

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการควบคุมคุณภาพ

Optimization of Parameter in Quality Control Process

ดราวรรณ วีรานันต์¹ สาทพร สุริยันธ์² และ วชรพันธ์ สุขเกิด³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: darawan.w@rmutp.ac.th

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: sathapon.su@rmutp.ac.th

³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: watcharapan.s@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกขวดบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ที่ไม่ได้มาตรฐานให้กับเครื่องคัดแยกคุณภาพขวดด้วยการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมผ่านการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณขวดที่ได้มาตรฐานปนออกมาจากเครื่องคัดแยก ซึ่งในความเป็นจริงควรจะมีแค่ขวดที่ไม่ได้มาตรฐานเท่านั้น ได้แก่ ระดับในการให้แสง ความเร็วของสายพาน มุมของการให้แสง และความเข้มแสงในการตรวจสอบ จากนั้นทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ระดับ ประเภททำการทดลองซ้ำแค่ครั้งเดียว จากผลการทดลองพบว่าการปรับค่าพารามิเตอร์ให้ระดับของการให้แสงเท่ากับ 3 ความเร็วของสายพานที่ 155 รอบต่อนาที และความเข้มแสงในระดับ 3 เป็นค่าที่เหมาะสมที่ทำให้จำนวนขวดที่ได้มาตรฐานปนออกไปมีปริมาณลดลงเหลือ 36.61 เปอร์เซนต์ (จากเดิมมีค่า 63.47 เปอร์เซนต์) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการเพิ่มขึ้น 26.86 เปอร์เซนต์

คำสำคัญ: การหาค่าที่เหมาะสม การออกแบบการทดลอง กระบวนการควบคุมคุณภาพ

Abstract

The purpose of this research is to determine the optimal parameters of the machine in quality control (QC) process to reduce the quality bottles removed with waste bottles. Analysis shows that the causes of quality bottles were selected out with waste bottles include level of light, belt speed and light intensity. The researcher uses a Single Replicate of 2^k Factorial Design. The results showed that 3rd level of light, speed of belt as 155 round/minute and light intensity is 3rd level were the optimum level and when the appropriate factor level is applied

to the actual machine, the quality bottle that go out with the waste bottle is reduced. The mouth of the quality bottles mixed to decline to 36.61 per cent from the 63.47 percent, it can be concluded that increase the productivity up to 26.86 percent.

Keywords: Optimization Technique, Design of Experiment, Quality Control Process

1. บทนำ

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมมีความสนใจในการเพิ่มกำลังการผลิตและการส่งสินค้าให้ครบตามกำหนดระยะเวลามากกว่าการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ ทำให้ประสิทธิภาพในการควบคุมคุณภาพสินค้าลดลงไปจากความเร่งรีบในการผลิต ซึ่งส่งผลกระทบต่อระดับความพึงพอใจของลูกค้าให้น้อยลงด้วยเช่นกัน นั่นเป็นสาเหตุให้กระบวนการควบคุมคุณภาพของสินค้า (Quality Control Process) เป็นอีกกระบวนการที่สำคัญในการช่วยรักษาระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังเพิ่มกำลังการผลิตและลดต้นทุนจากการทำงานซ้ำ (Rework)

โรงงานกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นโรงงานผลิตขวดแก้วที่มีกำลังการผลิตจำนวนมาก ดังนั้นแผนกควบคุมคุณภาพจึงมีความสำคัญเป็นต่อโรงงานเป็นอย่างมาก จากการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการพบว่าการปรับให้เครื่องตรวจสอบมีความสามารถในการตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อประสิทธิภาพที่ดีในการคัดแยกขวดที่มีข้อบกพร่องนั้นกลับส่งผลเสียตามมาคือ เครื่องทำการคัดแยกขวดที่ยอมรับได้หรือขวดที่มีคุณภาพดีที่ไม่มีข้อบกพร่องปนออกมากับขวดพบข้อบกพร่องออกมาด้วย ทำให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการตรวจสอบขึ้น และเสียเวลาในการตรวจสอบขวดอีกครั้งเพื่อลดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของปัญหาและพบว่าการปรับระดับค่าพารามิเตอร์ในการตรวจสอบของเครื่องคัดแยกคุณภาพขวดไม่เป็นมาตรฐาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการตรวจสอบลดน้อยลง

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับปัญหานี้ในด้านนี้พบว่า ในการหาหรือปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการส่วนใหญ่จะใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) ในการสร้างแบบจำลอง (Model) เพื่อนำไปเป็นสมการเป้าหมาย (Objective Function) สำหรับนำไปทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ไม่ว่าจะเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้การออกแบบ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4

Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ระดับ (2^k Factorial Design) สำหรับการปรับปรุงคุณภาพค่าความแข็งแรงของการยึดติดแบบดึงลอกมีค่าเฉลี่ยที่ดีขึ้นและสามารถลดปริมาณของเสียจากเครื่องเชื่อมประสานในกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์แบบยืดหยุ่น [1] กระบวนการคิดแฟร้งค์ของอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์โดยใช้เตาอบสายพานเพื่อให้เปอร์เซ็นต์โพรงอากาศภายในรอยเชื่อมน้อยที่สุดและเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานของลูกค้า [2] และการทำให้ค่าแรงดึงของชุดให้น้ำเกลือมีค่าสูงสุดสำหรับกระบวนการประกอบชุดให้น้ำเกลือ [3] นอกจากนี้ยังมีการใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน (2^{k-p} Fractional Factorial Design) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของโรงงานผลิตสามแก้วในกระบวนการอบเทมเปอร์เพื่อให้เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสินค้าสำเร็จรูปผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในการผลิตตามที่โรงงานลูกค้าได้กำหนดไว้ [4] และหาค่าระดับของปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสียรูปของชิ้นส่วนด้าในการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก [5] จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ทำให้ผู้วิจัยสนใจใช้การออกแบบการทดลองในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อลดจำนวนการคัดแยกขวดที่มีคุณภาพปนออกมา รวมถึงลดเวลาการทำงานของพนักงานที่ต้องมาทำงานตรวจสอบคุณภาพซ้ำอีกด้วย

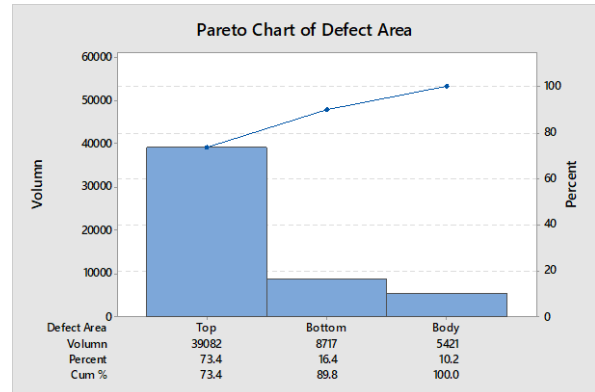
2. การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องคัดแยกคุณภาพขวดในกระบวนการควบคุมคุณภาพขวดบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ (Medical Bottle) โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ระดับ ประเภททำการทดลองซ้ำครั้งเดียว (A Single Replicate of 2^k Factorial Design) ซึ่งเป็นตัวแบบการทดลองที่ทุกปัจจัยมีเพียง 2 ระดับ และในแต่ละชุดการทดลองจะทำการซ้ำเพียงครั้งเดียวเท่านั้น เนื่องจากในกระบวนการตรวจสอบทำการคัดแยกครั้งละจำนวนมาก (ในการคัดแยกเครื่องจะทำการตรวจสอบครั้งละ 10,000 ขวด) และในแต่ละครั้งใช้เวลาในการคัดแยก อีกทั้งตารางการตรวจสอบไม่ได้ทำการคัดแยกทุกวัน ดังนั้นทำให้ใช้เวลานานในการทดลองและเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง ทำให้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ระดับ ประเภททำการทดลองซ้ำครั้งเดียวเหมาะสมกับงานวิจัยนี้ ซึ่งการออกแบบการทดลองนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้ [6]

2.1 กำหนดปัญหาที่ต้องการแก้ไข (State of the Problem)

จากการเก็บข้อมูลของกระบวนการควบคุมคุณภาพในโรงงานกรณีศึกษาพบขวดที่มีคุณภาพดีปนออกมากับขวดที่มีข้อบกพร่องใน

ปริมาณมาก ซึ่งข้อบกพร่องพบทั้งหมด 3 บริเวณ ได้แก่ ลำตัวขวด (Body) ปากขวด (Top) และก้นขวด (Bottom) ข้อมูลหลังการตรวจสอบคัดแยกดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อเลือกปัญหาที่มีผลกระทบต่อการกระบวนการตรวจสอบมากด้วยเครื่องมือแผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) ดังรูปที่ 1

