

การลดของเสียค่าเฉลี่ยแรงบิดที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดโดยใช้การออกแบบการทดลอง

Reduce average torque defect by using design of experiment

นครินทร์ ตรีเพชรไพศาล^{1*} และ เสมอจิตร หอมรสสุคนธ์¹
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์¹

Nakarin Tripetchpisal^{1*} and Samerjit Homrossukon¹

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University^{1*}

E-mail : minikfmini@hotmail.com^{1*}, tsamerji@engr.tu.ac.th¹

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียจากค่าเฉลี่ยแรงบิดที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ไฟวอตด้วยการออกแบบการทดลอง การศึกษาเริ่มจากการหาปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด จากนั้นจึงหาระดับของปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ในข้อกำหนด (0.15 – 0.25 gf.cm) ตามที่ลูกค้าต้องกำหนด จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงานเข้าใกล้ 0.2 gf.cm คือ ปริมาณกาวที่ 0.25 – 30 มิลลิกรัมและต้องใช้ลูกกลิ้ง จากการประยุกต์ใช้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมพบว่าอัตราการทิ้งของเสียแรงบิดที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดลดลงจาก 0.8% เหลือเพียง 0.05%

การที่มีอัตราการทิ้งของเสียแรงบิดอยู่ที่ 0.8% จะทำให้ดัชนีชี้วัดความสำเร็จ(KPI)ของหน่วยงานวิศวกรกระบวนการไม่บรรลุเป้าหมาย ซึ่งเป้าหมายคือ อัตราการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการทำงานต้องน้อยกว่า 0.5% ในแต่ละ

คำสำคัญ : ไฟวอต ค่าเฉลี่ยแรงบิด การออกแบบการทดลอง ปัจจัย ระดับของปัจจัย ปริมาณกาว ลูกกลิ้ง

Abstract

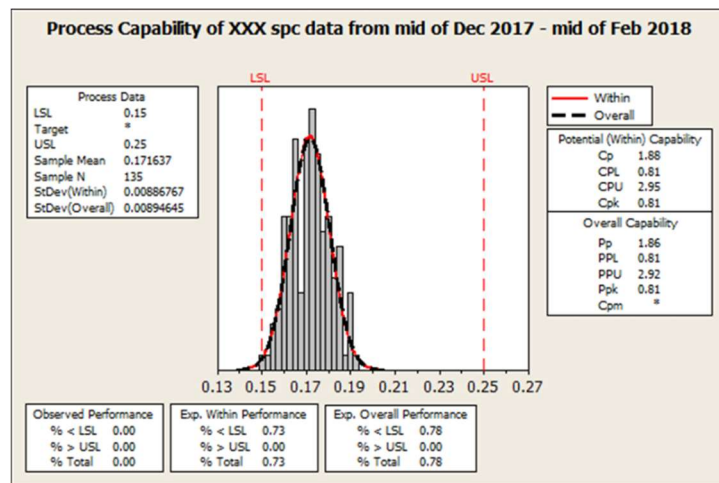
This article aims to reduce the defect of pivot product having an average torque out of specification using design of experiment (DOE). The study started from determining the factors affecting the average torque. Then, the suitable level of the affecting factor was determined referring to the customer specification of torque (0.15 – 0.25 gf.cm). The study shows that factors and their suitable levels that make average torque to be as closed to 0.2 gf.cm are (1) the adhesive amount of 0.25 – 0.30 milligram and (2) the use of wave buster. After using these conditions for mass production, it was found that the scrap from average torque being out of specification was reduced from 0.8% to 0.05%.

The effect of having scrap rate of 0.8% is process engineer will not achieve KPI target. KPI of process engineer is scrap rate due to functional defect must less than 0.5% for each model.

Keywords : pivot, average torque, design of experiment, factor, level, adhesive amount, wave buster.

