

บทที่ 5

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการดำเนินงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือขั้นตอนที่ 1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k ขั้นตอนที่ 2 คือเขียนแผนภาพสายธารคุณค่าแสดงสถานะอนาคต (future VSM) โดยพิจารณาจากแผนภาพสายธารคุณค่าแสดงสถานะในปัจจุบันหลังจากที่ทำการทดลอง และขั้นตอนที่ 3 คือการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงเศรษฐศาสตร์โดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation technique)

การทดลองในขั้นตอนที่ 1 มีจุดประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการอบ ในการทดลองเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์ผลที่ดี ได้นำเอาวิธีทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการออกแบบการทดลอง นั่นคือการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA)

การวิจัยในขั้นตอนที่ 2 หลังจากที่ได้สร้างแผนภาพสายธารคุณค่าสถานะปัจจุบัน (current VSM) และประเมินผลการจัดการกระบวนการตลอดจนกำหนดตัวชี้วัดของการดำเนินงานแล้ว ผู้วิจัยจะต้องนำข้อมูลทั้งหมดมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อกำหนดวิธี เครื่องมือและกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของระบบสิน โดยสรุปผลออกมาในรูปแบบของแผนภาพสายธารคุณค่าสถานะอนาคต

ส่วนการวิจัยในขั้นตอนที่ 3 เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยใช้การจำลองสถานการณ์ ด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนและผลกำไรที่ได้จากกระบวนการ

1. การออกแบบการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะในกระบวนการอบที่เหมาะสม และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการอบ โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k

1.1 กำหนดปัจจัยสำหรับการทดลอง

- 1) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงาน (curing temperature)
- 2) เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน (curing time)

ตารางที่ 22 ปัจจัยควบคุมในกระบวนการอบและระดับต่างๆ ของแต่ละปัจจัย

ปัจจัยควบคุม	ระดับของปัจจัย		
	ต่ำ (-)	สูง (+)	หน่วย
1. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงาน	165	170	องศาเซลเซียส (°C)
2. เวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน	75	80	นาที

ตารางที่ 23 แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2² ที่ทำการทดลอง 5 ซ้ำ ในแต่ละทริทเมนต์ คอมบิเนชัน

แบบการทดลอง	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ (°C)	เวลาที่ใช้ในการอบ (นาที)
1	165	75
2	170	75
3	165	80
4	170	80
5	165	75
6	170	75
7	165	80
8	170	80
9	165	75
10	170	75
11	165	80
12	170	80
13	165	75
14	170	75
15	165	80
16	170	80
17	165	75
18	170	75
19	165	80
20	170	80

1.2 การเก็บข้อมูล

หลังจากทำการอบตามเวลาที่กำหนดแล้วนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอบจำนวน 20 ครั้งๆ ละ 40 ชิ้นงาน และนำมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เย็นตัวลงและทำการบันทึกจำนวนชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบในตารางเก็บข้อมูลที่ 24

ตารางที่ 24 ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^2

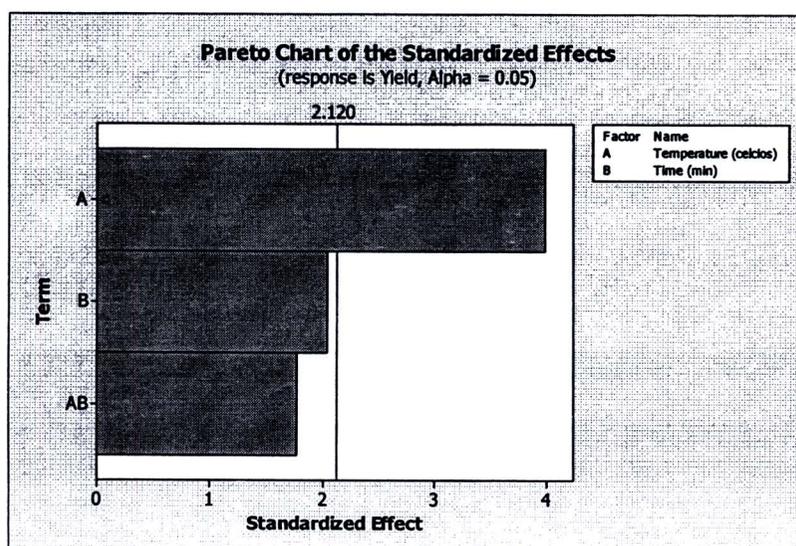
แบบการทดลอง	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ ($^{\circ}\text{C}$)	เวลาที่ใช้ในการอบ (นาที)	จำนวนชิ้นงานเสีย	สัดส่วนของเสีย (y)	$\sin^{-1}\sqrt{y} = \hat{y}$
1	165	75	2	2/40	12.92
2	170	75	5	5/40	20.70
3	165	80	4	4/40	18.43
4	170	80	5	5/40	20.70
5	165	75	3	3/40	15.89
6	170	75	6	6/40	22.78
7	165	80	2	2/40	12.92
8	170	80	6	6/40	22.78
9	165	75	1	1/40	9.09
10	170	75	2	2/40	12.92
11	165	80	1	1/40	9.09
12	170	80	3	3/40	15.89
13	165	75	0	0/40	0.00
14	170	75	3	3/40	15.89
15	165	80	7	7/40	24.72
16	170	80	5	5/40	20.70
17	165	75	0	0/40	0.00
18	170	75	4	4/40	18.43
19	165	80	2	2/40	12.92
20	170	80	6	6/40	22.78

1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกมาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 15 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานในกระบวนการอบแก้ว หลังจากที่ได้ทดลองโดยการสุ่มลำดับการทดลองพบว่า การทดลองที่ให้ค่าสัดส่วนของเสียมากที่สุดคือการทดลองที่ 15 มีค่าเท่ากับ 24.72 ซึ่งเป็นการทดลองที่อุณหภูมิ 165°C ด้วยเวลา 80 นาที การทดลองที่ให้ค่าสัดส่วนของเสียน้อยที่สุดคือการทดลองที่ 13 และ 17 ซึ่งได้ค่าสัดส่วนของเสีย เท่ากับ 0.00 โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 165°C ด้วยเวลา 75 นาที

1.4 ผลการทดสอบอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน

ผลการวิเคราะห์พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบมีผลต่อสัดส่วนของเสีย โดยจะเห็นได้จากกราฟว่าปัจจัย A (อุณหภูมิ) แสดงผลกระทบมากกว่าค่าวิกฤติ (2.12)



ภาพที่ 28 ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน

Factorial Fit: Yield versus Temperature (celcios), Time (min)

Estimated Effects and Coefficients for Yield (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		15.922	1.067	14.92	0.000
Temperature (celcios)	8.545	4.272	1.067	4.00	0.001
Time (min)	4.353	2.176	1.067	2.04	0.058
Temperature (celcios)*Time (min)	-3.785	-1.893	1.067	-1.77	0.095

S = 4.77224 PRESS = 569.357

R-Sq = 59.32% R-Sq(pred) = 36.44% R-Sq(adj) = 51.70%

Estimated Coefficients for Yield using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	15.9215
Temperature (celcios)	4.27250
Time (min)	2.17650
Temperature (celcios)*Time (min)	-1.89250

Two-way ANOVA: Yield versus Temperature (celcios), Time (min)

Source	DF	SS	MS	F	P
Temperature (celcios)	1	365.085	365.085	16.03	0.001
Time (min)	1	94.743	94.743	4.16	0.058
Interaction	1	71.631	71.631	3.15	0.095
Error	16	364.389	22.774		
Total	19	895.848			

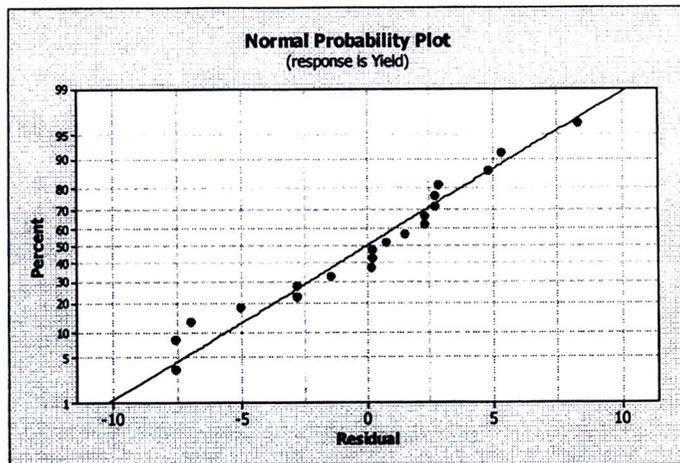
ภาพที่ 29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2²

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 15.0 ดังภาพที่ 28 สรุปว่าปัจจัยอุณหภูมิส่งผลต่อสัดส่วนของเสียอย่างมีนัยสำคัญ ได้ค่า P-value เท่ากับ 0.001 ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ส่วนปัจจัยระยะเวลาในการอบไม่ส่งผลต่อสัดส่วนของเสียอย่างมีนัยสำคัญ ได้ค่า P-value เท่ากับ 0.058 ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ และอิทธิพลของกิริยาร่วมไม่มีผลต่อสัดส่วนของเสีย

1.5 การตรวจสอบความเพียงพอของรูปแบบ

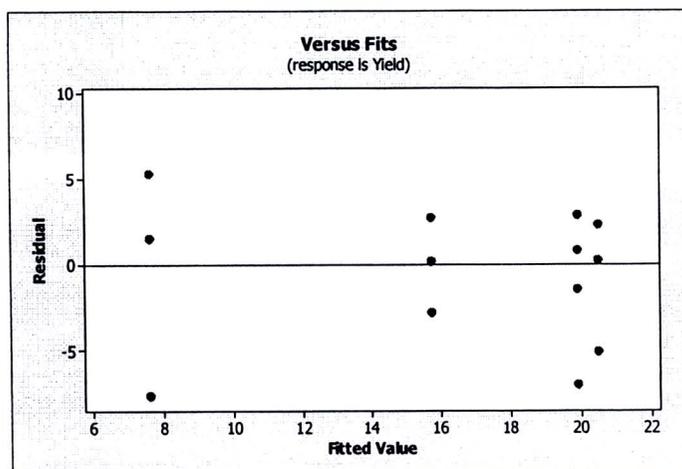
การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบจำลอง เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งสมมติฐานว่ารูปแบบของส่วนตกค้าง (residuals) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองต้องเป็นไปตามหลักการ $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ คือส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติและเป็นอิสระด้วยค่าใกล้เคียง 0 และ σ^2 มีค่าคงตัว (stability) จึงจะทำให้ข้อมูลการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้

1.5.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (normal distribution) พบว่าการกระจายค่าของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ



ภาพที่ 30 การกระจายตัวแบบปกติของของสัดส่วนของเสีย

1.5.2 การทดสอบความแปรปรวนที่คงที่ของข้อมูลในแต่ละระดับ การทดสอบนี้มีประโยชน์ คือช่วยในการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนที่คงที่ของข้อมูลในแต่ละระดับ ภาพที่ 30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนและค่าประมาณของค่าสังเกต ซึ่งไม่มีสัญญาณใดบ่งบอกให้เห็นถึงความผิดปกติของข้อมูล ในเรื่องของความแปรปรวนที่ไม่คงที่ของข้อมูลในแต่ละระดับ (non constant variance)



ภาพที่ 31 การกระจายตัวของส่วนตกค้าง (residuals)

รูปแบบของส่วนตกค้างที่ได้จากข้อมูลในการทดลอง เป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ ซึ่งความเสถียรอยู่ในระดับที่น่าพอใจและไม่พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของส่วนตกค้างเข้าข่ายลักษณะที่เป็นแนวโน้ม (trend) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลของชุดทดลองนี้มีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือได้

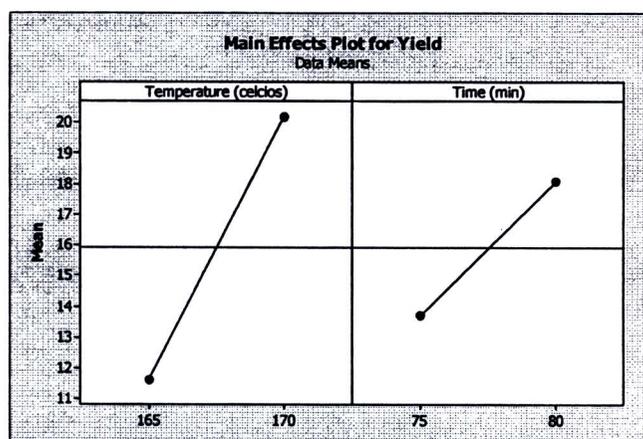
ในการออกแบบ 2^2 แบบจำลองการถดถอย (regression model) ที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งนี้คือ $\hat{y} = 15.9215 + 4.27250A + 2.17650B$ (7)