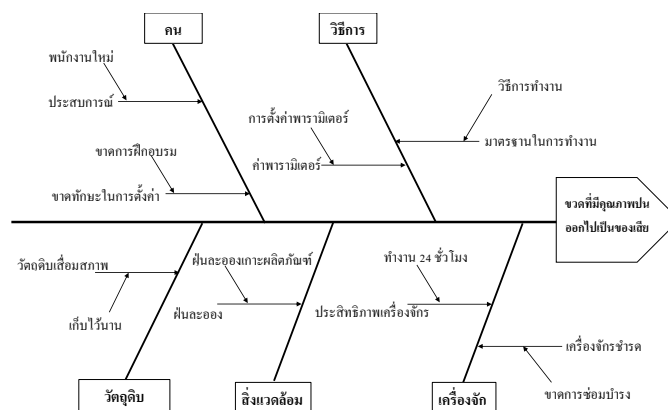


รูปที่ 1 การเลือกปัญหาคัดแยกด้วยแผนภูมิพาเรโต

ตารางที่ 1 ข้อมูลของขวดที่มีคุณภาพปนออกมากับขวดหลังจากการผ่านการตรวจสอบคุณภาพ

บริเวณข้อบกพร่อง	จำนวนขวดที่มีคุณภาพที่ปนออกมากับขวดหลังจากการคัดแยก (ขวด)	ร้อยละ
ลำตัวขวด	5,421	10.19
ปากขวด	39,082	73.43
ก้นขวด	8,717	16.38

จากรูปที่ 1 แสดงถึงวิธีการวิเคราะห์เลือกปัญหาที่จำเป็นต้องแก้ไข โดยใช้หลักการ 80:20 ของพาเรโต โดยที่ความผิดพลาดของกระบวนการ 80% แต่มีผลกระทบมาจากปัญหาเพียง 20% ซึ่งปัญหาที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ คือความผิดพลาดในการตรวจสอบบริเวณปากขวดเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการตรวจสอบมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการแก้ปัญหาที่เกิดความผิดพลาดขึ้นในบริเวณปากขวดนี้



รูปที่ 2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยผังก้างปลา

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4

Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

2.2 การเลือกระดับและช่วงของปัจจัย

เมื่อทราบถึงปัญหาที่ต้องการแก้ไขแล้ว ต่อมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาด้วยการใช้การวิเคราะห์ของวิศวกรร่วมกับผู้เชี่ยวชาญผ่านแผนผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในงานวิจัยนี้

ตัวแปร	ปัจจัย	ระดับ
A	ระดับของการให้แสง	5
		3
B	มุมของแสง (องศา)	15
		10
C	ความเร็วของสายพาน (รอบ/นาที)	165
		155
D	ระดับความเข้มของแสง	3
		1

จากการวิเคราะห์แผนผังก้างปลาทำให้ทราบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นมาจากวิธีการในการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องคัดแยกคุณภาพขวด ซึ่งปัจจัยที่นำไปตั้งค่าของเครื่องนี้คือ ความเข้มของแสงในการตรวจสอบ มุมของแสง และความเร็วของสายพาน โดยที่ปัจจัยระดับของการให้แสง (Level) ในการตรวจสอบสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ระดับ 3-5 ระดับ มุมของแสง (Angle) ตั้งแต่ 10-15 องศา ส่วนปัจจัยความเร็วสายพานปรับความเร็วได้ตั้งแต่ 155-165 รอบต่อนาที (Round per Minute; rpm) และความเข้มของแสง (Light) สามารถปรับระดับได้ตั้งแต่ 1-3 ระดับ แต่ในงานวิจัยนี้เป็น การทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ระดับ ประเภททำการทดลองซ้ำครั้งเดียว ดังนั้นระดับในแต่ละปัจจัยในการทดลองนี้แสดงในตารางที่ 2

2.3 ทำการทดลอง (Experiment)

ในการออกแบบนี้เป็นกาทดลองจาก 4 ปัจจัย ที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ และทำการทดลองทั้งหมด 1 ซ้ำ ดังนั้นจึงมีการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง ซึ่งผลตอบสนอง (Response) จะนับจำนวนขวดที่มีคุณภาพที่ถูกคัดแยกออกมา โดยในการทดลองนี้จะต้องคำนึงถึงการทดลองอย่างสุ่ม (Randomization) และการลดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง ซึ่งลำดับในการทดลองจะถูกสุ่มให้มีการทดลองที่เป็นอิสระต่อกันและไม่ต่อเนื่อง เพื่อกำจัดความอคติ (Bias) และทดสอบสมรรถนะของเครื่องจักร ซึ่งลำดับการทดลองจะถูกสุ่มผ่านโปรแกรม Minitab version 17 โดยข้อมูลที่ได้จากการออกแบบและการเก็บข้อมูลการทดลองถูกแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลการทดลองตามการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ระดับ ประเภททำการทดลองซ้ำครั้ง