1. บทนำ (Introduction)

กรณีศึกษาคือการลดอัตราการทิ้งของเสียแรงบิดที่ไม่ได้ตามข้อกำหนด ซึ่งผลของการสู่วัดค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ไฟวอต พบว่า ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.172 เซนติเมตรกรัมแรง (gf.cm) ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเข้าใกล้ขอบเขตล่าง (Lower spec limit) ที่ลูกค้ากำหนด (0.15 – 0.25 gf.cm) จึงทำให้มีทิ้งของเสียที่ค่าเฉลี่ยแรงบิดต่ำกว่าขอบเขตล่างอยู่ที่ 0.8%

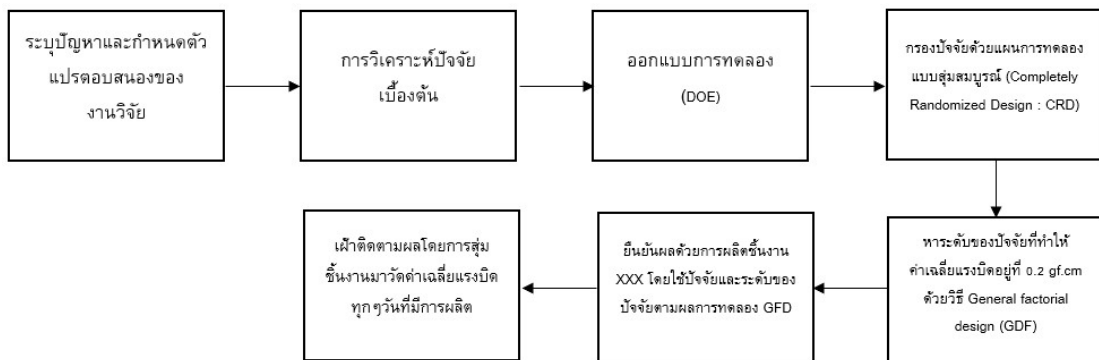


รูปที่ 1 ผลการสู่วัดค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงาน XXX

เพื่อลดของการทิ้งของเสียแรงบิดที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้จะทำการหาศึกษาปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดเข้าใกล้ค่ากลางของข้อกำหนด(0.2 gf.cm) มากขึ้นโดยใช้การออกแบบการทดลอง

2. วิธีการวิจัย (Methodology)

ขั้นตอนการวิจัยเพื่อหาปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของสินค้าไฟวอตโมเดลแสดงดังแผนภาพในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำวิจัย

2.1 ระบุปัญหาและกำหนดตัวแปรตอบสนองของงานวิจัย

ใช้ข้อมูลที่เก็บมาได้ในกระบวนการซึ่งนำไปสู่การกำหนดตัวแปรตอบสนอง

2.2 การวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้น

วิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่จะส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองซึ่งจะมีทั้งปัจจัยคงที่และปัจจัยแปรผัน

2.3 ออกแบบการทดลอง (DOE)

หาระดับของปัจจัยแปรผันทั้งหมดที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ที้นำไปใช้ในการทดลอง

2.4 กรองปัจจัยด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD)

เพื่อลดปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งจะทำให้จำนวนการทดลองในรูปแบบ General factorial design น้อยลง

2.5 หาระดับของปัจจัยที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.2 gf.cm ด้วยวิธี General factorial design (GFD)

เพื่อหา interaction ระหว่างปัจจัยซึ่งจะทำให้ตัดสินใจได้ว่าระดับของปัจจัยต่างๆ ควรอยู่ระดับใดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.2 gf.cm

2.6 ยืนยันผลด้วยการผลิตชิ้นงาน XXX โดยใช้ปัจจัยและระดับของปัจจัยตามผลการทดลอง GFD

การทดลอง GFD นั้นผลิตขึ้นในแต่ละกลุ่มในจำนวนที่น้อยซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ จึงจำเป็นต้องผลิตซ้ำในจำนวนที่มากขึ้นเพื่อเป็นการยืนยันผลว่าถูกต้อง

2.7 เฝ้าติดตามผลโดยการสุ่มชิ้นงานมาวัดค่าเฉลี่ยแรงบิดทุก ๆ วันที่มีการผลิต

เพื่อยืนยันว่าระดับของปัจจัยจาก GFD นั้นให้ผลออกมาตามที่ต้องการจริง ๆ ในระยะยาว

3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้น

เนื่องจากค่าเฉลี่ยแรงบิดขึ้นอยู่กับตำแหน่งของขอบในของตลับลูกปืนตัวบนหลังจากออกจากตุ้มน้ำหนัก ดังนั้นปัจจัยเบื้องต้นที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดมีดังนี้

1. น้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดโดยตรงเพราะตุ้มน้ำหนักมีหน้าที่กดขอบในของตลับลูกปืนตัวบนจนครบระยะเวลาที่ทำให้กาวแห้งตามที่วิศวกรกำหนด แต่ปัจจัยนี้ลูกค้ายืนยันกำหนด ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงกำหนดเป็นปัจจัยคงที่

2. ชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบน เนื่องจากถ้าชนิดสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดไม่เหมาะสมจะทำให้เหลือสิ่งแปลกปลอมซึ่งจะส่งผลต่อความไวในการแห้งของกาว ลูกค้าไม่ได้กำหนดชนิดสารเคมีอย่างเจาะจงดังนั้นวิศวกรสามารถเลือกชนิดสารเคมีได้ จึงกำหนดให้เป็นปัจจัยแปรผัน

3. ปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงาน มีหน้าที่ในการยึดขอบในของตลับลูกปืนให้อยู่ในสภาพเหมือนโดนตุ้มน้ำหนักทับ ลูกค้าให้ช่วงการยอมรับของปริมาณกาวที่กว้าง วิศวกรจึงสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณกาวได้ จึงกำหนดให้เป็นปัจจัยแปรผัน

4. การไม่ใช้หรือใช้ลูกกลิ้ง เนื่องจากก่อนที่จะสวมตลับลูกปืนตัวบนนั้น แกนหมุนจะถูกทาากก่อน เมื่อสวมตลับลูกปืนจะส่งผลให้กาวเริ่มแห้งตัวทำให้มีแรงต้านตุ้มน้ำหนักเกิดขึ้น ลูกกลิ้งนี้มีส่วนช่วยเพิ่มแรงให้ตุ้มน้ำหนักกดขอบในของตลับลูกปืนลงไปบนตำแหน่งที่ควรจะเป็น ลูกกลิ้งเป็นปัจจัยที่ลูกค้าไม่ได้ควบคุมจึงสามารถเลือกได้ว่าจะใช้หรือไม่ใช้ จึงกำหนดให้เป็นปัจจัยแปรผัน

5. ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ่มน้ำหนักระยะเวลาที่เหมาะสมจำเป็นต่อการแห้งตัวของกาว ดังนั้น ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ่มน้ำหนักจึงส่งผลต่อการคงสภาพเหมือนขอบในของตลับลูกปืนถูกตุ่ม น้ำหนักตกอยู่ถึงแม้ชิ้นงานจะถูกเอากออกจากตุ่มน้ำหนัก ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ่มน้ำหนักไม่ได้ มีข้อกำหนดจากลูกค้ายังนั้น วิศวกรสามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงกำหนดให้เป็นปัจจัยแปรผัน
6. น้ำหนักของลูกกลิ้ง เป็นปัจจัยคงที่เพราะมีอยู่น้ำหนักเดียว

3.2 การออกแบบการทดลอง

ปัจจัยที่จะใช้ในการออกแบบการทดลองมีทั้งหมด 4 ปัจจัย ซึ่งที่มาของแต่ละระดับมีดังนี้

1. สารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบน มี 2 ระดับ คือ A และ B เพราะสารเคมี 2 ชนิดนี้ เป็นสารเคมี ที่อนุญาตให้ใช้กับการผลิต
2. ปริมาณกาว มี 3 ระดับ เพราะลูกค้าให้ขอบเขตปริมาณกาวอยู่ที่ 0.10 – 0.40 มิลลิกรัม ดังนั้น จึงอยากทราบผลเมื่อปริมาณกาวอยู่มากสุดและน้อยสุด เนื่องจากปริมาณกาวไม่สามารถ กำหนดเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้จึงกำหนดเป็นช่วงสำหรับการทดลอง โดยระดับที่ 1) ปริมาณ กาวอยู่ที่ 0.25 – 0.30 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นระดับที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ระดับที่ 2) 0.10 -0.15 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่ลูกค้ากำหนด และระดับที่ 3) 0.35 – 0.40 มิลลิกรัมซึ่งเป็นปริมาณ ที่มากที่สุดที่ลูกค้ายอมรับได้
3. การใช้และไม่ใช้ลูกกลิ้ง มี ระดับ คือไม่ใช้และใช้
4. ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ่มน้ำหนักมี 3 ระดับ เลือก ระดับที่ 1) 13 นาที ซึ่งเป็นระดับที่ใช้อยู่ ในปัจจุบัน ระดับที่ 2) 11 นาที เพราะเป็นระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้ และระดับที่ 3) 15 นาทีเพราะเป็นระยะเวลานานที่สุดที่จะไม่กระทบต่อยอดการผลิตต่อ 1 เครื่อง ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่จะถูกนำไปใช้ในการกรองต่อไปสรุปได้ตามตารางที่ 3

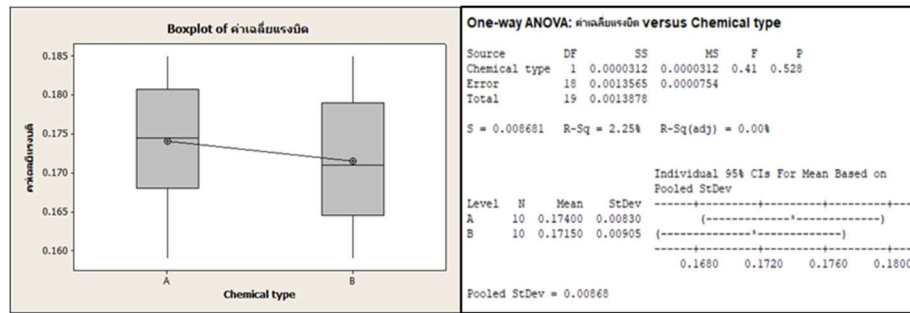
ตารางที่ 3 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่จะใช้ในการทดลอง

ลำดับที่	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
		ระดับที่ 1 (ระดับปัจจุบัน)	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3
1	สารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบน	A	B	
2	ปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงาน	0.25 - 0.30	0.10 - 0.15	0.35 - 0.40
3	การใช้หรือไม่ใช้ลูกกลิ้ง	ไม่ใช้	ใช้	
4	ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ่มน้ำหนัก	13 นาที	11 นาที	15 นาที

3.3 ผลการทดลองด้วยวิธี CRD

3.3.1 การทดลองหาอิทธิพลของชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบน

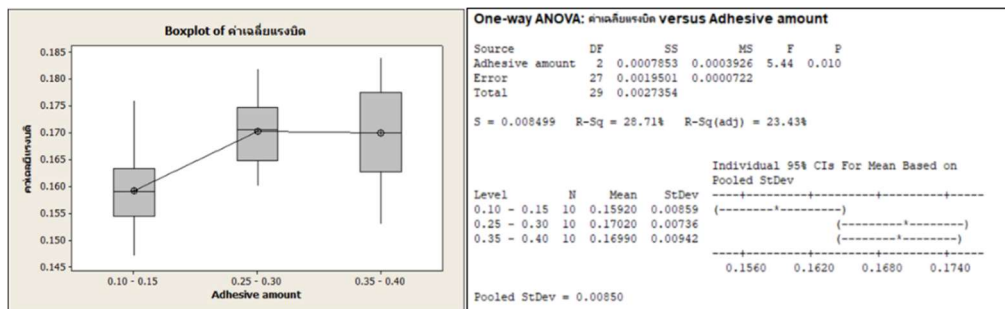
ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งพบว่าสารเคมีชนิด A และ B ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ย แรงบิดของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ณ α 0.05



รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ ชนิดสารเคมีที่ใช้ทำความสะดวกอัดลบลูกปืนตัวบน

3.3.2 การทดลองหาอิทธิพลของปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงาน

ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 4 ซึ่งพบว่า ปริมาณกาวที่ทาบบนชิ้นงานมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ณ α 0.05 โดยปริมาณกาวที่ 0.10 – 0.15 มิลลิกรัม จะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.159 gf.cm ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยแรงบิดของปริมาณกาวที่ 0.25 – 0.30 มิลลิกรัมและ 0.35 – 0.40 มิลลิกรัม ที่มีค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.170 gf.cm

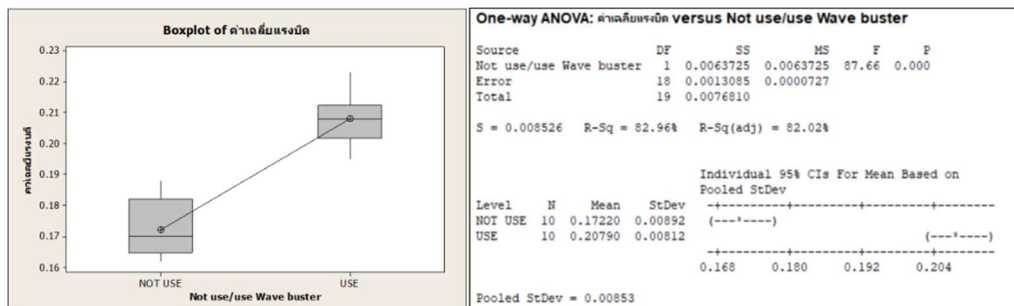


รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกาวที่ทาบบนชิ้นงาน

เมื่อตรวจสอบชิ้นงานที่ใช้ปริมาณกาวที่ 0.35 – 0.40 มิลลิกรัม พบว่ามีกาวล้นขึ้นมามากจนลบลูกปืนซึ่งทำให้ปริมาณกาวระดับนี้ถูกตัดออกเนื่องจากไม่ตรงข้อกำหนดที่ห้ามมีกาวติดอยู่บนชิ้นงาน

3.3.3 การทดลองหาอิทธิพลของการใช้หรือไม่ใช้ลูกกลิ้ง

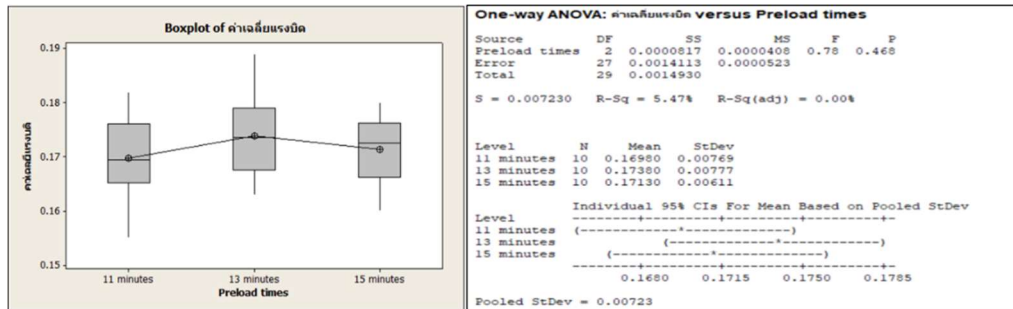
ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งพบว่าการใช้และไม่ใช้ลูกกลิ้งมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงาน XXX อย่างมีนัยสำคัญ ณ α 0.05



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์การใช้และไม่ใช้ลูกกลิ้ง

3.3.4 การทดลองหาอิทธิพลของระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนัก

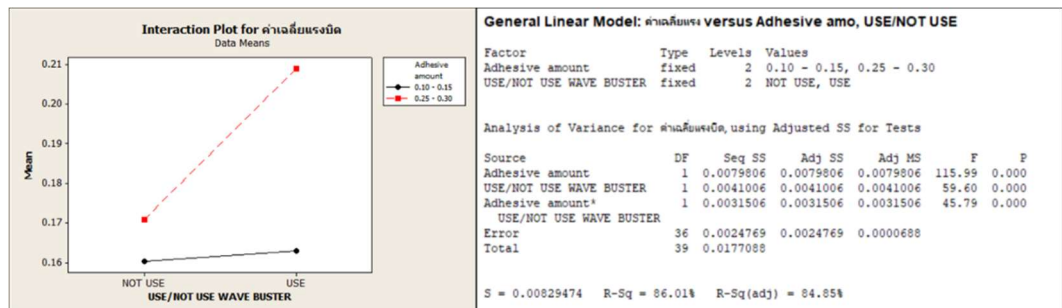
ผลการวิเคราะห์แสดงในภาพ 6 ซึ่งพบว่าระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนักไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ณ α 0.05



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ Anova ของระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนัก

3.4 ผลการทดลองด้วยวิธี GFD

ผลการทดลอง CRD ทำให้ปัจจัย ชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบน และ ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนักถูกกรองออกเนื่องจากเมื่อเปลี่ยนระดับของปัจจัยจะไม่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นปัจจัยที่จะถูกมาทำ GFD คือ 1. ปริมาณการ 2. การไม่ใช้ และการใช้ลูกกลิ้งซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 7



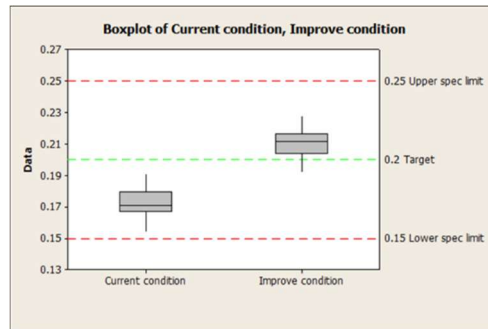
รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ GFD ของปริมาณการและการไม่ใช้/ใช้ลูกกลิ้ง

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลหลัก(main effect)ของปริมาณการและการไม่ใช้/ใช้ลูกกลิ้ง พบว่า P Value มีค่า 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α ดังนั้น ปริมาณการและการไม่ใช้/ใช้ลูกกลิ้งมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ณ α 0.05

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลร่วม(interaction effect)ระหว่างปริมาณการและการไม่ใช้/ใช้ลูกกลิ้ง พบว่า P Value มีค่า 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α ดังนั้น อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการและการไม่ใช้/ใช้ลูกกลิ้งมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ณ α 0.05 เมื่อปริมาณการอยู่ที่ 0.25 - 0.30 มิลลิกรัมและใช้ลูกกลิ้งจะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.209 gf.cm ซึ่งอยู่ใกล้เคียงเป้าหมาย 0.200 gf.cm มากที่สุด

3.5 ผลชิ้นงานโดยใช้ปัจจัยและระดับของปัจจัยตามผลการทดลอง GFD

ทำการผลิตชิ้นงาน 32 ตัวโดยใช้ปริมาณกาวที่ 0.25 – 0.30 มิลลิกรัมและใช้ลูกกลิ้ง เพื่อยืนยันผลการวิจัย ค่าเฉลี่ยแรงบิดที่ผลิตด้วยระดับปัจจุบันและระดับหลังงานวิจัยแสดงในรูปที่ 8

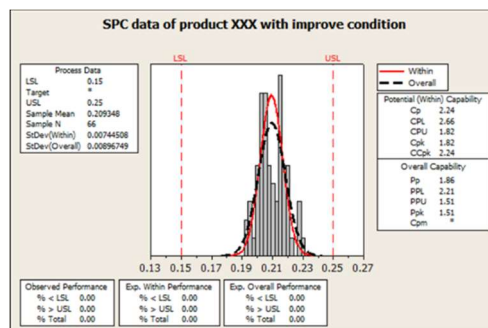


รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงานที่ผลิตด้วยระดับปัจจุบันและระดับจากGFD

จากการผลิตด้วยระดับในปัจจุบันและระดับจาก GFD พบว่าค่าเฉลี่ยแรงบิดที่ผลิตด้วยระดับจาก GFD มีค่าอยู่ที่ 0.211 gf.cm ซึ่งใกล้เคียงค่ากลางของขอบเขตที่ลูกค้ากำหนดที่ 0.2 gf.cm กว่าวิธีที่ผลิตด้วยระดับปัจจุบันที่มีค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.172 gf.cm

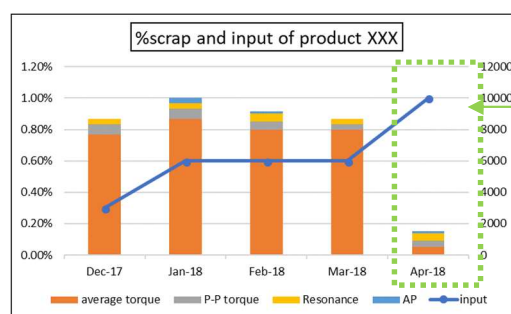
3.6 เฝ้าติดตามผลโดยการสุ่มชิ้นงานมาวัดค่าเฉลี่ยแรงบิดทุก ๆ วันที่มีการผลิต

เริ่มผลิตชิ้นงาน XXX โดยใช้ระดับใหม่จากการวิจัย ผลการสุ่มชิ้นงานมาวัดค่าเฉลี่ยแรงบิดเป็นระยะเวลา 2 เดือนแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการสุ่มวัดค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงานหลังจากการปรับปรุง

การทิ้งของเสียของชิ้นงานจากการผลิตด้วยระดับหลังการปรับปรุงแสดงในรูปที่ 10



หลังจากปรับปรุง

รูปที่ 10 การทิ้งของเสียของชิ้นงาน XXX ในแต่ละเดือน

4. สรุปผล (Conclusion)

จากการทดลองสรุปได้ปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดอย่างมีนัยสำคัญ ณ อัลฟา 0.05 ได้แก่ 1) ชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตัวลูกปืนตัวบน โดยมี P-value 0.528 2) ระยะเวลา ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตู้ม น้ำหนัก ซึ่งมี P-value อยู่ที่ 0.468.

ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดอย่างมีนัยสำคัญ ณ อัลฟา 0.05 ได้แก่ 1) ปริมาณการ ซึ่งมี P-value อยู่ที่ 0.01 2) การใช้/ไม่ใช้ลูกกลิ้ง ซึ่งมี P-value อยู่ที่ 0.00

ระดับที่เหมาะสมที่สุดคือ ปริมาณการ 0.25 – 0.30 มิลลิกรัมและใช้ลูกกลิ้งซึ่งทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิด อยู่ที่ 0.209 gf.cm ซึ่งใกล้เคียงค่ากลางของข้อกำหนด (0.2 gf.cm)

จากการติดตามผลพบว่าการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากค่าเฉลี่ยแรงบิดที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนด ลดลงจาก 0.80% เหลือเพียง 0.05% และการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการทำงานของสินค้า ลดลงจาก 0.92% เหลือเพียง 0.15% ซึ่งตอบสนองต่อดัชนีชี้วัดความสำเร็จของหน่วยงานวิศวกรรมกระบวนการ ที่กำหนดไว้ว่า “การทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการทำงานของสินค้าต้องน้อยกว่า 0.5% ในแต่ละโมเดล”

5. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] โสภิตา ท่วมมี. การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยการประยุกต์ใช้ การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต] กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2550
- [2] สุวิมล ตันติวิภาณุวศ. การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทางทฤษฎีเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อ ค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวในกระบวนการเคียวรีง [สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต] กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2552
- [3] กุณฑิกา โพธิเกษม. การปรับปรุงค่าแรงบิดของไฟวอต คาร์ทริดส์ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง [สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต] กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2553.
- [4] ชยาภรณ์ พร้อมมูล. การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทฉีดไม่เต็มแบบ ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ [สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต] กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2557