,286,187,735	7,592.50	.000	.99372
St1	850,188,964	1	850,188,964	139.46	.000	.74394
St2	7,593,597,452	1	7,593,597,452	1,245.61	.000	.96289
St3	7,656	1	7,656	0.00	.972	.00003
St4	1,039,546,564	1	1,039,546,564	170.52	.000	.78034
St5	400	1	400	0.00	.994	.00000
St1 * St2	839,202,961	1	839,202,961	137.66	.000	.74146
St1 * St3	85,996	1	85,996	0.01	.906	.00029
St1 * St4	287,107,608	1	287,107,608	47.10	.000	.49524
St1 * St5	3,813	1	3,813	0.00	.980	.00001
St2 * St3	31,506	1	31,506	0.01	.943	.00011
St2 * St4	669,153,424	1	669,153,424	109.76	.000	.69575
St2 * St5	13,924	1	13,924	0.00	.962	.00005
St3 * St4	1,702	1	1,702	0.00	.987	.00001
St3 * St5	298	1	298	0.00	.994	.00000
St4 * St5	19,113	1	19,113	0.00	.956	.00007
Error	292,622,641	48	6,096,305			
Total	57,857,771,756	64				
Corrected Total	11,571,584,021	63				



ภาพผนวกที่ 10 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 4 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 5 และ 2 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 2, 1 และ 4 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 2, 1 และ 4* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 9

1.2.4. 6 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก37 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 5 เป็นสถานีคอกขาด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	57,819,355,221	21	2,753,302,630	81514.94	.000	.99994
Intercept	186,553,666,666	1	186,553,666,666	5523152.41	.000	.99998
St1	38,261	1	38,261	1.13	.290	.01057
St2	128,081	1	128,081	3.79	.054	.03454
St3	3,497	1	3,497	.10	.748	.00098
St4	4,453	1	4,453	.13	.717	.00124
St5	57,818,829,033	1	57,818,829,033	1711798.06	.000	.99994
St6	245	1	245	.01	.932	.00007
St1 * St2	16,951	1	16,951	.50	.480	.00471
St1 * St3	805	1	805	.02	.878	.00022
St1 * St4	27,937	1	27,937	.83	.365	.00774
St1 * St5	4,938	1	4,938	.15	.703	.00138
St1 * St6	689	1	689	.02	.887	.00019
St2 * St3	322	1	322	.01	.922	.00009
St2 * St4	23,032	1	23,032	.68	.411	.00639
St2 * St5	40,151	1	40,151	1.19	.278	.01109
St2 * St6	11,419	1	11,419	.34	.562	.00318
St3 * St4	58,013	1	58,013	1.72	.193	.01594
St3 * St5	7,673	1	7,673	.23	.635	.00214
St3 * St6	104,825	1	104,825	3.10	.081	.02845
St4 * St5	10,786	1	10,786	.32	.573	.00300
St4 * St6	13,142	1	13,142	.39	.534	.00366
St5 * St6	30,969	1	30,969	.92	.340	.00858
Error	3,580,326	106	33,777			
Total	244,376,602,213	128				
Corrected Total	57,822,935,547	127				

ตารางผนวกที่ ก38 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 6 และ 2 เป็นสถานีคอกขวด

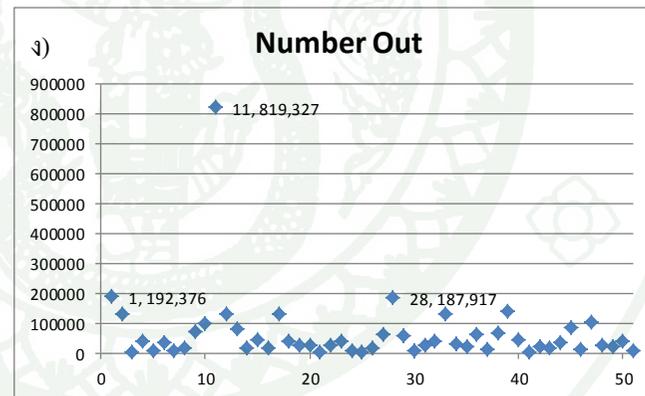
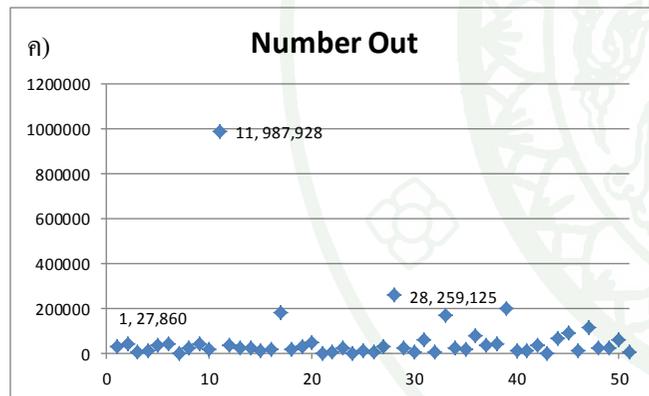
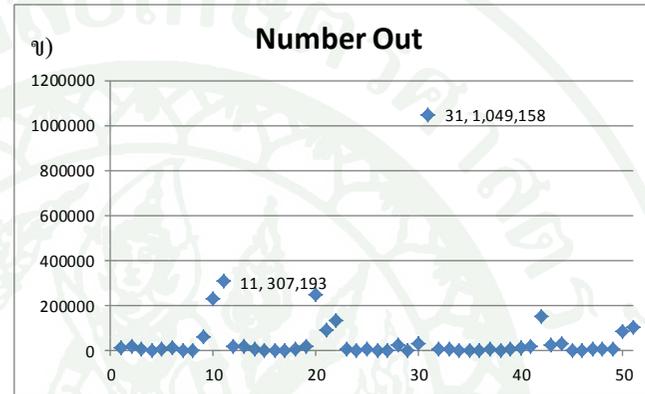
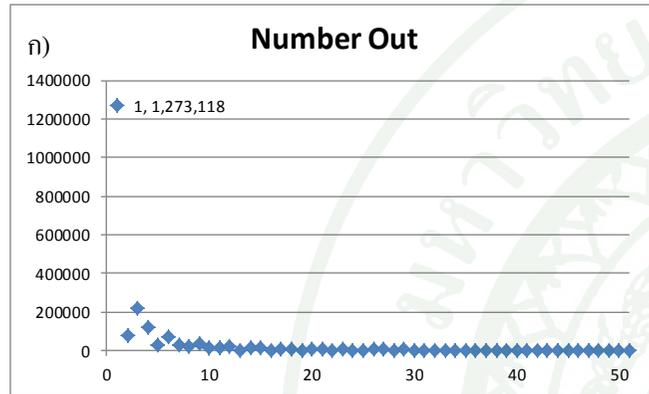
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	40,540,633,446	21	1,930,506,355	63329.23	.000	.99992
Intercept	125,744,292,155	1	125,744,292,155	4124974.47	.000	.99997
St1	12,700	1	12,700	.42	.520	.00392
St2	5,956,547,448	1	5,956,547,448	195401.36	.000	.99946
St3	63,591	1	63,591	2.09	.152	.01930
St4	13,840	1	13,840	.45	.502	.00426
St5	40,151	1	40,151	1.32	.254	.01227
St6	30,099,752,699	1	30,099,752,699	987406.34	.000	.99989
St1 * St2	27,819	1	27,819	.91	.342	.00854
St1 * St3	6,370	1	6,370	.21	.649	.00197
St1 * St4	297	1	297	.01	.922	.00009
St1 * St5	26,709	1	26,709	.88	.351	.00820
St1 * St6	2,637	1	2,637	.09	.769	.00082
St2 * St3	15,820	1	15,820	.52	.473	.00487
St2 * St4	2,008	1	2,008	.07	.798	.00062
St2 * St5	1,914	1	1,914	.06	.803	.00059
St2 * St6	4,484,009,488	1	4,484,009,488	147095.54	.000	.99928
St3 * St4	846	1	846	.03	.868	.00026
St3 * St5	7,735	1	7,735	.25	.616	.00239
St3 * St6	30,969	1	30,969	1.02	.316	.00949
St4 * St5	11,800	1	11,800	.39	.535	.00364
St4 * St6	58,098	1	58,098	1.91	.170	.01766
St5 * St6	508	1	508	.02	.898	.00016
Error	3,231,267	106	30,484			
Total	166,288,156,869	128				
Corrected Total	40,543,864,714	127				

ตารางผนวกที่ ก39 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 5 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	32,007,654,447	21	1,524,174,021	1111.06	.000	.99548
Intercept	120,655,666,995	1	120,655,666,995	87953.02	.000	.99880
St1	3,574,604,904	1	3,574,604,904	2605.74	.000	.96091
St2	24,429,230,280	1	24,429,230,280	17807.90	.000	.99408
St3	92,021	1	92,021	.07	.796	.00063
St4	10,622	1	10,622	.01	.930	.00007
St5	147,584,790	1	147,584,790	107.58	.000	.50371
St6	2,415	1	2,415	.00	.967	.00002
St1 * St2	3,566,281,285	1	3,566,281,285	2599.67	.000	.96082
St1 * St3	2,556	1	2,556	.00	.966	.00002
St1 * St4	101,813	1	101,813	.07	.786	.00070
St1 * St5	146,727,015	1	146,727,015	106.96	.000	.50225
St1 * St6	1,201	1	1,201	.00	.976	.00001
St2 * St3	3,003	1	3,003	.00	.963	.00002
St2 * St4	58,055	1	58,055	.04	.837	.00040
St2 * St5	142,652,941	1	142,652,941	103.99	.000	.49521
St2 * St6	1,682	1	1,682	.00	.972	.00001
St3 * St4	23,059	1	23,059	.02	.897	.00016
St3 * St5	96,141	1	96,141	.07	.792	.00066
St3 * St6	18,432	1	18,432	.01	.908	.00013
St4 * St5	136,373	1	136,373	.10	.753	.00094
St4 * St6	17,345	1	17,345	.01	.911	.00012
St5 * St6	8,515	1	8,515	.01	.937	.00006
Error	145,412,862	106	1,371,819			
Total	152,808,734,304	128				
Corrected Total	32,153,067,309	127				

ตารางผนวกที่ ก40 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 5* เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	22,425,883,592	21	1,067,899,219	193.13	.000	.97453
Intercept	92,325,825,474	1	92,325,825,474	16697.41	.000	.99369
St1	1,717,251,036	1	1,717,251,036	310.57	.000	.74554
St2	15,092,468,039	1	15,092,468,039	2729.52	.000	.96262
St3	5,819	1	5,819	.00	.974	.00001
St4	52,043	1	52,043	.01	.923	.00009
St5	2,018,578,433	1	2,018,578,433	365.07	.000	.77498
St6	53,342	1	53,342	.01	.922	.00009
St1 * St2	1,700,326,902	1	1,700,326,902	307.51	.000	.74366
St1 * St3	446	1	446	.00	.993	.00000
St1 * St4	2,674	1	2,674	.00	.982	.00000
St1 * St5	579,211,885	1	579,211,885	104.75	.000	.49704
St1 * St6	71,773	1	71,773	.01	.910	.00012
St2 * St3	6,455	1	6,455	.00	.973	.00001
St2 * St4	27,232	1	27,232	.00	.944	.00005
St2 * St5	1,317,544,861	1	1,317,544,861	238.28	.000	.69211
St2 * St6	21,971	1	21,971	.00	.950	.00004
St3 * St4	5,526	1	5,526	.00	.975	.00001
St3 * St5	16,767	1	16,767	.00	.956	.00003
St3 * St6	3,817	1	3,817	.00	.979	.00001
St4 * St5	120,848	1	120,848	.02	.883	.00021
St4 * St6	4,152	1	4,152	.00	.978	.00001
St5 * St6	109,571	1	109,571	.02	.888	.00019
Error	586,111,195	106	5,529,351			
Total	115,337,820,261	128				
Corrected Total	23,011,994,787	127				



ภาพผนวกที่ 11 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 5 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 6 และ 2 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 2, 1 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 2, 1 และ 5* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 9

1.2.5. 7 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก41 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 5 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	115,518,179,090	28	4,125,649,253	111,389.15	.000	.99993
Intercept	373,026,250,702	1	373,026,250,702	10,071,403.26	.000	.99998
St1	15,908	1	15,908	0.43	.513	.00189
St2	51	1	51	0.00	.970	.00001
St3	6,521	1	6,521	0.18	.675	.00077
St4	19,044	1	19,044	0.51	.474	.00226
St5	115,517,734,641	1	115,517,734,641	3,118,884.23	.000	.99993
St6	22,238	1	22,238	0.60	.439	.00264
St7	878	1	878	0.02	.878	.00010
St1 * St2	21,978	1	21,978	0.59	.442	.00261
St1 * St3	1,234	1	1,234	0.03	.855	.00015
St1 * St4	130,411	1	130,411	3.52	.062	.01527
St1 * St5	5	1	5	0.00	.991	.00000
St1 * St6	6,320	1	6,320	0.17	.680	.00075
St1 * St7	196	1	196	0.01	.942	.00002
St2 * St3	446	1	446	0.01	.913	.00005
St2 * St4	6,745	1	6,745	0.18	.670	.00080
St2 * St5	44	1	44	0.00	.973	.00001
St2 * St6	9,653	1	9,653	0.26	.610	.00115
St2 * St7	3,721	1	3,721	0.10	.752	.00044
St3 * St4	16,256	1	16,256	0.44	.508	.00193
St3 * St5	45,796	1	45,796	1.24	.267	.00542
St3 * St6	49,562	1	49,562	1.34	.249	.00586
St3 * St7	179	1	179	0.00	.945	.00002
St4 * St5	529	1	529	0.01	.905	.00006
St4 * St6	15,594	1	15,594	0.42	.517	.00185
St4 * St7	29,198	1	29,198	0.79	.376	.00346
St5 * St6	16,544	1	16,544	0.45	.505	.00196
St5 * St7	21,207	1	21,207	0.57	.450	.00252
St6 * St7	4,193	1	4,193	0.11	.737	.00050
Error	8,407,662	227	37,038			
Total	488,552,837,454	256				
Corrected Total	115,526,586,752	255				

ตารางผนวกที่ ก42 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ
กำหนดสถานีที่ 2 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด

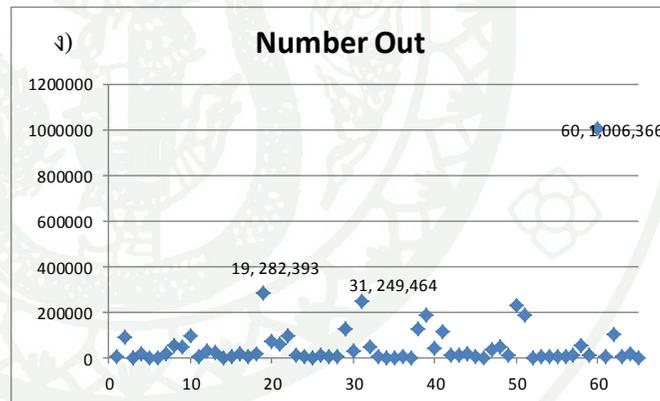
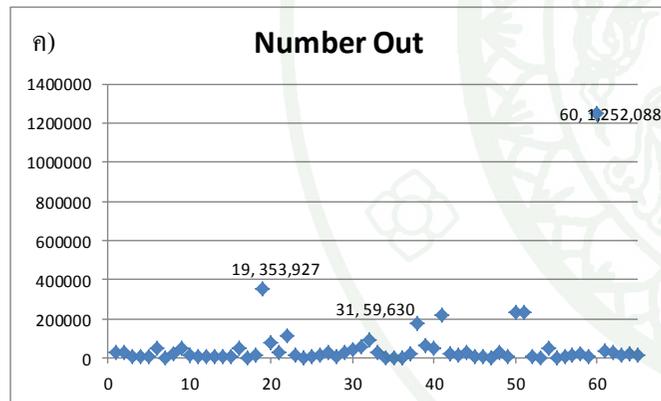
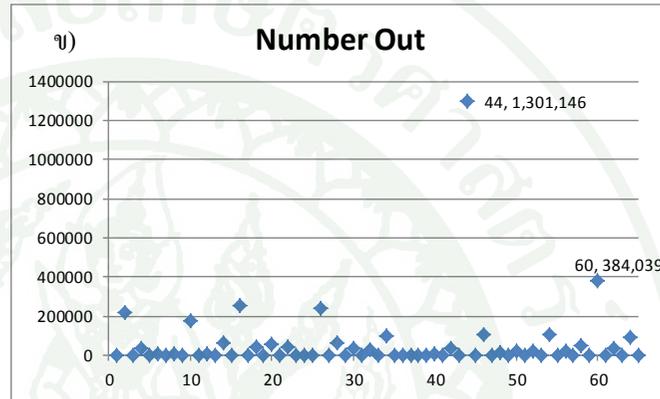
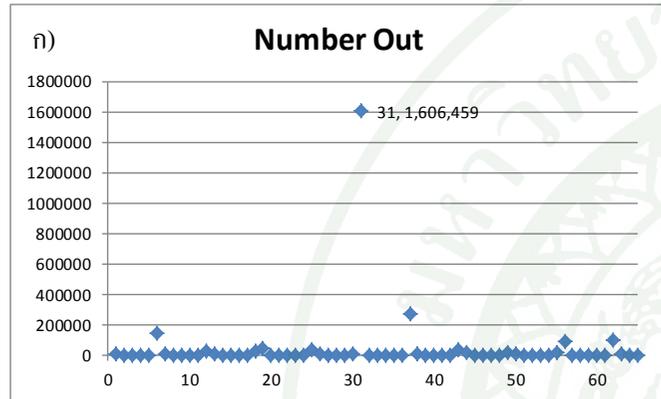
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	79,646,976,592	28	2,844,534,878	97,219.54	.000	.99992
Intercept	254,235,854,551	1	254,235,854,551	8,689,186.26	.000	.99997
St1	2,274	1	2,274	0.08	.781	.00034
St2	58,759,184,109	1	58,759,184,109	2,008,251.34	.000	.99989
St3	11,370,903,261	1	11,370,903,261	388,630.85	.000	.99942
St4	7,300	1	7,300	0.25	.618	.00110
St5	62,844	1	62,844	2.15	.144	.00937
St6	520	1	520	0.02	.894	.00008
St7	904	1	904	0.03	.861	.00014
St1 * St2	18,479	1	18,479	0.63	.428	.00277
St1 * St3	1,506	1	1,506	0.05	.821	.00023
St1 * St4	25,023	1	25,023	0.86	.356	.00375
St1 * St5	653	1	653	0.02	.881	.00010
St1 * St6	45,556	1	45,556	1.56	.213	.00681
St1 * St7	393	1	393	0.01	.908	.00006
St2 * St3	9,516,307,346	1	9,516,307,346	325,245.10	.000	.99930
St2 * St4	8,989	1	8,989	0.31	.580	.00135
St2 * St5	3,638	1	3,638	0.12	.725	.00055
St2 * St6	12,586	1	12,586	0.43	.513	.00189
St2 * St7	31,662	1	31,662	1.08	.299	.00474
St3 * St4	7,888	1	7,888	0.27	.604	.00119
St3 * St5	2,763	1	2,763	0.09	.759	.00042
St3 * St6	38,735	1	38,735	1.32	.251	.00580
St3 * St7	76,902	1	76,902	2.63	.106	.01145
St4 * St5	56,139	1	56,139	1.92	.167	.00838
St4 * St6	42,978	1	42,978	1.47	.227	.00643
St4 * St7	15,766	1	15,766	0.54	.464	.00237
St5 * St6	37,612	1	37,612	1.29	.258	.00563
St5 * St7	28,582	1	28,582	0.98	.324	.00428
St6 * St7	52,184	1	52,184	1.78	.183	.00780
Error	6,641,766	227	29,259			
Total	333,889,472,909	256				
Corrected Total	79,653,618,358	255				

ตารางผนวกที่ ก43 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ
กำหนดสถานีที่ 3, 1 และ 5 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	66,291,675,945	28	2,367,559,855	1,787.58	.000	.99549
Intercept	236,785,946,668	1	236,785,946,668	178,780.71	.000	.99873
St1	8,068,002,912	1	8,068,002,912	6,091.59	.000	.96407
St2	10,622	1	10,622	0.01	.929	.00004
St3	50,838,947,441	1	50,838,947,441	38,384.98	.000	.99412
St4	13,968	1	13,968	0.01	.918	.00005
St5	294,253,283	1	294,253,283	222.17	.000	.49462
St6	171	1	171	0.00	.991	.00000
St7	31,130	1	31,130	0.02	.878	.00010
St1 * St2	55,726	1	55,726	0.04	.838	.00019
St1 * St3	6,510,462,570	1	6,510,462,570	4,915.60	.000	.95586
St1 * St4	6,016	1	6,016	0.00	.946	.00002
St1 * St5	288,297,053	1	288,297,053	217.67	.000	.48951
St1 * St6	23,428	1	23,428	0.02	.894	.00008
St1 * St7	16,050	1	16,050	0.01	.912	.00005
St2 * St3	17,939	1	17,939	0.01	.907	.00006
St2 * St4	2,506	1	2,506	0.00	.965	.00001
St2 * St5	2,633	1	2,633	0.00	.964	.00001
St2 * St6	1,822	1	1,822	0.00	.970	.00001
St2 * St7	24,161	1	24,161	0.02	.893	.00008
St3 * St4	36,124	1	36,124	0.03	.869	.00012
St3 * St5	291,109,711	1	291,109,711	219.80	.000	.49194
St3 * St6	3,578	1	3,578	0.00	.959	.00001
St3 * St7	143	1	143	0.00	.992	.00000
St4 * St5	61,473	1	61,473	0.05	.830	.00020
St4 * St6	64,294	1	64,294	0.05	.826	.00021
St4 * St7	14,265	1	14,265	0.01	.917	.00005
St5 * St6	34	1	34	0.00	.996	.00000
St5 * St7	40,125	1	40,125	0.03	.862	.00013
St6 * St7	176,768	1	176,768	0.13	.715	.00059
Error	300,649,944	227	1,324,449			
Total	303,378,272,557	256				
Corrected Total	66,592,325,889	255				

ตารางผนวกที่ ก44 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ กำหนดสถานีที่ 3, 1 และ 5* เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	45,705,698,707	28	1,632,346,382	321.43	.000	.97540
Intercept	183,597,199,246	1	183,597,199,246	36,152.50	.000	.99376
St1	4,039,611,419	1	4,039,611,419	795.45	.000	.77798
St2	90,113	1	90,113	0.02	.894	.00008
St3	30,992,128,099	1	30,992,128,099	6,102.72	.000	.96414
St4	39,526	1	39,526	0.01	.930	.00003
St5	3,343,911,331	1	3,343,911,331	658.46	.000	.74364
St6	14,596	1	14,596	0.00	.957	.00001
St7	9,739	1	9,739	0.00	.965	.00001
St1 * St2	34,387	1	34,387	0.01	.934	.00003
St1 * St3	2,887,053,943	1	2,887,053,943	568.50	.000	.71464
St1 * St4	57,450	1	57,450	0.01	.915	.00005
St1 * St5	1,166,158,470	1	1,166,158,470	229.63	.000	.50288
St1 * St6	3,256	1	3,256	0.00	.980	.00000
St1 * St7	2,494	1	2,494	0.00	.982	.00000
St2 * St3	7,623	1	7,623	0.00	.969	.00001
St2 * St4	26,386	1	26,386	0.01	.943	.00002
St2 * St5	368	1	368	0.00	.993	.00000
St2 * St6	53,390	1	53,390	0.01	.918	.00005
St2 * St7	12,530	1	12,530	0.00	.960	.00001
St3 * St4	132,906	1	132,906	0.03	.872	.00012
St3 * St5	3,276,124,252	1	3,276,124,252	645.11	.000	.73971
St3 * St6	21,152	1	21,152	0.00	.949	.00002
St3 * St7	25,182	1	25,182	0.00	.944	.00002
St4 * St5	14,960	1	14,960	0.00	.957	.00001
St4 * St6	149,527	1	149,527	0.03	.864	.00013
St4 * St7	112	1	112	0.00	.996	.00000
St5 * St6	14,087	1	14,087	0.00	.958	.00001
St5 * St7	19	1	19	0.00	.998	.00000
St6 * St7	1,392	1	1,392	0.00	.987	.00000
Error	1,152,799,034	227	5,078,410			
Total	230,455,696,987	256				
Corrected Total	46,858,497,741	255				



ภาพผนวกที่ 12 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 5 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 2 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 3, 1 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 3, 1 และ 5* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 9

1.2.6. 8 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก45 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อกำหนดสถานีที่ 6 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	230,993,712,615	36	6,416,492,017	179,185.76	.000	.99993
Intercept	746,097,774,582	1	746,097,774,582	20,835,387.41	.000	.99998
St1	29,631	1	29,631	0.83	.363	.00174
St2	1,941	1	1,941	0.05	.816	.00011
St3	8,970	1	8,970	0.25	.617	.00053
St4	125	1	125	0.00	.953	.00001
St5	7,618	1	7,618	0.21	.645	.00045
St6	230,992,264,184	1	230,992,264,184	6,450,646.92	.000	.99993
St7	174,013	1	174,013	4.86	.028	.01013
St8	87	1	87	0.00	.961	.00001
St1 * St2	70,149	1	70,149	1.96	.162	.00411
St1 * St3	38,868	1	38,868	1.09	.298	.00228
St1 * St4	106,405	1	106,405	2.97	.085	.00622
St1 * St5	69,029	1	69,029	1.93	.166	.00404
St1 * St6	43,016	1	43,016	1.20	.274	.00252
St1 * St7	135,558	1	135,558	3.79	.052	.00791
St1 * St8	16,642	1	16,642	0.46	.496	.00098
St2 * St3	26,580	1	26,580	0.74	.389	.00156
St2 * St4	1,428	1	1,428	0.04	.842	.00008
St2 * St5	17,055	1	17,055	0.48	.490	.00100
St2 * St6	27,247	1	27,247	0.76	.383	.00160
St2 * St7	6,808	1	6,808	0.19	.663	.00040
St2 * St8	8,426	1	8,426	0.24	.628	.00050
St3 * St4	50,066	1	50,066	1.40	.238	.00293
St3 * St5	12,950	1	12,950	0.36	.548	.00076
St3 * St6	1,949	1	1,949	0.05	.816	.00011
St3 * St7	67,001	1	67,001	1.87	.172	.00392
St3 * St8	13	1	13	0.00	.985	.00000

ตารางผนวกที่ ก45 (ต่อ)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
St4 * St5	59,750	1	59,750	1.67	.197	.00350
St4 * St6	4,495	1	4,495	0.13	.723	.00026
St4 * St7	63,390	1	63,390	1.77	.184	.00371
St4 * St8	135,428	1	135,428	3.78	.052	.00790
St5 * St6	10,269	1	10,269	0.29	.593	.00060
St5 * St7	6,071	1	6,071	0.17	.681	.00036
St5 * St8	10,467	1	10,467	0.29	.589	.00062
St6 * St7	135,493	1	135,493	3.78	.052	.00790
St6 * St8	36,941	1	36,941	1.03	.310	.00217
St7 * St8	64,553	1	64,553	1.80	.180	.00378
Error	17,009,352	475	35,809			
Total	977,108,496,549	512				
Corrected Total	231,010,721,967	511				

ตารางผนวกที่ ก46 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ
กำหนดสถานีที่ 8 และ 3 เป็นสถานีคอขวด

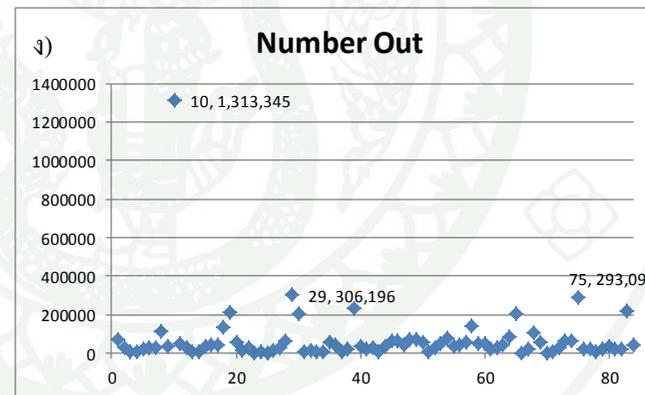
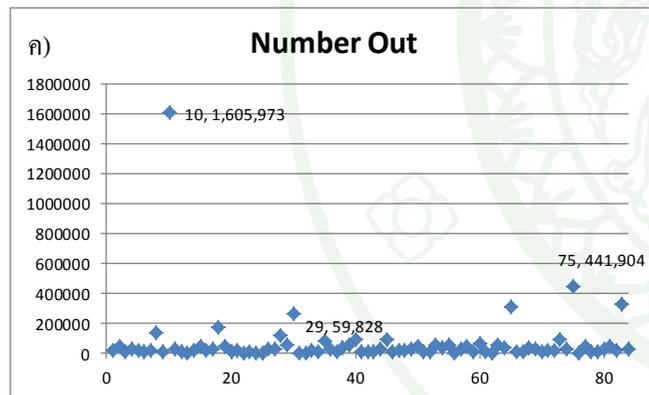
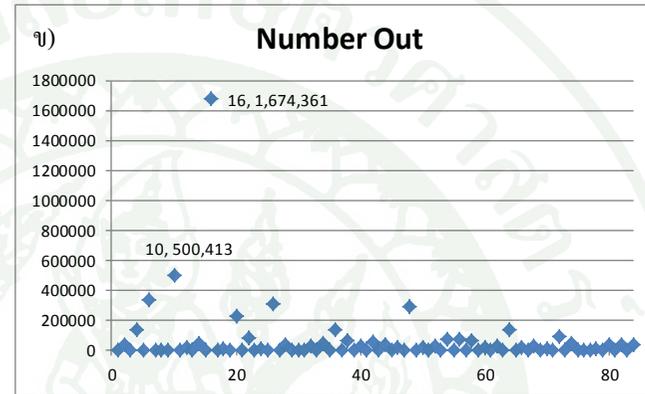
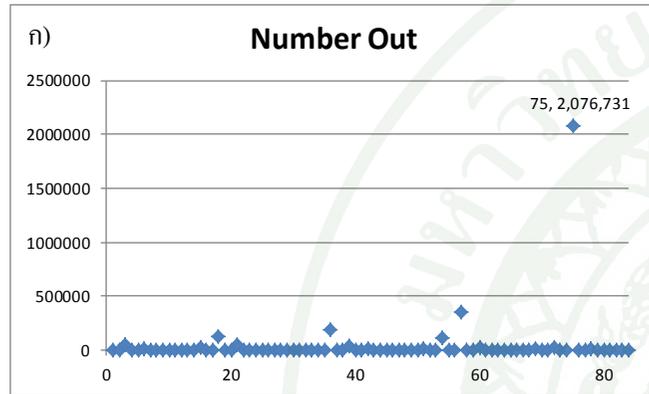
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	159,026,445,491	36	4,417,401,264	138,500.61	.000	.99990
Intercept	508,437,737,978	1	508,437,737,978	15,941,258.32	.000	.99997
St1	59,491	1	59,491	1.87	.173	.00391
St2	9,121	1	9,121	0.29	.593	.00060
St3	22,595,300,922	1	22,595,300,922	708,439.80	.000	.99933
St4	11,316	1	11,316	0.35	.552	.00075
St5	10,413	1	10,413	0.33	.568	.00069
St6	11,619	1	11,619	0.36	.546	.00077
St7	1,834	1	1,834	0.06	.811	.00012
St8	117,418,852,588	1	117,418,852,588	3,681,481.76	.000	.99987
St1 * St2	1,316	1	1,316	0.04	.839	.00009
St1 * St3	13	1	13	0.00	.984	.00000
St1 * St4	28,785	1	28,785	0.90	.343	.00190
St1 * St5	205,481	1	205,481	6.44	.011	.01338
St1 * St6	9,756	1	9,756	0.31	.580	.00064
St1 * St7	1,310	1	1,310	0.04	.839	.00009
St1 * St8	22,168	1	22,168	0.70	.405	.00146
St2 * St3	24,906	1	24,906	0.78	.377	.00164
St2 * St4	2,333	1	2,333	0.07	.787	.00015
St2 * St5	33,427	1	33,427	1.05	.306	.00220
St2 * St6	960	1	960	0.03	.862	.00006
St2 * St7	114,093	1	114,093	3.58	.059	.00747
St2 * St8	28,070	1	28,070	0.88	.349	.00185
St3 * St4	8,523	1	8,523	0.27	.605	.00056
St3 * St5	8,753	1	8,753	0.27	.601	.00058
St3 * St6	7,358	1	7,358	0.23	.631	.00049
St3 * St7	45,131	1	45,131	1.42	.235	.00297
St3 * St8	19,011,317,831	1	19,011,317,831	596,069.70	.000	.99920
St4 * St5	19,098	1	19,098	0.60	.439	.00126
St4 * St6	63,435	1	63,435	1.99	.159	.00417
St4 * St7	31,925	1	31,925	1.00	.318	.00210
St4 * St8	28,188	1	28,188	0.88	.348	.00186
St5 * St6	43,163	1	43,163	1.35	.245	.00284
St5 * St7	33,234	1	33,234	1.04	.308	.00219
St5 * St8	94,259	1	94,259	2.96	.086	.00618
St6 * St7	3,125	1	3,125	0.10	.754	.00021
St6 * St8	8,556	1	8,556	0.27	.605	.00056
St7 * St8	2,989	1	2,989	0.09	.760	.00020
Error	15,149,866	475	31,894			
Total	667,479,333,335	512				
Corrected Total	159,041,595,357	511				

ตารางผนวกที่ ก47 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ
กำหนดสถานีที่ 3, 6 และ 7 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	128,849,965,059	36	3,579,165,696	2,899.04	.000	.99547
Intercept	483,576,870,940	1	483,576,870,940	391,685.31	.000	.99879
St1	1,711	1	1,711	0.00	.970	.00000
St2	18,456	1	18,456	0.01	.903	.00003
St3	98,076,329,663	1	98,076,329,663	79,439.40	.000	.99406
St4	48,438	1	48,438	0.04	.843	.00008
St5	4,129	1	4,129	0.00	.954	.00001
St6	14,550,665,964	1	14,550,665,964	11,785.68	.000	.96126
St7	595,288,886	1	595,288,886	482.17	.000	.50375
St8	14,642	1	14,642	0.01	.913	.00002
St1 * St2	8,017	1	8,017	0.01	.936	.00001
St1 * St3	53,301	1	53,301	0.04	.835	.00009
St1 * St4	17,020	1	17,020	0.01	.907	.00003
St1 * St5	52,934	1	52,934	0.04	.836	.00009
St1 * St6	328	1	328	0.00	.987	.00000
St1 * St7	8,224	1	8,224	0.01	.935	.00001
St1 * St8	4,524	1	4,524	0.00	.952	.00001
St2 * St3	197,271	1	197,271	0.16	.690	.00034
St2 * St4	98,957	1	98,957	0.08	.777	.00017
St2 * St5	99,013	1	99,013	0.08	.777	.00017
St2 * St6	19,950	1	19,950	0.02	.899	.00003
St2 * St7	6,859	1	6,859	0.01	.941	.00001
St2 * St8	37,060	1	37,060	0.03	.863	.00006
St3 * St4	3,403	1	3,403	0.00	.958	.00001
St3 * St5	22,605	1	22,605	0.02	.892	.00004
St3 * St6	14,473,193,049	1	14,473,193,049	11,722.93	.000	.96106
St3 * St7	587,867,761	1	587,867,761	476.16	.000	.50061
St3 * St8	19,282	1	19,282	0.02	.901	.00003
St4 * St5	36,890	1	36,890	0.03	.863	.00006
St4 * St6	31,219	1	31,219	0.03	.874	.00005
St4 * St7	38,573	1	38,573	0.03	.860	.00007
St4 * St8	89	1	89	0.00	.993	.00000
St5 * St6	694	1	694	0.00	.981	.00000
St5 * St7	2,170	1	2,170	0.00	.967	.00000
St5 * St8	520	1	520	0.00	.984	.00000
St6 * St7	565,719,680	1	565,719,680	458.22	.000	.49101
St6 * St8	45,980	1	45,980	0.04	.847	.00008
St7 * St8	7,797	1	7,797	0.01	.937	.00001
Error	586,437,657	475	1,234,606			
Total	613,013,273,656	512				
Corrected Total	129,436,402,716	511				

ตารางผนวกที่ ก48 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน เมื่อ
กำหนดสถานีที่ 3, 6 และ 7* เป็นสถานีคอกขวด

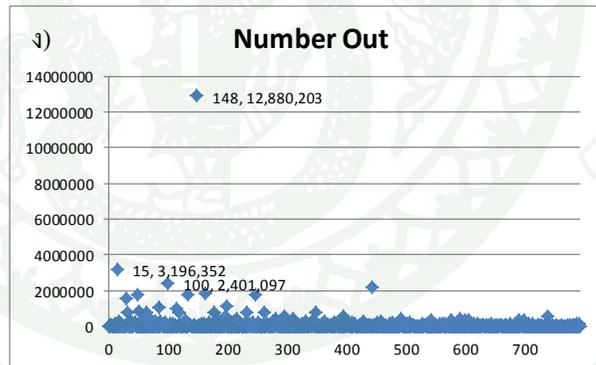
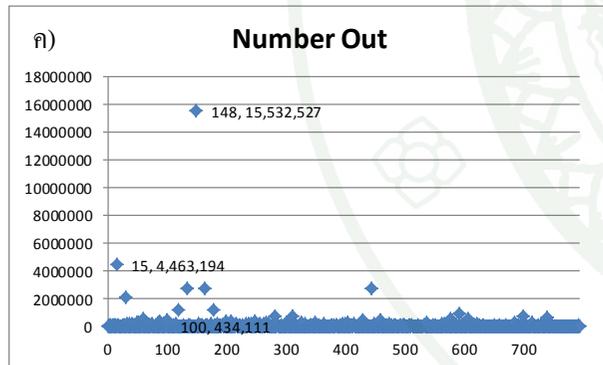
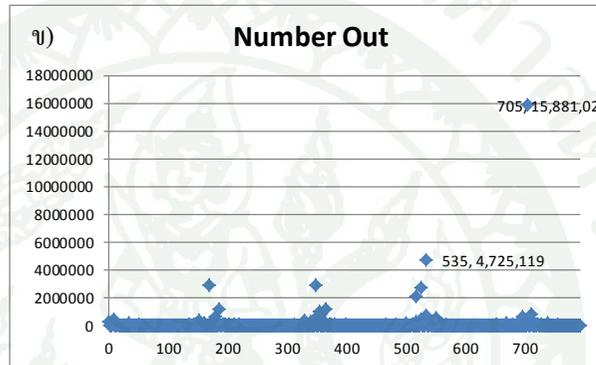
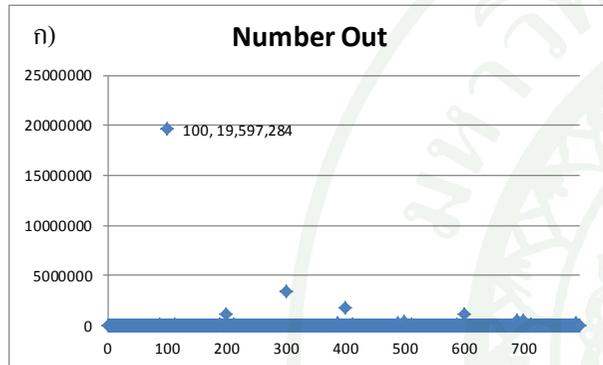
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	87,808,769,763	36	2,439,132,493	501.23	.000	.97435
Intercept	377,464,280,195	1	377,464,280,195	77,567.03	.000	.99391
St1	14,857	1	14,857	0.00	.956	.00001
St2	127,386	1	127,386	0.03	.872	.00006
St3	58,512,399,199	1	58,512,399,199	12,024.01	.000	.96200
St4	2,329	1	2,329	0.00	.983	.00000
St5	9,453	1	9,453	0.00	.965	.00000
St6	6,834,923,977	1	6,834,923,977	1,404.54	.000	.74728
St7	7,014,727,458	1	7,014,727,458	1,441.49	.000	.75215
St8	19,061	1	19,061	0.00	.950	.00001
St1 * St2	5,873	1	5,873	0.00	.972	.00000
St1 * St3	365	1	365	0.00	.993	.00000
St1 * St4	98,957	1	98,957	0.02	.887	.00004
St1 * St5	14,302	1	14,302	0.00	.957	.00001
St1 * St6	8,096	1	8,096	0.00	.967	.00000
St1 * St7	29,131	1	29,131	0.01	.938	.00001
St1 * St8	10,823	1	10,823	0.00	.962	.00000
St2 * St3	65	1	65	0.00	.997	.00000
St2 * St4	45,905	1	45,905	0.01	.923	.00002
St2 * St5	81,709	1	81,709	0.02	.897	.00004
St2 * St6	21,971	1	21,971	0.00	.946	.00001
St2 * St7	109	1	109	0.00	.996	.00000
St2 * St8	13,325	1	13,325	0.00	.958	.00001
St3 * St4	6,830	1	6,830	0.00	.970	.00000
St3 * St5	13,965	1	13,965	0.00	.957	.00001
St3 * St6	6,740,040,382	1	6,740,040,382	1,385.04	.000	.74463
St3 * St7	6,442,898,560	1	6,442,898,560	1,323.98	.000	.73596
St3 * St8	12,149	1	12,149	0.00	.960	.00001
St4 * St5	52,650	1	52,650	0.01	.917	.00002
St4 * St6	140,781	1	140,781	0.03	.865	.00006
St4 * St7	790	1	790	0.00	.990	.00000
St4 * St8	16,517	1	16,517	0.00	.954	.00001
St5 * St6	46,170	1	46,170	0.01	.922	.00002
St5 * St7	4,584	1	4,584	0.00	.976	.00000
St5 * St8	14,028	1	14,028	0.00	.957	.00001
St6 * St7	2,262,887,129	1	2,262,887,129	465.01	.000	.49469
St6 * St8	58,354	1	58,354	0.01	.913	.00003
St7 * St8	22,525	1	22,525	0.00	.946	.00001
Error	2,311,491,442	475	4,866,298			
Total	467,584,541,400	512				
Corrected Total	90,120,261,205	511				



ภาพผนวกที่ 13 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 6 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 8 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 3, 6 และ 7 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 3, 6 และ 7* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 9

1.2.7. 20 ปีจจัย



ภาพผนวกที่ 14 การทดลอง AFDE กับจำนวนปีจจัย 20 ปีจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 15 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 20 และ 6 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 8, 1 และ 15 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 8, 1 และ 15* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 9

2. ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง

2.1. ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ

2.1.1. 3 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก49 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	7,204,199,964	6	1,200,699,994	183,804.84	.000	.99999
Intercept	23,327,522,022	1	23,327,522,022	3,571,009.75	.000	1.00000
St1	63,756	1	63,756	9.76	.012	.52025
St2	18,360	1	18,360	2.81	.128	.23797
St3	7,204,020,252	1	7,204,020,252	1,102,801.51	.000	.99999
St1 * St2	12,432	1	12,432	1.90	.201	.17455
St1 * St3	68,906	1	68,906	10.55	.010	.53960
St2 * St3	16,256	1	16,256	2.49	.149	.21661
Error	58,792	9	6,532			
Total	30,531,780,778	16				
Corrected Total	7,204,258,756	15				

ตารางผนวกที่ ก50 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 3 และ 1 เป็นสถานีคอขวด

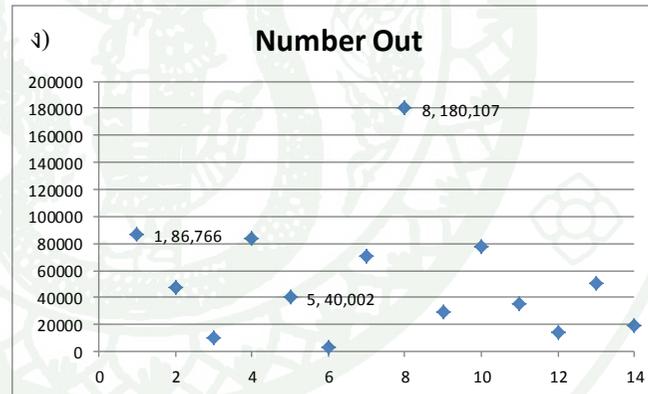
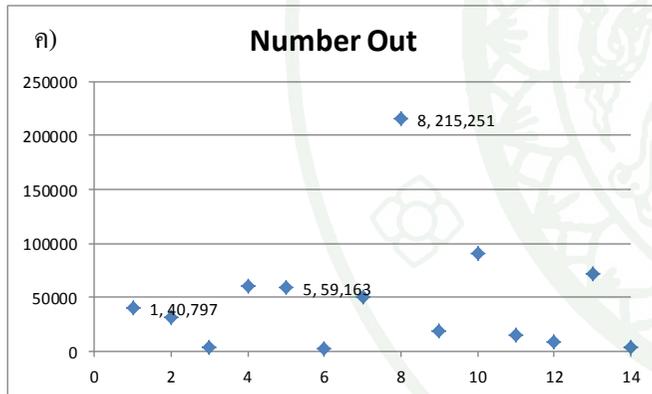
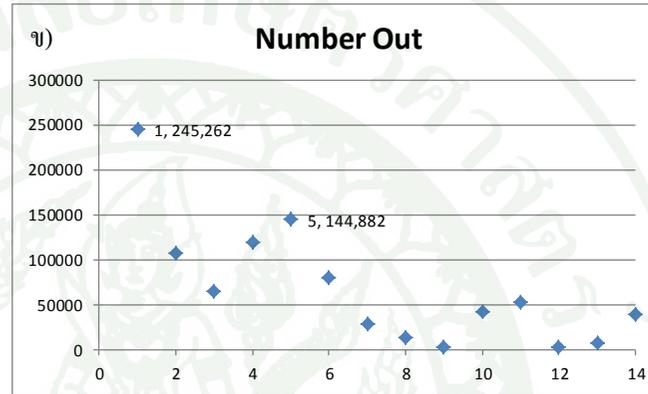
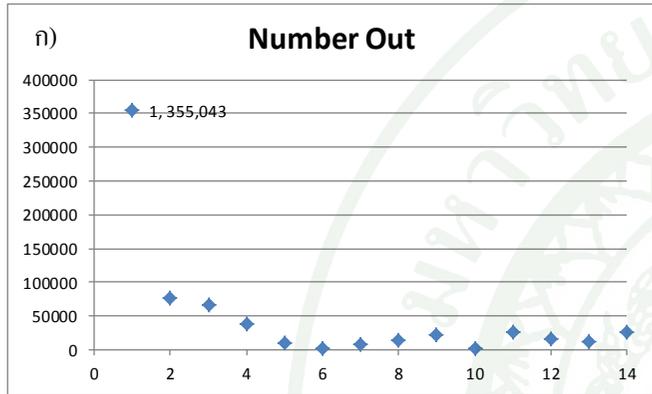
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	4,837,611,889	6	806,268,648	208,199.17	.000	.99999
Intercept	14,301,887,690	1	14,301,887,690	3,693,112.96	.000	1.00000
St1	1,083,495,972	1	1,083,495,972	279,786.35	.000	.99997
St2	16	1	16	0.00	.950	.00046
St3	2,671,442,596	1	2,671,442,596	689,834.76	.000	.99999
St1 * St2	16	1	16	0.00	.950	.00046
St1 * St3	1,082,673,216	1	1,082,673,216	279,573.90	.000	.99997
St2 * St3	72	1	72	0.02	.894	.00207
Error	34,853	9	3,873			
Total	19,139,534,432	16				
Corrected Total	4,837,646,742	15				

ตารางผนวกที่ ก51 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	2,945,454,992	6	490,909,165	34.23	.000	.95802
Intercept	11,694,475,881	1	11,694,475,881	815.44	.000	.98908
St1	466,365,620	1	466,365,620	32.52	.000	.78323
St2	1,626,428,241	1	1,626,428,241	113.41	.000	.92648
St3	129,390,625	1	129,390,625	9.02	.015	.50062
St1 * St2	465,976,982	1	465,976,982	32.49	.000	.78309
St1 * St3	128,901,962	1	128,901,962	8.99	.015	.49967
St2 * St3	128,391,561	1	128,391,561	8.95	.015	.49868
Error	129,072,273	9	14,341,364			
Total	14,769,003,146	16				
Corrected Total	3,074,527,265	15				

ตารางผนวกที่ ก52 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 3* เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	2,364,175,148	6	394,029,191	15.25	.000	.91044
Intercept	9,344,992,230	1	9,344,992,230	361.66	.000	.97572
St1	257,506,209	1	257,506,209	9.97	.012	.52546
St2	1,035,455,862	1	1,035,455,862	40.07	.000	.81660
St3	290,225,296	1	290,225,296	11.23	.009	.55516
St1 * St2	258,469,929	1	258,469,929	10.00	.011	.52639
St1 * St3	233,279,802	1	233,279,802	9.03	.015	.50078
St2 * St3	289,238,049	1	289,238,049	11.19	.009	.55432
Error	232,552,716	9	25,839,191			
Total	11,941,720,094	16				
Corrected Total	2,596,727,864	15				



ภาพผนวกที่ ก15 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 3 เป็นสถานีคอกวด ข) สถานีที่ 3 และ 1 เป็นสถานีคอกวด ค) สถานีที่ 2, 1 และ 3 เป็นสถานีคอกวด ง) สถานีที่ 2, 1 และ 3* เป็นสถานีคอกวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 12

2.1.2. 4 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก53 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 4 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	14,408,625,614	10	1,440,862,561	67,745.76	.000	.99997
Intercept	46,682,005,401	1	46,682,005,401	2,194,871.44	.000	.99999
St1	16,882	1	16,882	0.79	.383	.03642
St2	38	1	38	0.00	.967	.00009
St3	77,717	1	77,717	3.65	.070	.14821
St4	14,408,422,451	1	14,408,422,451	677,448.08	.000	.99997
St1 * St2	27,203	1	27,203	1.28	.271	.05741
St1 * St3	3,140	1	3,140	0.15	.705	.00698
St1 * St4	14,070	1	14,070	0.66	.425	.03054
St2 * St3	2,538	1	2,538	0.12	.733	.00565
St2 * St4	237	1	237	0.01	.917	.00053
St3 * St4	61,338	1	61,338	2.88	.104	.12075
Error	446,642	21	21,269			
Total	61,091,077,657	32				
Corrected Total	14,409,072,256	31				

ตารางผนวกที่ ก54 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 3 และ 4 เป็นสถานีคอขวด

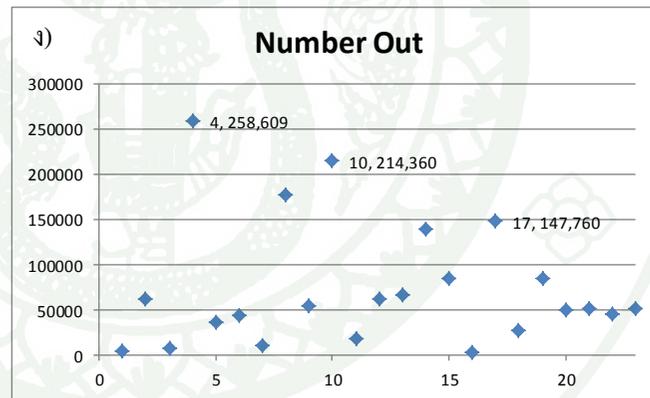
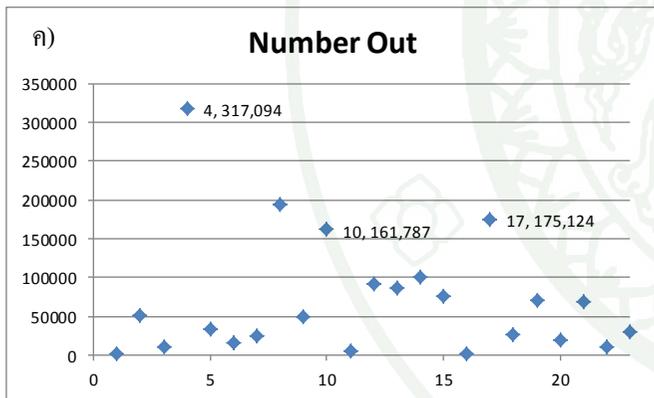
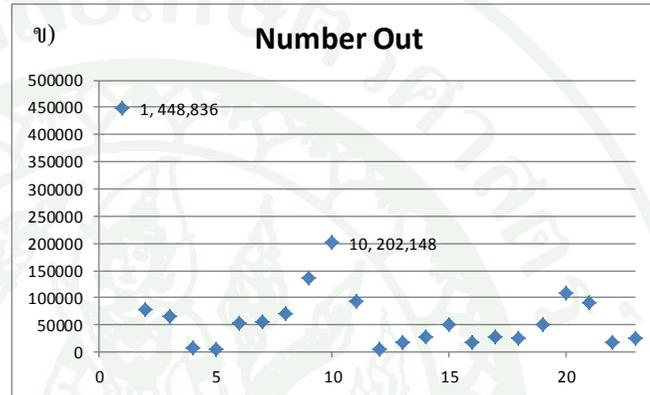
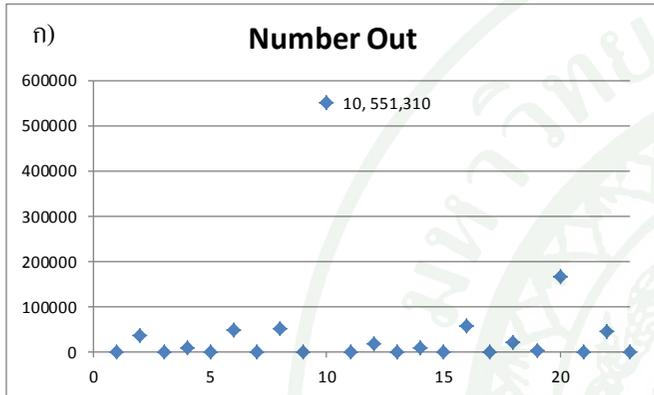
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	9,701,986,194	10	970,198,619	114,403.47	.000	.99998
Intercept	28,629,373,472	1	28,629,373,472	3,375,906.31	.000	.99999
St1	13,778	1	13,778	1.62	.216	.07181
St2	21	1	21	0.00	.961	.00012
St3	5,369,277,564	1	5,369,277,564	633,132.19	.000	.99997
St4	2,168,242,952	1	2,168,242,952	255,673.95	.000	.99992
St1 * St2	28	1	28	0.00	.955	.00016
St1 * St3	15,488	1	15,488	1.83	.191	.08001
St1 * St4	7,321	1	7,321	0.86	.363	.03948
St2 * St3	253	1	253	0.03	.864	.00142
St2 * St4	3,570	1	3,570	0.42	.523	.01965
St3 * St4	2,164,425,218	1	2,164,425,218	255,223.77	.000	.99992
Error	178,091	21	8,481			
Total	38,331,537,756	32				
Corrected Total	9,702,164,284	31				

ตารางผนวกที่ ก55 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 4, 1 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	5,913,203,824	10	591,320,382	47.37	.000	.95755
Intercept	23,438,831,328	1	23,438,831,328	1,877.53	.000	.98894
St1	930,314,113	1	930,314,113	74.52	.000	.78015
St2	136	1	136	0.00	.997	.00000
St3	260,752,866	1	260,752,866	20.89	.000	.49865
St4	3,269,048,511	1	3,269,048,511	261.86	.000	.92576
St1 * St2	128	1	128	0.00	.997	.00000
St1 * St3	261,953,161	1	261,953,161	20.98	.000	.49980
St1 * St4	929,580,962	1	929,580,962	74.46	.000	.78002
St2 * St3	561	1	561	0.00	.995	.00000
St2 * St4	630	1	630	0.00	.994	.00000
St3 * St4	261,552,756	1	261,552,756	20.95	.000	.49942
Error	262,161,622	21	12,483,887			
Total	29,614,196,774	32				
Corrected Total	6,175,365,446	31				

ตารางผนวกที่ ก56 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 4, 1 และ 3* เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	4,539,893,950	10	453,989,395	20.24	.000	.90601
Intercept	19,385,444,930	1	19,385,444,930	864.32	.000	.97628
St1	516,096,160	1	516,096,160	23.01	.000	.52284
St2	851	1	851	0.00	.995	.00000
St3	582,078,670	1	582,078,670	25.95	.000	.55274
St4	1,871,786,816	1	1,871,786,816	83.46	.000	.79896
St1 * St2	4,209	1	4,209	0.00	.989	.00001
St1 * St3	471,682,577	1	471,682,577	21.03	.000	.50036
St1 * St4	515,020,442	1	515,020,442	22.96	.000	.52232
St2 * St3	1,969	1	1,969	0.00	.993	.00000
St2 * St4	14	1	14	0.00	.999	.00000
St3 * St4	583,222,243	1	583,222,243	26.00	.000	.55323
Error	470,998,481	21	22,428,499			
Total	24,396,337,361	32				
Corrected Total	5,010,892,431	31				



ภาพผนวกที่ ก16 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 4 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 3 และ 4 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 4, 1 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 4, 1 และ 3* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 12

2.1.3. 5 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก57 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานีที่ 4 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	28,780,698,171	15	1,918,713,211	105,692.27	.000	.99997
Intercept	93,244,195,221	1	93,244,195,221	5,136,354.10	.000	.99999
St1	3,736	1	3,736	0.21	.652	.00427
St2	48,235	1	48,235	2.66	.110	.05245
St3	5,948	1	5,948	0.33	.570	.00678
St4	28,780,401,492	1	28,780,401,492	1,585,367.68	.000	.99997
St5	12,911	1	12,911	0.71	.403	.01460
St1 * St2	8,395	1	8,395	0.46	.500	.00954
St1 * St3	1,234	1	1,234	0.07	.795	.00141
St1 * St4	1,360	1	1,360	0.07	.786	.00156
St1 * St5	34,829	1	34,829	1.92	.172	.03843
St2 * St3	105,869	1	105,869	5.83	.020	.10833
St2 * St4	35,674	1	35,674	1.97	.167	.03933
St2 * St5	14,550	1	14,550	0.80	.375	.01642
St3 * St4	8,626	1	8,626	0.48	.494	.00980
St3 * St5	7,678	1	7,678	0.42	.519	.00873
St4 * St5	7,634	1	7,634	0.42	.520	.00869
Error	871,381	48	18,154			
Total	122,025,764,773	64				
Corrected Total	28,781,569,552	63				

ตารางผนวกที่ ก58 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 5 และ 2 เป็นสถานีคอขวด

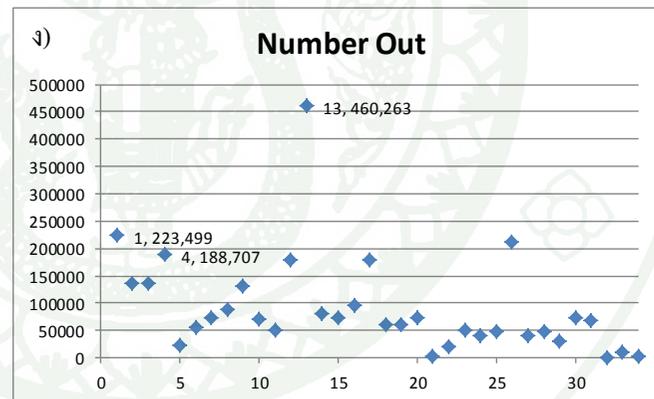
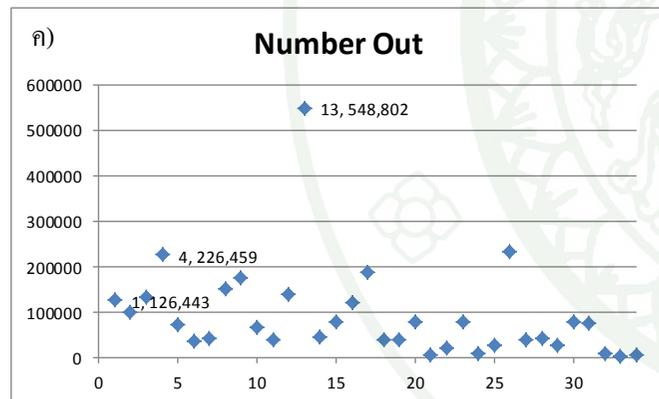
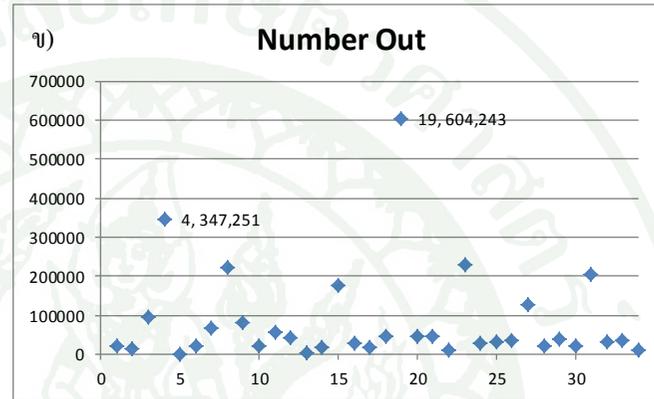
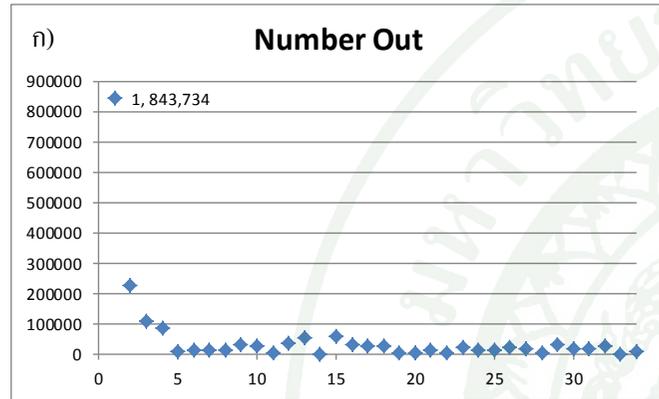
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	19,536,167,186	15	1,302,411,146	121,039.79	.000	.99997
Intercept	57,378,872,636	1	57,378,872,636	5,332,514.77	.000	.99999
St1	4,848	1	4,848	0.45	.505	.00930
St2	4,377,923,015	1	4,377,923,015	406,862.98	.000	.99988
St3	1,492	1	1,492	0.14	.711	.00288
St4	33,352	1	33,352	3.10	.085	.06066
St5	10,778,203,079	1	10,778,203,079	1,001,674.04	.000	.99995
St1 * St2	5,059	1	5,059	0.47	.496	.00970
St1 * St3	8,533	1	8,533	0.79	.378	.01625
St1 * St4	12,293	1	12,293	1.14	.290	.02325
St1 * St5	8,258	1	8,258	0.77	.385	.01574
St2 * St3	446	1	446	0.04	.839	.00086
St2 * St4	29,972	1	29,972	2.79	.102	.05485
St2 * St5	4,379,875,125	1	4,379,875,125	407,044.40	.000	.99988
St3 * St4	31,108	1	31,108	2.89	.096	.05681
St3 * St5	893	1	893	0.08	.775	.00173
St4 * St5	29,713	1	29,713	2.76	.103	.05440
Error	516,489	48	10,760			
Total	76,915,556,311	64				
Corrected Total	19,536,683,675	63				

ตารางผนวกที่ ก59 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 1, 2 และ 4 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	11,865,267,726	15	791,017,848	72.00	.000	.95744
Intercept	46,885,024,370	1	46,885,024,370	4,267.36	.000	.98888
St1	6,544,890,900	1	6,544,890,900	595.70	.000	.92543
St2	1,873,309,883	1	1,873,309,883	170.50	.000	.78032
St3	20	1	20	0.00	.999	.00000
St4	524,719,196	1	524,719,196	47.76	.000	.49874
St5	20,664	1	20,664	0.00	.966	.00004
St1 * St2	1,870,713,878	1	1,870,713,878	170.27	.000	.78009
St1 * St3	20	1	20	0.00	.999	.00000
St1 * St4	524,994,113	1	524,994,113	47.78	.000	.49887
St1 * St5	18,701	1	18,701	0.00	.967	.00004
St2 * St3	588	1	588	0.00	.994	.00000
St2 * St4	526,564,809	1	526,564,809	47.93	.000	.49962
St2 * St5	24,180	1	24,180	0.00	.963	.00005
St3 * St4	4,064	1	4,064	0.00	.985	.00001
St3 * St5	390	1	390	0.00	.995	.00000
St4 * St5	6,320	1	6,320	0.00	.981	.00001
Error	527,370,455	48	10,986,884			
Total	59,277,662,552	64				
Corrected Total	12,392,638,182	63				

ตารางผนวกที่ ก60 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ
เมื่อกำหนดสถานที่ที่ 1, 2 และ 4* เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	9,527,243,849	15	635,149,590	32.38	.000	.91006
Intercept	37,504,001,940	1	37,504,001,940	1,911.87	.000	.97551
St1	4,172,417,133	1	4,172,417,133	212.70	.000	.81588
St2	1,041,417,441	1	1,041,417,441	53.09	.000	.52517
St3	248	1	248	0.00	.997	.00000
St4	1,168,272,400	1	1,168,272,400	59.56	.000	.55372
St5	11,936	1	11,936	0.00	.980	.00001
St1 * St2	1,041,175,423	1	1,041,175,423	53.08	.000	.52511
St1 * St3	870	1	870	0.00	.995	.00000
St1 * St4	1,163,816,168	1	1,163,816,168	59.33	.000	.55278
St1 * St5	21,609	1	21,609	0.00	.974	.00002
St2 * St3	6,521	1	6,521	0.00	.986	.00001
St2 * St4	940,066,260	1	940,066,260	47.92	.000	.49960
St2 * St5	16,448	1	16,448	0.00	.977	.00002
St3 * St4	6,202	1	6,202	0.00	.986	.00001
St3 * St5	1,444	1	1,444	0.00	.993	.00000
St4 * St5	13,748	1	13,748	0.00	.979	.00001
Error	941,585,175	48	19,616,358			
Total	47,972,830,964	64				
Corrected Total	10,468,829,024	63				



ภาพผนวกที่ 17 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 4 เป็นสถานีคอขวด ข) สถานีที่ 5 และ 2 เป็นสถานีคอขวด ค) สถานีที่ 1, 2 และ 4 เป็นสถานีคอขวด ง) สถานีที่ 1, 2 และ 4* เป็นสถานีคอขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 12

2.1.4. 6 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก61 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 4 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	57,666,161,913	21	2,746,007,710	98,542.55	.000	.99995
Intercept	186,689,981,914	1	186,689,981,914	6,699,510.51	.000	.99998
St1	2,162	1	2,162	0.08	.781	.00073
St2	46,589	1	46,589	1.67	.199	.01553
St3	38,920	1	38,920	1.40	.240	.01300
St4	57,665,693,111	1	57,665,693,111	2,069,376.80	.000	.99995
St5	7,110	1	7,110	0.26	.615	.00240
St6	10,047	1	10,047	0.36	.549	.00339
St1 * St2	47,818	1	47,818	1.72	.193	.01593
St1 * St3	16,290	1	16,290	0.58	.446	.00548
St1 * St4	6,470	1	6,470	0.23	.631	.00219
St1 * St5	1,907	1	1,907	0.07	.794	.00065
St1 * St6	2,794	1	2,794	0.10	.752	.00094
St2 * St3	41	1	41	0.00	.970	.00001
St2 * St4	50,960	1	50,960	1.83	.179	.01696
St2 * St5	20,655	1	20,655	0.74	.391	.00694
St2 * St6	70,782	1	70,782	2.54	.114	.02340
St3 * St4	61,075	1	61,075	2.19	.142	.02026
St3 * St5	8,778	1	8,778	0.32	.576	.00296
St3 * St6	2,926	1	2,926	0.11	.747	.00099
St4 * St5	8,160	1	8,160	0.29	.590	.00275
St4 * St6	10,622	1	10,622	0.38	.538	.00358
St5 * St6	54,698	1	54,698	1.96	.164	.01818
Error	2,953,819	106	27,866			
Total	244,359,097,646	128				
Corrected Total	57,669,115,732	127				

ตารางผนวกที่ ก62 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 6 และ 5 เป็นสถานีคอขวด

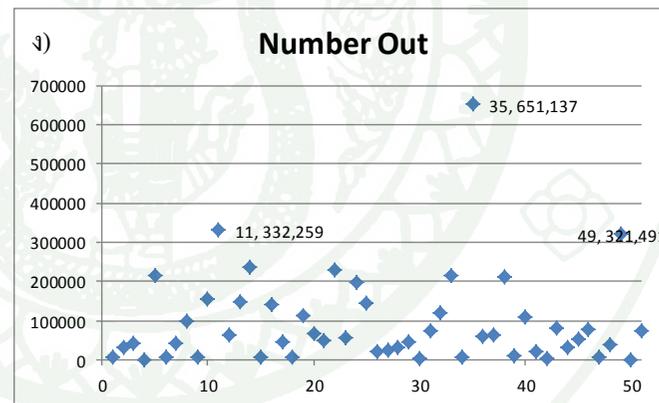
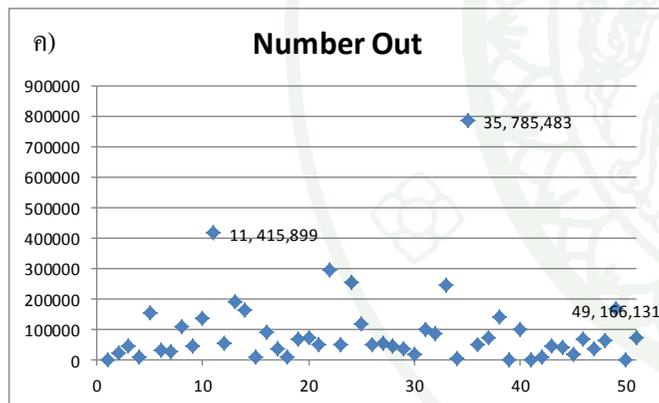
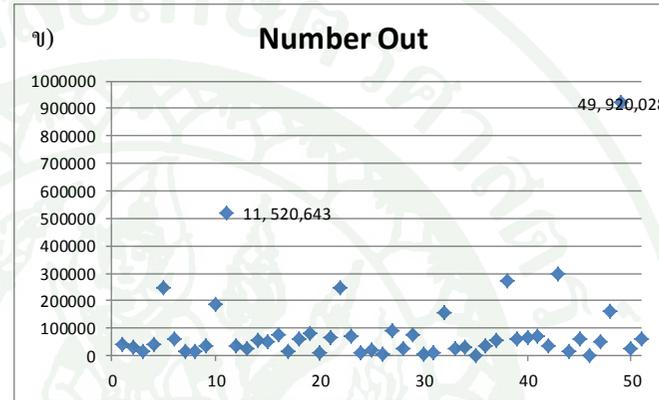
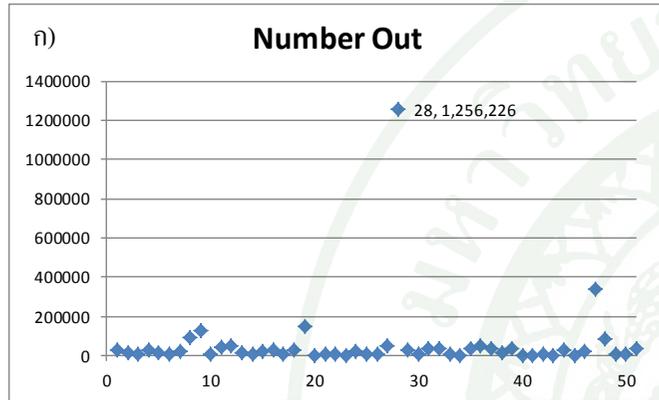
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	38,870,432,823	21	1,850,972,992	159,948.33	.000	.99997
Intercept	114,619,393,412	1	114,619,393,412	9,904,617.90	.000	.99999
St1	12,740	1	12,740	1.10	.296	.01028
St2	996	1	996	0.09	.770	.00081
St3	14,091	1	14,091	1.22	.272	.01136
St4	4,175	1	4,175	0.36	.549	.00339
St5	8,691,271,844	1	8,691,271,844	751,039.80	.000	.99986
St6	21,485,841,720	1	21,485,841,720	1,856,658.34	.000	.99994
St1 * St2	866	1	866	0.07	.785	.00071
St1 * St3	941	1	941	0.08	.776	.00077
St1 * St4	2,203	1	2,203	0.19	.664	.00179
St1 * St5	9,888	1	9,888	0.85	.357	.00800
St1 * St6	12,305	1	12,305	1.06	.305	.00993
St2 * St3	389	1	389	0.03	.855	.00032
St2 * St4	15,598	1	15,598	1.35	.248	.01256
St2 * St5	2,529	1	2,529	0.22	.641	.00206
St2 * St6	5,552	1	5,552	0.48	.490	.00451
St3 * St4	42,961	1	42,961	3.71	.057	.03384
St3 * St5	22,024	1	22,024	1.90	.171	.01764
St3 * St6	15,073	1	15,073	1.30	.256	.01214
St4 * St5	3,476	1	3,476	0.30	.585	.00283
St4 * St6	2,747	1	2,747	0.24	.627	.00223
St5 * St6	8,693,150,707	1	8,693,150,707	751,202.16	.000	.99986
Error	1,226,666	106	11,572			
Total	153,491,052,901	128				
Corrected Total	38,871,659,489	127				

ตารางผนวกที่ ก63 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 1, 6 และ 5 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	23,614,682,899	21	1,124,508,709	114.86	.000	.95790
Intercept	93,717,710,039	1	93,717,710,039	9,572.55	.000	.98905
St1	13,070,797,297	1	13,070,797,297	1,335.08	.000	.92644
St2	599	1	599	0.00	.994	.00000
St3	5,138	1	5,138	0.00	.982	.00000
St4	2,619	1	2,619	0.00	.987	.00000
St5	3,719,110,793	1	3,719,110,793	379.88	.000	.78184
St6	1,035,016,940	1	1,035,016,940	105.72	.000	.49934
St1 * St2	582	1	582	0.00	.994	.00000
St1 * St3	4,790	1	4,790	0.00	.982	.00000
St1 * St4	2,170	1	2,170	0.00	.988	.00000
St1 * St5	3,718,636,460	1	3,718,636,460	379.83	.000	.78182
St1 * St6	1,036,905,953	1	1,036,905,953	105.91	.000	.49979
St2 * St3	635	1	635	0.00	.994	.00000
St2 * St4	8,795	1	8,795	0.00	.976	.00001
St2 * St5	5,317	1	5,317	0.00	.981	.00001
St2 * St6	1,411	1	1,411	0.00	.990	.00000
St3 * St4	25,850	1	25,850	0.00	.959	.00002
St3 * St5	9,096	1	9,096	0.00	.976	.00001
St3 * St6	8,112	1	8,112	0.00	.977	.00001
St4 * St5	8,112	1	8,112	0.00	.977	.00001
St4 * St6	2,304	1	2,304	0.00	.988	.00000
St5 * St6	1,034,129,927	1	1,034,129,927	105.63	.000	.49912
Error	1,037,767,412	106	9,790,259			
Total	118,370,160,351	128				
Corrected Total	24,652,450,312	127				

ตารางผนวกที่ ก64 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 1, 6 และ 5* เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	18,961,488,476	21	902,928,023	51.43	.000	.91063
Intercept	74,959,548,419	1	74,959,548,419	4,269.87	.000	.97578
St1	8,332,582,008	1	8,332,582,008	474.64	.000	.81744
St2	16	1	16	0.00	.999	.00000
St3	11,571	1	11,571	0.00	.980	.00001
St4	13,102	1	13,102	0.00	.978	.00001
St5	2,067,108,365	1	2,067,108,365	117.75	.000	.52625
St6	2,314,270,057	1	2,314,270,057	131.83	.000	.55430
St1 * St2	29	1	29	0.00	.999	.00000
St1 * St3	4,548	1	4,548	0.00	.987	.00000
St1 * St4	13,882	1	13,882	0.00	.978	.00001
St1 * St5	2,069,858,013	1	2,069,858,013	117.90	.000	.52658
St1 * St6	2,321,844,958	1	2,321,844,958	132.26	.000	.55510
St2 * St3	3,091	1	3,091	0.00	.989	.00000
St2 * St4	3,687	1	3,687	0.00	.988	.00000
St2 * St5	2,637	1	2,637	0.00	.990	.00000
St2 * St6	7,095	1	7,095	0.00	.984	.00000
St3 * St4	7,066	1	7,066	0.00	.984	.00000
St3 * St5	7,828	1	7,828	0.00	.983	.00000
St3 * St6	10,897	1	10,897	0.00	.980	.00001
St4 * St5	2,040	1	2,040	0.00	.991	.00000
St4 * St6	160	1	160	0.00	.998	.00000
St5 * St6	1,855,737,427	1	1,855,737,427	105.71	.000	.49931
Error	1,860,877,338	106	17,555,447			
Total	95,781,914,233	128				
Corrected Total	20,822,365,814	127				



ภาพผนวกที่ ก18 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 4 เป็นสถานีคอขวด ข) สถานีที่ 6 และ 5 เป็นสถานีคอขวด ค) สถานีที่ 1, 6 และ 5 เป็นสถานีคอขวด ง) สถานีที่ 1, 6 และ 5* เป็นสถานีคอขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 12

2.1.5. 7 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก65 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	115,278,586,065	28	4,117,092,359	126,355.62	.000	.99994
Intercept	373,323,673,130	1	373,323,673,130	11,457,489.80	.000	.99998
St1	7,493	1	7,493	0.23	.632	.00101
St2	20,898	1	20,898	0.64	.424	.00282
St3	115,277,947,117	1	115,277,947,117	3,537,937.72	.000	.99994
St4	49,367	1	49,367	1.52	.220	.00663
St5	12,196	1	12,196	0.37	.541	.00165
St6	67,893	1	67,893	2.08	.150	.00910
St7	21,886	1	21,886	0.67	.413	.00295
St1 * St2	1,374	1	1,374	0.04	.838	.00019
St1 * St3	3,299	1	3,299	0.10	.751	.00045
St1 * St4	38,982	1	38,982	1.20	.275	.00524
St1 * St5	5,881	1	5,881	0.18	.671	.00079
St1 * St6	48,703	1	48,703	1.49	.223	.00654
St1 * St7	465	1	465	0.01	.905	.00006
St2 * St3	17,739	1	17,739	0.54	.461	.00239
St2 * St4	16,081	1	16,081	0.49	.483	.00217
St2 * St5	25,221	1	25,221	0.77	.380	.00340
St2 * St6	15,672	1	15,672	0.48	.489	.00211
St2 * St7	49,534	1	49,534	1.52	.219	.00665
St3 * St4	35,180	1	35,180	1.08	.300	.00473
St3 * St5	9,963	1	9,963	0.31	.581	.00135
St3 * St6	72,597	1	72,597	2.23	.137	.00972
St3 * St7	29,951	1	29,951	0.92	.339	.00403
St4 * St5	3,977	1	3,977	0.12	.727	.00054
St4 * St6	2,977	1	2,977	0.09	.763	.00040
St4 * St7	5,430	1	5,430	0.17	.683	.00073
St5 * St6	9,739	1	9,739	0.30	.585	.00132
St5 * St7	25,420	1	25,420	0.78	.378	.00343
St6 * St7	41,032	1	41,032	1.26	.263	.00552
Error	7,396,426	227	32,583			
Total	488,609,655,621	256				
Corrected Total	115,285,982,491	255				

ตารางผนวกที่ ก66 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 4 และ 5 เป็นสถานีคอขวด

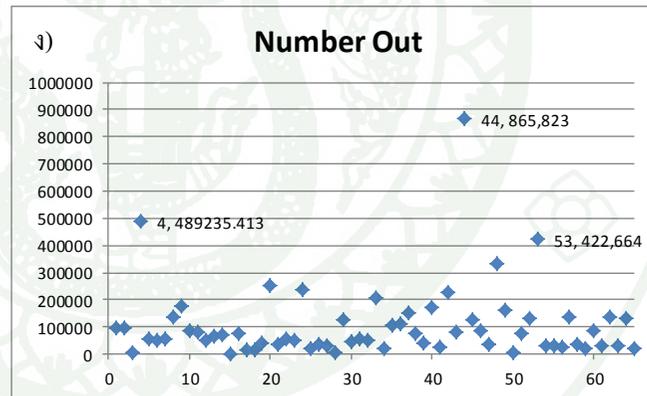
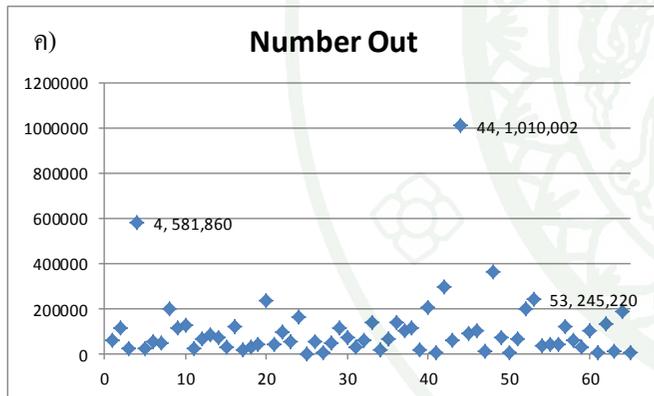
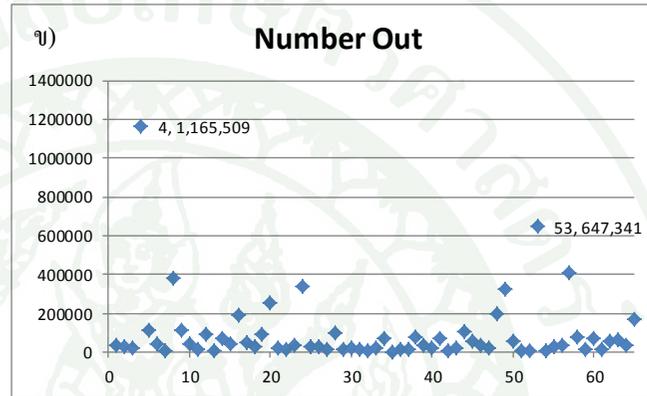
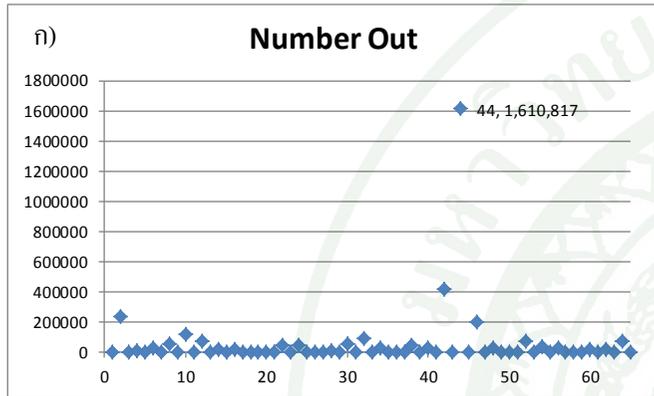
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	77,959,897,949	28	2,784,282,070	137,347.27	.000	.99994
Intercept	229,429,204,777	1	229,429,204,777	11,317,630.64	.000	.99998
St1	8,044	1	8,044	0.40	.529	.00174
St2	3,883	1	3,883	0.19	.662	.00084
St3	2,896	1	2,896	0.14	.706	.00063
St4	43,082,840,042	1	43,082,840,042	2,125,255.46	.000	.99989
St5	17,429,758,976	1	17,429,758,976	859,801.50	.000	.99974
St6	5,247	1	5,247	0.26	.611	.00114
St7	3,299	1	3,299	0.16	.687	.00072
St1 * St2	40,728	1	40,728	2.01	.158	.00877
St1 * St3	3,548	1	3,548	0.18	.676	.00077
St1 * St4	5,597	1	5,597	0.28	.600	.00121
St1 * St5	10,264	1	10,264	0.51	.477	.00223
St1 * St6	9	1	9	0.00	.983	.00000
St1 * St7	38,392	1	38,392	1.89	.170	.00827
St2 * St3	1,717	1	1,717	0.08	.771	.00037
St2 * St4	1,780	1	1,780	0.09	.767	.00039
St2 * St5	3,898	1	3,898	0.19	.661	.00085
St2 * St6	996	1	996	0.05	.825	.00022
St2 * St7	64,421	1	64,421	3.18	.076	.01381
St3 * St4	699	1	699	0.03	.853	.00015
St3 * St5	2,776	1	2,776	0.14	.712	.00060
St3 * St6	1,635	1	1,635	0.08	.777	.00036
St3 * St7	31,573	1	31,573	1.56	.213	.00681
St4 * St5	17,446,959,058	1	17,446,959,058	860,649.97	.000	.99974
St4 * St6	2,531	1	2,531	0.12	.724	.00055
St4 * St7	1,666	1	1,666	0.08	.775	.00036
St5 * St6	2,099	1	2,099	0.10	.748	.00046
St5 * St7	1,964	1	1,964	0.10	.756	.00043
St6 * St7	100,212	1	100,212	4.94	.027	.02131
Error	4,601,708	227	20,272			
Total	307,393,704,433	256				
Corrected Total	77,964,499,656	255				

ตารางผนวกที่ ก67 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 3, 4 และ 5 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	47,351,954,215	28	1,691,141,222	183.71	.000	.95774
Intercept	187,678,431,199	1	187,678,431,199	20,387.83	.000	.98899
St1	1,126	1	1,126	0.00	.991	.00000
St2	331	1	331	0.00	.995	.00000
St3	26,172,950,403	1	26,172,950,403	2,843.21	.000	.92606
St4	7,454,498,468	1	7,454,498,468	809.80	.000	.78106
St5	2,088,815,625	1	2,088,815,625	226.91	.000	.49990
St6	2,557	1	2,557	0.00	.987	.00000
St7	6,094	1	6,094	0.00	.979	.00000
St1 * St2	34,946	1	34,946	0.00	.951	.00002
St1 * St3	82	1	82	0.00	.998	.00000
St1 * St4	4,979	1	4,979	0.00	.981	.00000
St1 * St5	57	1	57	0.00	.998	.00000
St1 * St6	1,898	1	1,898	0.00	.989	.00000
St1 * St7	1,439	1	1,439	0.00	.990	.00000
St2 * St3	0	1	0	0.00	1.000	.00000
St2 * St4	223	1	223	0.00	.996	.00000
St2 * St5	3,930	1	3,930	0.00	.984	.00000
St2 * St6	1,666	1	1,666	0.00	.989	.00000
St2 * St7	56,852	1	56,852	0.01	.937	.00003
St3 * St4	7,460,996,926	1	7,460,996,926	810.50	.000	.78121
St3 * St5	2,088,347,190	1	2,088,347,190	226.86	.000	.49985
St3 * St6	2,419	1	2,419	0.00	.987	.00000
St3 * St7	7,428	1	7,428	0.00	.977	.00000
St4 * St5	2,086,142,822	1	2,086,142,822	226.62	.000	.49958
St4 * St6	3,371	1	3,371	0.00	.985	.00000
St4 * St7	8,292	1	8,292	0.00	.976	.00000
St5 * St6	673	1	673	0.00	.993	.00000
St5 * St7	14,325	1	14,325	0.00	.969	.00001
St6 * St7	50,092	1	50,092	0.01	.941	.00002
Error	2,089,628,845	227	9,205,413			
Total	237,120,014,259	256				
Corrected Total	49,441,583,060	255				

ตารางผนวกที่ ก68 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 3, 4 และ 5* เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	38,037,712,747	28	1,358,489,741	82.55	.000	.91057
Intercept	150,092,900,433	1	150,092,900,433	9,120.02	.000	.97571
St1	1,397	1	1,397	0.00	.993	.00000
St2	20	1	20	0.00	.999	.00000
St3	16,669,392,100	1	16,669,392,100	1,012.87	.000	.81692
St4	4,154,173,096	1	4,154,173,096	252.42	.000	.52651
St5	4,659,854,235	1	4,659,854,235	283.14	.000	.55503
St6	244	1	244	0.00	.997	.00000
St7	22,052	1	22,052	0.00	.971	.00001
St1 * St2	57,900	1	57,900	0.00	.953	.00002
St1 * St3	6	1	6	0.00	1.000	.00000
St1 * St4	138	1	138	0.00	.998	.00000
St1 * St5	431	1	431	0.00	.996	.00000
St1 * St6	2,003	1	2,003	0.00	.991	.00000
St1 * St7	103	1	103	0.00	.998	.00000
St2 * St3	2	1	2	0.00	1.000	.00000
St2 * St4	558	1	558	0.00	.995	.00000
St2 * St5	2,769	1	2,769	0.00	.990	.00000
St2 * St6	6,910	1	6,910	0.00	.984	.00000
St2 * St7	76,868	1	76,868	0.00	.946	.00002
St3 * St4	4,152,368,611	1	4,152,368,611	252.31	.000	.52640
St3 * St5	4,663,370,449	1	4,663,370,449	283.36	.000	.55521
St3 * St6	644	1	644	0.00	.995	.00000
St3 * St7	10,712	1	10,712	0.00	.980	.00000
St4 * St5	3,738,313,593	1	3,738,313,593	227.15	.000	.50016
St4 * St6	46	1	46	0.00	.999	.00000
St4 * St7	12,516	1	12,516	0.00	.978	.00000
St5 * St6	163	1	163	0.00	.997	.00000
St5 * St7	13,543	1	13,543	0.00	.977	.00000
St6 * St7	31,640	1	31,640	0.00	.965	.00001
Error	3,735,855,372	227	16,457,513			
Total	191,866,468,552	256				
Corrected Total	41,773,568,119	255				



ภาพผนวกที่ ก19 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 4 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 3, 4 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 3, 4 และ 5* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 12

2.1.6. 8 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก69 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 6 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	230,547,939,540	36	6,404,109,432	189,848.41	.000	.99993
Intercept	746,861,135,951	1	746,861,135,951	22,140,533.83	.000	.99998
St1	6,955	1	6,955	0.21	.650	.00043
St2	21,077	1	21,077	0.62	.430	.00131
St3	6,140	1	6,140	0.18	.670	.00038
St4	308	1	308	0.01	.924	.00002
St5	10,503	1	10,503	0.31	.577	.00066
St6	230,547,024,200	1	230,547,024,200	6,834,515.74	.000	.99993
St7	76,416	1	76,416	2.27	.133	.00475
St8	9,756	1	9,756	0.29	.591	.00061
St1 * St2	3,347	1	3,347	0.10	.753	.00021
St1 * St3	14,738	1	14,738	0.44	.509	.00092
St1 * St4	43,568	1	43,568	1.29	.256	.00271
St1 * St5	42,577	1	42,577	1.26	.262	.00265
St1 * St6	1,949	1	1,949	0.06	.810	.00012
St1 * St7	50,027	1	50,027	1.48	.224	.00311
St1 * St8	4,590	1	4,590	0.14	.712	.00029
St2 * St3	43,901	1	43,901	1.30	.255	.00273
St2 * St4	433	1	433	0.01	.910	.00003
St2 * St5	1,259	1	1,259	0.04	.847	.00008
St2 * St6	27,334	1	27,334	0.81	.368	.00170
St2 * St7	94,097	1	94,097	2.79	.096	.00584
St2 * St8	70,477	1	70,477	2.09	.149	.00438
St3 * St4	90	1	90	0.00	.959	.00001
St3 * St5	13,830	1	13,830	0.41	.522	.00086
St3 * St6	5,441	1	5,441	0.16	.688	.00034
St3 * St7	1	1	1	0.00	.995	.00000
St3 * St8	120,387	1	120,387	3.57	.059	.00746

ตารางผนวกที่ ก69 (ต่อ)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
St4 * St5	1,664	1	1,664	0.05	.824	.00010
St4 * St6	349	1	349	0.01	.919	.00002
St4 * St7	27,305	1	27,305	0.81	.369	.00170
St4 * St8	15,280	1	15,280	0.45	.501	.00095
St5 * St6	3,823	1	3,823	0.11	.737	.00024
St5 * St7	2,428	1	2,428	0.07	.789	.00015
St5 * St8	96,004	1	96,004	2.85	.092	.00596
St6 * St7	61,228	1	61,228	1.82	.179	.00381
St6 * St8	12,080	1	12,080	0.36	.550	.00075
St7 * St8	25,978	1	25,978	0.77	.381	.00162
Error	16,023,057	475	33,733			
Total	977,425,098,549	512				
Corrected Total	230,563,962,598	511				

ตารางผนวกที่ ก70 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 1 และ 5 เป็นสถานีคอขวด

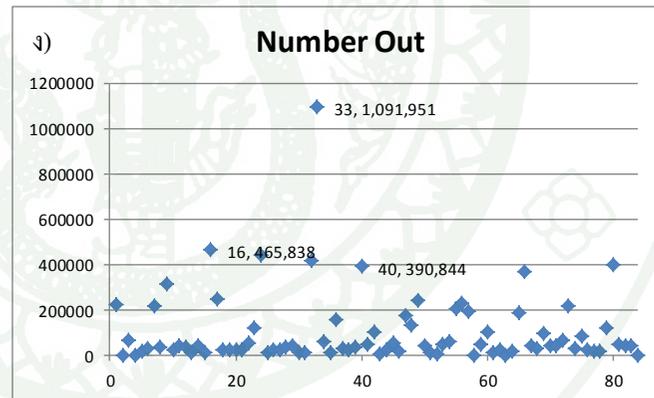
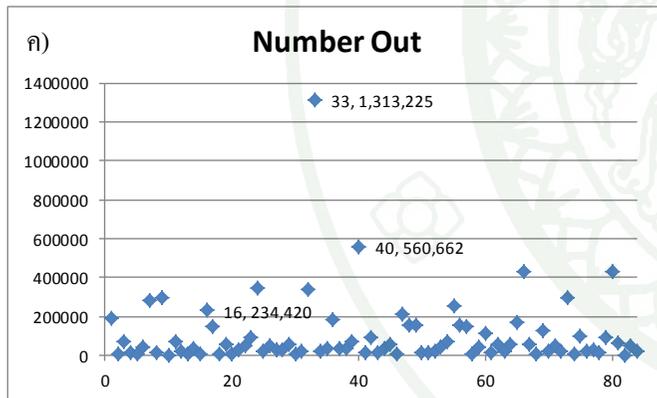
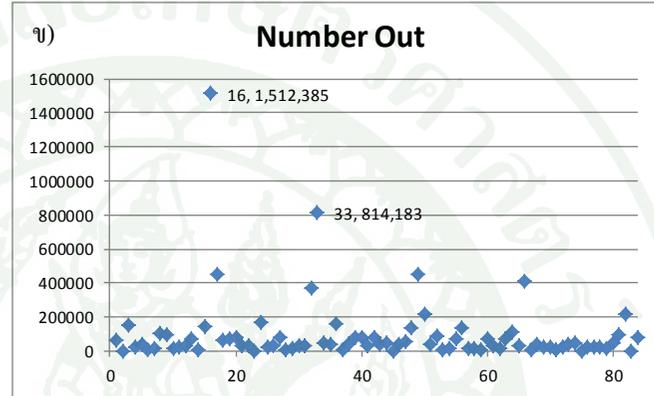
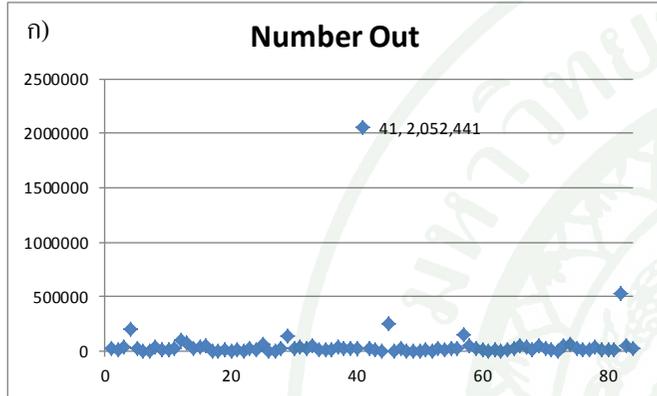
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	156,021,636,089	36	4,333,934,336	243,557.55	.000	.99995
Intercept	458,576,089,750	1	458,576,089,750	25,770,964.96	.000	.99998
St1	86,288,342,176	1	86,288,342,176	4,849,214.54	.000	.99990
St2	32,768	1	32,768	1.84	.175	.00386
St3	42,086	1	42,086	2.37	.125	.00495
St4	102,605	1	102,605	5.77	.017	.01199
St5	34,885,795,242	1	34,885,795,242	1,960,504.76	.000	.99976
St6	22,287	1	22,287	1.25	.264	.00263
St7	13,305	1	13,305	0.75	.388	.00157
St8	3,634	1	3,634	0.20	.652	.00043
St1 * St2	31,532	1	31,532	1.77	.184	.00372
St1 * St3	37,060	1	37,060	2.08	.150	.00437
St1 * St4	101,983	1	101,983	5.73	.017	.01192
St1 * St5	34,846,548,015	1	34,846,548,015	1,958,299.15	.000	.99976
St1 * St6	26,508	1	26,508	1.49	.223	.00313
St1 * St7	7,938	1	7,938	0.45	.505	.00094
St1 * St8	2,565	1	2,565	0.14	.704	.00030
St2 * St3	12,364	1	12,364	0.69	.405	.00146
St2 * St4	898	1	898	0.05	.822	.00011
St2 * St5	31,188	1	31,188	1.75	.186	.00368
St2 * St6	2,813	1	2,813	0.16	.691	.00033
St2 * St7	20,050	1	20,050	1.13	.289	.00237
St2 * St8	32,672	1	32,672	1.84	.176	.00385
St3 * St4	70,688	1	70,688	3.97	.047	.00829
St3 * St5	31,910	1	31,910	1.79	.181	.00376
St3 * St6	2,974	1	2,974	0.17	.683	.00035
St3 * St7	34,289	1	34,289	1.93	.166	.00404
St3 * St8	40,470	1	40,470	2.27	.132	.00477
St4 * St5	78,111	1	78,111	4.39	.037	.00916
St4 * St6	13,986	1	13,986	0.79	.376	.00165
St4 * St7	968	1	968	0.05	.816	.00011
St4 * St8	1,411	1	1,411	0.08	.778	.00017
St5 * St6	38,192	1	38,192	2.15	.144	.00450
St5 * St7	8,630	1	8,630	0.48	.487	.00102
St5 * St8	3,023	1	3,023	0.17	.680	.00036
St6 * St7	73,010	1	73,010	4.10	.043	.00856
St6 * St8	16,021	1	16,021	0.90	.343	.00189
St7 * St8	12,720	1	12,720	0.71	.398	.00150
Error	8,452,289	475	17,794			
Total	614,606,178,128	512				
Corrected Total	156,030,088,378	511				

ตารางผนวกที่ ก71 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 3, 1 และ 6 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	94,697,666,882	36	2,630,490,747	299.61	.000	.95782
Intercept	375,312,946,139	1	375,312,946,139	42,747.35	.000	.98901
St1	14,942,374,997	1	14,942,374,997	1,701.91	.000	.78180
St2	1,509	1	1,509	0.00	.990	.00000
St3	52,295,255,523	1	52,295,255,523	5,956.32	.000	.92614
St4	793	1	793	0.00	.992	.00000
St5	38,694	1	38,694	0.00	.947	.00001
St6	4,169,380,123	1	4,169,380,123	474.88	.000	.49994
St7	16,166	1	16,166	0.00	.966	.00000
St8	8,345	1	8,345	0.00	.975	.00000
St1 * St2	3,008	1	3,008	0.00	.985	.00000
St1 * St3	14,947,064,519	1	14,947,064,519	1,702.44	.000	.78185
St1 * St4	576	1	576	0.00	.994	.00000
St1 * St5	47,220	1	47,220	0.01	.942	.00001
St1 * St6	4,173,958,634	1	4,173,958,634	475.41	.000	.50021
St1 * St7	21,671	1	21,671	0.00	.960	.00001
St1 * St8	10,233	1	10,233	0.00	.973	.00000
St2 * St3	10	1	10	0.00	.999	.00000
St2 * St4	6,057	1	6,057	0.00	.979	.00000
St2 * St5	584	1	584	0.00	.993	.00000
St2 * St6	10,777	1	10,777	0.00	.972	.00000
St2 * St7	3,834	1	3,834	0.00	.983	.00000
St2 * St8	2,642	1	2,642	0.00	.986	.00000
St3 * St4	1,934	1	1,934	0.00	.988	.00000
St3 * St5	27,159	1	27,159	0.00	.956	.00001
St3 * St6	4,169,323,050	1	4,169,323,050	474.88	.000	.49994
St3 * St7	8,970	1	8,970	0.00	.975	.00000
St3 * St8	6,648	1	6,648	0.00	.978	.00000
St4 * St5	284	1	284	0.00	.995	.00000
St4 * St6	982	1	982	0.00	.992	.00000
St4 * St7	255	1	255	0.00	.996	.00000
St4 * St8	4,330	1	4,330	0.00	.982	.00000
St5 * St6	28,159	1	28,159	0.00	.955	.00001
St5 * St7	7,298	1	7,298	0.00	.977	.00000
St5 * St8	34,240	1	34,240	0.00	.950	.00001
St6 * St7	8,507	1	8,507	0.00	.975	.00000
St6 * St8	8,720	1	8,720	0.00	.975	.00000
St7 * St8	433	1	433	0.00	.994	.00000
Error	4,170,401,888	475	8,779,793			
Total	474,181,014,909	512				
Corrected Total	98,868,068,770	511				

ตารางผนวกที่ ก72 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 3, 1 และ 6* เป็นสถานีคอขวด

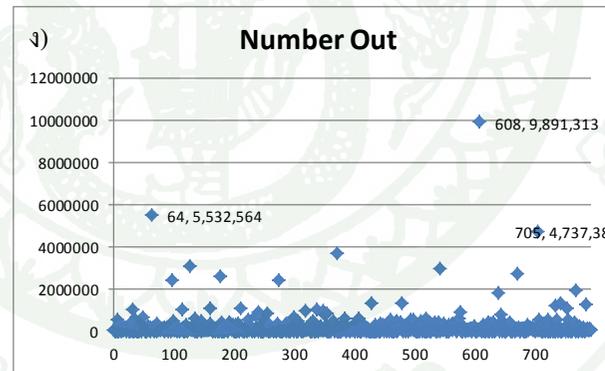
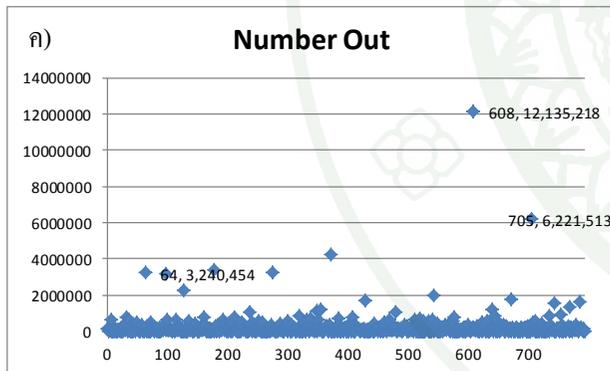
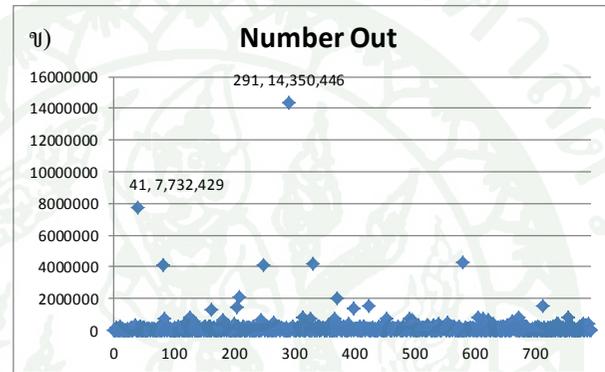
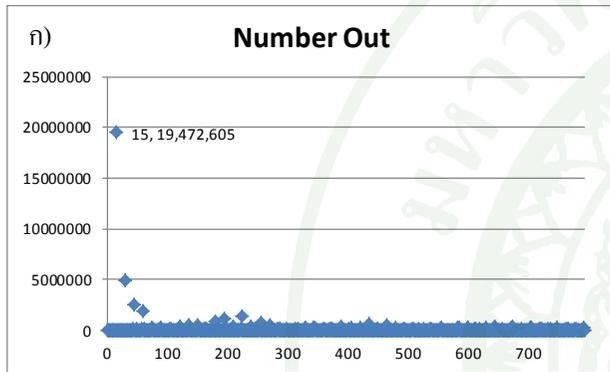
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	76,095,890,552	36	2,113,774,738	134.15	.000	.91045
Intercept	300,026,641,495	1	300,026,641,495	19,040.59	.000	.97566
St1	8,328,717,716	1	8,328,717,716	528.57	.000	.52669
St2	3,066	1	3,066	0.00	.989	.00000
St3	33,295,368,967	1	33,295,368,967	2,113.02	.000	.81646
St4	1,210	1	1,210	0.00	.993	.00000
St5	49,122	1	49,122	0.00	.955	.00001
St6	9,334,382,280	1	9,334,382,280	592.39	.000	.55499
St7	31,579	1	31,579	0.00	.964	.00000
St8	9,376	1	9,376	0.00	.981	.00000
St1 * St2	486	1	486	0.00	.996	.00000
St1 * St3	8,321,491,717	1	8,321,491,717	528.11	.000	.52647
St1 * St4	349	1	349	0.00	.996	.00000
St1 * St5	48,458	1	48,458	0.00	.956	.00001
St1 * St6	7,479,294,733	1	7,479,294,733	474.66	.000	.49982
St1 * St7	28,905	1	28,905	0.00	.966	.00000
St1 * St8	11,486	1	11,486	0.00	.978	.00000
St2 * St3	6,167	1	6,167	0.00	.984	.00000
St2 * St4	366	1	366	0.00	.996	.00000
St2 * St5	10,467	1	10,467	0.00	.979	.00000
St2 * St6	2,998	1	2,998	0.00	.989	.00000
St2 * St7	4,101	1	4,101	0.00	.987	.00000
St2 * St8	4,249	1	4,249	0.00	.987	.00000
St3 * St4	758	1	758	0.00	.994	.00000
St3 * St5	64,328	1	64,328	0.00	.949	.00001
St3 * St6	9,336,192,764	1	9,336,192,764	592.50	.000	.55504
St3 * St7	28,575	1	28,575	0.00	.966	.00000
St3 * St8	2,516	1	2,516	0.00	.990	.00000
St4 * St5	1,179	1	1,179	0.00	.993	.00000
St4 * St6	7,993	1	7,993	0.00	.982	.00000
St4 * St7	5,311	1	5,311	0.00	.985	.00000
St4 * St8	21	1	21	0.00	.999	.00000
St5 * St6	24,214	1	24,214	0.00	.969	.00000
St5 * St7	1,090	1	1,090	0.00	.993	.00000
St5 * St8	76,270	1	76,270	0.00	.945	.00001
St6 * St7	7,465	1	7,465	0.00	.983	.00000
St6 * St8	9,879	1	9,879	0.00	.980	.00000
St7 * St8	390	1	390	0.00	.996	.00000
Error	7,484,675,426	475	15,757,211			
Total	383,607,207,473	512				
Corrected Total	83,580,565,978	511				



ภาพผนวกที่ ก20 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 6 เป็นสถานีคอกวด ข) สถานีที่ 1 และ 5 เป็นสถานีคอกวด ค) สถานีที่ 3, 1 และ 6 เป็นสถานีคอกวด ง) สถานีที่ 3, 1 และ 6* เป็นสถานีคอกวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 12

2.1.7. 20 ปีจจัย



ภาพผนวกที่ ก21 การทดลอง AFDE กับจำนวนปีจจัย 20 ปีจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) สถานีที่ 16 เป็นสถานีคอขวด ข) สถานีที่ 2 และ 6 เป็นสถานีคอขวด ค) สถานีที่ 20, 10 และ 5 เป็นสถานีคอขวด ง) สถานีที่ 20, 10 และ 5* เป็นสถานีคอขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 12

2.2. ระบบการผลิตแบบตามงาน

2.2.1. 3 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก73 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 1 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	7,225,329,174	6	1,204,221,529	62,900.78	.000	.99998
Intercept	23,310,877,041	1	23,310,877,041	1,217,610.22	.000	.99999
St1	7,225,000,000	1	7,225,000,000	377,387.51	.000	.99998
St2	52,441	1	52,441	2.74	.132	.23334
St3	19,600	1	19,600	1.02	.338	.10213
St1 * St2	5,776	1	5,776	0.30	.596	.03244
St1 * St3	188,356	1	188,356	9.84	.012	.52226
St2 * St3	63,001	1	63,001	3.29	.103	.26774
Error	172,303	9	19,145			
Total	30,536,378,518	16				
Corrected Total	7,225,501,477	15				

ตารางผนวกที่ ก74 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 1 และ 3 เป็นสถานีคอขวด

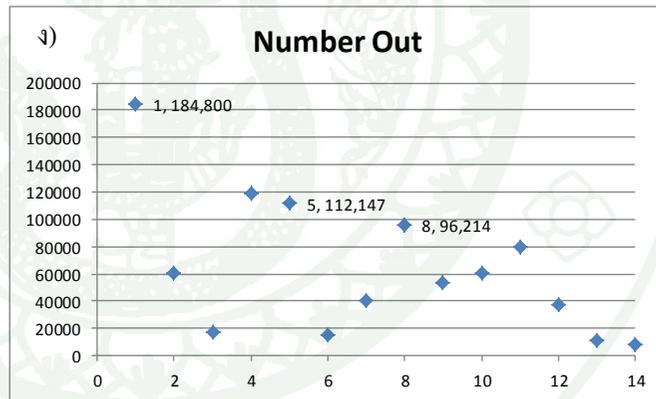
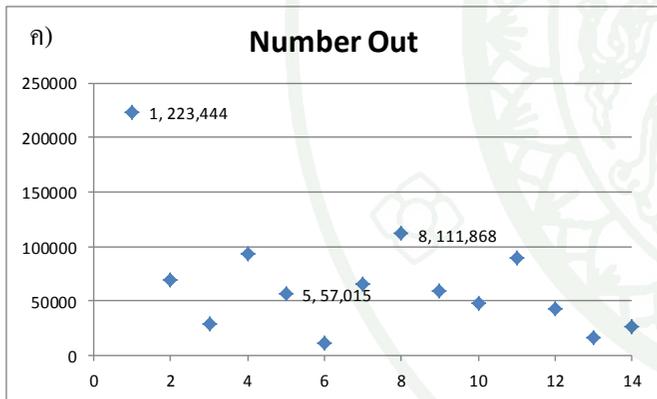
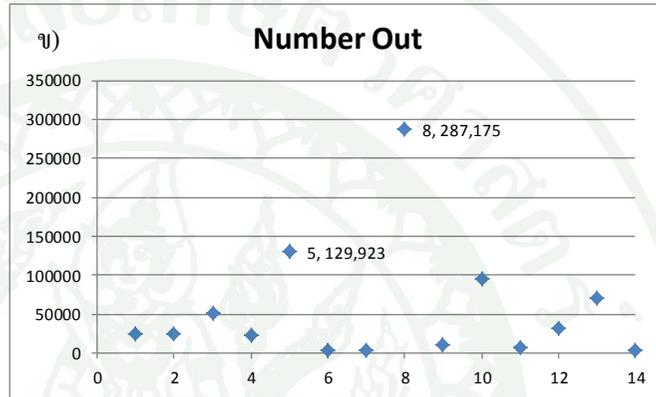
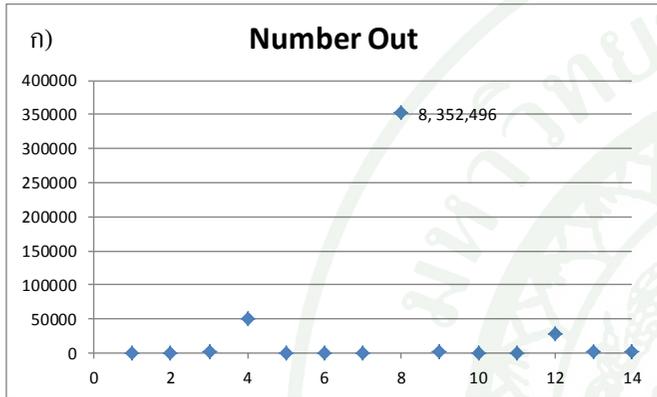
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	5,249,383,892	6	874,897,315	61,008.13	.000	.99998
Intercept	13,446,837,560	1	13,446,837,560	937,671.72	.000	.99999
St1	3,057,481,730	1	3,057,481,730	213,203.60	.000	.99996
St2	15,750	1	15,750	1.10	.322	.10876
St3	1,322,558,689	1	1,322,558,689	92,224.35	.000	.99990
St1 * St2	20,022	1	20,022	1.40	.268	.13430
St1 * St3	869,306,256	1	869,306,256	60,618.26	.000	.99985
St2 * St3	1,444	1	1,444	0.10	.758	.01106
Error	129,066	9	14,341			
Total	18,696,350,518	16				
Corrected Total	5,249,512,958	15				

ตารางผนวกที่ ก75 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	3,080,592,699	6	513,432,116	44.77	.000	.96758
Intercept	11,174,709,810	1	11,174,709,810	974.42	.000	.99085
St1	539,981,406	1	539,981,406	47.09	.000	.83953
St2	1,625,097,656	1	1,625,097,656	141.71	.000	.94028
St3	166,229,449	1	166,229,449	14.50	.004	.61694
St1 * St2	493,484,010	1	493,484,010	43.03	.000	.82703
St1 * St3	107,350,321	1	107,350,321	9.36	.014	.50983
St2 * St3	148,449,856	1	148,449,856	12.94	.006	.58988
Error	103,212,137	9	11,468,015			
Total	14,358,514,646	16				
Corrected Total	3,183,804,836	15				

ตารางผนวกที่ ก76 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 2, 1 และ 3* เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	2,757,541,955	6	459,590,326	30.90	.000	.95371
Intercept	8,337,881,344	1	8,337,881,344	560.67	.000	.98420
St1	348,774,300	1	348,774,300	23.45	.001	.72268
St2	1,069,715,142	1	1,069,715,142	71.93	.000	.88880
St3	578,931,721	1	578,931,721	38.93	.000	.81223
St1 * St2	327,501,409	1	327,501,409	22.02	.001	.70989
St1 * St3	156,012,590	1	156,012,590	10.49	.010	.53825
St2 * St3	276,606,792	1	276,606,792	18.60	.002	.67392
Error	133,840,701	9	14,871,189			
Total	11,229,264,000	16				
Corrected Total	2,891,382,656	15				



ภาพผนวกที่ ก22 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 1 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 1 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 2, 1 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 2, 1 และ 3* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 12

2.2.2. 4 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก77 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	14,516,870,101	10	1,451,687,010	42,000.82	.000	.99995
Intercept	46,760,489,672	1	46,760,489,672	1,352,894.34	.000	.99998
St1	1,711	1	1,711	0.05	.826	.00235
St2	41,328	1	41,328	1.20	.287	.05387
St3	14,516,631,636	1	14,516,631,636	420,001.35	.000	.99995
St4	3,200	1	3,200	0.09	.764	.00439
St1 * St2	16,928	1	16,928	0.49	.492	.02279
St1 * St3	72,581	1	72,581	2.10	.162	.09091
St1 * St4	39,621	1	39,621	1.15	.296	.05176
St2 * St3	265	1	265	0.01	.931	.00036
St2 * St4	62,128	1	62,128	1.80	.194	.07885
St3 * St4	703	1	703	0.02	.888	.00097
Error	725,829	21	34,563			
Total	61,278,085,602	32				
Corrected Total	14,517,595,930	31				

ตารางผนวกที่ ก78 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 1 และ 4 เป็นสถานีคอขวด

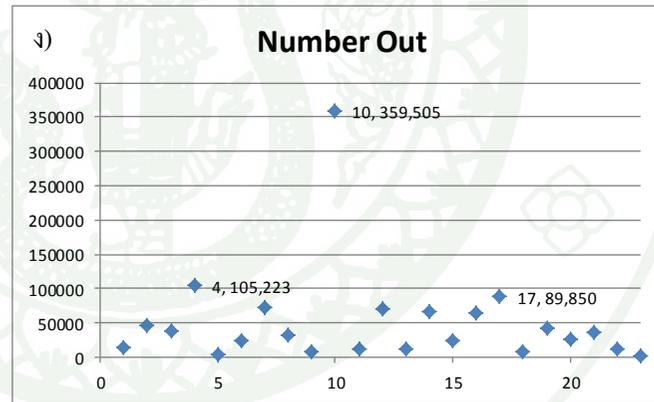
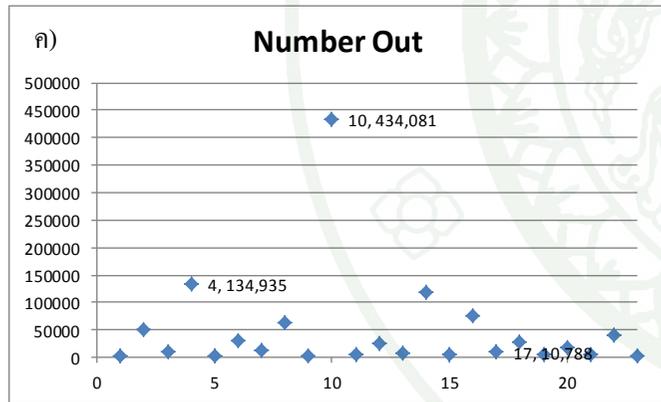
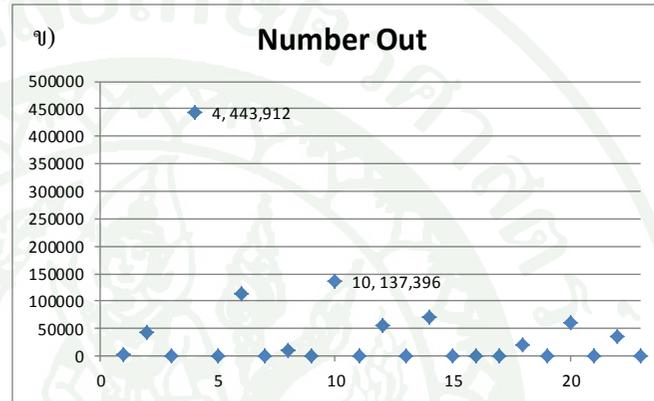
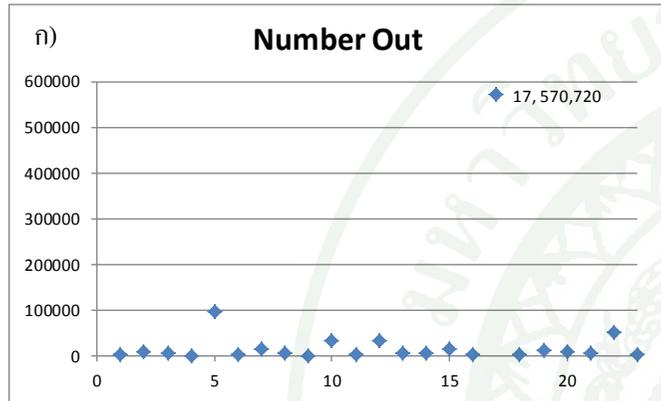
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	9,995,644,958	10	999,564,496	25,433.43	.000	.99992
Intercept	31,766,932,755	1	31,766,932,755	808,294.02	.000	.99997
St1	7,354,449,520	1	7,354,449,520	187,130.36	.000	.99989
St2	4,876	1	4,876	0.12	.728	.00587
St3	2,195	1	2,195	0.06	.815	.00265
St4	1,429,587,288	1	1,429,587,288	36,375.15	.000	.99942
St1 * St2	5,382	1	5,382	0.14	.715	.00648
St1 * St3	570	1	570	0.01	.905	.00069
St1 * St4	1,211,218,067	1	1,211,218,067	30,818.85	.000	.99932
St2 * St3	25,708	1	25,708	0.65	.428	.03021
St2 * St4	165,456	1	165,456	4.21	.053	.16700
St3 * St4	185,898	1	185,898	4.73	.041	.18383
Error	825,325	21	39,301			
Total	41,763,403,039	32				
Corrected Total	9,996,470,284	31				

ตารางผนวกที่ ก79 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 4, 1 และ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	8,318,408,113	10	831,840,811	446.26	.000	.99532
Intercept	29,788,743,613	1	29,788,743,613	15,980.80	.000	.99869
St1	1,020,774,336	1	1,020,774,336	547.62	.000	.96307
St2	2,628	1	2,628	0.00	.970	.00007
St3	37,294,566	1	37,294,566	20.01	.000	.48790
St4	6,371,229,403	1	6,371,229,403	3,417.98	.000	.99389
St1 * St2	19,602	1	19,602	0.01	.919	.00050
St1 * St3	38,544,200	1	38,544,200	20.68	.000	.49614
St1 * St4	812,448,050	1	812,448,050	435.86	.000	.95403
St2 * St3	91,165	1	91,165	0.05	.827	.00232
St2 * St4	37,265	1	37,265	0.02	.889	.00095
St3 * St4	37,966,898	1	37,966,898	20.37	.000	.49236
Error	39,144,689	21	1,864,033			
Total	38,146,296,414	32				
Corrected Total	8,357,552,802	31				

ตารางผนวกที่ ก80 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 4, 1 และ 3* เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	5,885,888,491	10	588,588,849	93.27	.000	.97798
Intercept	22,716,088,239	1	22,716,088,239	3,599.52	.000	.99420
St1	514,763,720	1	514,763,720	81.57	.000	.79526
St2	1,907	1	1,907	0.00	.986	.00001
St3	489,931,079	1	489,931,079	77.63	.000	.78709
St4	3,992,671,820	1	3,992,671,820	632.67	.000	.96787
St1 * St2	14,921	1	14,921	0.00	.962	.00011
St1 * St3	164,815,629	1	164,815,629	26.12	.000	.55429
St1 * St4	358,470,394	1	358,470,394	56.80	.000	.73008
St2 * St3	1,445	1	1,445	0.00	.988	.00001
St2 * St4	8,483	1	8,483	0.00	.971	.00006
St3 * St4	365,209,095	1	365,209,095	57.87	.000	.73374
Error	132,528,011	21	6,310,858			
Total	28,734,504,741	32				
Corrected Total	6,018,416,502	31				



ภาพผนวกที่ ก23 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด ข) สถานีที่ 1 และ 4 เป็นสถานีคอขวด ค) สถานีที่ 4, 1 และ 3 เป็นสถานีคอขวด ง) สถานีที่ 4, 1 และ 3* เป็นสถานีคอขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 12

2.2.3. 5 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก81 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	29,001,957,395	15	1,933,463,826	54,767.79	.000	.99994
Intercept	93,219,081,124	1	93,219,081,124	2,640,547.44	.000	.99998
St1	95	1	95	0.00	.959	.00006
St2	6,241	1	6,241	0.18	.676	.00367
St3	29,001,579,102	1	29,001,579,102	821,506.12	.000	.99994
St4	107,584	1	107,584	3.05	.087	.05970
St5	60	1	60	0.00	.967	.00004
St1 * St2	19,391	1	19,391	0.55	.462	.01131
St1 * St3	23,639	1	23,639	0.67	.417	.01376
St1 * St4	17,490	1	17,490	0.50	.485	.01022
St1 * St5	22,201	1	22,201	0.63	.432	.01293
St2 * St3	21,462	1	21,462	0.61	.439	.01251
St2 * St4	1,089	1	1,089	0.03	.861	.00064
St2 * St5	131,588	1	131,588	3.73	.059	.07206
St3 * St4	13,456	1	13,456	0.38	.540	.00788
St3 * St5	14	1	14	0.00	.984	.00001
St4 * St5	13,983	1	13,983	0.40	.532	.00818
Error	1,694,541	48	35,303			
Total	122,222,733,060	64				
Corrected Total	29,003,651,936	63				

ตารางผนวกที่ ก82 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ
กำหนดสถานีที่ 1 และ 5 เป็นสถานีคอขวด

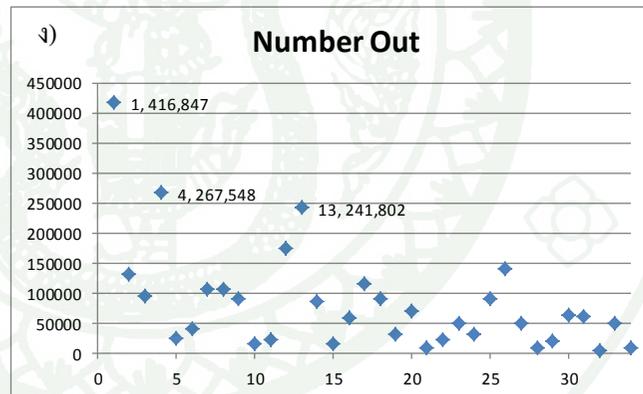
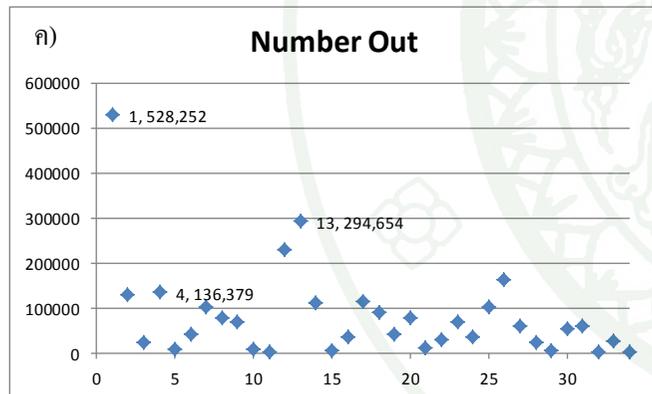
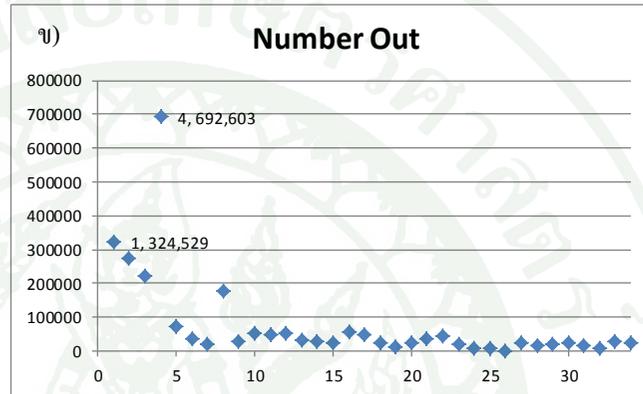
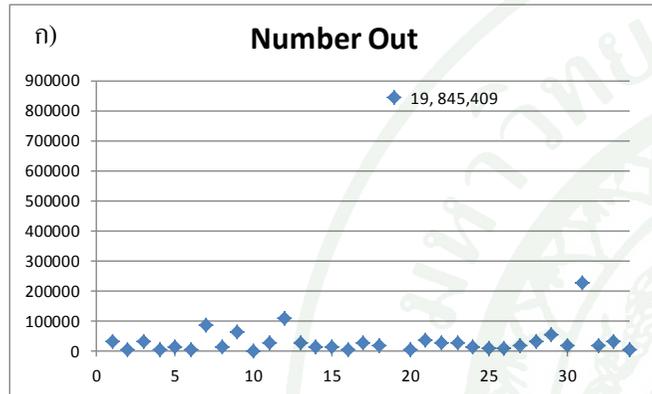
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	21,133,616,943	15	1,408,907,796	53,197.40	.000	.99994
Intercept	54,023,704,900	1	54,023,704,900	2,039,821.47	.000	.99998
St1	12,319,446,049	1	12,319,446,049	465,156.37	.000	.99990
St2	10,455	1	10,455	0.39	.533	.00816
St3	48,620	1	48,620	1.84	.182	.03684
St4	69,169	1	69,169	2.61	.113	.05160
St5	5,319,186,023	1	5,319,186,023	200,841.28	.000	.99976
St1 * St2	56,051	1	56,051	2.12	.152	.04223
St1 * St3	14,762	1	14,762	0.56	.459	.01148
St1 * St4	51,984	1	51,984	1.96	.168	.03929
St1 * St5	3,494,612,783	1	3,494,612,783	131,949.23	.000	.99964
St2 * St3	13,398	1	13,398	0.51	.480	.01043
St2 * St4	1,008	1	1,008	0.04	.846	.00079
St2 * St5	15,500	1	15,500	0.59	.448	.01205
St3 * St4	4,096	1	4,096	0.15	.696	.00321
St3 * St5	27,143	1	27,143	1.02	.316	.02090
St4 * St5	59,903	1	59,903	2.26	.139	.04500
Error	1,271,257	48	26,485			
Total	75,158,593,100	64				
Corrected Total	21,134,888,200	63				

ตารางผนวกที่ ก83 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 5, 4 และ 1 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	12,288,389,881	15	819,225,992	98.93	.000	.96867
Intercept	44,944,424,001	1	44,944,424,001	5,427.35	.000	.99123
St1	672,494,556	1	672,494,556	81.21	.000	.62851
St2	18,906	1	18,906	0.00	.962	.00005
St3	169	1	169	0.00	.996	.00000
St4	2,141,236,802	1	2,141,236,802	258.57	.000	.84343
St5	6,419,775,252	1	6,419,775,252	775.23	.000	.94169
St1 * St2	24,964	1	24,964	0.00	.956	.00006
St1 * St3	49,729	1	49,729	0.01	.939	.00013
St1 * St4	424,627,842	1	424,627,842	51.28	.000	.51650
St1 * St5	609,398,596	1	609,398,596	73.59	.000	.60523
St2 * St3	240	1	240	0.00	.996	.00000
St2 * St4	6,084	1	6,084	0.00	.978	.00002
St2 * St5	10,816	1	10,816	0.00	.971	.00003
St3 * St4	12,769	1	12,769	0.00	.969	.00003
St3 * St5	50,850	1	50,850	0.01	.938	.00013
St4 * St5	2,020,682,304	1	2,020,682,304	244.01	.000	.83562
Error	397,493,016	48	8,281,105			
Total	57,630,306,898	64				
Corrected Total	12,685,882,897	63				

ตารางผนวกที่ ก84 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 5, 4 และ 1* เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	11,212,337,989	15	747,489,199	73.13	.000	.95807
Intercept	33,161,866,816	1	33,161,866,816	3,244.15	.000	.98542
St1	2,198,930,003	1	2,198,930,003	215.12	.000	.81757
St2	1,640	1	1,640	0.00	.990	.00000
St3	33,033	1	33,033	0.00	.955	.00007
St4	1,479,883,196	1	1,479,883,196	144.77	.000	.75100
St5	4,470,426,752	1	4,470,426,752	437.33	.000	.90110
St1 * St2	798	1	798	0.00	.993	.00000
St1 * St3	9,900	1	9,900	0.00	.975	.00002
St1 * St4	664,067,130	1	664,067,130	64.96	.000	.57509
St1 * St5	1,169,571,601	1	1,169,571,601	114.42	.000	.70446
St2 * St3	8,883	1	8,883	0.00	.977	.00002
St2 * St4	82,800	1	82,800	0.01	.929	.00017
St2 * St5	57,961	1	57,961	0.01	.940	.00012
St3 * St4	2,070	1	2,070	0.00	.989	.00000
St3 * St5	23,562	1	23,562	0.00	.962	.00005
St4 * St5	1,229,238,660	1	1,229,238,660	120.25	.000	.71472
Error	490,657,877	48	10,222,039			
Total	44,864,862,682	64				
Corrected Total	11,702,995,866	63				



ภาพผนวกที่ ก24 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 5 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 1 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 5, 4 และ 1 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 5, 4 และ 1* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 12

2.2.4. 6 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก85 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	57,855,912,602	21	2,755,043,457	101,499.07	.000	.99995
Intercept	186,228,696,638	1	186,228,696,638	6,860,886.07	.000	.99998
St1	44,439	1	44,439	1.64	.204	.01521
St2	33,250	1	33,250	1.22	.271	.01142
St3	57,855,220,683	1	57,855,220,683	2,131,454.95	.000	.99995
St4	24,503	1	24,503	0.90	.344	.00844
St5	484	1	484	0.02	.894	.00017
St6	8,928	1	8,928	0.33	.568	.00309
St1 * St2	105,398	1	105,398	3.88	.051	.03534
St1 * St3	35,678	1	35,678	1.31	.254	.01225
St1 * St4	4	1	4	0.00	.990	.00000
St1 * St5	41,436	1	41,436	1.53	.219	.01420
St1 * St6	19,975	1	19,975	0.74	.393	.00689
St2 * St3	64,216	1	64,216	2.37	.127	.02183
St2 * St4	12,305	1	12,305	0.45	.502	.00426
St2 * St5	11,916	1	11,916	0.44	.509	.00412
St2 * St6	12,383	1	12,383	0.46	.501	.00429
St3 * St4	19,875	1	19,875	0.73	.394	.00686
St3 * St5	3,210	1	3,210	0.12	.732	.00111
St3 * St6	82,875	1	82,875	3.05	.083	.02800
St4 * St5	48,089	1	48,089	1.77	.186	.01644
St4 * St6	19,726	1	19,726	0.73	.396	.00681
St5 * St6	103,228	1	103,228	3.80	.054	.03464
Error	2,877,215	106	27,144			
Total	244,087,486,455	128				
Corrected Total	57,858,789,817	127				

ตารางผนวกที่ ก86 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 1 และ 5 เป็นสถานีคอขวด

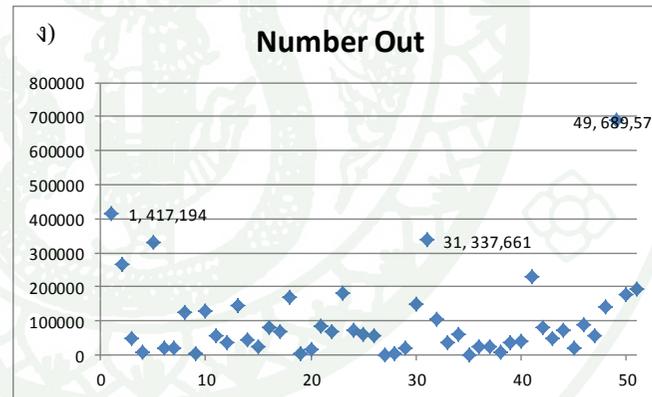
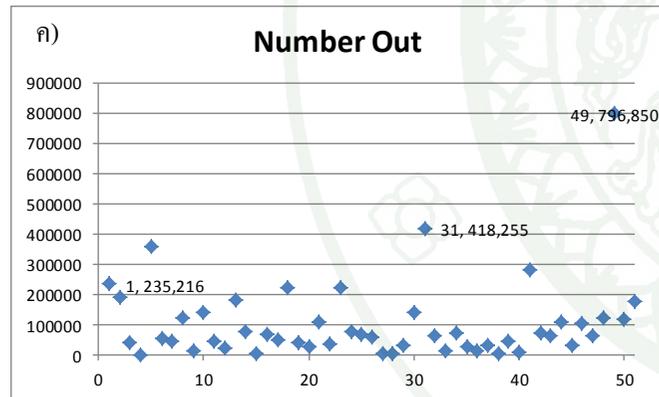
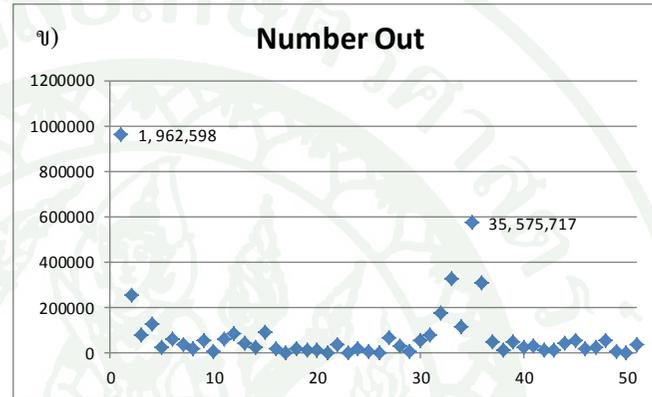
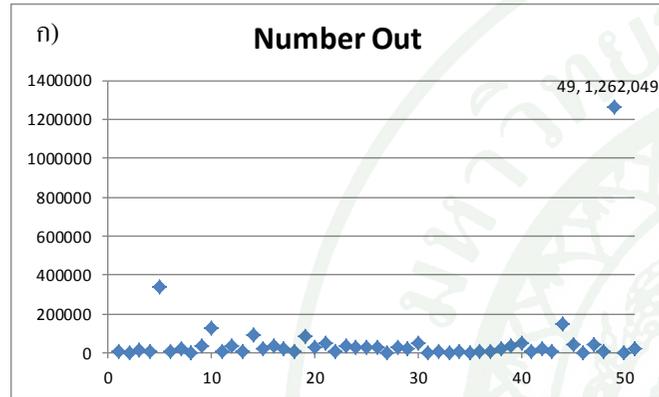
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	42,196,847,030	21	2,009,373,668	81,803.04	.000	.99994
Intercept	107,935,233,348	1	107,935,233,348	4,394,120.81	.000	.99998
St1	24,559,956,154	1	24,559,956,154	999,853.44	.000	.99989
St2	1,158	1	1,158	0.05	.829	.00044
St3	12,900	1	12,900	0.53	.470	.00493
St4	1,359	1	1,359	0.06	.815	.00052
St5	10,668,934,553	1	10,668,934,553	434,339.98	.000	.99976
St6	34,420	1	34,420	1.40	.239	.01305
St1 * St2	5,927	1	5,927	0.24	.624	.00227
St1 * St3	173,534	1	173,534	7.06	.009	.06248
St1 * St4	228	1	228	0.01	.923	.00009
St1 * St5	6,967,532,349	1	6,967,532,349	283,653.24	.000	.99963
St1 * St6	8,499	1	8,499	0.35	.558	.00325
St2 * St3	671	1	671	0.03	.869	.00026
St2 * St4	20,427	1	20,427	0.83	.364	.00778
St2 * St5	28,292	1	28,292	1.15	.286	.01075
St2 * St6	617	1	617	0.03	.874	.00024
St3 * St4	74,257	1	74,257	3.02	.085	.02773
St3 * St5	1,533	1	1,533	0.06	.803	.00059
St3 * St6	13,965	1	13,965	0.57	.453	.00533
St4 * St5	3,111	1	3,111	0.13	.723	.00119
St4 * St6	114	1	114	0.00	.946	.00004
St5 * St6	42,961	1	42,961	1.75	.189	.01623
Error	2,603,737	106	24,564			
Total	150,134,684,115	128				
Corrected Total	42,199,450,767	127				

ตารางผนวกที่ ก87 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 3, 6 และ 1 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	24,716,690,560	21	1,176,985,265	157.94	.000	.96903
Intercept	89,456,093,073	1	89,456,093,073	12,004.05	.000	.99125
St1	1,367,494,642	1	1,367,494,642	183.50	.000	.63386
St2	20,226	1	20,226	0.00	.959	.00003
St3	12,857,845,206	1	12,857,845,206	1,725.38	.000	.94212
St4	12,227	1	12,227	0.00	.968	.00002
St5	31	1	31	0.00	.998	.00000
St6	4,396,816,703	1	4,396,816,703	590.01	.000	.84770
St1 * St2	3,994	1	3,994	0.00	.982	.00001
St1 * St3	1,246,508,691	1	1,246,508,691	167.27	.000	.61210
St1 * St4	1,977	1	1,977	0.00	.987	.00000
St1 * St5	142	1	142	0.00	.997	.00000
St1 * St6	825,515,265	1	825,515,265	110.78	.000	.51101
St2 * St3	24	1	24	0.00	.999	.00000
St2 * St4	8,466	1	8,466	0.00	.973	.00001
St2 * St5	24,448	1	24,448	0.00	.954	.00003
St2 * St6	7,366	1	7,366	0.00	.975	.00001
St3 * St4	130	1	130	0.00	.997	.00000
St3 * St5	12,780	1	12,780	0.00	.967	.00002
St3 * St6	4,022,271,375	1	4,022,271,375	539.75	.000	.83585
St4 * St5	121,833	1	121,833	0.02	.899	.00015
St4 * St6	10,135	1	10,135	0.00	.971	.00001
St5 * St6	14,900	1	14,900	0.00	.964	.00002
Error	789,929,051	106	7,452,161			
Total	114,962,712,683	128				
Corrected Total	25,506,619,610	127				

ตารางผนวกที่ ก88 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 3, 6 และ 1* เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	21,583,267,481	21	1,027,774,642	83.24	.000	.94283
Intercept	68,808,443,028	1	68,808,443,028	5,573.07	.000	.98133
St1	4,261,906,650	1	4,261,906,650	345.19	.000	.76507
St2	7,565	1	7,565	0.00	.980	.00001
St3	9,252,726,604	1	9,252,726,604	749.42	.000	.87608
St4	4,418	1	4,418	0.00	.985	.00000
St5	34	1	34	0.00	.999	.00000
St6	2,403,827,119	1	2,403,827,119	194.70	.000	.64748
St1 * St2	4,950	1	4,950	0.00	.984	.00000
St1 * St3	1,959,270,452	1	1,959,270,452	158.69	.000	.59953
St1 * St4	8,911	1	8,911	0.00	.979	.00001
St1 * St5	56,532	1	56,532	0.00	.946	.00004
St1 * St6	1,406,793,185	1	1,406,793,185	113.94	.000	.51805
St2 * St3	10,622	1	10,622	0.00	.977	.00001
St2 * St4	6,962	1	6,962	0.00	.981	.00001
St2 * St5	27,907	1	27,907	0.00	.962	.00002
St2 * St6	19,454	1	19,454	0.00	.968	.00001
St3 * St4	11,063	1	11,063	0.00	.976	.00001
St3 * St5	20,301	1	20,301	0.00	.968	.00002
St3 * St6	2,298,420,000	1	2,298,420,000	186.16	.000	.63718
St4 * St5	112,220	1	112,220	0.01	.924	.00009
St4 * St6	13,325	1	13,325	0.00	.974	.00001
St5 * St6	19,208	1	19,208	0.00	.969	.00001
Error	1,308,738,833	106	12,346,593			
Total	91,700,449,342	128				
Corrected Total	22,892,006,314	127				



ภาพผนวกที่ ก25 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 1 และ 5 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 3, 6 และ 1 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 3, 6 และ 1* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 12

2.2.5. 7 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก89 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	115,585,911,622	28	4,128,068,272	107,164.82	.000	.99992
Intercept	372,795,572,258	1	372,795,572,258	9,677,788.31	.000	.99998
St1	10,946	1	10,946	0.28	.595	.00125
St2	66,500	1	66,500	1.73	.190	.00755
St3	115,584,955,490	1	115,584,955,490	3,000,590.18	.000	.99992
St4	683	1	683	0.02	.894	.00008
St5	13,225	1	13,225	0.34	.559	.00151
St6	63,693	1	63,693	1.65	.200	.00723
St7	44,785	1	44,785	1.16	.282	.00510
St1 * St2	172	1	172	0.00	.947	.00002
St1 * St3	1,860	1	1,860	0.05	.826	.00021
St1 * St4	69,103	1	69,103	1.79	.182	.00784
St1 * St5	3,221	1	3,221	0.08	.773	.00037
St1 * St6	73,509	1	73,509	1.91	.169	.00834
St1 * St7	0	1	0	0.00	.997	.00000
St2 * St3	834	1	834	0.02	.883	.00010
St2 * St4	45,422	1	45,422	1.18	.279	.00517
St2 * St5	85,410	1	85,410	2.22	.138	.00967
St2 * St6	11,691	1	11,691	0.30	.582	.00134
St2 * St7	36,243	1	36,243	0.94	.333	.00413
St3 * St4	153,174	1	153,174	3.98	.047	.01722
St3 * St5	11,556	1	11,556	0.30	.584	.00132
St3 * St6	73,644	1	73,644	1.91	.168	.00835
St3 * St7	13,025	1	13,025	0.34	.561	.00149
St4 * St5	29,929	1	29,929	0.78	.379	.00341
St4 * St6	11,637	1	11,637	0.30	.583	.00133
St4 * St7	30,494	1	30,494	0.79	.375	.00348
St5 * St6	14,102	1	14,102	0.37	.546	.00161
St5 * St7	85,556	1	85,556	2.22	.138	.00969
St6 * St7	5,719	1	5,719	0.15	.700	.00065
Error	8,744,208	227	38,521			
Total	488,390,228,088	256				
Corrected Total	115,594,655,830	255				

ตารางผนวกที่ ก90 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 3 และ 7 เป็นสถานีคอขวด

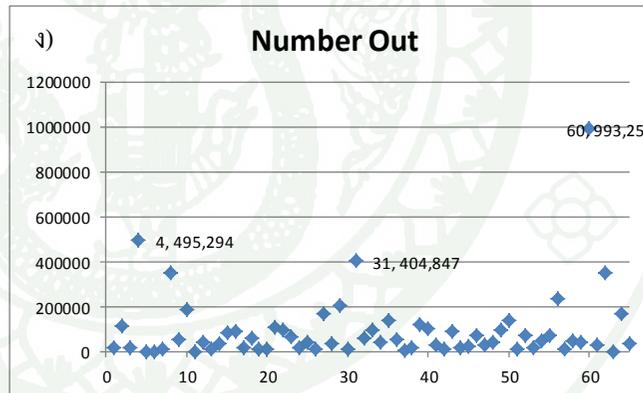
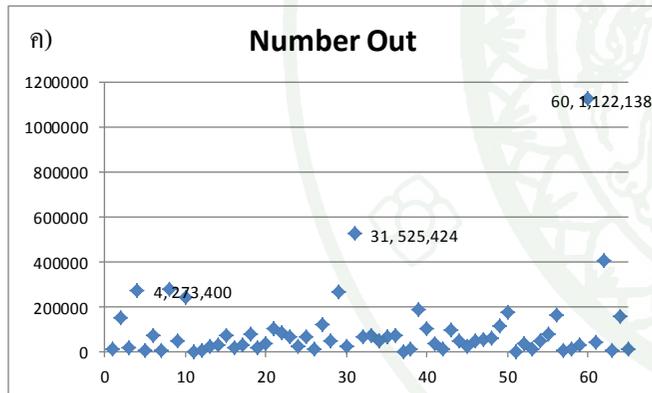
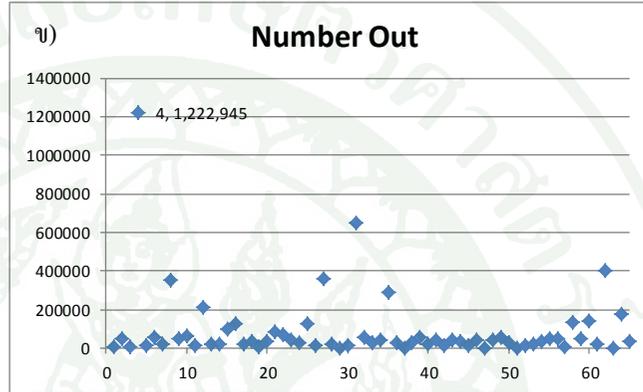
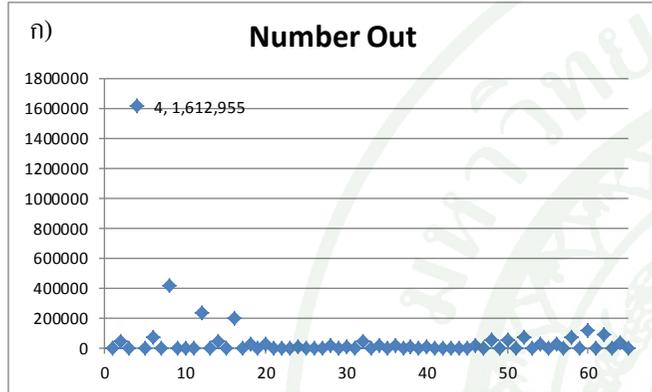
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	79,317,153,127	28	2,832,755,469	101,817.50	.000	.99992
Intercept	226,512,042,014	1	226,512,042,014	8,141,503.98	.000	.99997
St1	5,939	1	5,939	0.21	.645	.00094
St2	35,274	1	35,274	1.27	.261	.00555
St3	44,397,044,774	1	44,397,044,774	1,595,759.38	.000	.99986
St4	262	1	262	0.01	.923	.00004
St5	86,179	1	86,179	3.10	.080	.01346
St6	37,321	1	37,321	1.34	.248	.00587
St7	18,121,820,825	1	18,121,820,825	651,351.14	.000	.99965
St1 * St2	30,647	1	30,647	1.10	.295	.00483
St1 * St3	163,166	1	163,166	5.86	.016	.02518
St1 * St4	4,464	1	4,464	0.16	.689	.00071
St1 * St5	16,113	1	16,113	0.58	.447	.00254
St1 * St6	10,622	1	10,622	0.38	.537	.00168
St1 * St7	2,896	1	2,896	0.10	.747	.00046
St2 * St3	19,130	1	19,130	0.69	.408	.00302
St2 * St4	174	1	174	0.01	.937	.00003
St2 * St5	22,220	1	22,220	0.80	.372	.00351
St2 * St6	6,390	1	6,390	0.23	.632	.00101
St2 * St7	1,748	1	1,748	0.06	.802	.00028
St3 * St4	10,264	1	10,264	0.37	.544	.00162
St3 * St5	11,624	1	11,624	0.42	.519	.00184
St3 * St6	26,062	1	26,062	0.94	.334	.00411
St3 * St7	16,797,601,831	1	16,797,601,831	603,754.84	.000	.99962
St4 * St5	36,936	1	36,936	1.33	.250	.00581
St4 * St6	46,575	1	46,575	1.67	.197	.00732
St4 * St7	51,899	1	51,899	1.87	.173	.00815
St5 * St6	1,605	1	1,605	0.06	.810	.00025
St5 * St7	12,953	1	12,953	0.47	.496	.00205
St6 * St7	45,236	1	45,236	1.63	.204	.00711
Error	6,315,569	227	27,822			
Total	305,835,510,711	256				
Corrected Total	79,323,468,697	255				

ตารางผนวกที่ ก91 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 4, 7 และ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	53,565,023,795	28	1,913,036,564	276.95	.000	.97156
Intercept	169,995,413,025	1	169,995,413,025	24,609.81	.000	.99086
St1	135	1	135	0.00	.996	.00000
St2	3,675	1	3,675	0.00	.982	.00000
St3	2,714,175,555	1	2,714,175,555	392.92	.000	.63383
St4	29,384,730,690	1	29,384,730,690	4,253.95	.000	.94934
St5	9,264	1	9,264	0.00	.971	.00001
St6	28,519	1	28,519	0.00	.949	.00002
St7	11,040,020,112	1	11,040,020,112	1,598.24	.000	.87563
St1 * St2	1,580	1	1,580	0.00	.988	.00000
St1 * St3	7	1	7	0.00	.999	.00000
St1 * St4	25,480	1	25,480	0.00	.952	.00002
St1 * St5	2,796	1	2,796	0.00	.984	.00000
St1 * St6	9,555	1	9,555	0.00	.970	.00001
St1 * St7	50,569	1	50,569	0.01	.932	.00003
St2 * St3	10,842	1	10,842	0.00	.968	.00001
St2 * St4	2	1	2	0.00	1.000	.00000
St2 * St5	36,338	1	36,338	0.01	.942	.00002
St2 * St6	1,008	1	1,008	0.00	.990	.00000
St2 * St7	103,121	1	103,121	0.01	.903	.00007
St3 * St4	2,498,850,132	1	2,498,850,132	361.75	.000	.61444
St3 * St5	285,156	1	285,156	0.04	.839	.00018
St3 * St6	15,160	1	15,160	0.00	.963	.00001
St3 * St7	1,661,173,806	1	1,661,173,806	240.48	.000	.51442
St4 * St5	40,200	1	40,200	0.01	.939	.00003
St4 * St6	76,521	1	76,521	0.01	.916	.00005
St4 * St7	6,265,316,139	1	6,265,316,139	907.01	.000	.79983
St5 * St6	11,422	1	11,422	0.00	.968	.00001
St5 * St7	26,163	1	26,163	0.00	.951	.00002
St6 * St7	19,846	1	19,846	0.00	.957	.00001
Error	1,568,031,816	227	6,907,629			
Total	225,128,468,636	256				
Corrected Total	55,133,055,611	255				

ตารางผนวกที่ ก92 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 4, 7 และ 3* เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	45,525,875,236	28	1,625,924,116	177.67	.000	.95636
Intercept	132,855,055,926	1	132,855,055,926	14,517.73	.000	.98460
St1	13,340	1	13,340	0.00	.970	.00001
St2	27,722	1	27,722	0.00	.956	.00001
St3	7,545,441,360	1	7,545,441,360	824.53	.000	.78412
St4	20,233,782,270	1	20,233,782,270	2,211.05	.000	.90689
St5	20,844	1	20,844	0.00	.962	.00001
St6	73,306	1	73,306	0.01	.929	.00004
St7	5,791,152,925	1	5,791,152,925	632.83	.000	.73599
St1 * St2	2,957	1	2,957	0.00	.986	.00000
St1 * St3	1,378	1	1,378	0.00	.990	.00000
St1 * St4	46,710	1	46,710	0.01	.943	.00002
St1 * St5	1,122	1	1,122	0.00	.991	.00000
St1 * St6	468	1	468	0.00	.994	.00000
St1 * St7	5	1	5	0.00	.999	.00000
St2 * St3	10,125	1	10,125	0.00	.973	.00000
St2 * St4	2,691	1	2,691	0.00	.986	.00000
St2 * St5	1,702	1	1,702	0.00	.989	.00000
St2 * St6	1,048	1	1,048	0.00	.991	.00000
St2 * St7	4,692	1	4,692	0.00	.982	.00000
St3 * St4	4,681,416,136	1	4,681,416,136	511.56	.000	.69265
St3 * St5	2,998	1	2,998	0.00	.986	.00000
St3 * St6	1,360	1	1,360	0.00	.990	.00000
St3 * St7	3,429,742,096	1	3,429,742,096	374.78	.000	.62279
St4 * St5	4,590	1	4,590	0.00	.982	.00000
St4 * St6	70,690	1	70,690	0.01	.930	.00003
St4 * St7	3,843,938,000	1	3,843,938,000	420.05	.000	.64917
St5 * St6	24,025	1	24,025	0.00	.959	.00001
St5 * St7	85,776	1	85,776	0.01	.923	.00004
St6 * St7	4,900	1	4,900	0.00	.982	.00000
Error	2,077,328,996	227	9,151,229			
Total	180,458,260,158	256				
Corrected Total	47,603,204,232	255				



ภาพผนวกที่ ก26 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 7 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 3 และ 7 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 4, 7 และ 3 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 4, 7 และ 3* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 12

2.2.6. 8 ปัจจัย

ตารางผนวกที่ ก93 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	231,349,759,258	36	6,426,382,202	176,398.27	.000	.99993
Intercept	745,283,372,745	1	745,283,372,745	20,457,341.92	.000	.99998
St1	987	1	987	0.03	.869	.00006
St2	8	1	8	0.00	.988	.00000
St3	231,349,071,522	1	231,349,071,522	6,350,318.86	.000	.99993
St4	11,486	1	11,486	0.32	.575	.00066
St5	98,818	1	98,818	2.71	.100	.00568
St6	415	1	415	0.01	.915	.00002
St7	32,147	1	32,147	0.88	.348	.00185
St8	19,049	1	19,049	0.52	.470	.00110
St1 * St2	1,010	1	1,010	0.03	.868	.00006
St1 * St3	7,511	1	7,511	0.21	.650	.00043
St1 * St4	82	1	82	0.00	.962	.00000
St1 * St5	73,081	1	73,081	2.01	.157	.00421
St1 * St6	927	1	927	0.03	.873	.00005
St1 * St7	6,577	1	6,577	0.18	.671	.00038
St1 * St8	13,173	1	13,173	0.36	.548	.00076
St2 * St3	17,825	1	17,825	0.49	.485	.00103
St2 * St4	25,439	1	25,439	0.70	.404	.00147
St2 * St5	2,543	1	2,543	0.07	.792	.00015
St2 * St6	14,631	1	14,631	0.40	.527	.00084
St2 * St7	5,934	1	5,934	0.16	.687	.00034
St2 * St8	95,457	1	95,457	2.62	.106	.00549
St3 * St4	22,326	1	22,326	0.61	.434	.00129
St3 * St5	1,593	1	1,593	0.04	.834	.00009
St3 * St6	7,133	1	7,133	0.20	.658	.00041
St3 * St7	1	1	1	0.00	.995	.00000
St3 * St8	486	1	486	0.01	.908	.00003

ตารางผนวกที่ ก93 (ต่อ)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
St4 * St5	4,882	1	4,882	0.13	.714	.00028
St4 * St6	6,620	1	6,620	0.18	.670	.00038
St4 * St7	84,795	1	84,795	2.33	.128	.00488
St4 * St8	18,588	1	18,588	0.51	.475	.00107
St5 * St6	1,368	1	1,368	0.04	.846	.00008
St5 * St7	65	1	65	0.00	.966	.00000
St5 * St8	17,684	1	17,684	0.49	.486	.00102
St6 * St7	48,186	1	48,186	1.32	.251	.00278
St6 * St8	12,571	1	12,571	0.35	.557	.00073
St7 * St8	34,338	1	34,338	0.94	.332	.00198
Error	17,304,770	475	36,431			
Total	976,650,436,773	512				
Corrected Total	231,367,064,028	511				

ตารางผนวกที่ ก94 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ
กำหนดสถานีที่ 2 และ 4 เป็นสถานีคอขวด

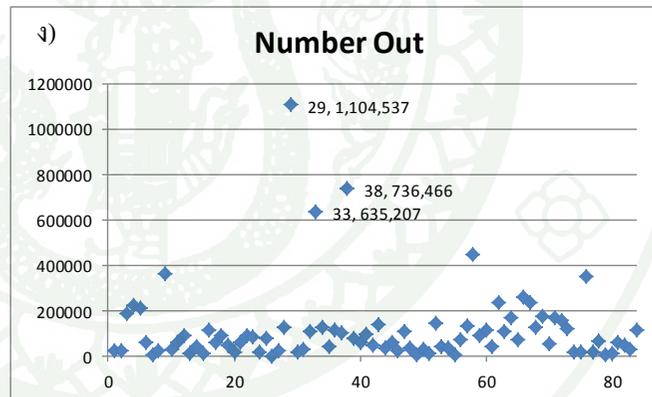
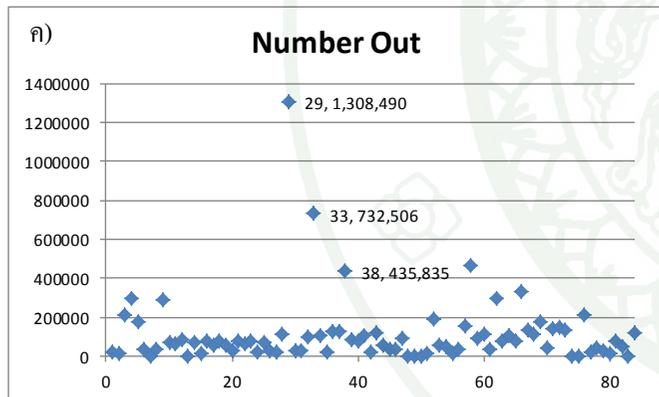
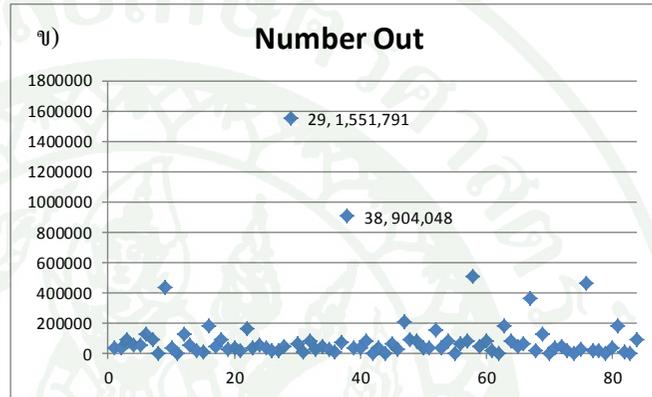
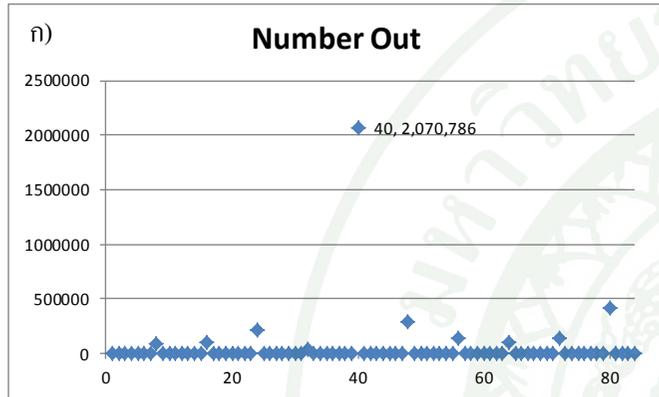
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	168,941,711,126	36	4,692,825,309	159,241.74	.000	.99992
Intercept	431,224,257,923	1	431,224,257,923	14,632,741.83	.000	.99997
St1	50,542	1	50,542	1.72	.191	.00360
St2	98,172,820,635	1	98,172,820,635	3,331,300.39	.000	.99986
St3	1,272	1	1,272	0.04	.836	.00009
St4	42,658,302,306	1	42,658,302,306	1,447,525.07	.000	.99967
St5	67,873	1	67,873	2.30	.130	.00483
St6	19,171	1	19,171	0.65	.420	.00137
St7	296	1	296	0.01	.920	.00002
St8	10,685	1	10,685	0.36	.547	.00076
St1 * St2	33,330	1	33,330	1.13	.288	.00238
St1 * St3	113,914	1	113,914	3.87	.050	.00807
St1 * St4	130,146	1	130,146	4.42	.036	.00921
St1 * St5	41,706	1	41,706	1.42	.235	.00297
St1 * St6	6,750	1	6,750	0.23	.632	.00048
St1 * St7	17,613	1	17,613	0.60	.440	.00126
St1 * St8	34,832	1	34,832	1.18	.278	.00248
St2 * St3	170	1	170	0.01	.939	.00001
St2 * St4	28,109,583,161	1	28,109,583,161	953,843.08	.000	.99950
St2 * St5	108,549	1	108,549	3.68	.056	.00769
St2 * St6	27,657	1	27,657	0.94	.333	.00197
St2 * St7	1,957	1	1,957	0.07	.797	.00014
St2 * St8	4,784	1	4,784	0.16	.687	.00034
St3 * St4	18,976	1	18,976	0.64	.423	.00135
St3 * St5	12,531	1	12,531	0.43	.515	.00089
St3 * St6	32,052	1	32,052	1.09	.298	.00228
St3 * St7	12,492	1	12,492	0.42	.515	.00089
St3 * St8	137,517	1	137,517	4.67	.031	.00973
St4 * St5	125	1	125	0.00	.948	.00001
St4 * St6	43,753	1	43,753	1.48	.224	.00312
St4 * St7	13,540	1	13,540	0.46	.498	.00097
St4 * St8	30,923	1	30,923	1.05	.306	.00220
St5 * St6	5,691	1	5,691	0.19	.661	.00041
St5 * St7	5,389	1	5,389	0.18	.669	.00038
St5 * St8	10,943	1	10,943	0.37	.543	.00078
St6 * St7	1,744	1	1,744	0.06	.808	.00012
St6 * St8	3,714	1	3,714	0.13	.723	.00027
St7 * St8	4,389	1	4,389	0.15	.700	.00031
Error	13,998,164	475	29,470			
Total	600,179,967,213	512				
Corrected Total	168,955,709,290	511				

ตารางผนวกที่ ก95 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ
กำหนดสถานีที่ 2, 5 และ 4 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	105,609,353,810	36	2,933,593,161	344.52	.000	.96311
Intercept	349,470,154,351	1	349,470,154,351	41,041.25	.000	.98856
St1	85	1	85	0.00	.997	.00000
St2	62,493,807,456	1	62,493,807,456	7,339.18	.000	.93921
St3	11,082	1	11,082	0.00	.971	.00000
St4	4,337,972,226	1	4,337,972,226	509.44	.000	.51749
St5	19,667,121,747	1	19,667,121,747	2,309.68	.000	.82942
St6	7,673	1	7,673	0.00	.976	.00000
St7	496	1	496	0.00	.994	.00000
St8	44,588	1	44,588	0.01	.942	.00001
St1 * St2	8,729	1	8,729	0.00	.974	.00000
St1 * St3	66,476	1	66,476	0.01	.930	.00002
St1 * St4	33,541	1	33,541	0.00	.950	.00001
St1 * St5	5,738	1	5,738	0.00	.979	.00000
St1 * St6	1,930	1	1,930	0.00	.988	.00000
St1 * St7	19,801	1	19,801	0.00	.962	.00000
St1 * St8	122	1	122	0.00	.997	.00000
St2 * St3	5,050	1	5,050	0.00	.981	.00000
St2 * St4	4,018,348,334	1	4,018,348,334	471.91	.000	.49837
St2 * St5	10,759,638,165	1	10,759,638,165	1,263.60	.000	.72679
St2 * St6	300	1	300	0.00	.995	.00000
St2 * St7	15,334	1	15,334	0.00	.966	.00000
St2 * St8	488	1	488	0.00	.994	.00000
St3 * St4	22,711	1	22,711	0.00	.959	.00001
St3 * St5	36,856	1	36,856	0.00	.948	.00001
St3 * St6	98	1	98	0.00	.997	.00000
St3 * St7	130,369	1	130,369	0.02	.902	.00003
St3 * St8	35,511	1	35,511	0.00	.949	.00001
St4 * St5	4,331,745,407	1	4,331,745,407	508.71	.000	.51714
St4 * St6	82,367	1	82,367	0.01	.922	.00002
St4 * St7	17,955	1	17,955	0.00	.963	.00000
St4 * St8	12,900	1	12,900	0.00	.969	.00000
St5 * St6	86,009	1	86,009	0.01	.920	.00002
St5 * St7	16	1	16	0.00	.999	.00000
St5 * St8	39,833	1	39,833	0.00	.946	.00001
St6 * St7	32,099	1	32,099	0.00	.951	.00001
St6 * St8	2,145	1	2,145	0.00	.987	.00000
St7 * St8	173	1	173	0.00	.996	.00000
Error	4,044,670,217	475	8,515,095			
Total	459,124,178,378	512				
Corrected Total	109,654,024,027	511				

ตารางผนวกที่ ก96 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 2, 5 และ 4* เป็นสถานีคอขวด

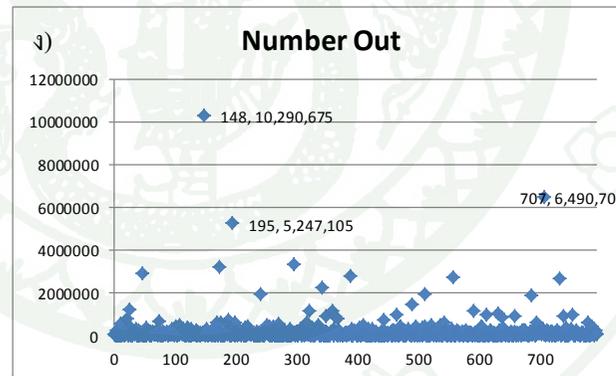
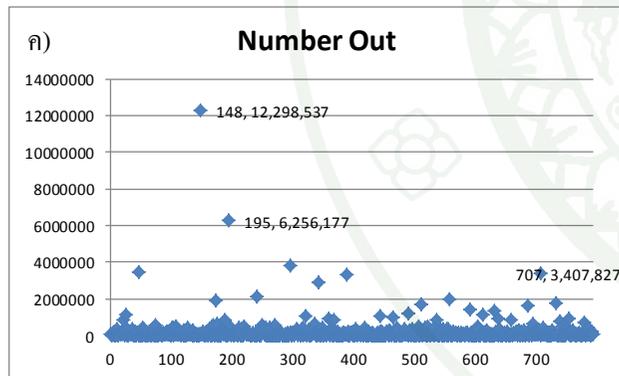
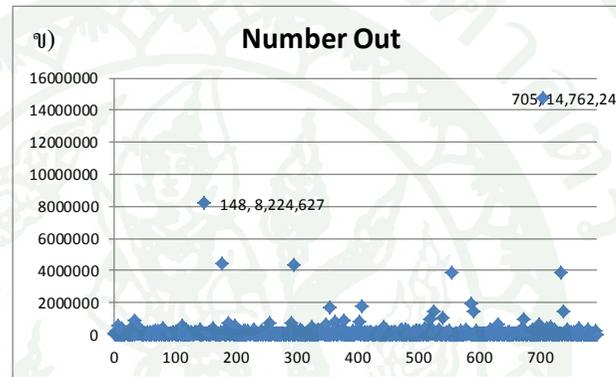
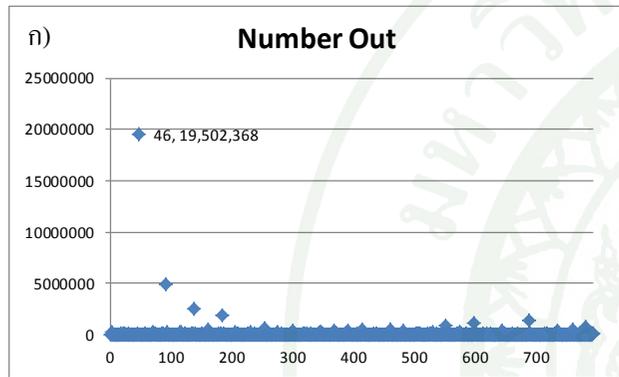
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	92,617,713,750	36	2,572,714,271	280.21	.000	.95503
Intercept	258,543,910,701	1	258,543,910,701	28,159.28	.000	.98341
St1	5,376	1	5,376	0.00	.981	.00000
St2	40,558,884,270	1	40,558,884,270	4,417.47	.000	.90291
St3	9,104	1	9,104	0.00	.975	.00000
St4	15,948,299,095	1	15,948,299,095	1,737.01	.000	.78526
St5	13,199,540,087	1	13,199,540,087	1,437.63	.000	.75165
St6	580	1	580	0.00	.994	.00000
St7	33,073	1	33,073	0.00	.952	.00001
St8	3,175	1	3,175	0.00	.985	.00000
St1 * St2	149,229	1	149,229	0.02	.899	.00003
St1 * St3	16,032	1	16,032	0.00	.967	.00000
St1 * St4	6,999	1	6,999	0.00	.978	.00000
St1 * St5	4,354	1	4,354	0.00	.983	.00000
St1 * St6	2,516	1	2,516	0.00	.987	.00000
St1 * St7	12,374	1	12,374	0.00	.971	.00000
St1 * St8	1	1	1	0.00	1.000	.00000
St2 * St3	3,106	1	3,106	0.00	.985	.00000
St2 * St4	9,009,257,534	1	9,009,257,534	981.24	.000	.67382
St2 * St5	7,605,645,486	1	7,605,645,486	828.37	.000	.63556
St2 * St6	14,018	1	14,018	0.00	.969	.00000
St2 * St7	55,465	1	55,465	0.01	.938	.00001
St2 * St8	35,229	1	35,229	0.00	.951	.00001
St3 * St4	26,840	1	26,840	0.00	.957	.00001
St3 * St5	4,894	1	4,894	0.00	.982	.00000
St3 * St6	11,316	1	11,316	0.00	.972	.00000
St3 * St7	15,631	1	15,631	0.00	.967	.00000
St3 * St8	18,014	1	18,014	0.00	.965	.00000
St4 * St5	6,295,506,984	1	6,295,506,984	685.67	.000	.59076
St4 * St6	6,043	1	6,043	0.00	.980	.00000
St4 * St7	47,067	1	47,067	0.01	.943	.00001
St4 * St8	48,419	1	48,419	0.01	.942	.00001
St5 * St6	9,879	1	9,879	0.00	.974	.00000
St5 * St7	22,618	1	22,618	0.00	.960	.00001
St5 * St8	16,121	1	16,121	0.00	.967	.00000
St6 * St7	1,600	1	1,600	0.00	.989	.00000
St6 * St8	19	1	19	0.00	.999	.00000
St7 * St8	1,204	1	1,204	0.00	.991	.00000
Error	4,361,203,066	475	9,181,480			
Total	355,522,827,517	512				
Corrected Total	96,978,916,816	511				



ภาพผนวกที่ ก27 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 2 และ 4 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 2, 5 และ 4 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 2, 5 และ 4* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 12

2.2.7. 20 ปีจจัย



ภาพผนวกที่ ก28 การทดลอง AFDE กับจำนวนปีจจัย 20 ปีจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน ก) สถานีที่ 4 เป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 14 และ 9 เป็นสถานีคอกขวด ค) สถานีที่ 9, 2 และ 12 เป็นสถานีคอกขวด ง) สถานีที่ 9, 2 และ 12* เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 12

3. ปัจจัยเข้าเป็นตัวแปรต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องผสมอยู่ด้วยกันอยู่ในระบบ

3.1. ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ

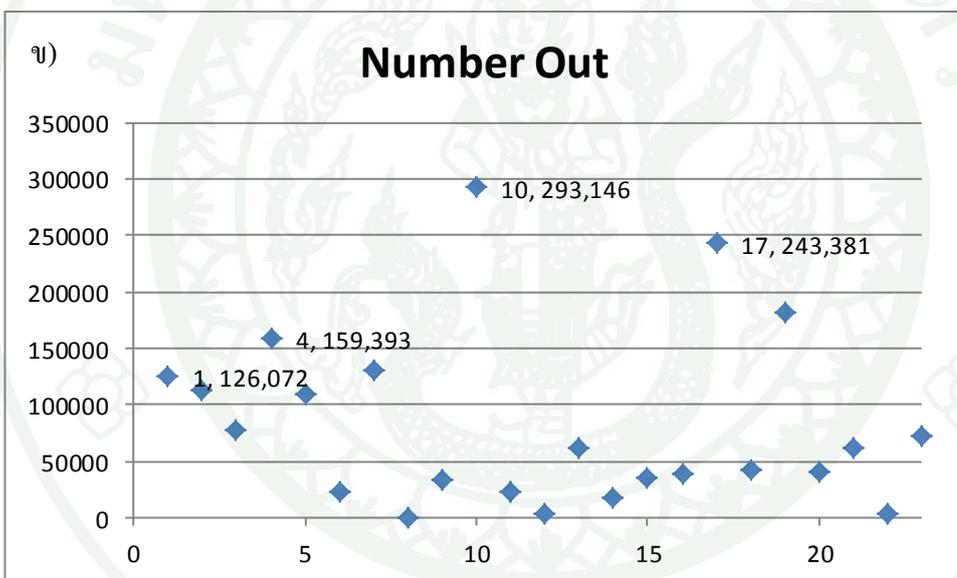
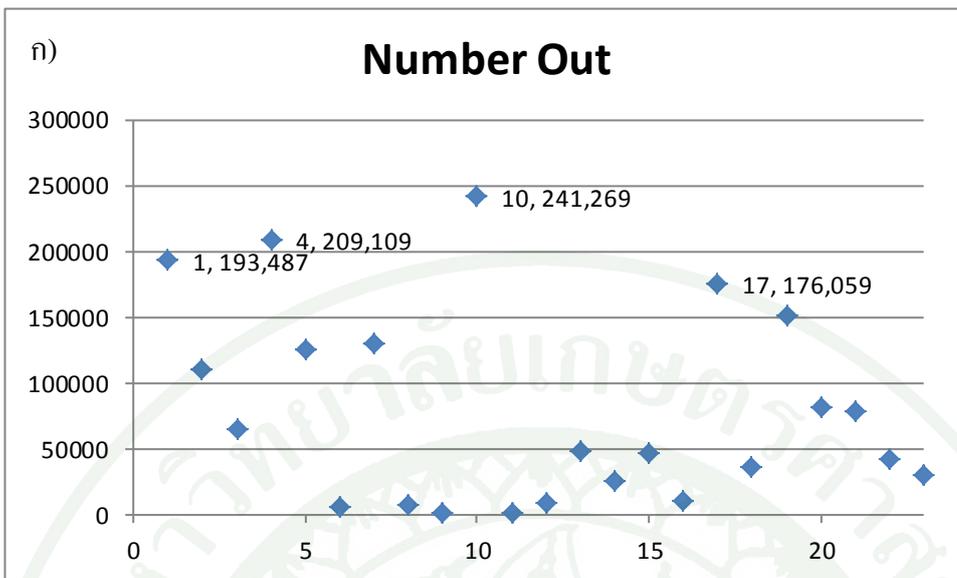
3.1.1. 4 ปัจจัย จาก 2 สถานี

ตารางผนวกที่ ก97 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	13,135,372,488	10	1,313,537,249	24.24	.000	.920262
Intercept	53,526,239,063	1	53,526,239,063	987.62	.000	.979180
MCS1	2,031,696,576	1	2,031,696,576	37.49	.000	.640947
MCS2	2,047,248,069	1	2,047,248,069	37.77	.000	.642700
PSt1	2,039,768,288	1	2,039,768,288	37.64	.000	.641859
PSt2	2,047,504,030	1	2,047,504,030	37.78	.000	.642729
MCS1 * MCS2	224,682,902	1	224,682,902	4.15	.055	.164866
MCS1 * PSt1	2,052,338,295	1	2,052,338,295	37.87	.000	.643270
MCS1 * PSt2	220,337,280	1	220,337,280	4.07	.057	.162195
MCS2 * PSt1	230,539,496	1	230,539,496	4.25	.052	.168440
MCS2 * PSt2	2,016,712,418	1	2,016,712,418	37.21	.000	.639242
PSt1 * PSt2	224,545,134	1	224,545,134	4.14	.055	.164782
Error	1,138,136,869	21	54,196,994			
Total	67,799,748,421	32				
Corrected Total	14,273,509,358	31				

ตารางผนวกที่ ก98 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 2 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	13,331,774,527	10	1,333,177,453	29.29	.000	.933109
Intercept	44,229,997,398	1	44,229,997,398	971.88	.000	.978849
MCS1	1,751,269,358	1	1,751,269,358	38.48	.000	.646947
MCS2	2,221,394,522	1	2,221,394,522	48.81	.000	.699189
PSt1	1,770,139,875	1	1,770,139,875	38.90	.000	.649391
PSt2	2,762,604,529	1	2,762,604,529	60.70	.000	.742973
MCS1 * MCS2	179,025,773	1	179,025,773	3.93	.061	.157769
MCS1 * PSt1	1,776,184,302	1	1,776,184,302	39.03	.000	.650166
MCS1 * PSt2	228,140,820	1	228,140,820	5.01	.036	.192711
MCS2 * PSt1	181,456,013	1	181,456,013	3.99	.059	.159569
MCS2 * PSt2	2,230,869,507	1	2,230,869,507	49.02	.000	.700083
PSt1 * PSt2	230,689,830	1	230,689,830	5.07	.035	.194446
Error	955,707,336	21	45,509,873			
Total	58,517,479,261	32				
Corrected Total	14,287,481,863	31				



ภาพผนวกที่ ก29 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) ทุกสถานีเป็นสถานีคอกขวด ข) สถานีที่ 2 เป็นสถานีคอกขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 15

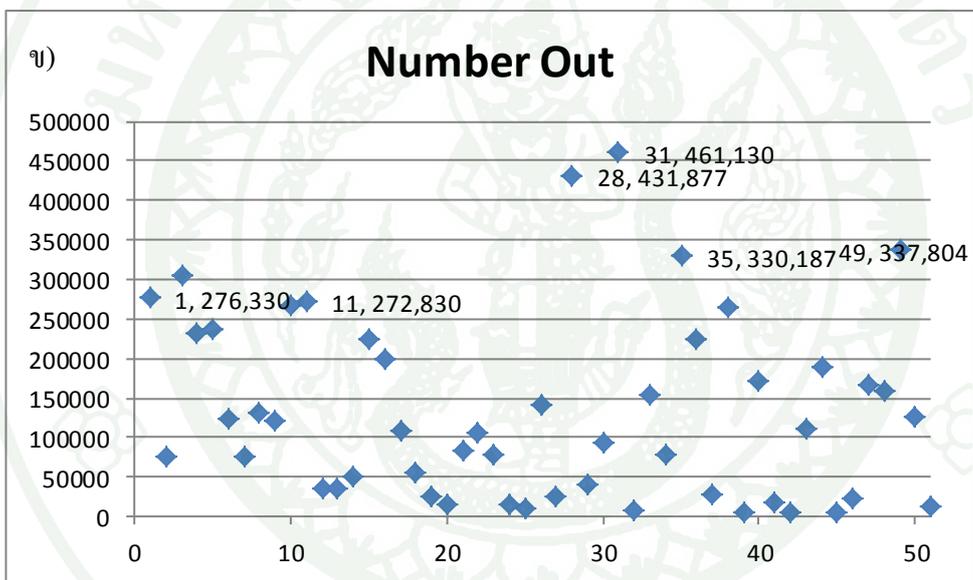
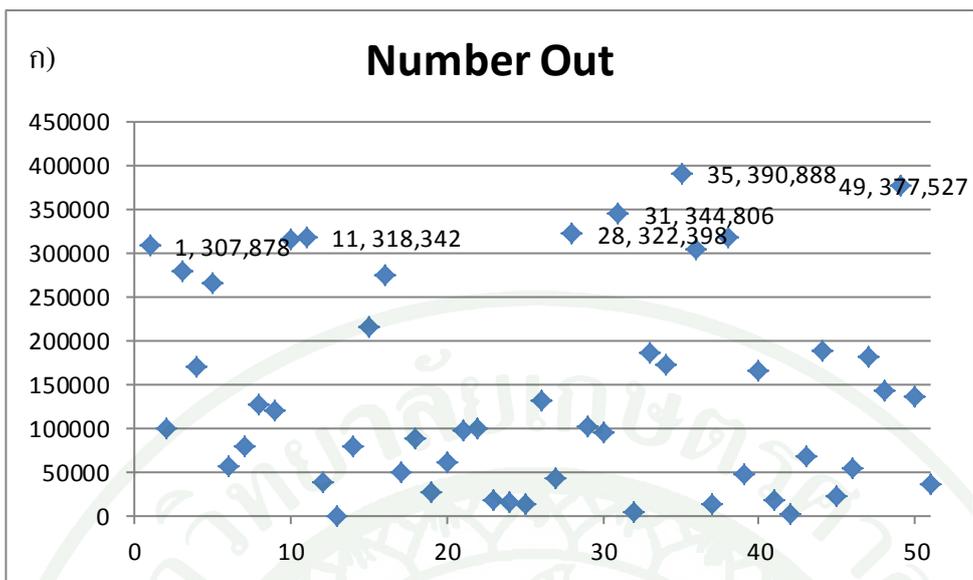
3.1.2. 6 ปัจจัย จาก 3 สถานี

ตารางผนวกที่ ก99 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	47,186,290,140	21	2,246,966,197	26.13	.000	.83809
Intercept	155,587,224,179	1	155,587,224,179	1,809.18	.000	.94465
MCS1	4,547,372,740	1	4,547,372,740	52.88	.000	.33282
MCS2	4,594,461,958	1	4,594,461,958	53.42	.000	.33511
MCS3	4,554,217,852	1	4,554,217,852	52.96	.000	.33315
PSt1	4,570,098,260	1	4,570,098,260	53.14	.000	.33393
PSt2	4,567,541,200	1	4,567,541,200	53.11	.000	.33380
PSt3	4,590,029,555	1	4,590,029,555	53.37	.000	.33489
MCS1 * MCS2	498,604,778	1	498,604,778	5.80	.018	.05186
MCS1 * MCS3	500,018,923	1	500,018,923	5.81	.018	.05200
MCS1 * PSt1	4,585,120,471	1	4,585,120,471	53.32	.000	.33466
MCS1 * PSt2	509,151,972	1	509,151,972	5.92	.017	.05290
MCS1 * PSt3	507,095,800	1	507,095,800	5.90	.017	.05270
MCS2 * MCS3	505,997,696	1	505,997,696	5.88	.017	.05259
MCS2 * PSt1	516,477,748	1	516,477,748	6.01	.016	.05362
MCS2 * PSt2	4,548,111,860	1	4,548,111,860	52.89	.000	.33285
MCS2 * PSt3	515,265,189	1	515,265,189	5.99	.016	.05350
MCS3 * PSt1	506,650,049	1	506,650,049	5.89	.017	.05265
MCS3 * PSt2	509,175,905	1	509,175,905	5.92	.017	.05290
MCS3 * PSt3	4,553,096,523	1	4,553,096,523	52.94	.000	.33310
PSt1 * PSt2	499,149,659	1	499,149,659	5.80	.018	.05191
PSt1 * PSt3	513,388,941	1	513,388,941	5.97	.016	.05332
PSt2 * PSt3	495,263,062	1	495,263,062	5.76	.018	.05153
Error	9,115,861,414	106	85,998,693			
Total	211,889,375,733	128				
Corrected Total	56,302,151,554	127				

ตารางผนวกที่ ก100 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	47,080,413,454	21	2,241,924,450	30.43	.000	.85773
Intercept	127,858,469,981	1	127,858,469,981	1,735.53	.000	.94244
MCS1	3,973,694,096	1	3,973,694,096	53.94	.000	.33724
MCS2	3,981,520,694	1	3,981,520,694	54.04	.000	.33768
MCS3	5,529,983,215	1	5,529,983,215	75.06	.000	.41457
PSt1	3,974,719,365	1	3,974,719,365	53.95	.000	.33730
PSt2	3,957,263,287	1	3,957,263,287	53.72	.000	.33632
PSt3	6,758,993,111	1	6,758,993,111	91.75	.000	.46396
MCS1 * MCS2	448,617,314	1	448,617,314	6.09	.015	.05433
MCS1 * MCS3	414,140,603	1	414,140,603	5.62	.020	.05036
MCS1 * PSt1	3,965,608,021	1	3,965,608,021	53.83	.000	.33679
MCS1 * PSt2	424,704,583	1	424,704,583	5.76	.018	.05158
MCS1 * PSt3	517,884,813	1	517,884,813	7.03	.009	.06219
MCS2 * MCS3	399,232,557	1	399,232,557	5.42	.022	.04864
MCS2 * PSt1	444,567,744	1	444,567,744	6.03	.016	.05386
MCS2 * PSt2	3,970,663,637	1	3,970,663,637	53.90	.000	.33707
MCS2 * PSt3	520,454,617	1	520,454,617	7.06	.009	.06248
MCS3 * PSt1	393,369,694	1	393,369,694	5.34	.023	.04796
MCS3 * PSt2	412,185,883	1	412,185,883	5.59	.020	.05014
MCS3 * PSt3	5,525,304,302	1	5,525,304,302	75.00	.000	.41436
PSt1 * PSt2	440,499,431	1	440,499,431	5.98	.016	.05340
PSt1 * PSt3	515,602,314	1	515,602,314	7.00	.009	.06194
PSt2 * PSt3	511,404,173	1	511,404,173	6.94	.010	.06146
Error	7,809,144,373	106	73,671,173			
Total	182,748,027,807	128				
Corrected Total	54,889,557,826	127				



ภาพผนวกที่ ก30 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) ทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด ข) สถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 15

3.1.3. 8 ปัจจัย จาก 4 สถานี

ตารางผนวกที่ ก101 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดทุกสถานีเป็นสถานีคอกวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	150,665,707,508	36	4,185,158,542	40.58	.000	.75461
Intercept	472,784,161,856	1	472,784,161,856	4,583.71	.000	.90610
PS _{t2}	10,295,891,814	1	10,295,891,814	99.82	.000	.17365
MCS _{t3}	10,286,674,107	1	10,286,674,107	99.73	.000	.17353
MCS _{t4}	10,283,949,039	1	10,283,949,039	99.70	.000	.17349
PS _{t4}	10,278,912,200	1	10,278,912,200	99.66	.000	.17342
PS _{t1}	10,272,120,695	1	10,272,120,695	99.59	.000	.17332
PS _{t3}	10,271,439,876	1	10,271,439,876	99.58	.000	.17331
MCS _{t1}	10,262,000,322	1	10,262,000,322	99.49	.000	.17318
MCS _{t2}	10,238,232,608	1	10,238,232,608	99.26	.000	.17285
MCS _{t1} * MCS _{t2}	1,121,490,720	1	1,121,490,720	10.87	.001	.02238
MCS _{t1} * MCS _{t3}	1,136,786,562	1	1,136,786,562	11.02	.001	.02268
MCS _{t1} * MCS _{t4}	1,132,546,825	1	1,132,546,825	10.98	.001	.02259
MCS _{t1} * PS _{t1}	10,279,485,728	1	10,279,485,728	99.66	.000	.17343
MCS _{t1} * PS _{t2}	1,142,670,964	1	1,142,670,964	11.08	.001	.02279
MCS _{t1} * PS _{t3}	1,143,567,488	1	1,143,567,488	11.09	.001	.02281
MCS _{t1} * PS _{t4}	1,147,091,240	1	1,147,091,240	11.12	.001	.02288
MCS _{t2} * MCS _{t3}	1,148,522,628	1	1,148,522,628	11.14	.001	.02291
MCS _{t2} * MCS _{t4}	1,139,589,605	1	1,139,589,605	11.05	.001	.02273
MCS _{t2} * PS _{t1}	1,127,887,513	1	1,127,887,513	10.94	.001	.02250
MCS _{t2} * PS _{t2}	10,301,076,345	1	10,301,076,345	99.87	.000	.17373
MCS _{t2} * PS _{t3}	1,133,344,148	1	1,133,344,148	10.99	.001	.02261
MCS _{t2} * PS _{t4}	1,142,330,377	1	1,142,330,377	11.08	.001	.02278
MCS _{t3} * MCS _{t4}	1,149,847,007	1	1,149,847,007	11.15	.001	.02293
MCS _{t3} * PS _{t1}	1,128,059,688	1	1,128,059,688	10.94	.001	.02251
MCS _{t3} * PS _{t2}	1,131,494,074	1	1,131,494,074	10.97	.001	.02257
MCS _{t3} * PS _{t3}	10,273,446,564	1	10,273,446,564	99.60	.000	.17334
MCS _{t3} * PS _{t4}	1,147,324,753	1	1,147,324,753	11.12	.001	.02288

ตารางผนวกที่ ก101 (ต่อ)

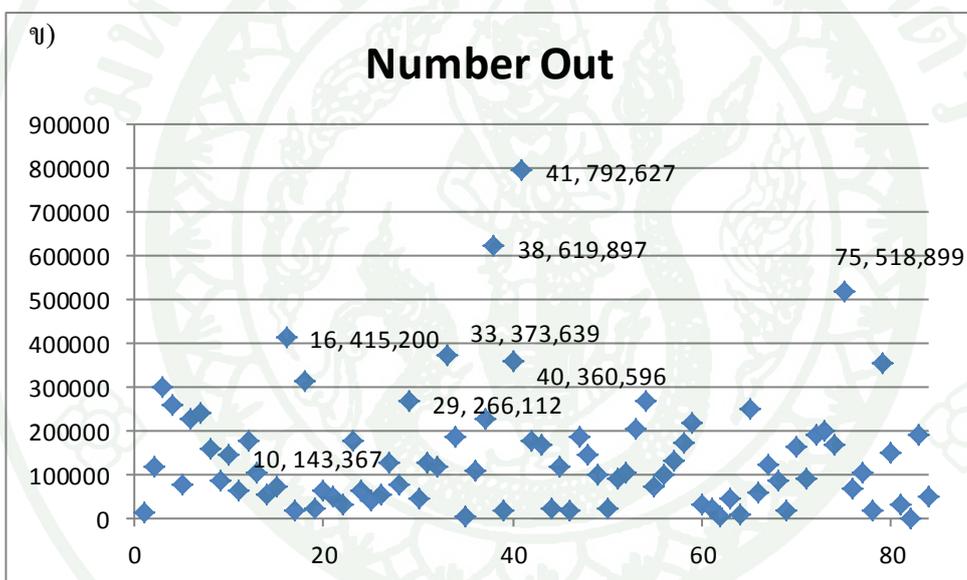
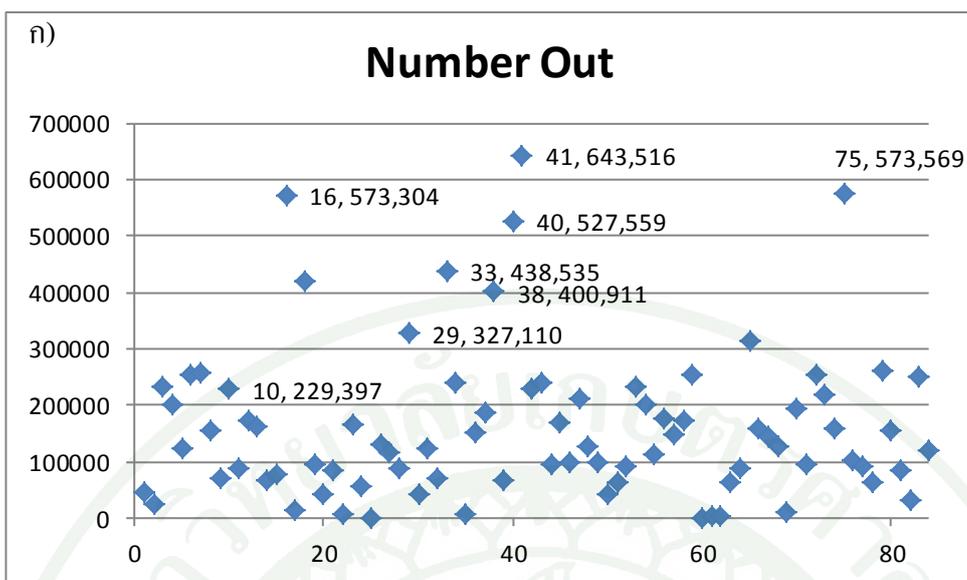
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
MCS14 * PSt1	1,150,842,291	1	1,150,842,291	11.16	.001	.02295
MCS14 * PSt2	1,152,162,006	1	1,152,162,006	11.17	.001	.02298
MCS14 * PSt3	1,141,589,626	1	1,141,589,626	11.07	.001	.02277
MCS14 * PSt4	10,263,576,265	1	10,263,576,265	99.51	.000	.17320
PSt1 * PSt2	1,157,255,981	1	1,157,255,981	11.22	.001	.02308
PSt1 * PSt3	1,147,690,039	1	1,147,690,039	11.13	.001	.02289
PSt1 * PSt4	1,132,261,285	1	1,132,261,285	10.98	.001	.02259
PSt2 * PSt3	1,147,821,795	1	1,147,821,795	11.13	.001	.02289
PSt2 * PSt4	1,129,194,003	1	1,129,194,003	10.95	.001	.02253
PSt3 * PSt4	1,127,531,328	1	1,127,531,328	10.93	.001	.02250
Error	48,993,629,516	475	103,144,483			
Total	672,443,498,880	512				
Corrected Total	199,659,337,024	511				

ตารางผนวกที่ ก102 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบเมื่อกำหนดสถานีที่ 1 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	147,203,639,185	36	4,088,989,977	47.99	.000	.78434
Intercept	395,023,494,752	1	395,023,494,752	4,635.95	.000	.90706
PSt1	17,633,105,425	1	17,633,105,425	206.94	.000	.30346
MCS11	14,630,248,625	1	14,630,248,625	171.70	.000	.26550
MCS13	8,579,288,293	1	8,579,288,293	100.69	.000	.17490
MCS12	8,570,890,567	1	8,570,890,567	100.59	.000	.17476
PSt3	8,560,730,400	1	8,560,730,400	100.47	.000	.17458
MCS14	8,551,802,285	1	8,551,802,285	100.36	.000	.17443
PSt2	8,523,071,040	1	8,523,071,040	100.03	.000	.17395
PSt4	8,508,324,046	1	8,508,324,046	99.85	.000	.17370
MCS11 * MCS12	867,309,188	1	867,309,188	10.18	.002	.02098
MCS11 * MCS13	879,266,871	1	879,266,871	10.32	.001	.02126
MCS11 * MCS14	864,796,468	1	864,796,468	10.15	.002	.02092

ตารางผนวกที่ ก102 (ต่อ)

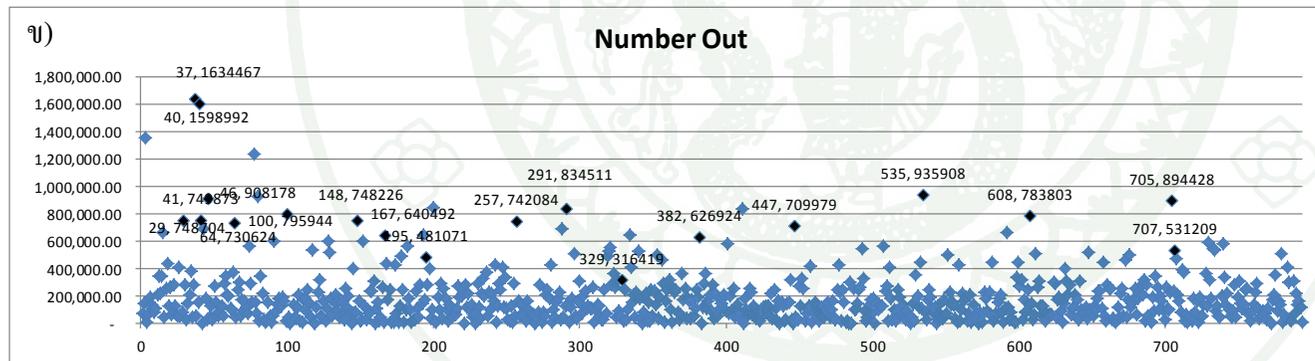
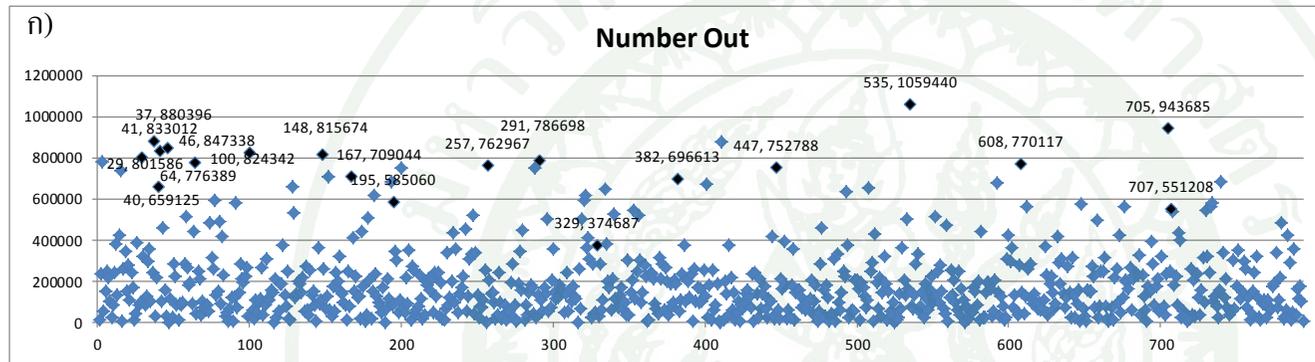
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
MCS1 * PSt1	14,651,531,573	1	14,651,531,573	171.95	.000	.26578
MCS1 * PSt2	873,787,208	1	873,787,208	10.25	.001	.02113
MCS1 * PSt3	873,207,274	1	873,207,274	10.25	.001	.02112
MCS1 * PSt4	869,726,498	1	869,726,498	10.21	.001	.02104
MCS2 * MCS3	973,143,815	1	973,143,815	11.42	.001	.02348
MCS2 * MCS4	948,573,457	1	948,573,457	11.13	.001	.02290
MCS2 * PSt1	1,125,952,922	1	1,125,952,922	13.21	.000	.02707
MCS2 * PSt2	8,557,606,666	1	8,557,606,666	100.43	.000	.17453
MCS2 * PSt3	945,200,851	1	945,200,851	11.09	.001	.02282
MCS2 * PSt4	940,342,924	1	940,342,924	11.04	.001	.02271
MCS3 * MCS4	958,623,318	1	958,623,318	11.25	.001	.02314
MCS3 * PSt1	1,124,002,211	1	1,124,002,211	13.19	.000	.02702
MCS3 * PSt2	938,387,012	1	938,387,012	11.01	.001	.02266
MCS3 * PSt3	8,555,742,509	1	8,555,742,509	100.41	.000	.17450
MCS3 * PSt4	938,646,960	1	938,646,960	11.02	.001	.02267
MCS4 * PSt1	1,113,772,505	1	1,113,772,505	13.07	.000	.02678
MCS4 * PSt2	940,901,355	1	940,901,355	11.04	.001	.02272
MCS4 * PSt3	943,066,164	1	943,066,164	11.07	.001	.02277
MCS4 * PSt4	8,596,718,907	1	8,596,718,907	100.89	.000	.17519
PSt1 * PSt2	1,117,238,268	1	1,117,238,268	13.11	.000	.02686
PSt1 * PSt3	1,117,456,903	1	1,117,456,903	13.11	.000	.02687
PSt1 * PSt4	1,097,964,945	1	1,097,964,945	12.89	.000	.02641
PSt2 * PSt3	938,007,985	1	938,007,985	11.01	.001	.02265
PSt2 * PSt4	947,860,358	1	947,860,358	11.12	.001	.02288
PSt3 * PSt4	947,343,392	1	947,343,392	11.12	.001	.02287
Error	40,474,195,883	475	85,208,833			
Total	582,701,329,820	512				
Corrected Total	187,677,835,068	511				



ภาพผนวกที่ ก31 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ก) ทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด ข) สถานีที่ 1 เป็นสถานีคอขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้จากตารางที่ 15

3.1.4. 20 ปีจจัย จาก 10 สถานี



ภาพผนวกที่ ก32 การทดลอง AFDE กับจำนวนปีจจัย 20 ปีจจัยในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ

ก) ทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด ข) สถานีที่ 8 เป็นสถานีคอขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 15

3.2. ระบบการผลิตแบบตามงาน

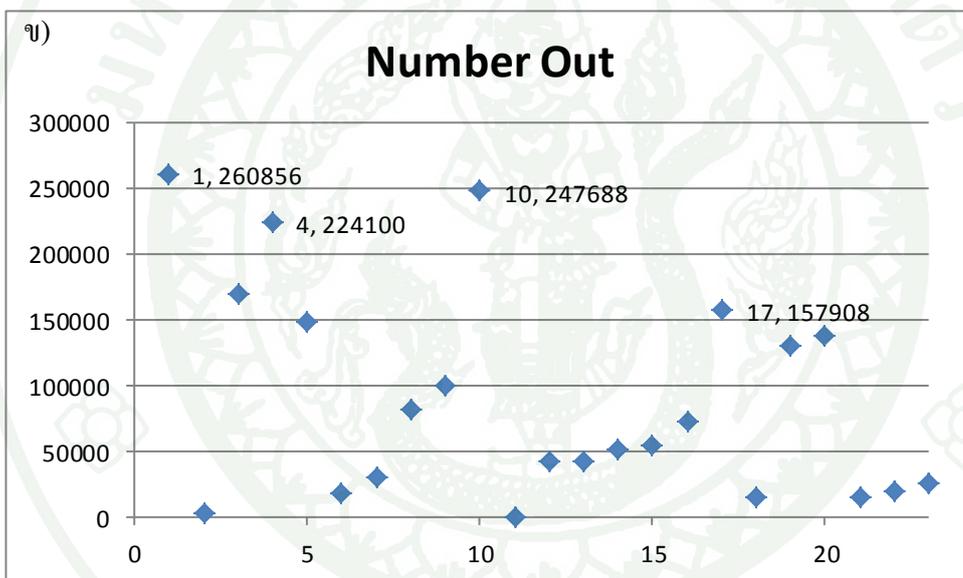
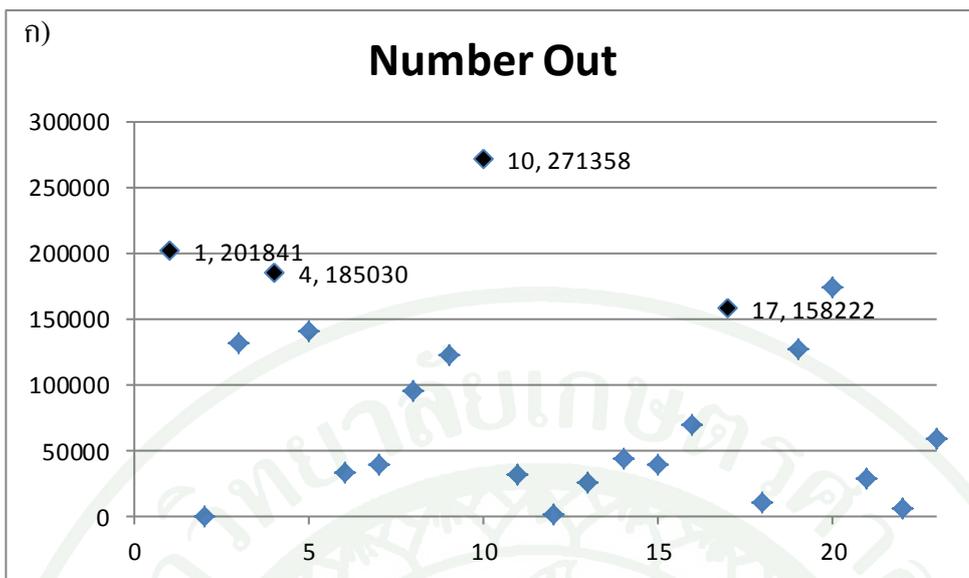
3.2.1. 4 ปัจจัย จาก 2 สถานี

ตารางผนวกที่ ก103 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดทุกสถานีเป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	14,097,698,774	10	1,409,769,877	34.66	.000	.94288
Intercept	52,481,925,176	1	52,481,925,176	1,290.44	.000	.98399
PSt2	2,240,833,249	1	2,240,833,249	55.10	.000	.72404
MCS1	2,240,063,445	1	2,240,063,445	55.08	.000	.72397
MCS2	2,239,628,396	1	2,239,628,396	55.07	.000	.72393
PSt1	2,236,015,783	1	2,236,015,783	54.98	.000	.72361
MCS1 * MCS2	166,855,345	1	166,855,345	4.10	.056	.16344
MCS1 * PSt1	2,263,181,462	1	2,263,181,462	55.65	.000	.72602
MCS1 * PSt2	163,023,110	1	163,023,110	4.01	.058	.16028
MCS2 * PSt1	175,523,532	1	175,523,532	4.32	.050	.17048
MCS2 * PSt2	2,202,405,488	1	2,202,405,488	54.15	.000	.72057
PSt1 * PSt2	170,168,964	1	170,168,964	4.18	.054	.16614
Error	854,066,868	21	40,669,851			
Total	67,433,690,817	32				
Corrected Total	14,951,765,641	31				

ตารางผนวกที่ ก104 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ
กำหนดสถานีที่ 2 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	13,615,707,866	10	1,361,570,787	35.20	.000	.94370
Intercept	44,095,367,723	1	44,095,367,723	1,139.89	.000	.98191
PSt2	2,892,923,096	1	2,892,923,096	74.78	.000	.78076
MCSi2	2,333,520,849	1	2,333,520,849	60.32	.000	.74177
PSt1	1,791,295,549	1	1,791,295,549	46.31	.000	.68799
MCSi1	1,759,268,074	1	1,759,268,074	45.48	.000	.68411
MCSi1 * MCSi2	154,049,516	1	154,049,516	3.98	.059	.15940
MCSi1 * PSt1	1,779,374,426	1	1,779,374,426	46.00	.000	.68656
MCSi1 * PSt2	199,036,164	1	199,036,164	5.15	.034	.19679
MCSi2 * PSt1	157,890,893	1	157,890,893	4.08	.056	.16273
MCSi2 * PSt2	2,351,591,055	1	2,351,591,055	60.79	.000	.74325
PSt1 * PSt2	196,758,244	1	196,758,244	5.09	.035	.19498
Error	812,358,870	21	38,683,756			
Total	58,523,434,459	32				
Corrected Total	14,428,066,736	31				



ภาพผนวกที่ ก33 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 4 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน
 ก) ทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด ข) สถานีที่ 2 เป็นสถานีคอขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 15

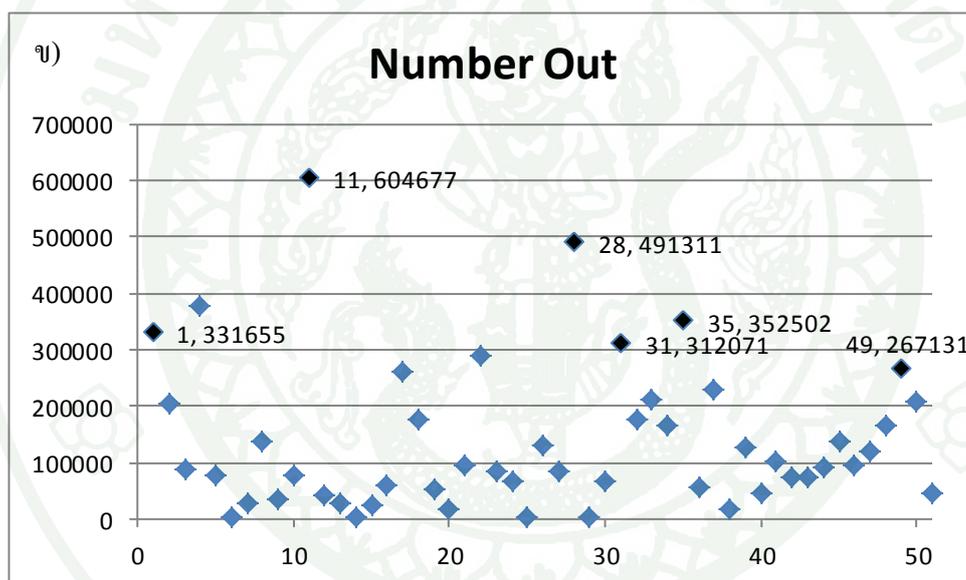
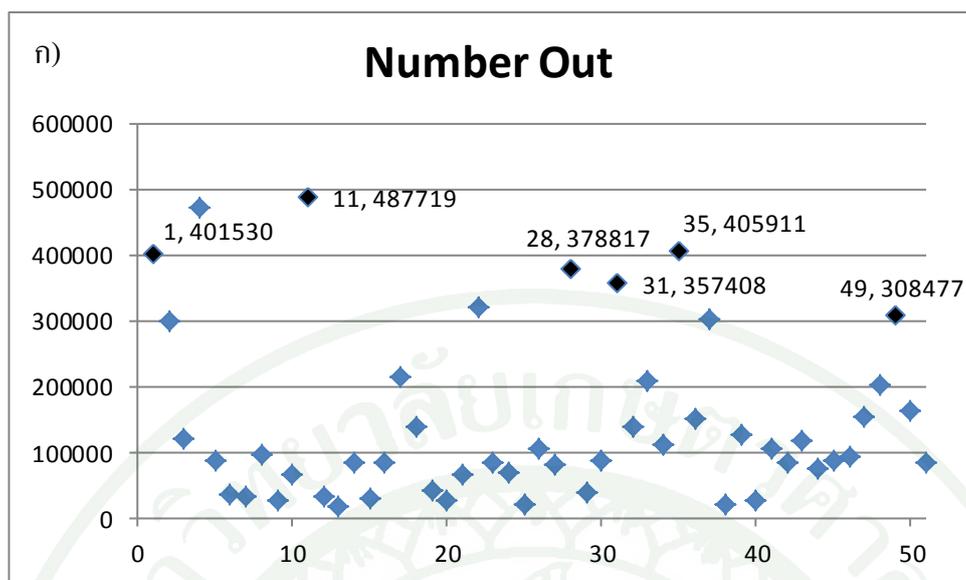
3.2.2. 6 ปัจจัย จาก 3 สถานี

ตารางผนวกที่ ก105 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ
กำหนดทุกสถานีเป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	55,689,000,066	21	2,651,857,146	41.91	.000	.89250
Intercept	145,622,191,744	1	145,622,191,744	2,301.28	.000	.95597
PS _{t3}	5,800,870,152	1	5,800,870,152	91.67	.000	.46376
MCS _{t3}	5,754,753,993	1	5,754,753,993	90.94	.000	.46177
PS _{t1}	5,638,144,776	1	5,638,144,776	89.10	.000	.45669
PS _{t2}	5,629,520,150	1	5,629,520,150	88.96	.000	.45631
MCS _{t2}	5,612,608,544	1	5,612,608,544	88.70	.000	.45556
MCS _{t1}	5,575,165,212	1	5,575,165,212	88.10	.000	.45390
MCS _{t1} * MCS _{t2}	408,468,935	1	408,468,935	6.46	.013	.05740
MCS _{t1} * MCS _{t3}	370,474,408	1	370,474,408	5.85	.017	.05234
MCS _{t1} * PS _{t1}	5,659,482,544	1	5,659,482,544	89.44	.000	.45763
MCS _{t1} * PS _{t2}	413,184,224	1	413,184,224	6.53	.012	.05803
MCS _{t1} * PS _{t3}	378,437,877	1	378,437,877	5.98	.016	.05341
MCS _{t2} * MCS _{t3}	379,690,680	1	379,690,680	6.00	.016	.05357
MCS _{t2} * PS _{t1}	417,471,348	1	417,471,348	6.60	.012	.05859
MCS _{t2} * PS _{t2}	5,596,912,575	1	5,596,912,575	88.45	.000	.45487
MCS _{t2} * PS _{t3}	388,950,454	1	388,950,454	6.15	.015	.05481
MCS _{t3} * PS _{t1}	388,190,799	1	388,190,799	6.13	.015	.05471
MCS _{t3} * PS _{t2}	378,190,315	1	378,190,315	5.98	.016	.05337
MCS _{t3} * PS _{t3}	5,748,801,361	1	5,748,801,361	90.85	.000	.46152
PS _{t1} * PS _{t2}	400,597,127	1	400,597,127	6.33	.013	.05636
PS _{t1} * PS _{t3}	385,923,235	1	385,923,235	6.10	.015	.05441
PS _{t2} * PS _{t3}	363,161,356	1	363,161,356	5.74	.018	.05136
Error	6,707,553,075	106	63,278,803			
Total	208,018,744,885	128				
Corrected Total	62,396,553,141	127				

ตารางผนวกที่ ก106 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ
กำหนดสถานที่ที่ 3 เป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	52,282,933,930	21	2,489,663,520	43.99	.000	.89706
Intercept	123,442,817,579	1	123,442,817,579	2,180.98	.000	.95365
PS _{t3}	7,656,118,621	1	7,656,118,621	135.27	.000	.56065
MCS _{t3}	6,356,238,969	1	6,356,238,969	112.30	.000	.51443
MCS _{t1}	4,597,625,846	1	4,597,625,846	81.23	.000	.43385
PS _{t1}	4,594,869,367	1	4,594,869,367	81.18	.000	.43371
MCS _{t2}	4,593,359,647	1	4,593,359,647	81.16	.000	.43362
PS _{t2}	4,558,465,838	1	4,558,465,838	80.54	.000	.43175
MCS _{t1} * MCS _{t2}	330,447,419	1	330,447,419	5.84	.017	.05220
MCS _{t1} * MCS _{t3}	349,791,331	1	349,791,331	6.18	.014	.05509
MCS _{t1} * PS _{t1}	4,584,498,043	1	4,584,498,043	81.00	.000	.43315
MCS _{t1} * PS _{t2}	315,497,780	1	315,497,780	5.57	.020	.04996
MCS _{t1} * PS _{t3}	436,309,493	1	436,309,493	7.71	.006	.06779
MCS _{t2} * MCS _{t3}	339,877,851	1	339,877,851	6.00	.016	.05361
MCS _{t2} * PS _{t1}	332,307,423	1	332,307,423	5.87	.017	.05248
MCS _{t2} * PS _{t2}	4,577,367,080	1	4,577,367,080	80.87	.000	.43277
MCS _{t2} * PS _{t3}	436,959,617	1	436,959,617	7.72	.006	.06789
MCS _{t3} * PS _{t1}	327,779,208	1	327,779,208	5.79	.018	.05180
MCS _{t3} * PS _{t2}	342,195,690	1	342,195,690	6.05	.016	.05396
MCS _{t3} * PS _{t3}	6,362,385,309	1	6,362,385,309	112.41	.000	.51467
PS _{t1} * PS _{t2}	328,009,683	1	328,009,683	5.80	.018	.05184
PS _{t1} * PS _{t3}	433,529,777	1	433,529,777	7.66	.007	.06739
PS _{t2} * PS _{t3}	429,299,939	1	429,299,939	7.58	.007	.06678
Error	5,999,576,726	106	56,599,780			
Total	181,725,328,235	128				
Corrected Total	58,282,510,656	127				



ภาพผนวกที่ ก34 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 6 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน
 ก) ทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด ข) สถานีที่ 3 เป็นสถานีคอขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีที่ได้รับจากตารางที่ 15

3.2.3. 8 ปัจจัย จาก 4 สถานี

ตารางผนวกที่ ก107 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ
กำหนดทุกสถานีเป็นสถานีคอกขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	196,146,124,730	36	5,448,503,465	70.60	.000	.84254
Intercept	412,828,601,451	1	412,828,601,451	5,349.31	.000	.91845
PS _{t3}	14,648,418,378	1	14,648,418,378	189.81	.000	.28551
MCS _{t3}	14,643,925,688	1	14,643,925,688	189.75	.000	.28545
PS _{t4}	14,588,294,942	1	14,588,294,942	189.03	.000	.28467
MCS _{t4}	14,581,207,123	1	14,581,207,123	188.94	.000	.28457
PS _{t2}	14,351,727,032	1	14,351,727,032	185.97	.000	.28135
PS _{t1}	14,276,264,752	1	14,276,264,752	184.99	.000	.28029
MCS _{t2}	14,273,265,604	1	14,273,265,604	184.95	.000	.28025
MCS _{t1}	14,246,646,150	1	14,246,646,150	184.60	.000	.27987
MCS _{t1} * MCS _{t2}	1,002,005,772	1	1,002,005,772	12.98	.000	.02661
MCS _{t1} * MCS _{t3}	914,077,852	1	914,077,852	11.84	.001	.02433
MCS _{t1} * MCS _{t4}	920,025,365	1	920,025,365	11.92	.001	.02448
MCS _{t1} * PS _{t1}	14,297,331,019	1	14,297,331,019	185.26	.000	.28059
MCS _{t1} * PS _{t2}	1,019,495,479	1	1,019,495,479	13.21	.000	.02706
MCS _{t1} * PS _{t3}	921,661,495	1	921,661,495	11.94	.001	.02453
MCS _{t1} * PS _{t4}	931,136,555	1	931,136,555	12.07	.001	.02477
MCS _{t2} * MCS _{t3}	933,976,096	1	933,976,096	12.10	.001	.02485
MCS _{t2} * MCS _{t4}	928,942,386	1	928,942,386	12.04	.001	.02471
MCS _{t2} * PS _{t1}	1,005,035,372	1	1,005,035,372	13.02	.000	.02669
MCS _{t2} * PS _{t2}	14,393,562,091	1	14,393,562,091	186.51	.000	.28194
MCS _{t2} * PS _{t3}	918,181,770	1	918,181,770	11.90	.001	.02444
MCS _{t2} * PS _{t4}	933,257,705	1	933,257,705	12.09	.001	.02483
MCS _{t3} * MCS _{t4}	959,567,694	1	959,567,694	12.43	.000	.02551
MCS _{t3} * PS _{t1}	905,434,756	1	905,434,756	11.73	.001	.02410
MCS _{t3} * PS _{t2}	926,718,517	1	926,718,517	12.01	.001	.02466
MCS _{t3} * PS _{t3}	14,603,650,670	1	14,603,650,670	189.23	.000	.28489
MCS _{t3} * PS _{t4}	945,067,702	1	945,067,702	12.25	.001	.02513

ตารางผนวกที่ ก107 (ต่อ)

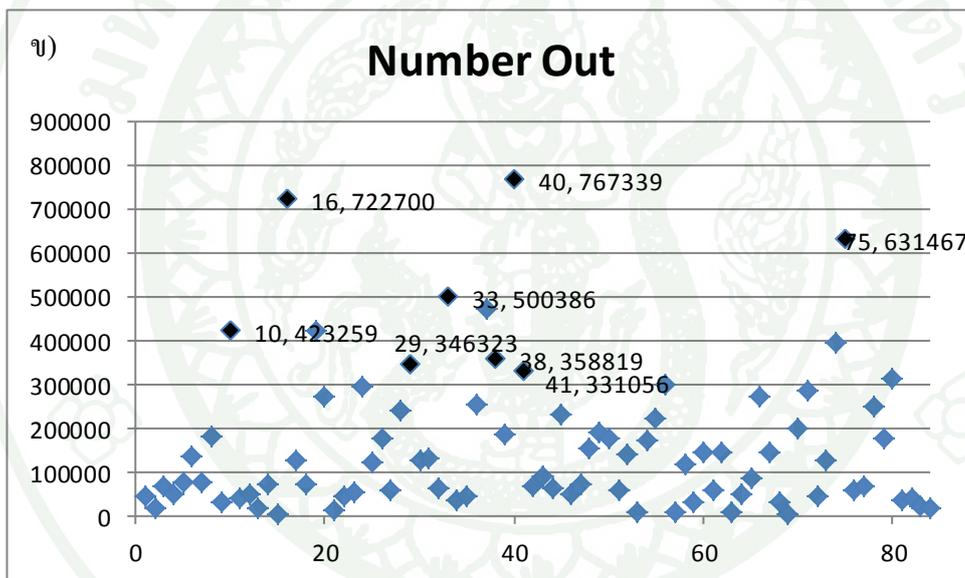
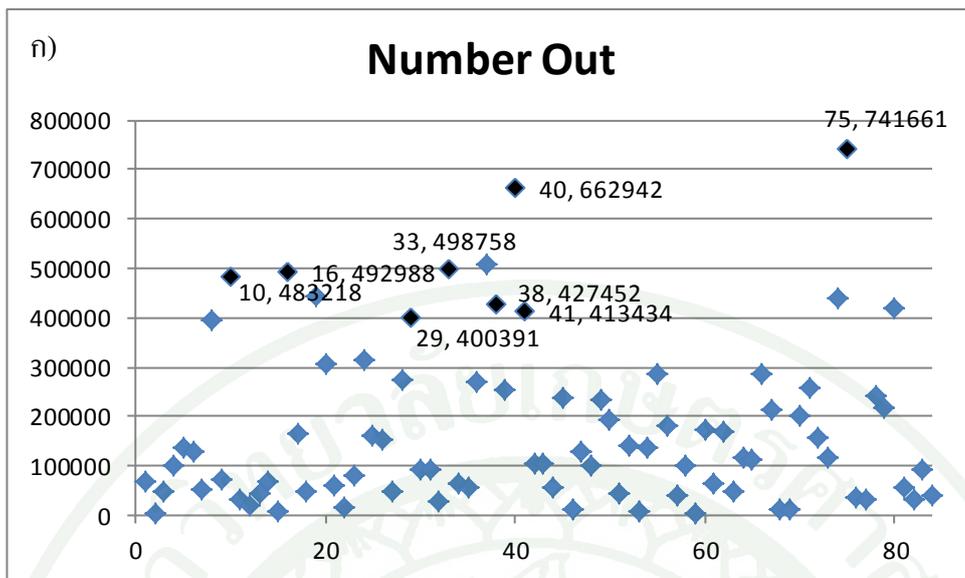
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
MCS _{t4} * PSt _{t1}	936,122,111	1	936,122,111	12.13	.001	.02490
MCS _{t4} * PSt _{t2}	936,392,564	1	936,392,564	12.13	.001	.02491
MCS _{t4} * PSt _{t3}	947,308,026	1	947,308,026	12.27	.001	.02519
MCS _{t4} * PSt _{t4}	14,590,665,049	1	14,590,665,049	189.06	.000	.28470
PSt _{t1} * PSt _{t2}	1,038,098,852	1	1,038,098,852	13.45	.000	.02754
PSt _{t1} * PSt _{t3}	929,615,996	1	929,615,996	12.05	.001	.02473
PSt _{t1} * PSt _{t4}	918,647,853	1	918,647,853	11.90	.001	.02445
PSt _{t2} * PSt _{t3}	933,857,246	1	933,857,246	12.10	.001	.02484
PSt _{t2} * PSt _{t4}	913,821,329	1	913,821,329	11.84	.001	.02432
PSt _{t3} * PSt _{t4}	932,717,743	1	932,717,743	12.09	.001	.02481
Error	36,657,721,553	475	77,174,151			
Total	645,632,447,735	512				
Corrected Total	232,803,846,284	511				

ตารางผนวกที่ ก108 การทดลอง 2^k กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงานเมื่อ กำหนดสถานีที่ 1 เป็นสถานีคอขวด

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
Corrected Model	181,376,256,908	36	5,038,229,359	73.60	.000	.84799
Intercept	349,411,634,946	1	349,411,634,946	5,104.65	.000	.91487
PSt _{t1}	19,768,623,090	1	19,768,623,090	288.81	.000	.37811
MCS _{t1}	16,460,463,601	1	16,460,463,601	240.48	.000	.33611
PSt _{t2}	12,043,927,403	1	12,043,927,403	175.95	.000	.27030
MCS _{t2}	12,018,003,130	1	12,018,003,130	175.57	.000	.26988
MCS _{t3}	11,962,719,181	1	11,962,719,181	174.77	.000	.26897
PSt _{t3}	11,962,042,472	1	11,962,042,472	174.76	.000	.26896
MCS _{t4}	11,943,121,714	1	11,943,121,714	174.48	.000	.26865
PSt _{t4}	11,882,344,482	1	11,882,344,482	173.59	.000	.26764
MCS _{t1} * MCS _{t2}	922,157,985	1	922,157,985	13.47	.000	.02758
MCS _{t1} * MCS _{t3}	873,745,405	1	873,745,405	12.76	.000	.02617
MCS _{t1} * MCS _{t4}	856,369,459	1	856,369,459	12.51	.000	.02566

ตารางผนวกที่ ก108 (ต่อ)

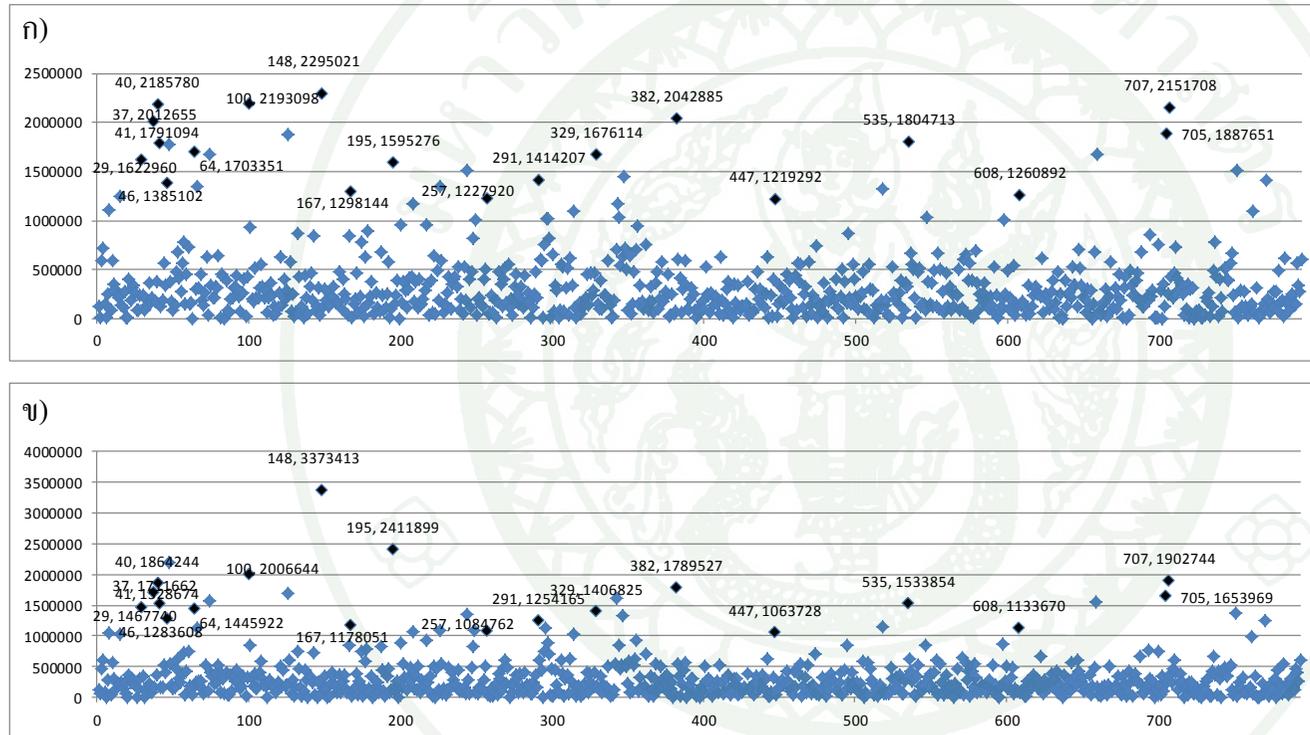
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial η^2
MCS1 * PSt1	16,472,440,901	1	16,472,440,901	240.65	.000	.33627
MCS1 * PSt2	929,510,897	1	929,510,897	13.58	.000	.02779
MCS1 * PSt3	850,683,284	1	850,683,284	12.43	.000	.02550
MCS1 * PSt4	847,700,606	1	847,700,606	12.38	.000	.02541
MCS2 * MCS3	766,419,976	1	766,419,976	11.20	.001	.02303
MCS2 * MCS4	752,593,905	1	752,593,905	10.99	.001	.02262
MCS2 * PSt1	1,192,269,904	1	1,192,269,904	17.42	.000	.03537
MCS2 * PSt2	12,055,609,232	1	12,055,609,232	176.12	.000	.27049
MCS2 * PSt3	744,367,351	1	744,367,351	10.87	.001	.02238
MCS2 * PSt4	734,249,521	1	734,249,521	10.73	.001	.02208
MCS3 * MCS4	748,458,050	1	748,458,050	10.93	.001	.02250
MCS3 * PSt1	1,101,059,933	1	1,101,059,933	16.09	.000	.03276
MCS3 * PSt2	744,039,422	1	744,039,422	10.87	.001	.02237
MCS3 * PSt3	11,919,313,303	1	11,919,313,303	174.13	.000	.26825
MCS3 * PSt4	726,090,778	1	726,090,778	10.61	.001	.02184
MCS4 * PSt1	1,082,369,233	1	1,082,369,233	15.81	.000	.03222
MCS4 * PSt2	735,155,133	1	735,155,133	10.74	.001	.02211
MCS4 * PSt3	727,420,385	1	727,420,385	10.63	.001	.02188
MCS4 * PSt4	11,967,359,986	1	11,967,359,986	174.83	.000	.26904
PSt1 * PSt2	1,170,269,868	1	1,170,269,868	17.10	.000	.03474
PSt1 * PSt3	1,107,421,805	1	1,107,421,805	16.18	.000	.03294
PSt1 * PSt4	1,081,787,727	1	1,081,787,727	15.80	.000	.03220
PSt2 * PSt3	739,143,576	1	739,143,576	10.80	.001	.02223
PSt2 * PSt4	757,942,778	1	757,942,778	11.07	.001	.02278
PSt3 * PSt4	729,061,432	1	729,061,432	10.65	.001	.02193
Error	32,513,580,853	475	68,449,644			
Total	563,301,472,708	512				
Corrected Total	213,889,837,762	511				



ภาพผนวกที่ ก35 การทดลอง AFDE กับจำนวนปัจจัย 8 ปัจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน
 ก) ทุกสถานีเป็นสถานีคอขวด ข) สถานีที่ 1 เป็นสถานีคอขวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้จากตารางที่ 15

3.2.4. 20 ปีจจัย จาก 10 สถานี



ภาพผนวกที่ 36 การทดลอง AFDE กับจำนวนปีจจัย 20 ปีจจัยในระบบการผลิตแบบตามงาน

ก) ทุกสถานีเป็นสถานีคอกวด ข) สถานีที่ 10 เป็นสถานีคอกวด

หมายเหตุ: ตรวจสอบความถี่ที่สถานีได้รับจากตารางที่ 15



ภาคผนวก ข
ความถี่ของ ผลกระทบหลัก อันตรกิริยา และพหุนามลำดับที่ 2 ของปัจจัย

ตารางผนวกที่ ข1 ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 2 ปัจจัย

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
หลัก	1		1
	4		4
พหุนามลำดับที่ 2	1	1	2
	4	4	6
อันตรกิริยา	1	4	5
	1	4	3

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางหาร 14

ตารางผนวกที่ ข2 ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 3 ปัจจัย

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
หลัก	1		1
	5		5
	8		8
พหุนามลำดับที่ 2	1	1	2
	5	5	10
	8	8	12
อันตรกิริยา	1	5	6
	1	5	4
	1	8	9
	1	8	7
	5	8	13
	5	8	3

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางหาร 28

ตารางผนวกที่ ข3 ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 4 ปัจจัย

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
หลัก	1		1
	4		4
	10		10
	17		17
พหุนามลำดับที่ 2	1	1	2
	4	4	8
	10	10	20
	17	17	12
อันตรกิริยา	1	4	5
	1	4	3
	1	10	11
	1	10	9
	1	17	18
	1	17	16
	4	10	14
	4	10	6
	4	17	21
	4	17	13
	10	17	19
	10	17	7

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางหาร 46

ตารางผนวกที่ ข4 ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 5 ปีจ้ย

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปีจ้ย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
หลัก	1		1
	4		4
	13		13
	19		19
	29		29
พหุนามลำดับที่ 2	1	1	2
	4	4	8
	13	13	26
	19	19	31
	29	29	11
อันตรกิริยา	1	4	5
	1	4	3
	1	13	14
	1	13	12
	1	19	20
	1	19	18
	1	29	30
	1	29	28
	4	13	17
	4	13	9
	4	19	23
	4	19	15
	4	29	33
	4	29	25
	13	19	32
	13	19	6
	13	29	27
	13	29	16
	19	29	21
	19	29	10

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางหาร 69

ตารางผนวกที่ ข5 ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 6 ปัจจัย

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
หลัก	1		1
	11		11
	28		28
	31		31
	35		35
	49		49
พหุนามลำดับที่ 2	1	1	2
	11	11	22
	28	28	47
	31	31	41
	35	35	33
	49	49	5
อันตรกิริยา	1	11	12
	1	11	10
	1	28	29
	1	28	27
	1	31	32
	1	31	30
	1	35	36
	1	35	34
	1	49	50
	1	49	48
	11	28	39
	11	28	17
	11	31	42
	11	31	20
	11	35	46
	11	35	24
	11	49	43
	11	49	38
	28	31	44
	28	31	3
	28	35	40
	28	35	7
	28	49	26
	28	49	21
	31	35	37
	31	35	4
	31	49	23
	31	49	18
	35	49	19
	35	49	14

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางหาร 103

ตารางผนวกที่ ข6 ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 7 ปัจจัย

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
หลัก	1		1
	4		4
	19		19
	31		31
	44		44
	53		53
	60		60
พหุนามลำดับที่ 2	1	1	2
	4	4	8
	19	19	38
	31	31	62
	44	44	42
	53	53	24
	60	60	10
อันตรกิริยา	1	4	5
	1	4	3
	1	19	20
	1	19	18
	1	31	32
	1	31	30
	1	44	45
	1	44	43
	1	53	54
	1	53	52
	1	60	61
	1	60	59
	4	19	23
	4	19	15
	4	31	35
	4	31	27
	4	44	48
	4	44	40
	4	53	57
	4	53	49
	4	60	64
4	60	56	
19	31	50	
19	31	12	
19	44	63	

ตารางผนวกที่ ๖6 (ต่อ)

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
อันตรายกิริยา	19	44	25
	19	53	58
	19	53	34
	19	60	51
	19	60	41
	31	44	55
	31	44	13
	31	53	46
	31	53	22
	31	60	39
	31	60	29
	44	53	33
	44	53	9
	44	60	26
	44	60	16
	53	60	17
	53	60	7

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางหาร 130

ตารางผนวกที่ ข7 ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 8 ปัจจัย

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
หลัก	16		16
	38		38
	75		75
	10		10
	33		33
	41		41
	29		29
	40		40
พหุนามลำดับที่ 2	16	16	32
	38	38	76
	75	75	18
	10	10	20
	33	33	66
	41	41	82
	29	29	58
	40	40	80
อันตรกิริยา	16	38	54
	16	38	22
	16	75	77
	16	75	59
	16	10	26
	16	10	6
	16	33	49
	16	33	17
	16	41	57
	16	41	25
	16	29	45
	16	29	13
	16	40	56
	16	40	24
	38	75	55
	38	75	37
	38	10	48
	38	10	28
	38	33	71
	38	33	5
38	41	79	
38	41	3	
38	29	67	

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
อันตราย	38	29	9
	38	40	78
	38	40	2
	75	10	83
	75	10	65
	75	33	60
	75	33	42
	75	41	52
	75	41	34
	75	29	64
	75	29	46
	75	40	53
	75	40	35
	10	33	43
	10	33	23
	10	41	51
	10	41	31
	10	29	39
	10	29	19
	10	40	50
	10	40	30
	33	41	74
	33	41	8
	33	29	62
	33	29	4
	33	40	73
	33	40	7
	41	29	70
	41	29	12
	41	40	81
	41	40	1
	29	40	69
29	40	11	

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางหาร 168

ตารางผนวกที่ ข8 ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบของ 20 ปัจจัย

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
หลัก	15		15
	29		29
	37		37
	40		40
	41		41
	46		46
	64		64
	100		100
	148		148
	167		167
	195		195
	257		257
	291		291
	329		329
	382		382
	447		447
	535		535
	608		608
	705		705
707		707	
พหุนามลำดับที่ 2	15	15	30
	29	29	58
	37	37	74
	40	40	80
	41	41	82
	46	46	92
	64	64	128
	100	100	200
	148	148	296
	167	167	334
	195	195	390
	257	257	514
	291	291	582
	329	329	658
	382	382	764
	447	447	694
	535	535	518
	608	608	372
	705	705	178
707	707	174	

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
อันตรกิริยา	15	29	44
	15	29	14
	15	37	52
	15	37	22
	15	40	55
	15	40	25
	15	41	56
	15	41	26
	15	46	61
	15	46	31
	15	64	79
	15	64	49
	15	100	115
	15	100	85
	15	148	163
	15	148	133
	15	167	182
	15	167	152
	15	195	210
	15	195	180
	15	257	272
	15	257	242
	15	291	306
	15	291	276
	15	329	344
	15	329	314
	15	382	397
	15	382	367
	15	447	462
	15	447	432
	15	535	550
	15	535	520
	15	608	623
	15	608	593
15	705	720	
15	705	690	
15	707	722	
15	707	692	
29	37	66	
29	37	8	

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
อันตรายกิริยา	29	40	69
	29	40	11
	29	41	70
	29	41	12
	29	46	75
	29	46	17
	29	64	93
	29	64	35
	29	100	129
	29	100	71
	29	148	177
	29	148	119
	29	167	196
	29	167	138
	29	195	224
	29	195	166
	29	257	286
	29	257	228
	29	291	320
	29	291	262
	29	329	358
	29	329	300
	29	382	411
	29	382	353
	29	447	476
	29	447	418
	29	535	564
	29	535	506
	29	608	637
	29	608	579
	29	705	734
	29	705	676
	29	707	736
	29	707	678
	37	40	77
	37	40	3
	37	41	78
37	41	4	
37	46	83	
37	46	9	

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
อันตรกิริยา	37	64	101
	37	64	27
	37	100	137
	37	100	63
	37	148	185
	37	148	111
	37	167	204
	37	167	130
	37	195	232
	37	195	158
	37	257	294
	37	257	220
	37	291	328
	37	291	254
	37	329	366
	37	329	292
	37	382	419
	37	382	345
	37	447	484
	37	447	410
	37	535	572
	37	535	498
	37	608	645
	37	608	571
	37	705	742
	37	705	668
	37	707	744
	37	707	670
	40	41	81
	40	41	1
	40	46	86
	40	46	6
	40	64	104
	40	64	24
	40	100	140
	40	100	60
40	148	188	
40	148	108	
40	167	207	
40	167	127	

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
อันตรายกิริยา	40	195	235
	40	195	155
	40	257	297
	40	257	217
	40	291	331
	40	291	251
	40	329	369
	40	329	289
	40	382	422
	40	382	342
	40	447	487
	40	447	407
	40	535	575
	40	535	495
	40	608	648
	40	608	568
	40	705	745
	40	705	665
	40	707	747
	40	707	667
	41	46	87
	41	46	5
	41	64	105
	41	64	23
	41	100	141
	41	100	59
	41	148	189
	41	148	107
	41	167	208
	41	167	126
	41	195	236
	41	195	154
	41	257	298
	41	257	216
	41	291	332
	41	291	250
	41	329	370
	41	329	288
	41	382	423
	41	382	341

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
อันตรายกิริยา	41	447	488
	41	447	406
	41	535	576
	41	535	494
	41	608	649
	41	608	567
	41	705	746
	41	705	664
	41	707	748
	41	707	666
	46	64	110
	46	64	18
	46	100	146
	46	100	54
	46	148	194
	46	148	102
	46	167	213
	46	167	121
	46	195	241
	46	195	149
	46	257	303
	46	257	211
	46	291	337
	46	291	245
	46	329	375
	46	329	283
	46	382	428
	46	382	336
	46	447	493
	46	447	401
	46	535	581
	46	535	489
	46	608	654
	46	608	562
	46	705	751
	46	705	659
46	707	753	
46	707	661	
64	100	164	
64	100	36	

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
อันตรายกิริยา	64	148	212
	64	148	84
	64	167	231
	64	167	103
	64	195	259
	64	195	131
	64	257	321
	64	257	193
	64	291	355
	64	291	227
	64	329	393
	64	329	265
	64	382	446
	64	382	318
	64	447	511
	64	447	383
	64	535	599
	64	535	471
	64	608	672
	64	608	544
	64	705	769
	64	705	641
	64	707	771
	64	707	643
	100	148	248
	100	148	48
	100	167	267
	100	167	67
	100	195	295
	100	195	95
	100	257	357
	100	257	157
	100	291	391
	100	291	191
	100	329	429
	100	329	229
100	382	482	
100	382	282	
100	447	547	
100	447	347	

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
อันตรายกิริยา	100	535	635
	100	535	435
	100	608	708
	100	608	508
	100	705	783
	100	705	605
	100	707	781
	100	707	607
	148	167	315
	148	167	19
	148	195	343
	148	195	47
	148	257	405
	148	257	109
	148	291	439
	148	291	143
	148	329	477
	148	329	181
	148	382	530
	148	382	234
	148	447	595
	148	447	299
	148	535	683
	148	535	387
	148	608	756
	148	608	460
	148	705	735
	148	705	557
	148	707	733
	148	707	559
	167	195	362
	167	195	28
	167	257	424
	167	257	90
	167	291	458
	167	291	124
	167	329	496
	167	329	162
	167	382	549
	167	382	215

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ผลกระทบ	ความถี่ขั้นต่ำที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
อันตรายกิริยา	167	447	614
	167	447	280
	167	535	702
	167	535	368
	167	608	775
	167	608	441
	167	705	716
	167	705	538
	167	707	714
	167	707	540
	195	257	452
	195	257	62
	195	291	486
	195	291	96
	195	329	524
	195	329	134
	195	382	577
	195	382	187
	195	447	642
	195	447	252
	195	535	730
	195	535	340
	195	608	785
	195	608	413
	195	705	688
	195	705	510
	195	707	686
	195	707	512
	257	291	548
	257	291	34
	257	329	586
	257	329	72
	257	382	639
	257	382	125
257	447	704	
257	447	190	
257	535	792	
257	535	278	
257	608	723	
257	608	351	

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ผลกระทบ	ความถี่ขั้นต่ำที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
อันตรกิริยา	257	705	626
	257	705	448
	257	707	624
	257	707	450
	291	329	620
	291	329	38
	291	382	673
	291	382	91
	291	447	738
	291	447	156
	291	535	762
	291	535	244
	291	608	689
	291	608	317
	291	705	592
	291	705	414
	291	707	590
	291	707	416
	329	382	711
	329	382	53
	329	447	776
	329	447	118
	329	535	724
	329	535	206
	329	608	651
	329	608	279
	329	705	554
	329	705	376
	329	707	552
	329	707	378
	382	447	759
	382	447	65
	382	535	671
	382	535	153
	382	608	598
	382	608	226
382	705	501	
382	705	323	
382	707	499	
382	707	325	

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

ผลกระทบ	ความถี่ที่กำหนดให้ปัจจัย		ความถี่ที่ใช้ตรวจสอบ
อันตราย	447	535	606
	447	535	88
	447	608	533
	447	608	161
	447	705	436
	447	705	258
	447	707	434
	447	707	260
	535	608	445
	535	608	73
	535	705	348
	535	705	170
	535	707	346
	535	707	172
	608	705	275
	608	705	97
	608	707	273
	608	707	99
	705	707	176
	705	707	2

หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางหาร 1,558

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ นามสกุล	นายวฐา มินเสน
วัน เดือน ปีเกิด	26 พฤศจิกายน 2517
ที่อยู่ปัจจุบัน	18/9 หมู่ 14 บ้านใหม่หลังมอชอย 5 ต. สุเทพ อ. เมือง เชียงใหม่
	E-Mail: wathaminsan@gmail.com
	Website: http://watha.gendit.com
วุฒิการศึกษา	1) ศ.บ.(เศรษฐศาสตร์ เกียรตินิยมอันดับสอง) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2) วท.ม. (สาขาสถิติประยุกต์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 3) วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ประสบการณ์ทำงาน	1) นักคอมพิวเตอร์สนับสนุนตัวแทน บริษัท AIA Thailand 2) นักวิเคราะห์ บริษัทปูนซิเมนต์ไทยจำกัด (มหาชน) 3) นักวิทยาศาสตร์สถิติ บริษัท Ltec Fujikura 4) อาจารย์ประจำ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	1) ได้รับทุนสนับสนุนการพัฒนาอาจารย์สาขาขาดแคลนจาก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (พ.ศ. 2548) 2) ได้รับทุนสนับสนุนคุณภาพงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา เพื่อการตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและนานาชาติ จาก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2551)