เมื่อ \hat{y} = สัดส่วนของเสีย

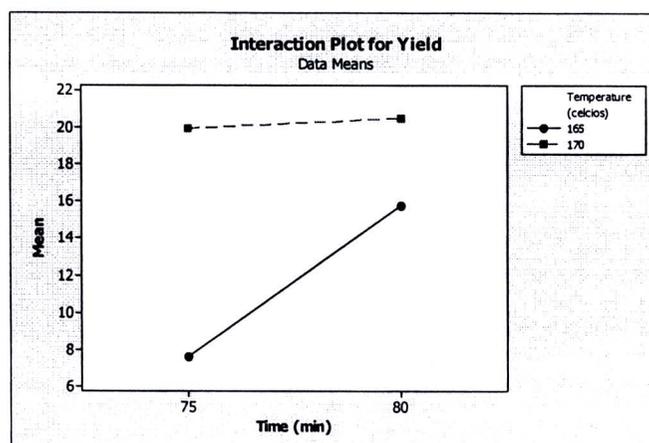
A = อุณหภูมิการอบ

B = เวลาในการอบ

1.6 การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของระดับของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของเสีย



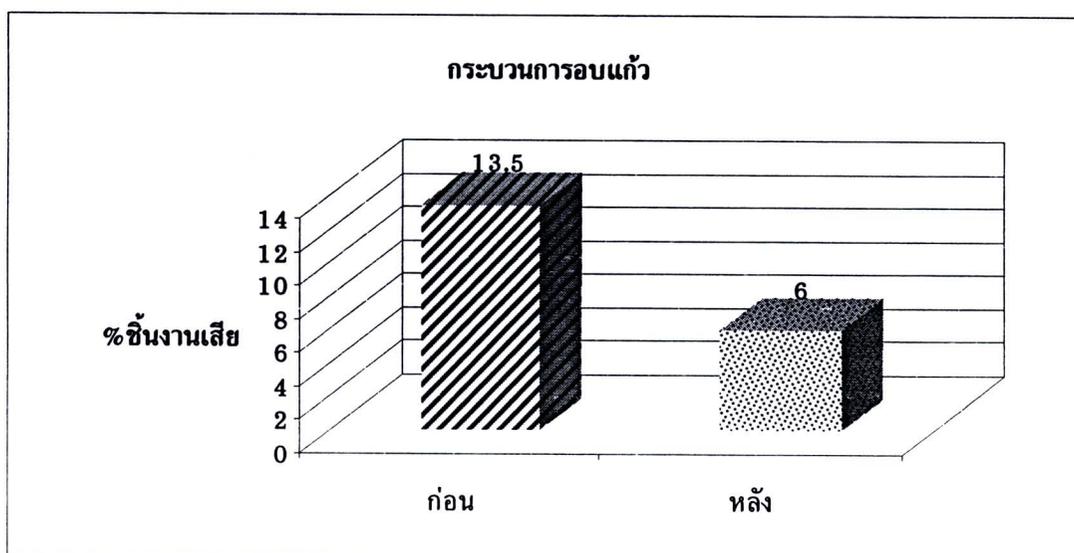
ภาพที่ 32 อิทธิพลหลัก (main effect)



ภาพที่ 33 อันตรกิริยาทั้ง 2 ปัจจัย (interaction)

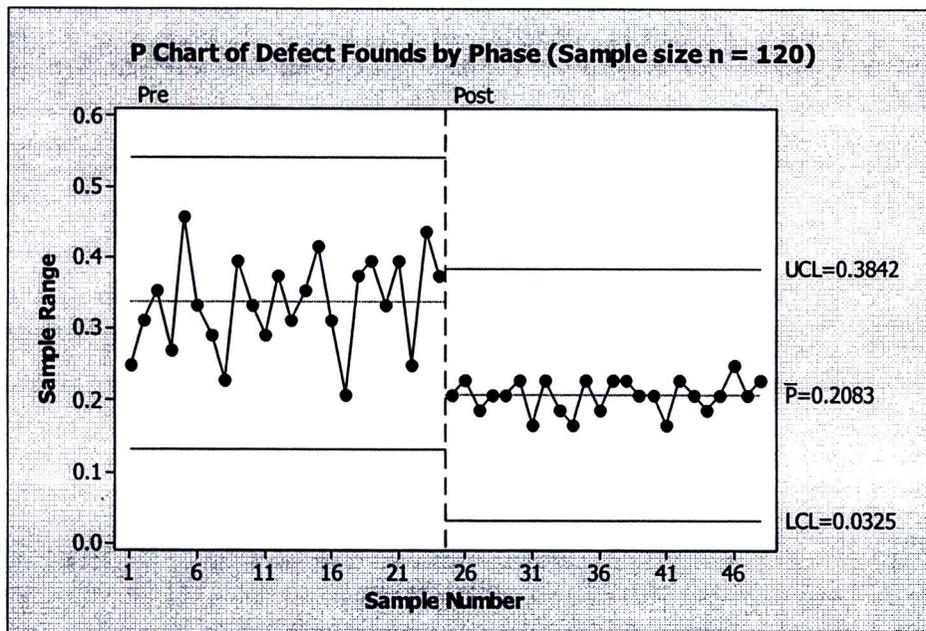
ภาพที่ 32 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการอบที่มีผลกระทบต่อสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ย ภาพที่ 33 แสดงอันตรกิริยาทั้ง 2 ปัจจัย ที่มีผลกระทบต่อสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ย เนื่องจากอันตรกิริยาทั้ง 2 ปัจจัย ไม่มีผลกระทบต่อสัดส่วนของเสียอย่างมีนัยสำคัญ อิทธิพลหลักของอุณหภูมิใช้เป็นตัวกำหนดการวิเคราะห์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของระดับปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของเสีย จากภาพที่ 32 จะเห็นว่าที่ระดับอุณหภูมิ 165°C และเวลา 75 นาที เป็นสภาวะที่ทำให้ได้สัดส่วนของเสียอยู่ในระดับต่ำที่สุดโดยเฉลี่ย นอกจากนี้ ที่สภาวะดังกล่าวยังมีผลต่อการประหยัดพลังงานอีกด้วย

จากการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของระดับของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียดังกล่าวมาข้างต้น พบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 165°C และเวลา 75 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสม หลังจากนั้นจึงนำสภาวะดังกล่าวไปทดสอบ โดยทำการผลิตชิ้นงานเป็นจำนวน 400 ชิ้น เมื่อทำการเก็บข้อมูลหลังจากอบชิ้นงานพบว่า มีชิ้นงานเสียเกิดขึ้นทั้งหมดเป็นจำนวน 24 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 6 จากชิ้นงานทั้งหมดที่ผลิตดังแสดงในภาพที่ 34 ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการอบคิดเป็นร้อยละ 55.56



ภาพที่ 34 แผนภาพ %ชิ้นงานเสียก่อนและหลังการปรับปรุง





ภาพที่ 35 แผนภูมิควบคุมแบบ p ก่อนและหลังการปรับปรุง

จากการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมแบบ p ก่อนและหลังการปรับปรุง จะเห็นว่าก่อนการปรับปรุงชุดข้อมูลตัวอย่างมีความผันแปรในกระบวนการอยู่ตลอดเวลา มีบางชุดข้อมูลที่หลุดห่างไปจากค่ากลาง (\bar{p}) แต่เมื่อทำการปรับปรุงจะเห็นว่าชุดข้อมูลอยู่ใกล้บริเวณค่ากลางและมีความผันแปรในกระบวนการลดลง ไม่มีข้อมูลชุดใดเลยที่หลุดออกจากช่วงในการควบคุม แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตมีเสถียรภาพ

2. แผนภาพสายธารคุณค่าสถานะอนาคต

ในหัวข้อที่ผ่านมา ได้ทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^2 ต่อไปจะเป็นการประยุกต์ใช้แนวความคิดแบบสีนไปใช้ในการจัดความสูญเปล่า ซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดหัวข้อต่อไป ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ดัชนีการวัดผลการปฏิบัติงาน (key performance indicator: KPIs) 2 ดัชนี คือระยะเวลาการผลิตรวมและปริมาณสินค้าคงคลังระหว่างกระบวนการ เนื่องจากเมื่อพิจารณาแผนภาพสายธารคุณค่าสถานะปัจจุบันที่ใช้อยู่พบว่าระยะเวลาการผลิตรวม เมื่อเทียบกับเวลาในการเพิ่มคุณค่านั้นมีระยะเวลานานมากในขณะที่สินค้าคงคลังระหว่างกระบวนการมีปริมาณมากเช่นกัน ดังนั้น การลดระยะเวลาการผลิตรวมและสินค้าคงคลังระหว่างกระบวนการจะช่วยให้โรงงานกรณีศึกษาประหยัดค่าใช้จ่ายและปรับปรุงคุณภาพได้ ทั้งนี้โดยทั่วไปแล้ว ระยะเวลาการผลิตรวมมีความสัมพันธ์กับสินค้าคงคลังระหว่างกระบวนการ ดังนั้น ยิ่งสินค้าคงคลังระหว่างกระบวนการมีปริมาณมาก ระยะเวลาการผลิตรวมจึงยิ่งมีระยะเวลานานขึ้นไปด้วย

2.1 ระบบการผลิต

ระบบผลัก (push system) และระบบผสม (hybrid system) เป็นระบบที่ผสมระหว่างระบบผลักกับระบบดึง (pull system) ระบบผลักซึ่งเป็นระบบที่ใช้ในการทำงานปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา แผ่นแก้วจะถูกผลักเข้าสู่กระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามระบบผสมถูกออกแบบเพื่อให้สอดคล้องกับแผนภาพสายธารคุณค่าสถานะอนาคต เริ่มจากระบบคัมบังดึงอย่างต่อเนื่อง จะถูกใช้สั่งผลิตชิ้นส่วนโคมเพดานแก้วตามความต้องการที่แท้จริง ดังที่กล่าวในบทที่ 2 เกี่ยวกับการพัฒนาของแผนภาพสายธารคุณค่าสถานะอนาคต ชิ้นส่วนโคมเพดานแก้วของโรงงานกรณีศึกษา จะถูกลำเลียงอย่างต่อเนื่องจากกระบวนการตัด จนกระทั่งไปหยุดที่กระบวนการอบ ระบบผสมจะทำได้ ก็ต่อเมื่อการทำงานที่กระบวนการอบซึ่งเป็นระบบผลักไหลอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งไปถึงกระบวนการบรรจุ อย่างไรก็ตามจากพื้นที่เก็บสินค้าระหว่างแต่ละกระบวนการ จะถูกดึงจากกระบวนการต้นทาง จะเริ่มที่กระบวนการตัดไปจนถึงคลังสินค้า วัตถุประสงค์ของระบบนี้ คือการรักษาความสามารถในการไหลอย่างต่อเนื่องไว้ได้ในขณะมีการดึงสินค้าตามความต้องการของลูกค้า

ในระบบคัมบังดึง คือ แต่ละกระบวนการจะมีคัมบังเพียงใบเดียว แผ่นแก้ว 1 แผ่น จะถูกส่งไปยังกระบวนการต่อไปพร้อมกับใบคัมบัง 1 ใบ เมื่อผ่านกระบวนการเพิ่มคุณค่า แผ่นแก้วจะถูกปล่อยจากกระบวนการพร้อมคัมบังใบเดิม โดยที่ปล่อยคัมบังของกระบวนการก่อนหน้า หมายความว่าคัมบังของกระบวนการหนึ่งจะถูกปล่อยออกก็ต่อเมื่อสินค้าถูกส่งไปยังกระบวนการต่อไปและใบคัมบังนั้นจะส่งสัญญาณเพื่อสั่งให้มีการการอบตามใบคัมบัง จึงมั่นใจได้ว่าสถานีการผลิตที่อยู่ข้างหลังจะไม่ทำงานจนกว่าจะได้รับสัญญาณดังกล่าว

2.2 การบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนร่วม (total productive maintenance: TPM)

การประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนร่วม สามารถช่วยลดความเสียหาย (random machine breakdowns) ที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องจักรได้ ซึ่งส่งผลต่อการลดสินค้าคงคลังและระยะเวลาการผลิตรวมด้วย เนื่องจากการซ่อมและบำรุงรักษาตามขั้นตอนอย่างดีหรือไม่นั้น จะส่งผลโดยตรงต่ออายุการใช้งานของเครื่องจักร เพราะพนักงานซึ่งเป็นผู้ที่ทราบดีที่สุดว่าอุปกรณ์ต่างๆ มีข้อบกพร่องหรือไม่ มีสภาพอย่างไร ทำให้สามารถรายงานถึงข้อบกพร่องหรือปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทันที ดังนั้น จึงมีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดการชำรุดได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดความจำเป็นที่จะต้องมีการบำรุงรักษาอีกด้วย เนื่องจากพนักงานประจำเครื่องนั้นสามารถดูแลและสังเกตข้อบกพร่องของเครื่องจักรได้

จากตารางที่ 25 แสดงถึงเวลาในการบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนร่วมที่กระบวนการผลิตชิ้นส่วนโคมเพดานแก้ว ตั้งแต่กระบวนการตัดแก้วจนถึงกระบวนการอบแก้วอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาสำหรับการบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนร่วม จะมาจากการคำนึงถึงความสมเหตุสมผลและการประชุมรวบรวมความคิดของบุคคลที่เกี่ยวข้องทุก ๆ คนของโรงงานกรณีศึกษา เช่น การหยุดอบเพื่อการบำรุงรักษาทุกสัปดาห์นั้นอาจไม่สมเหตุสมผลพอ

เนื่องจากเครื่องอบเป็นแหล่งขับเคลื่อนกระบวนการทั้งหมด ขณะที่หากทำทุก ๆ 3 สัปดาห์ อาจจะนานเกินไป

ตารางที่ 25 เวลาในการบำรุงรักษาที่กระบวนการผลิต

กระบวนการ	ระยะเวลาบำรุงรักษา (นาท)	จำนวนเวลาในการบำรุงรักษา (นาท)	วัน
ตัด	43,200 (30 วัน)	30	จันทร์
ตัดขอบ	43,200 (30 วัน)	30	จันทร์
เจาะ	43,200 (30 วัน)	30	จันทร์
สกรีน	43,200 (30 วัน)	30	จันทร์
อบ	20,160 (14 วัน)	240	ศุกร์
บรรจุ	-	-	-

ในการประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนร่วมสิ่งสำคัญที่ไม่ควรมองข้าม คือ ต้องแน่ใจว่าเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาของแต่ละส่วนจะต้องไม่เกินเวลาที่ลดลง ในประเด็นนี้ โรงงานกรณีศึกษาเองก็คิดว่าเวลาการหยุดซ่อมบำรุงของเครื่องจักรที่เสนอมานั้น ควรยืดหยุ่นได้ ตัวอย่างเช่นในกรณีที่กระบวนการอบอย่างต่อเนื่อง จำเป็นที่จะต้องแบ่งการบำรุงรักษาออกเป็น ส่วน ๆ โดยทำส่วนที่สำคัญกว่าก่อน (the critical tasks) ขณะที่ส่วนที่สำคัญน้อยกว่าก็อาจแบ่งไปทำครั้งต่อไปได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าส่วนที่สำคัญควรได้รับการดูแลรักษาบ่อยครั้งกว่า เช่น บำรุงรักษา 1 ถึง 2 สัปดาห์ต่อครั้ง ขณะที่ส่วนซึ่งไม่สำคัญ (the non critical tasks) อาจทำเพียงเดือนละครั้ง เช่น การเปลี่ยนใบมีดตัดแก้วหรือการเปลี่ยนหัวเจาะ ซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่ไม่ค่อยสำคัญนักอาจทำเพียงเดือนละ 1 ถึง 2 ครั้งก็ได้

2.3 แผนภาพสายธารคุณค่าสถานะอนาคต (future state value stream mapping)

แผนภาพสายธารคุณค่าสถานะอนาคตของโรงงานกรณีศึกษา ดังภาพที่ 35 เป็นการใช้นิวความคิดแบบลีน เช่น ให้แต่ละกระบวนการเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง การบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนร่วม ระบบคัมบังที่ทำให้งานไหลที่ละชิ้น การทำกิจกรรม 5ส. ย้ายสิ่งของที่จำเป็นไว้ใกล้จุดใช้งานมากยิ่งขึ้น อีกทั้งได้ทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^2 เพื่อหาสภาวะในการอบที่เหมาะสม เหล่านี้จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตมากยิ่งขึ้น จำนวนชิ้นงานเสียลดลง ดังนั้น ในแผนภาพสายธารคุณค่าสถานะอนาคตนี้ทางโรงงานจะทำตารางการผลิตตั้งแต่กระบวนการตัดจนกระทั่งถึงกระบวนการจัดส่งสินค้า เมื่อปรับปรุงสายแผนภาพธารคุณค่าสถานะอนาคตแล้ว โรงงานกรณีศึกษามีการผลิตรวมเท่ากับ 7 วัน สามารถลดลงได้จาก 10 วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 30

ตารางที่ 26 ปริมาณพัสดุคงคลังในช่วงต้นงวดและปลายงวดหลังการปรับปรุง

ตำแหน่ง	ปริมาณพัสดุคงคลัง (ชิ้น)		
	ต้นงวด	ปลายงวด	เฉลี่ย
คลังพัสดุ	684	940	812
ตัด - ตัดขอบ	540	690	615
ตัดขอบ - เจาะ	645	523	584
เจาะ - สกรีน	510	762	636
สกรีน - อบ	688	554	621
อบ - บรรจุ	834	712	733
คลังสินค้า	796	815	805

ตารางที่ 27 การปฏิบัติงานหลังการปรับปรุง

ข้อมูล	กระบวนการ						หน่วย
	ตัด	ตัดขอบ	เจาะ	สกรีน	อบ*	บรรจุ	
จำนวนพนักงาน	1	1	0**	1	1	1	5 คน
รอบเวลาในการผลิต แต่ละกระบวนการ (process time: PT)	7	6	10	12	120	6	วินาที/ชิ้น
เวลาที่ใช้ในการ ปรับตั้งเครื่องจักร (changeover time: CO)	360	480	360	480	1,200	0	วินาที/วัน
เวลาที่เครื่องชำรุด (breakdown time: BT)	0	0	0	0	600	0	วินาที/วัน
รวมเวลาหยุดเครื่อง (CO + BT)	360	480	360	480	1,800	0	วินาที/วัน
เวลาที่มีสำหรับการ ผลิต (available time: AT)	39,600	39,600	39,600	39,600	39,600	39,600	วินาที/วัน
รอบเวลาที่ เครื่องจักรทำงานได้ ปกติ (uptime: UT) [=(AT - เวลาหยุด เครื่อง)/AT]	99.09	98.79	99.09	98.99	95.45	100	%
อัตราคุณภาพ (%Quality) [=(จำนวนผลิต ชิ้นงานทั้งหมด- จำนวนชิ้นงานเสีย)/ จำนวนผลิตชิ้นงาน ทั้งหมด]	100	97.50	97.50	100	94.00	100	%

หมายเหตุ * ในกระบวนการอบมีชิ้นงานสามารถอบได้ครั้งละ 40 ชิ้น ใช้เวลาครั้งละ 80 นาที
 ** พนักงานผู้รับผิดชอบกระบวนการสกรีน จะเจาะเมื่อชิ้นส่วนที่ต้องการใช้มีจำนวน
 ลดถึงระดับที่กำหนดไว้ จึงไม่มีพนักงานประจำที่หน้างาน และการเจาะจะทำในลักษณะเข้าก่อน -
 ออกก่อน (first in first out หรือ FIFO)

ตารางที่ 28 สรุปผลรวมของเวลาที่สูญเสียไปกับกิจกรรมที่สร้าง/ไม่สร้างคุณค่าเพิ่มหลังการ
 ปรับปรุง

ข้อมูล	กระบวนการ							หน่วย
	ตัด	ตัด ขอบ	เจาะ	สกรีน	อบ*	บรรจุ	จัดเก็บ คลังสินค้า	
เบกวัตต์ดูดซับ	5	0	0	1	0	0	0	วัน
รอบเวลาใน การผลิตแต่ ละ กระบวนการ	5	4	6	10	120	6	0	วินาที/ชิ้น
เวลาที่ใช้ใน การปรับตั้ง เครื่องจักร	360	480	360	480	1,200	0	0	วินาที/วัน
เวลาที่เครื่อง ชำรุด	0	0	0	0	600	0	0	วินาที/วัน
ความสูญ เปล่าอัน เนื่องมาจาก การทำงาน	120	120	120	120	120	120	45	นาที/วัน
รวม	7,327	128	126	1,560	150	127	45	นาที

หมายเหตุ * ในกระบวนการอบมีชิ้นงานสามารถอบได้ครั้งละ 40 ชิ้น ใช้เวลาครั้งละ 80 นาที

ตารางที่ 29 สรุปผลรวมของเวลาทั้งหมดหลังการปรับปรุง

คำสรุป	วิธีการคำนวณ	การคำนวณ	ผลสรุป
Total Lead Time: TLT (ระยะเวลาในการผลิต สินค้ารวม)	ผลรวมระยะเวลา ในการผลิตสินค้า	= 7,327 + 128 + 126 + 1,560 + 150 + 127 + 45 (9,463 นาที)	6.57 ≈ 7 วัน
Total Process Time: TPT (เวลาในการผลิตรวม)	ผลรวมของเวลาใน การผลิตทั้งหมด	= 5 + 4 + 6 + 10 + 120 + 6 + 0	151 วินาที

3. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์

จากที่ได้ปรับปรุงกระบวนการอบแก้วโดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^2 และประยุกต์ใช้แนวความคิดแบบลีนเพื่อกำจัดความสูญเปล่าให้แก่โรงงานกรณีศึกษานั้น จะต้องนำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์เข้ามาช่วย ทำการเปรียบเทียบต้นทุนและวิเคราะห์ผลกำไรของกระบวนการผลิตระหว่างวิธีการผลิตก่อนและหลังทำการทดลอง ซึ่งในที่นี้จะใช้การจำลองแบบปัญหาด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation technique)

3.1 ค่าใช้จ่ายสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตในที่นี้ คือตู้อบ

3.1.1 ที่การผลิตปัจจุบันมีการตั้งค่าไว้ดังนี้

- 1) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบเท่ากับ 170°C
- 2) เวลาที่ใช้ในการอบเท่ากับ 80 นาที
- 3) ตู้อบมีกำลังที่ 2,500 วัตต์
- 4) จำนวนงานที่บรรจุต่อหนึ่งรอบเท่ากับ 40 ชิ้น
- 5) ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 2.75 บาทต่อหนึ่งกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง*

3.2.1 ที่การผลิตปัจจุบันที่ปรับเปลี่ยนสถานการณ์อบใหม่มีการตั้งค่าไว้ดังนี้

- 1) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบเท่ากับ 165°C
- 2) เวลาที่ใช้ในการอบเท่ากับ 75 นาที
- 3) ตู้อบมีกำลังที่ 2,500 วัตต์
- 4) จำนวนงานที่บรรจุต่อหนึ่งรอบเท่ากับ 40 ชิ้น
- 5) ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 2.75 บาทต่อหนึ่งกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง**

หมายเหตุ *,** (การไฟฟ้านครหลวง, 2553)

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อหาค่าคาดหวังของกำไรรวมโดยเฉลี่ย ตามเทคนิคมอนติคาร์โล จะใช้การแจกแจงความน่าจะเป็นขององค์ประกอบที่มีความไม่แน่นอน เนื่องจากปกติข้อมูลต่างๆ ในระบบงานจะเป็นข้อมูลที่มีความผันแปรไม่แน่นอนและมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ในการกำหนดตัวเลขสุ่มออกมาจะมีค่าใดค่าหนึ่งในช่วง $[0,1]$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นในการนำเลขสุ่มไปใช้กับระบบต่างๆ จึงต้องแปลงเลขสุ่มไปเป็นเลขในช่วงที่ต้องการ

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการผลิตชิ้นส่วนคอมเพดานแก้วในโรงงานกรณีศึกษาที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลภายในช่วงเวลา 1 เดือน จะได้การแจกแจงความถี่ ความน่าจะเป็น ความน่าจะเป็นสะสมและตัวเลขสุ่ม ดังแสดงตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ข้อมูลปริมาณการผลิตในโรงงานกรณีศึกษาภายในช่วงเวลา 1 เดือน

วันที่ผลิต	ปริมาณการผลิต	ค่าประมาณปริมาณการผลิต
1	640	650
2	550	600
3	730	700
4	710	700
5	0	0
6	570	600
7	0	0
8	450	500
9	710	700
10	550	600
11	0	0
12	280	300
13	670	700
14	590	600
15	490	500
16	320	300
17	680	700
18	720	700
19	0	0
20	650	700
21	620	600
22	480	500
23	590	600
24	700	700
เฉลี่ย	17,700	11,950
ปริมาณการผลิตโดยเฉลี่ยต่อวัน	15,000	

ตารางที่ 31 แสดงการแจกแจงความถี่ ความน่าจะเป็น ความน่าจะเป็นสะสมและตัวเลขสุ่มของปริมาณการผลิต

ปริมาณการผลิต	ความถี่	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	ตัวเลขสุ่ม
0	4	0.17	0.17	0.00-0.17
280	1	0.04	0.21	0.18-0.21
320	1	0.04	0.25	0.22-0.25
450	1	0.04	0.29	0.26-0.29
480	1	0.04	0.33	0.30-0.33
490	1	0.04	0.38	0.34-0.38
550	2	0.08	0.46	0.39-0.46
570	1	0.04	0.50	0.47-0.50
590	2	0.08	0.58	0.51-0.58
620	1	0.04	0.63	0.59-0.63
640	1	0.04	0.67	0.64-0.67
650	1	0.04	0.71	0.68-0.71
670	1	0.04	0.75	0.72-0.75
680	1	0.04	0.79	0.76-0.79
700	1	0.04	0.83	0.80-0.83
710	2	0.08	0.92	0.84-0.92
720	1	0.04	0.96	0.93-0.96
730	1	0.04	1.00	0.97-1.00
รวม	24	1.00		

นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 30 และตารางที่ 31 ถูกนำมาสร้างตัวแบบจำลองสถานการณ์ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel เวอร์ชัน 2003 โดยจำลองสถานการณ์ปริมาณการผลิตใน 24 วัน เพื่อหาค่าคาดหวังของผลกำไรรวมโดยเฉลี่ยและกำหนดของตัวเลขสุ่มโดยจะใช้สูตร RAND() ในการสุ่มเลขจากช่วงของความน่าจะเป็นสะสมของปริมาณการผลิต ดังภาพที่ 37 และใช้สูตร VLOOKUP ในการหาค่าตอบของคอลัมน์แรกทางด้านซ้าย ซึ่งเป็นค่าตอบที่ใช้อ้างอิง (ความน่าจะเป็นสะสมของปริมาณการผลิต) เพื่อต้องการหาค่าตรรกะที่ต้องการให้ VLOOKUP ค้นหาค่าการจับคู่ที่ตรงกันหรือการจับคู่ที่เหมาะสมหรือไม่ของความน่าจะเป็นสะสมของปริมาณการผลิตกับปริมาณการผลิตต่อวัน

กำหนดตัวแปรในตารางที่ 33 เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของปริมาณการผลิต (ค่าในโปรแกรมอาจมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวสุมโดยการกด F9) ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบผลการวิเคราะห์ซ้ำเป็นจำนวน 20 ครั้ง เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 32 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานใหม่ (rework)

	สภาวะการทำงานเดิม	สภาวะการทำงานใหม่
จำนวนชิ้นงานเสียเฉลี่ย/เดือน	$(13.50/100) \times 12,600$ = 1,701 ชิ้น/เดือน	$(6/100) \times 12,600$ = 756 ชิ้น/เดือน
ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานใหม่/เดือน	$15 \times 1,701$ = 25,515 บาท/เดือน	15×756 = 11,340 บาท/เดือน

หมายเหตุ 1) จากภาพที่ 33 %ชิ้นงานเสียก่อนการปรับปรุง = 13.50% และ %ชิ้นงานเสียหลังการปรับปรุง = 6%

2) ปริมาณกำลังการผลิต = 12,600 ชิ้น/เดือน

ตารางที่ 33 แบบจำลองสถานการณ์การผลิต

ตัวแปร	สภาวะการทำงานเดิม	สภาวะการทำงานใหม่
ต้นทุนวัตถุดิบต่อชิ้น	20 บาท/ชิ้น	15 บาท/ชิ้น
ราคาขายต่อชิ้น	45 บาท/ชิ้น	45 บาท/ชิ้น
ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขชิ้นงานใหม่	1,064 บาท/วัน*	473 บาท/วัน**
ค่าจ้างแรงงาน (5 คน)	800 บาท/วัน	800 บาท/วัน
ค่าไฟต่อวัน	1,440 บาท/วัน	1,350 บาท/วัน

หมายเหตุ *,** จากตารางที่ 32



ขั้นตอนในการจำลองสถานการณ์การผลิตด้วย Microsoft Office Excel เวอร์ชัน 2003

1) ข้อมูลความน่าจะเป็นสะสมกับปริมาณการผลิตจากตารางที่ 31

	K	L
1	ความน่าจะเป็นสะสม	ปริมาณการผลิต
2	0.00	0
3	0.17	280
4	0.21	320
5	0.25	450
6	0.29	480
7	0.33	490
8	0.37	550
9	0.45	570
10	0.50	590
11	0.58	620
12	0.62	640
13	0.66	650
14	0.70	670
15	0.74	680
16	0.78	700
17	0.82	710
18	0.90	720
19	0.94	730

2) ใช้ฟังก์ชัน =RAND() ในการสร้างตัวเลขสุ่มทั้งหมด 24 รอบ

	A	B	C
1			แสดงการจ
2			
3	วันที่ผลิต	Random	ปริมาณ
4	1	=RAND()	570
5	2	0.9814	730

3) ใช้ฟังก์ชัน =VLOOKUP() เพื่อเพิ่มความสะดวกในการเปรียบเทียบค่าตัวเลขสุ่มกับ
 อันตรายภาคชั้น เขียนสูตรเริ่มต้นที่เซลล์ C4 และ G4 ดังนี้ =VLOOKUP(B4,\$K\$2:\$L\$19,2)
 (สภาวะแบบเดิมและสภาวะแบบใหม่)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3	วันที่ผลิต	Random	ปริมาณ	ต้นทุน	รายได้	กำไร	ปริมาณ	ต้นทุน
4	1	=VLOOKUP(B4,\$K\$2:\$L\$19,2)	710	14200	22050	=VLOOKUP(B4,\$K\$2:\$L\$19,2)	700	10500
5	2	0.8484	710	14200	31500	17588	700	10500

4) จากตารางที่ 20 (ต้นทุน = ต้นทุนวัตถุดิบต่อชิ้น x ปริมาณการผลิต) เขียนสูตรเริ่มต้นที่เซลล์ D4 ดังนี้ $=20*C4$ (สภาวะแบบเดิม) และให้เขียนสูตรเริ่มต้นที่เซลล์ H4 ดังนี้ $=15*G4$ (สภาวะแบบใหม่)

	A	C	D	E	F	G	H	I
1	แสดงการจำลองสถานการณ์การผลิตชิ้นส่วนคอมเพดานแก้วภายในเวลา 24 วัน							
2	สภาวะเดิม			สภาวะใหม่				
3	วันที่ผลิต	ปริมาณ	ต้นทุน	รายได้	กำไร	ปริมาณ	ต้นทุน	รายได้
4	1	730	$=20*C4$	32850	16250	650	$=15*G4$	29250
5	2	710	14200	31950	12000	480	7200	21600

5) จากตารางที่ 20 (รายได้ = ราคาขายต่อชิ้น x ปริมาณการผลิต) เขียนสูตรเริ่มต้นที่เซลล์ E4 ดังนี้ $=45*C4$ (สภาวะแบบเดิม) และให้เขียนสูตรเริ่มต้นที่เซลล์ I4 ดังนี้ $=45*G4$ (สภาวะแบบใหม่)

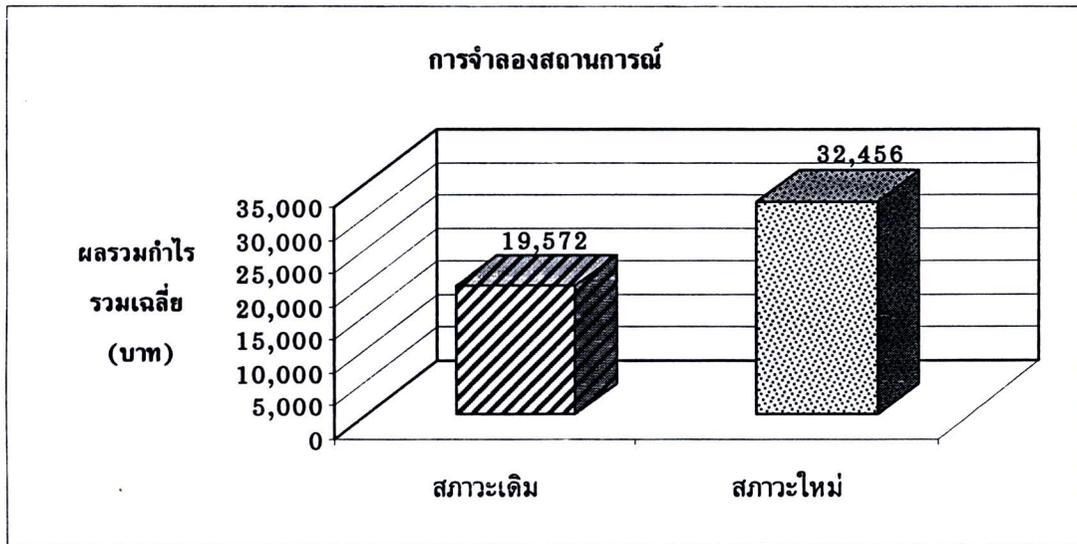
	A	C	D	E	F	G	H	I
	แสดงการจำลองสถานการณ์การผลิตชิ้นส่วนคอมเพดานแก้วภายในเวลา 24 วัน							
	สภาวะเดิม			สภาวะใหม่				
	วันที่ผลิต	ปริมาณ	ต้นทุน	รายได้	กำไร	ปริมาณ	ต้นทุน	รายได้
	1	320	6400	$=45*C4$	8000	620	9300	$=45*G4$
	2	710	14200	31950	17750	550	8250	24750

6) (กำไร = รายได้ - ต้นทุน) เขียนสูตรเริ่มต้นที่เซลล์ F4 ดังนี้ $=E4-D4$ (สภาวะแบบเดิม) และให้เขียนสูตรเริ่มต้นที่เซลล์ J4 ดังนี้ $=I4-H4$ (สภาวะแบบใหม่)

	A	D	E	F	G	H	I	J
	แสดงการจำลองสถานการณ์การผลิตชิ้นส่วนคอมเพดานแก้วภายในเวลา 24 วัน							
	สภาวะเดิม			สภาวะใหม่				
	วันที่ผลิต	ต้นทุน	รายได้	กำไร	ปริมาณ	ต้นทุน	รายได้	กำไร
	1	12400	27900	$=E4-D4$	640	9600	28800	$=I4-H4$
	2	13000	29250	16250	710	10650	31950	21300

ตารางที่ 34 ผลการจำลองสถานการณ์การผลิตซ้ำเป็นจำนวน 20 ครั้ง

การทดลองครั้งที่	ผลกำไรรวมโดยเฉลี่ย	
	สถานะเดิม	สถานะใหม่
1	25,220	32,316
2	20,576	34,548
3	17,248	27,096
4	18,944	31,512
5	21,904	35,784
6	18,928	31,896
7	18,416	31,212
8	20,864	33,804
9	16,528	27,444
10	21,824	36,384
11	21,008	34,656
12	19,616	32,136
13	19,808	32,784
14	18,048	29,376
15	21,312	34,692
16	19,488	31,884
17	19,376	31,224
18	19,232	32,196
19	21,344	35,712
20	17,312	28,992
เฉลี่ย (บาท)	19,572	32,282
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD)	2,004	2,644



ภาพที่ 38 แผนภาพสรุปผลการจำลองสถานการณ์การผลิต

จากการจำลองสถานการณ์การผลิตชิ้นส่วนคอมเพดแทนแก้ว ใน 24 วัน ทดลองซ้ำ 20 ครั้ง ($n = 20$) เปิดตาราง t -Distribution เมื่อวิเคราะห์ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ของผลกำไรโดยเฉลี่ย ดังในสมการที่ 8 และสมการที่ 9

$$\bar{y} - t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{y} + t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

หรือ

$$\bar{y} - t_{0.05/2, 19-1} \frac{s}{\sqrt{20}} \leq \mu \leq \bar{y} + t_{0.05/2, 19-1} \frac{s}{\sqrt{20}}$$

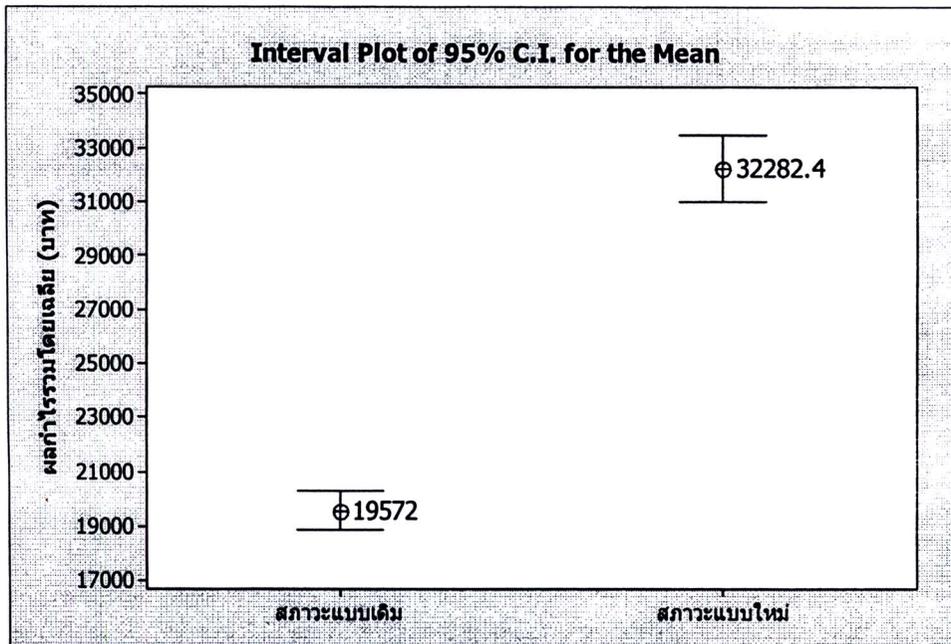
จะได้

$$\bar{y} - 2.093 \frac{s}{\sqrt{20}} \leq \mu \leq \bar{y} + 2.093 \frac{s}{\sqrt{20}} \quad (9)$$

พบว่าช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ปริมาณการผลิตชิ้นส่วนคอมเพดแทนแก้วใน 24 วัน และ ทดลองซ้ำ 20 ครั้ง จะมีผลกำไรโดยเฉลี่ยของแต่ละวันอยู่ในช่วงต่ำถึงช่วงสูง

ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์หาช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ของผลกำไรรวมโดยเฉลี่ย

สภาวะ	ผลกำไรรวมโดยเฉลี่ย (บาท)	ช่วงต่ำ	ช่วงสูง
เดิม	19,572	16,528	21,904
ใหม่	32,283	27,096	36,384



ภาพที่ 39 ค่าเฉลี่ยของช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

พิจารณาค่าเฉลี่ยของช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% (95% confidence interval for the mean) ผลกำไรรวมโดยเฉลี่ยของสภาวะเดิมเท่ากับ 19,572 บาท และเมื่อได้ปรับตั้งสภาวะใหม่ที่ทำให้เกิดขึ้นงานเสียลดลง ส่งผลให้ผลกำไรรวมโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 32,283 บาท ซึ่งทำให้โรงงานกรณีศึกษาประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 12,711 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 39.37