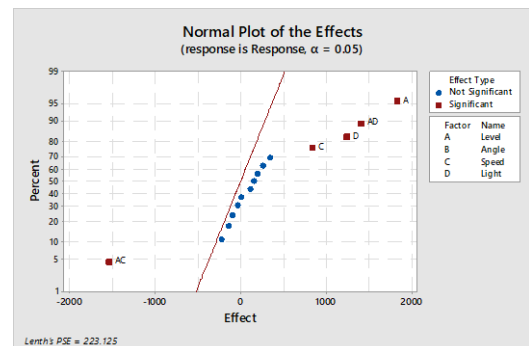
StdOrder	RunOrder	Level	Angle	Speed	Light	Response
4	1	5	15	155	1	5,525
3	2	3	15	155	1	4,080
12	3	5	15	155	3	8,840
1	4	3	10	155	1	3,825
16	5	5	15	165	3	8,160
7	6	3	15	165	1	6,800

ตารางที่ 3 (ต่อ)

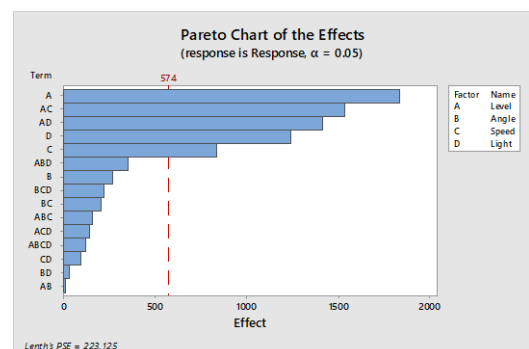
StdOrder	RunOrder	Level	Angle	Speed	Light	Response
11	7	3	15	155	3	3,825
8	8	5	15	165	1	5,525
5	9	3	10	165	1	5,780
15	10	3	15	165	3	5,950
10	11	5	10	155	3	8,500
6	12	5	10	165	1	5,100
9	13	3	10	155	3	3,655
14	14	5	10	165	3	7,310
2	15	5	10	155	1	6,035
13	16	3	10	165	3	6,375

3. การหาค่าเหมาะสมที่สุด

จากการทดลองตามการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ทั้งหมด 4 การทดลอง โดยทั่วไปจะนำผลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) แต่ในการทดลองนี้มีการทำการทดลองซ้ำแค่ครั้งเดียว ทำให้ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนหรือส่วนตกค้าง (Residual) จึงไม่สามารถทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ ซึ่งการออกแบบการทดลองเช่นนี้จะใช้การวิเคราะห์ผ่านกราฟความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) และแผนภูมิพารโต ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ โดยทั้ง 2 กราฟจะเป็นการพิจารณาผลกระทบ (Effect) ที่อิทธิพลสูงต่อค่าของผลตอบสนอง (จำนวนขวดที่ได้คุณภาพถูกเครื่องคัดแยกออกมาปนกับขวดที่พบข้อบกพร่อง)



รูปที่ 3 การวิเคราะห์ผ่านกราฟความน่าจะเป็นปกติ



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ผ่านแผนภูมิพารโต

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4

Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

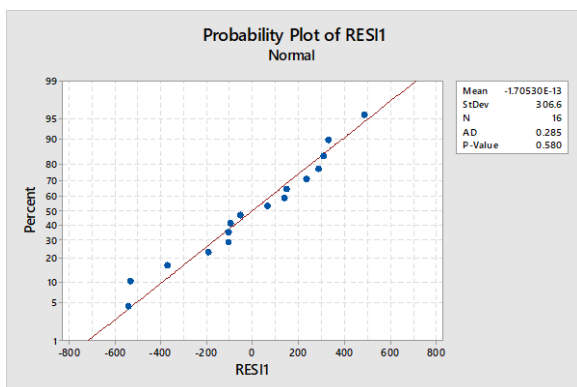
จากรูปที่ 3 และ 4 สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยหลัก (Main Factor) อันได้แก่ ระดับของการให้แสง ความเร็วสายพาน และความเข้มของแสง ส่วนปัจจัยร่วม (Interaction) ระหว่าง ระดับของการให้แสงกับความเร็วสายพาน และระดับของการให้แสงกับความเข้มของแสงมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องตรวจสอบคุณภาพขวดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ จากการวิเคราะห์นี้จะได้สมการทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในสมการที่ (1) เพื่อนำไปเป็นสมการเป้าหมาย

$$f(x) = \text{Response} = -105,342 + 24,156\text{Level} + 700.2\text{Speed} - 2,205\text{Light} - 154.1\text{Level} * \text{Speed} + 706.6\text{Level} * \text{Light} \quad (1)$$

หลักการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบ คือ สมการเป้าหมาย สมการเงื่อนไข (Constrain) และตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ซึ่งสมการเป้าหมายได้จากการออกแบบการทดลอง ดังแสดงในสมการที่ (1) ตัวแปรตัดสินใจในแบบจำลองนี้คือปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการตรวจสอบ ส่วนสมการเงื่อนไขตั้งให้สอดคล้องกับระดับปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 2 โดยสมการในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้ถูกแสดงในสมการที่ (2)

$$\begin{aligned} \text{Minimize } z &= f(x) \\ 3 &\leq \text{Level} \leq 5 \\ 155 &\leq \text{Speed} \leq 165 \\ 1 &\leq \text{Light} \leq 3 \end{aligned} \quad (2)$$

แต่ก่อนจะนำแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้นั้น จำเป็นต้องทำการตรวจสอบการกระจายตัวส่วนตกค้างของชุดข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ก่อนทุกครั้ง โดยการตรวจสอบการกระจายตัวพบว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งพิจารณาการตรวจสอบจากค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 ดังแสดงในรูปที่ 5 ดังนั้นแบบจำลองที่ได้จากการทดลองนี้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์



รูปที่ 5 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติส่วนตกค้าง

จากการทำการหาค่าเหมาะสมที่สุดผ่านสมการที่ (2) จะได้ผลดังนี้คือ ระดับของการให้แสงคือ ระดับ 3 ส่วนความเร็วของสายพานมีค่าเท่ากับ 155 รอบ/นาที และความเข้มของแสงอยู่ในระดับ 3 เมื่อทำการแทนค่าของทั้ง 3 ปัจจัย ผ่านสมการจะพบว่ามีความสอดคล้องกันที่ถูกต้องกับจำนวน 3,475 ขวด

4. สรุปผลการทดลอง

หลังจากทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องตรวจสอบเป็นไปตามผลการวิเคราะห์นั้นคือ ระดับของการให้แสงเท่ากับ 3 ความเร็วของสายพานที่ 155 รอบต่อนาที และความเข้มแสงในระดับ 3 พบว่ามีขวดที่มีคุณภาพปนออกมากับขวดที่พบข้อบกพร่องมีปริมาณลดลง ซึ่งข้อบกพร่องบริเวณปากขวดมีจำนวนขวดที่มีคุณภาพปนออกมาลดลงเหลือ 36.61 เปอร์เซนต์ ซึ่งจากเดิมมีค่า 63.47 เปอร์เซนต์ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการเพิ่มขึ้น 26.86 เปอร์เซนต์ ดังผลที่แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องตรวจสอบคุณภาพขวด ก่อนและหลังปรับปรุง

สัดส่วนของเสีย (%)		ผลต่าง (%)
ก่อนปรับปรุง	63.47	26.86
หลังปรับปรุง	36.61	

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ หน่วยงานการศึกษา ผู้จัดการและวิศวกรแผนกควบคุมคุณภาพ โรงงานกรณีศึกษา ผู้ให้ความรู้และคำแนะนำในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน รวมไปถึงให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลสำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร ในการอนุเคราะห์โปรแกรม Minitab version 17 ในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเชิงแฟคทอเรียล

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พิไลพร วงษ์กันหา. การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการคิดแผนวงจรพิมพ์แบบยืดหยุ่นในระบบเชื่อมแบบบาร์ร่อน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2559.
- [2] ชยวิช มีมั่ง. การออกแบบการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการคิดแฟล็กของอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ โดยใช้เครื่องอบความร้อนสายพาน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2556.
- [3] นกัสนันท์ คุ้มกัน. การวิเคราะห์ระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการประกอบชุดให้น้ำเกลือโดยการออกแบบการทดลอง. สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552
- [4] ธนเดชน์ พันธลิมา. การออกแบบการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบเทมเปอร์ : กรณีศึกษา โรงงานแปรรูปกระเจก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2556.
- [5] อุดลย์ จิตรอริ. การออกแบบการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปในการจำลองกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก เอบีเอส. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4
Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

- [6] Montgomery, Douglas C. (2001), Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, Inc., New York.



นางสาวดาราวรรณ วีรานันต์
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



นายสถาพร สุริยันต์
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



นายวัชรพันธ์ สุขเกิด
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร