บทความวิจัย

การลดค่าใช้จ่ายรวมที่เกี่ยวข้องกับของเสียประเภทรอยของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

ปกรณ์ วิริยะกอบบุญ* และ นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09-5367-9925 อีเมล lupangkids@hotmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.01.021
รับเมื่อ 2 ธันวาคม 2559 ตอบรับเมื่อ 8 มิถุนายน 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 17 มกราคม 2561
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นงานแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีในรถยนต์ เพื่อลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 221,544 บาท ในระยะเวลา 2 เดือน หรือมีสัดส่วนของเสียเท่ากับร้อยละ 77.71 งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เครื่องมือการปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางการออกแบบการทดลอง โดยแบ่งเป็น 5 ระยะ ได้แก่ ระยะการกำหนดหัวข้อปัญหา โดยเลือกปัญหาและอธิบายสภาพปัญหาที่จะปรับปรุง ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าและการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบของกระบวนการ ซึ่งพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบ 6 ปัจจัย ที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยอันได้แก่ แรงกำหนดของเครื่องปั๊ม ความแข็งของยางยูรีเทน ระยะห่างระหว่างขอบชิ้นงานและขอบแผ่นเหล็ก อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน และความเร็วในการตัดเฉือน ระยะการออกแบบทดลอง โดยการกำหนดของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง การออกแบบเมทริกซ์ออกแบบเพื่อใช้ในการทดลอง ระยะการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อพิสูจน์ความมีนัยสำคัญทางสถิติของปัจจัยนำเข้า และระยะการทดสอบเพื่อยืนยันผลหลังการปรับปรุง โดยหลังการปรับปรุงพบว่า ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตลดลงจาก 0.675 บาทต่อชิ้น เป็น 0.110 บาทต่อชิ้น หรือลดลงเป็นสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 83.70 ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 486,000 บาทต่อปี

คำสำคัญ: กระบวนการตัดเฉือนและเจาะรูโลหะ, ข้อบกพร่องประเภทรอย, การออกแบบการทดลอง

การอ้างอิงบทความ: ปกรณ์ วิริยะกอบบุญ และ นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์, "การลดค่าใช้จ่ายรวมที่เกี่ยวข้องกับของเสียประเภทรอยของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,* ปีที่ 28, ฉบับที่ 1, หน้า 63–76, ม.ค.–มี.ค. 2561.

-17-0000(063-076)P5.indd 63 4/10/61 BE 1:53 PM

Research Article

Reduction of Total Cost Related to Dent Defect of CD Player Bracket

Pakorn Wiriyakobbun* and Napassavong Osothsilp

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

*Corresponding Author, Tel. 08-9215-0880, E-mail: jutharat_ken@hotmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.01.021

Received 2 December 2016; Accepted 8 June 2017; Published online: 17 January 2018

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The objective of this research is to improve production processes of CD Player Bracket, which is used in a car. Which is total dent defects cost amount 221,544 baht in two months or 77.71% of total defects cost. This research has an aim to reduce the defective rate from dent. This research applied the Design of Experiment methodology, consisting of 5 phases, to solve the problem. Define problem, important problem was selected and clearly defined. Analysis, all key process input variables were brainstormed and failure mode and effect analysis, that was found six factors, which are Nominal force of pressing machine, Hardness of urethane rubber, Distance between the edge of work piece and strip, punch and die life , urethane rubber life, and Cutting speed. Design Experiment, specified factors for experiment and designed the design matrix. Experimental Analysis, statistically tested whether they significantly affected the problem. Confirmation Resulted, a confirmatory experiment was performed to confirm the result after improvement. After improvement, the defective cost from dent defects was reduced from 0.675 Baht to 0.110 Baht, or decrease 83.70% .This improvement could save the rework cost of 486,000 baht per year.

Keywords: Shearing and Pressing Process, Dent Defect, Design of Experiment

Please cite this article as: P. Wiriyakobbun and N. Osothsilp, "Reduction of total cost related to dent defect of CD player bracket," *The Journal of KMUTNB,* vol. 28, no. 1, pp. 63–76, Jan.–Mar. 2018 (in Thai).

-17-0000(063-076)P5.indd 64 4/10/61 BE 1:53 PM

1. บทนำ

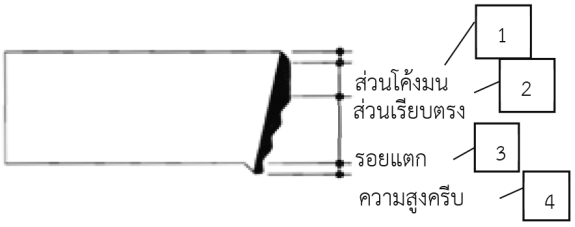
ในอุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีปั๊ม หรือกระแทกจะมีของเสียในกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนที่สูญเปล่า ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยมักพบได้มากในโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยถึงร้อยละ 77.71 ของปริมาณของเสียที่พบทั้งหมด จากการวิเคราะห์พบว่าครีบที่หลุดมาติดบริเวณหน้าแม่พิมพ์หากมีการปั๊มชิ้นงานชิ้นถัดไปจะเกิดรอยจากการปั๊มทับขึ้น หากมีการปั๊มระยะเวลาหนึ่งทำให้ช่องว่างระหว่างแท่งตัดและแผ่นดายตัดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อความสูงของครีบมากขึ้น และส่งผลให้ครีบหลุดออกมาติดหน้าแม่พิมพ์ ซึ่งเมื่อปั๊มชิ้นงานถัดไปครีบที่หลุดออกมาจะถูกกดลงบนผิวของชิ้นงานถัดไปทำให้เกิดรอยขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ต้นทุนต่อหน่วยผลิตที่สูงขึ้น เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากของเสีย จากการศึกษากระบวนการผลิตพบว่ากระบวนการที่ส่งผลทำให้เกิดของเสียประเภทรอย คือ กระบวนการตัดเฉือนและเจาะ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดครีบ และการออกแบบการทดลอง

2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดครีบ

วิธีการตัดเฉือนโลหะนั้นจะประกอบด้วย 1) กลไกในการเปลี่ยนรูปถาวร เช่น การตัดเฉือน หรือการพับ 2) สมบัติของวัสดุ เช่น ชนิดของวัสดุที่เหมาะสมกับแม่พิมพ์ลักษณะต่างๆ 3) สมบัติของวัสดุหลังการขึ้นรูป เช่น สมบัติทางกลของงานที่เหมาะสม ขนาดความยืดของแผ่นเหล็ก ซึ่งการวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาเหล็กรีดเย็น หรือเหล็กละมุน เกรด SPCC SD ซึ่งเป็นเหล็กคาร์บอนต่ำมีสัดส่วนสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.15 และมีความเค้นดึงสูงสุดเท่ากับ 410 N/mm^2 [1], [2] 4) ผิวสัมผัสของชิ้นงานกับแม่พิมพ์ส่งผลถึงความฝืดหรือของแท่งตัดและแผ่นดายตัด ซึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุ 5) แม่พิมพ์ ส่งผลต่อคุณภาพของการขึ้นรูปโดยตรง ดังนั้นการออกแบบควรคำนึงถึงความถี่ในการซ่อมบำรุง การออกแบบขั้นตอนการขึ้นรูป และการออกแบบการรับแรง



รูปที่ 1 ส่วนต่างๆ ของขอบตัด

ของสปริงหรือยางยูรีเทน และวิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ 6) เครื่องปั๊ม เป็นตัวกำหนดแรงในการตัดเฉือนให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท หากออกแบบแรงกำหนดให้ใกล้เคียงจากการคำนวณมาก อาจจะส่งผลกระทบให้เกินกำลังที่เครื่องปั๊ม และไม่สามารถตัดเฉือนชิ้นงานได้ และ 7) อุปกรณ์ช่วยในการผลิต เช่น ระบบทิ้งเศษ สารหล่อลื่น [3]

กระบวนการตัดเฉือนโลหะ (Shearing) เป็นกระบวนการที่อาศัยเครื่องมือที่มีคมตัด คือ แท่งตัด (Punch) และแผ่นดายตัด (Die) ในการตัดชิ้นงานให้ได้ขนาดรูปร่างที่ต้องการ การตัดเฉือนนั้นส่งผลให้เกิดขอบตัดขึ้น ซึ่งขอบตัดสามารถแบ่งชิ้นงานออกเป็น 4 ส่วน ตามรูปที่ 1

1) ส่วนโค้งมน เป็นการเปลี่ยนรูปของขอบตัดเนื่องจากเนื้อชิ้นงานถูกดึงในช่วงแรกของการตัด ซึ่งส่งผลให้ความหนาของชิ้นงานลดลงเมื่อเทียบกับความหนาของชิ้นงานเริ่มต้น

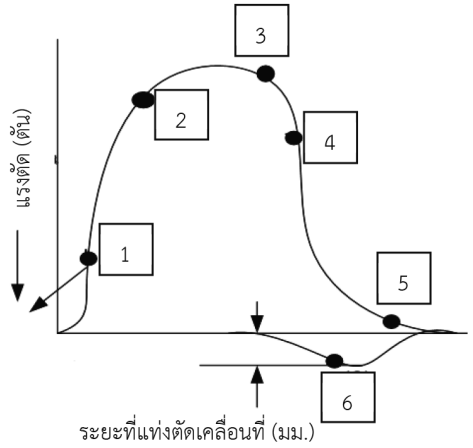
2) ส่วนเรียบ เป็นส่วนที่เกิดจากคมตัดของแท่งตัดและแผ่นดายตัดที่เรียบตรงโดยไม่มีรอยแตก

3) ส่วนที่เป็นรอยแตก เป็นส่วนที่วัสดุฉีกขาดที่ความเค้นดึงสูงเกินขีดจำกัดที่วัสดุสามารถรับได้

4) ครีบ เกิดขึ้นที่ขอบของชิ้นงาน เป็นส่วนที่ไม่จำเป็นของชิ้นงานต้องกำจัดออก

รูปที่ 2 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดเฉือนและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่งตัด โดยแรงตัดมีการเปลี่ยนขนาดตลอดเวลาขณะที่แม่พิมพ์กำลังตัด ค่าแรงจะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกเพื่อให้แท่งตัด ตัดลงไปบนชิ้นงาน และแท่งตัดจะกดลงไปลึกขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปถาวรเป็นแบบโค้งมน จากจุดที่ 1 ไปจุดที่ 2 และชิ้นงานจะเกิดรอยแตกเล็กๆ จากจุดที่ 2 ไป 3 ซึ่งจุดนี้จะมีค่าแรง

-17-0000(063-076)P5.indd 65 4/10/61 BE 1:53 PM

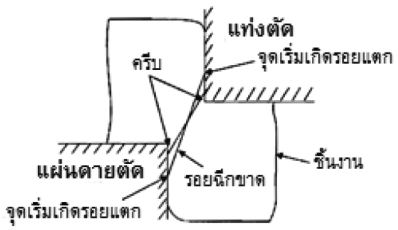


รูปที่ 2 แรงที่เกิดขึ้นในการตัดเฉือน

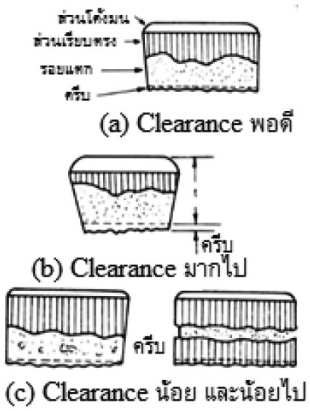
สูงสุด และแท่งตัดจะเคลื่อนที่ลงเพื่อให้ชิ้นงานฉีกขาด จากจุดที่ 3 ไป 4 หลังจากนั้นแรงจะลดลงอย่างรวดเร็ว และแท่งตัดยังคงเคลื่อนที่ลงต่อไปเพื่อดันชิ้นงานให้ลงรูแม่พิมพ์ด้านล่าง ในช่วงนี้จะมีแรงที่กระทำน้อยมาก จากจุดที่ 4 ไป 5 และแท่งตัดจะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมจะได้แรงในด้านตรงข้าม จากจุดที่ 5 ไป 6 [3]

กลไกการเกิดครีบเกิดจากช่องระหว่างแท่งตัดและแผ่นดายตัด หรือช่องตัดมาบรรจบกันและทำให้วัสดุแยกออกจากกัน ส่วนเนื้อบริเวณด้านข้างของคมตัดจะยังเหลืออยู่ที่ขอบตัดส่วนนี้เรียกว่าครีบ โดยทั่วไปเมื่อใช้แท่งตัดและแผ่นดายตัดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลคมตัดของแท่งตัดและแผ่นดายตัดสึกหรอ เนื่องจากได้รับความเค้นดึงเป็นระยะเวลานาน ซึ่งตำแหน่งที่เริ่มเกิดรอยแตก จะออกห่างจากคมตัดมากขึ้น จะส่งผลทำให้เกิดครีบใหญ่ขึ้น [7] ตามรูปที่ 3

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทำงานวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยทำให้เกิดครีบพบว่า ขนาดของช่องตัด และความเร็วในการตัดเฉือนของเครื่องปั๊มส่งผลต่อการเกิดครีบ [5] แต่ขนาดของช่องตัดนั้นก็ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ [6] และช่องตัดที่กว้างมากเกินไปจะทำให้ขอบของชิ้นงานมีความโค้งมาก Cut Band จะแคบและครีบจะเป็นเสี้ยนสูง [7] ดังแสดงในดังรูปที่ 4 จากสำรวจสภาพปัญหาในปัจจุบันพบว่าหากใช้งานแท่งตัดและแท่งตัดนานขึ้นส่งผลให้ครีบสูงขึ้น และเมื่อครีบสูงขึ้นส่งผลให้ครีบนั้นหลุดติดบริเวณหน้าแม่พิมพ์หากมีการปั๊มชิ้นงานชิ้นถัดไป



รูปที่ 3 กลไกการเกิดครีบ



รูปที่ 4 ขนาดของช่องตัดและความสูงครีบ

จะทำให้รอยขึ้นที่บริเวณชิ้นงาน [4]

2.2 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Faced–Center Central Composite Design)

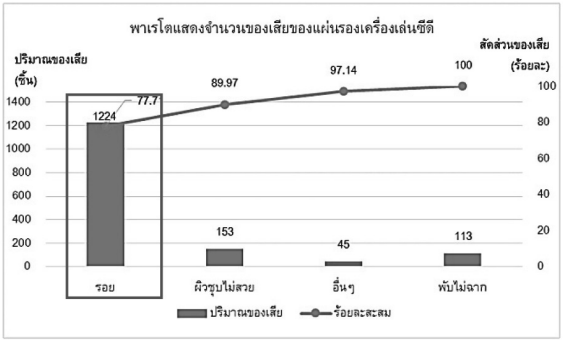
การออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD เป็นวิธีที่เหมาะสำหรับการศึกษาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (Quadratic Relationship) หรือโพลิโนเมียลกำลังสอง (Second Order Model) [10] รวมทั้งวิธี CCD นี้สามารถช่วยลดปริมาณการทดลองซึ่งเป็นสิ่งที่เหมาะสมกับสภาวะการทำงานจริงที่ไม่มีทรัพยากรเพียงพอต่อการทดลองปริมาณมากๆ ซึ่งประกอบด้วยการทดลอง 3 ส่วน ดังนี้ [8]

1) ส่วนการทดลองแฟกทอเรียล 2^k (Factorial Runs) หรือแฟกทอเรียลบางส่วน 2^{k-p} (Fractional Factorial Runs)

2) ส่วนของจุดแกน (Axial Runs) โดยจะทำการทดลองที่ ±1

3) ส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Runs)

-17-0000(063-076)P5.indd 66 4/10/61 BE 1:53 PM



รูปที่ 5 พาเรโตแสดงจำนวนของเสียของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยได้ดำเนินการเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

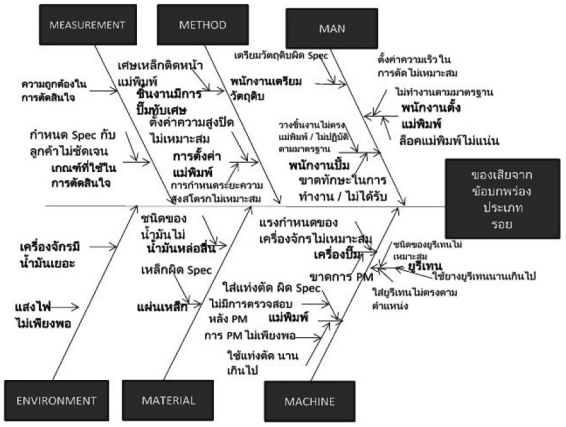
3.1 การกำหนดปัญหา

การสำรวจของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่องของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ในช่วงพฤษภาคม ปี 2558–มิถุนายน ปี 2558 มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 5 พบว่า ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยมีสัดส่วนสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 77.71 ของปริมาณของเสียทั้งหมด หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 221,544 บาท ในระยะเวลา 2 เดือน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกปัญหานี้เพื่อลดของเสียซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตโดยตรง

ตารางที่ 1 ของเสียของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี ระหว่างเดือน พ.ค.–มิ.ย. 58

เดือน	พ.ค.	มิ.ย.	รวม	สัดส่วน	ค่าใช้จ่าย** (บาท)	สัดส่วนของเสียจากปริมาณของเสีย
ปริมาณการผลิต	78,200	67,800	146,000	-		
ปริมาณของเสีย	907	628	1,535	1.16%		
ปริมาณของเสียแยกตามประเภทข้อบกพร่อง (ชิ้น)				สัดส่วนของเสียจากปริมาณแยกตามประเภทข้อบกพร่อง		
รอย	712	512	1,224	0.84%	221,544	77.71%
ผิวขุบไม่สวย	81	72	153	0.10%	27,693	12.26%
พับไม่ฉาก	25	20	45	0.03%	8,145	7.17%
อื่นๆ*	89	24	113	0.08%	20,453	2.86%

หมายเหตุ * อื่นๆ หมายถึง ของเสียประเภท ครีบ เจาะรูไม่ทะลุ และอื่นๆ
** ค่าใช้จ่ายในการทิ้งเท่ากับ 181 บาทต่อชิ้น



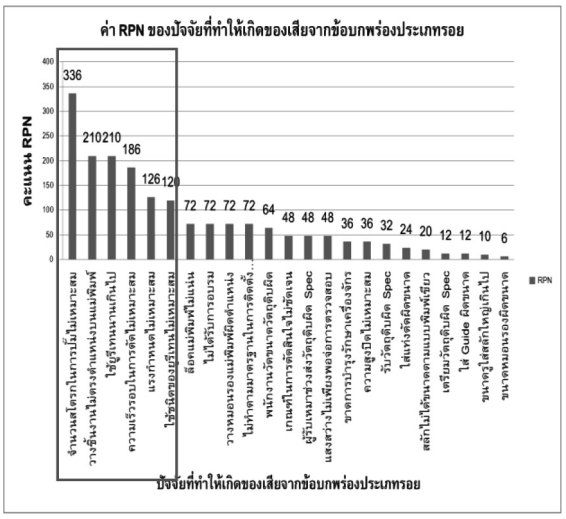
รูปที่ 6 แผนผังก้างปลาของปัญหาของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอย

3.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยย้อนหลัง พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดครีบ คือ ปัจจัยระยะช่องว่างระหว่างแท่งตัดกับแผ่นดายตัดไม่เหมาะสม และความเร็วในการตัดที่ไม่เหมาะสม [3] ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้การระดมสมองหาสาเหตุของปัญหาเรื่องรอย โดยแบ่งหมวดหมู่ของสาเหตุตาม 5M 1E ผลการระดมสมองแสดงในรูปแบบของแผนผังก้างปลา ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 พบว่า มี 23 ปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดครีบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดรอยบนชิ้นงานขึ้น ทางผู้วิจัยจะใช้เกณฑ์ของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบของกระบวนการ (Failure Mode and Effects Analysis; FMEA) ได้แก่ เกณฑ์ในเรื่องความรุนแรงของผลกระทบ ความถี่ของการเกิดผลกระทบจากสาเหตุของปัญหา และความเป็นไปได้ในการป้องกันตรวจพบ [9] โดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือกปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหา คือ ความรุนแรงของผลกระทบ คือ ปัจจัยที่มีคะแนนตั้งแต่ 7–10 คะแนน เนื่องจากต้องสูญเสียเวลาในการซ่อมเป็นเวลานาน และส่งผลให้ไม่สามารถส่งของได้ นำปัจจัยที่มีค่าความรุนแรงของผลกระทบ 7–10 คะแนน มาพิจารณาโอกาสในการเกิด คือ ปัจจัยที่มีคะแนนตั้งแต่ 5–10 คะแนน เนื่องจากร้อยละของเสียที่ยอมรับได้ของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งน้อยกว่าเท่ากับ

-17-0000(063-076)P5.indd 67 4/10/61 BE 1:53 PM



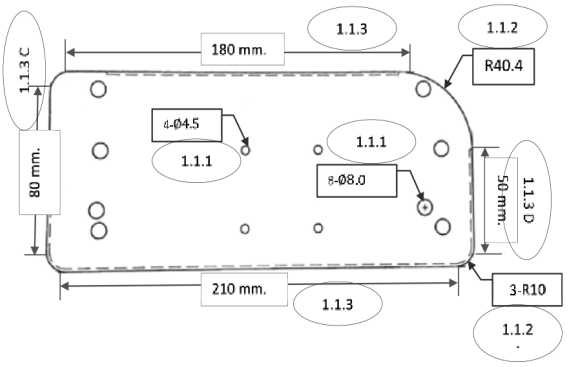
รูปที่ 7 การเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอย

ร้อยละ 0.5 และนำปัจจัยที่มีโอกาสในการเกิดตั้งแต่ 5–10 คะแนน มาพิจารณาความเป็นไปได้ในการตรวจพบ คือ ปัจจัยที่มีคะแนน 6–10 คะแนน เนื่องจากการตรวจพบตั้งแต่ระดับต่ำถึงปานกลาง โดยสามารถตรวจสอบได้โดยวิธีการสุ่มเท่านั้น ซึ่งได้ค่า Risk Piority Number (RPN) ดังแสดงในรูปที่ 7

จากรูปที่ 7 พบว่ามี 6 ปัจจัยที่มีค่า RPN มากกว่าเกินเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งได้แก่ปัจจัยดังนี้ 1) แรงกำหนดของเครื่องปั๊ม 2) ความแข็งของยางยูรีเทน 3) วิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ 4) อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด 5) อายุการใช้งานของยางยูรีเทน และ 6) ความเร็วในการตัดเฉือน จากนั้นนำปัจจัยทั้งหกมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับเรื่องครีบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 แรงกำหนดของเครื่องปั๊มในกระบวนการตัดเฉือนและเจาะ

แรงกำหนดของเครื่องปั๊มเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับกระบวนการตัดเฉือน หากแรงกำหนดไม่เพียงพอต่อค่าแรงเฉือนของชิ้นงานจะส่งผลกระทบให้เกินกำลังที่เครื่องปั๊มจะตัดเฉือนชิ้นงานได้ ดังนั้นผู้วิจัยได้คำนวณค่าแรงเฉือนที่เพียงพอต่อการตัดเฉือนและเจาะของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีที่ต้องการ ซึ่งมีแบบพิมพ์เขียวดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แบบพิมพ์เขียวของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี

จากรูปที่ 8 นำขนาดของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีมาคำนวณแรงตัดเฉือนที่ต้องการ จากสมการที่ (1)

$$S = \tau A \qquad (1)$$

โดยที่ S = แรงตัดเฉือน หน่วยเป็น N

τ = ค่าความเค้นเฉือน หน่วยเป็น N/mm^2 (0.8 เท่าของความเค้นดึงสูงสุด หรือเท่ากับ 0.8 x 410 N/mm^2 = 328 N/mm^2) [1]

A = พื้นที่ตัด หน่วยเป็น mm^2

= 1332.25 mm^2

แทนค่าพื้นที่ตัด และความเค้นเฉือนลงในสมการที่ (1)

S = 328 x 1332.25

= 436,978 N

= 43.70 Tons

จากการคำนวณแรงตัดเฉือนพบว่าค่าแรงตัดเฉือนที่ต้องการจากการคำนวณเท่ากับ 43.70 ตัน ซึ่งค่าแรงเฉือนของเครื่องปั๊มในปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 80 ตัน มากกว่าค่าที่ต้องการ แสดงว่าแรงกำหนดของเครื่องปั๊มเพียงพอกับการผลิตในปัจจุบัน

3.2.2 ความแข็งของยางยูรีเทน

ยางยูรีเทนทำหน้าที่ในการรับแรงตัดเฉือนและส่งผ่านแรงไปยังชิ้นส่วนที่ต้องการ ซึ่งในปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาใช้ยูรีเทนชนิด Hard Grade ที่มีความแข็งเท่ากับ 90 Shore A โดยในการวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาความแข็งและการรับแรงตัดเฉือนของยางยูรีเทนที่บริษัทกรณีศึกษาใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งข้อมูลเป็นไปดังตารางที่ 2

-17-0000(063-076)P5.indd 68 4/10/61 BE 1:53 PM

ตารางที่ 2 สมบัติของยูรีเทนที่ใช้ในบริษัทกรณีศึกษา

ชนิด	สี	ความแข็ง (Shore A)	ความเค้นอัด (Mpa, N/mm^2)	ขนาด (mm.)	จำนวน (ชิ้น / แม่พิมพ์)	ค่าแรงตัดเฉือนที่รับได้ (ตัน)
Soft Grade	เหลือง	35	10.4	Ø 50	24	50.0
Hard Grade	เทาดำ	90	34.8	Ø 50	24	167.2
Hard Grade	เทา	95	30.6	Ø 50	24	147.0

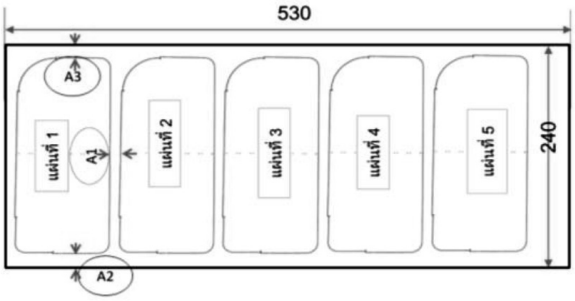
จากตารางที่ 2 พบว่า ยางยูรีเทนทั้ง 3 ชนิด สามารถทนแรงตัดเฉือนในการขึ้นรูปแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีได้ โดยพิจารณาจากค่าแรงตัดเฉือนที่เกิดขึ้น คือ 43.7 ตัน ซึ่งน้อยกว่าค่าแรงตัดเฉือนที่รับได้ในตารางที่ 3 ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ยางยูรีเทนชนิด Soft Grade ที่มีความแข็งเท่ากับ 35 Shore A เพราะเนื่องจากมีต้นทุนค่าวัสดุยางยูรีเทนต่ำกว่ายางยูรีเทนชนิดอื่น

3.2.3 วิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์

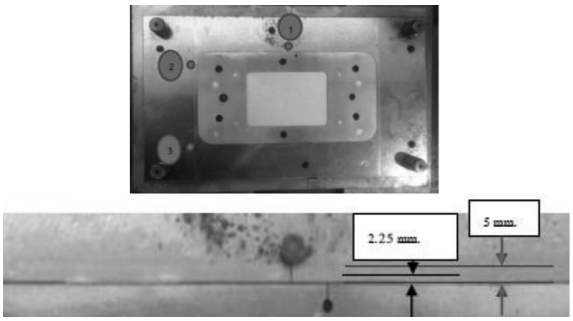
ผู้วิจัยทำการศึกษาการออกแบบ Scrap Strip คือ แผ่นเหล็กหลังจากการปั๊มในกระบวนการตัดเฉือนและเจาะ หากวางแผ่นเหล็กไม่ชนตัวบังคับ หรือวางแผ่นเหล็กก่อนปั๊มเอียงจะส่งผลให้ขณะปั๊มตัดเฉือนจะเกิดครีบสูงหรือแหว่ง เนื่องจากระยะที่ชิ้นงานห่างจากขอบแผ่นเหล็กน้อยกว่ามาตรฐานซึ่งทำให้แผ่นเหล็กยืดตัวได้มากขึ้น ทฤษฎีการตัดเฉือนได้กล่าวว่า ในกรณีที่ชิ้นงานมีขนาดความยาวตั้งแต่ 215.9 มม. ขึ้นไป ระยะที่ชิ้นงานห่างจากขอบเหล็กควรมีค่าไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความหนาแผ่นเหล็ก [5] ในกรณีศึกษานี้เหล็กมีความหนาเท่ากับ 1.5 มม. ดังนั้นต้องมีระยะที่ชิ้นงานห่างจากขอบแผ่นเหล็ก $\geq$ 2.25 มม. ผู้วิจัยจึงทำการวัดระยะที่ชิ้นงานห่างจากขอบ แผ่นเหล็กที่ตำแหน่ง A1, A2 และ A3 ดังรูปที่ 9 โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็ก

แผ่นที่	A1		A2		A3		ผลสรุป
	ระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กที่วัดได้ (มม.)	ความสูงครีบที่วัดได้	ระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กที่วัดได้ (มม.)	ความสูงครีบที่วัดได้	ระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กที่วัดได้ (มม.)	ความสูงครีบที่วัดได้	
1	2.52	0.09	2.73	0.09	2.68	0.08	ผ่าน
2	2.12	0.11	2.71	0.08	2.72	0.09	ไม่ผ่าน
3	2.58	0.08	2.72	0.09	2.7	0.08	ผ่าน
4	2.56	0.09	2.71	0.08	2.7	0.09	ผ่าน
5	17.55*	0.08	17.54*	0.08	17.53*	0.08	ผ่าน



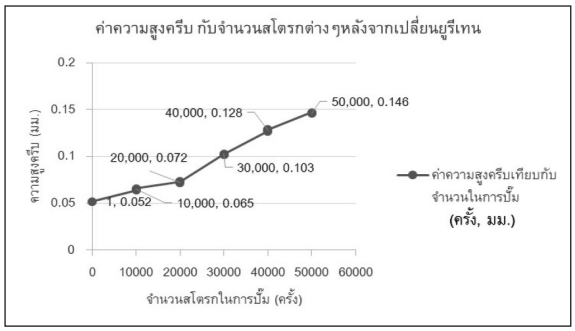
รูปที่ 9 Scrap Strip ของแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี



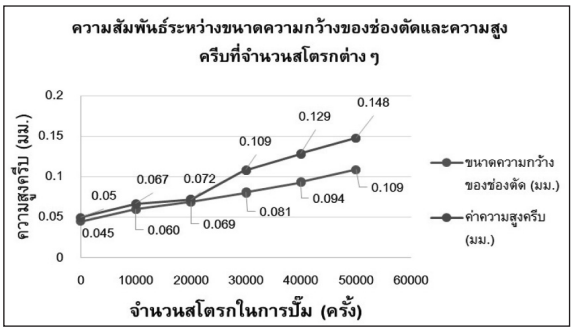
รูปที่ 10 ตำแหน่งตัวบังคับของแม่พิมพ์ในกระบวนการตัดเฉือนและเจาะ

จากตารางที่ 3 พบว่าระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กแผ่นที่ 2 มีขนาด A1 เล็กกว่าค่ามาตรฐาน และนำชิ้นงานมาวัดความสูงครีบ พบว่าครีบที่ชิ้นงานแผ่นที่ 2 ที่ตำแหน่ง A1 มีความสูงเท่ากับ 0.11 มม. ส่วนตำแหน่ง A2 และ A3 จะมีความสูงเท่ากับ 0.09 มม. จะเห็นได้ว่าหากระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กไม่ถึง 1.5 เท่าของความหนา จะทำให้ครีบมีความสูงมากขึ้น ในการปรับปรุงระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กให้มีค่าเกิน 2.25 มม. ในทุกชิ้นงาน สามารถแก้ไขได้โดยการลดขนาดตัวบังคับแผ่นเหล็กงานลงเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงไม่ให้ชิ้นงานแหว่งหรือเกิดครีบสูงโดยลดขนาดตัวบังคับในตำแหน่ง 1 ในรูปที่ 10 จาก Ø12.25 มม. ให้มีขนาดเท่ากับ Ø9.5 มม. จะทำให้สามารถขยับตำแหน่ง A1 ในรูปที่ 9 จาก 2.25 มม. เป็น 5 มม. ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 10 ซึ่งสามารถรองรับกรณีที่พนักงานวางแผ่นเหล็กไม่ชนตัวบังคับ จากการปรับปรุงนี้ทำให้หลังจากวางแผ่นเหล็กแล้วแผ่นเหล็กทุกชิ้นมีระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กมากกว่า 2.25 มม.

-17-0000(063-076)P5.indd 69 4/10/61 BE 1:53 PM



รูปที่ 11 ข้อมูลวามสูงครีบในช่วงสโตรกที่ 1–50,000 หลังจากการเปลี่ยนยูรีเทน



รูปที่ 12 ข้อมูลความสูงครีบในช่วงสโตรก 1–50,000 หลังจากซ่อมบำรุงแท่งตัดและแผ่นดายตัด

3.2.4 อายุการใช้งานของยางยูรีเทน

สโตรก คือการที่เครื่องปั๊มทำงานครบ 1 รอบ ซึ่งจะได้ชิ้นงานหนึ่งชิ้นงานออกมา

ผู้วิจัยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงครีบกับอายุการใช้งานหลังจากการเปลี่ยนยางยูรีเทนครั้งล่าสุด ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ยางยูรีเทนที่มีความแข็งเท่ากับ 35 Shore A ได้ข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 11

จากรูปที่ 11 พบว่ายางยูรีเทนที่มีความแข็งเท่ากับ 35 Shore A เมื่อทำการปั๊มเป็นระยะเวลานานขึ้น (จำนวนสโตรกมากขึ้น) ส่งผลให้ครีบมีความสูงขึ้น นั่นคือหากต้องการให้ครีบมีความสูงน้อย ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียน้อยลงจะต้องซ่อมบำรุงโดยการเปลี่ยนยางยูรีเทนเร็วขึ้น แต่การเปลี่ยนยางยูรีเทนบ่อยจะทำให้มีค่าใช้จ่ายการเปลี่ยนยางยูรีเทนสูงขึ้น ดังนั้นจะต้องทำการวิเคราะห์เพื่อหาอายุการใช้งานของยางยูรีเทนที่เหมาะสม และทำให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตต่ำที่สุด โดยค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต คือ ผลรวมของค่าใช้จ่ายของเสียและค่าใช่จ่ายในการซ่อมบำรุง

3.2.5 อายุการใช้งานของของแท่งตัดและแผ่นดายตัด

แท่งตัดและแผ่นดายตัดหากใช้งานไปนานๆ จะส่งผลให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นดายตัด ซึ่งจะทำให้ครีบมีความสูงมากขึ้น [2], [3] ซึ่งผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลความกว้างของช่องตัด และค่าความสูงของครีบที่อายุการใช้งานสโตรกต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 12

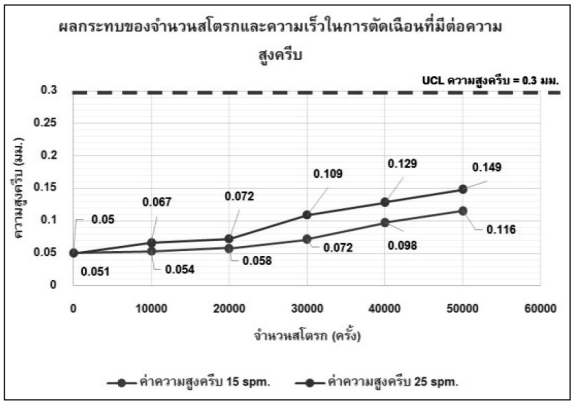
จากรูปที่ 12 พบว่าเมื่อจำนวนสโตรกมากขึ้นส่งผลให้ความกว้างของช่องตัดสูงขึ้น และส่งผลให้ค่าความสูงครีบสูงขึ้นด้วยเช่นกัน [2], [3] โดยในปัจจุบันทำการซ่อมบำรุงแท่งตัดและแผ่นดายตัดที่ 50,000 สโตรก หากต้องการให้ครีบมีความสูงน้อย จะต้องทำการซ่อมบำรุงโดยการเจียระไนราบแท่งตัดและแผ่นดายตัดเร็วขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยต่ำลง แต่จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูงขึ้น ดังนั้นจะต้องทำการวิเคราะห์เพื่อหาอายุการใช้งานก่อนจะซ่อมบำรุงแท่งตัดและแผ่นดายตัดที่เหมาะสมและทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตต่ำที่สุด

3.2.6 ความเร็วรอบในการตัดเฉือน

ความเร็วในการตัดเฉือนส่งผลต่อการเกิดครีบ [3] ซึ่งสอดคล้องกับผลการระดมสมอง และการคัดกรองปัจจัยของงานวิจัยในครั้งนี้ ดังนั้นทางผู้วิจัยจะทำการศึกษาเพื่อพิสูจน์ว่า 1) ความเร็วในการตัดเฉือนมีผลต่อความสูงครีบอย่างไร 2) มีสมมติฐานว่าหากความเร็วในการตัดเฉือนสูง ทำให้แท่งตัดและแผ่นดายตัดได้รับแรงตัดเฉือนต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดความสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นดายตัดเพิ่มขึ้น ทำให้ครีบมีความสูงมากขึ้น และ 3) ควรศึกษาอันตรกริยาของปัจจัยความเร็วในการตัดเฉือนและอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด และอายุการใช้งานของยูรีเทนที่มีต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตด้วย ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลความสูงครีบในช่วงสโตรกตั้งแต่ 1–50,000 ที่ความเร็วในการตัดเฉือนเท่ากับ 15 และ 25 spm ได้ข้อมูลเป็นไปดังรูปที่ 13

จากรูปที่ 13 พบว่าค่าขอบเขตควบคุมของความสูงครีบมีค่าเท่ากับ 0–0.3 มม. ซึ่งความสูงครีบที่จำนวนสโตรก

-17-0000(063-076)P5.indd 70 4/10/61 BE 1:53 PM



รูปที่ 13 ผลกระทบของจำนวนสโตรกและความเร็วในการตัดเฉือนที่มีต่อความสูงครีบ

ต่างๆ ณ ความเร็วในการตัดที่ 15 spm หรือ 25 spm อยู่ในขอบเขตการควบคุมทั้งหมด แต่ยังคงพบปัญหาของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยที่เกิดจากการปั๊มทับ และจากการเก็บข้อมูลพบว่าที่ความเร็วในการตัดเท่ากับ 15 spm ส่งผลให้มีความสูงครีบน้อยกว่าที่ความเร็วตัดเท่ากับ 25 spm ที่ทุกจำนวนสโตรก ซึ่งจะทำให้ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอย ซึ่งเกิดจากครีบลดลงที่จำนวนสโตรกเท่าๆ กัน แต่การใช้ความเร็วในการตัดเฉือนน้อยลงอาจส่งผลให้ผลิตภาพต่ำลง จึงต้องศึกษาผลกระทบของความเร็วในการตัดเฉือนที่มีต่อผลิตภาพ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในกรณีศึกษานี้การลดความเร็วในการตัดเฉือนลงมาที่ 15 spm ไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภาพ เนื่องจากกระบวนการตัดเฉือนและเจาะไม่ใช่กระบวนการคอขวด และยังไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์อื่น เนื่องจากกำลังการผลิตของเครื่องปั๊มขนาด 80 ตัน ยังสามารถรองรับการผลิตเพิ่มได้ ดังนั้นจึงจะทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเร็วในการตัดเฉือน อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด และอายุการใช้งานของยูรีเทนที่ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตต่ำที่สุด

ซึ่งสาเหตุรากเหง้าของปัญหาสามารถสรุปสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอย ทั้ง 6 ปัจจัย ซึ่งข้อมูลไปดังตารางที่ 4

จากการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 6 พบว่า 1) แรงกำหนดของเครื่องปั๊มในปัจจุบันเท่ากับ 80 ตัน เพียงพอที่จะใช้ในการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดี 2) ความแข็งของยางยูรีเทน ทั้ง 3 ชนิด สามารถรับแรงตัดเฉือนของการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีได้ จึงเลือกใช้ยางยูรีเทนที่มีค่าความแข็งเท่ากับ 35 Shore A เนื่องจากต้นทุนค่าวัสดุต่ำที่สุด 3) วิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ ได้ทำการแก้ไขโดยลดขนาดตัวบังคับให้มีขนาดเท่ากับ 9.5 มม. เพื่อให้ระยะห่างจากขอบชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กมีค่ามากกว่า 2.25 มม. เพื่อลดการเกิดครีบสูง ส่วนปัจจัยที่ 4–6 ได้แก่ 4) อายุการใช้งานของยางยูรีเทน 5) อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด และ 6) ความเร็วในการตัดเฉือนจะนำมาศึกษาผลหลักและอันตรกริยาของปัจจัยเหล่านี้ที่มีค่าต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง

ตารางที่ 4 ระดับของปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอย

ลำดับ	ปัจจัย	ระดับปัจจัยในปัจจุบัน
1	แรงกำหนดของเครื่องปั๊มในกระบวนการตัดเฉือนและเจาะ	80 ตัน
2	ความแข็งของยางยูรีเทน	90 Shore A (Hard Grade)
3	วิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์	ระยะที่ชิ้นงานห่างจากขอบแผ่นเหล็กน้อยกว่า 2.25 มม.
4	อายุการใช้งานของยางยูรีเทน	50,000 สโตรก
5	อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด	50,000 สโตรก
6	ความเร็วรอบในการตัด	25 รอบต่อนาที

3.3 การออกแบบการทดลอง

ในส่วนนี้ผู้วิจัยจะทำการทดลอง เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัย ซึ่งประกอบด้วย อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด อายุการใช้งานของยางยูรีเทน และความเร็วในการตัดเฉือนที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอย และหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละปัจจัยที่จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตต่ำที่สุด

-17-0000(063-076)P5.indd 71 4/10/61 BE 1:53 PM

3.3.1 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง

จากแนวคิดที่ว่าหากต้องการลดค่าใช้จ่ายของเสียลงจะต้องปรับอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด อายุการใช้งานของยูรีเทนให้น้อยลง แต่จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูง จึงต้องหาค่าของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด อายุการใช้งานของยูรีเทน และความเร็วในการตัดเฉือนที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตต่ำที่สุด ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต คือผลรวมของค่าใช้จ่ายของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอย ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงแท่งตัดและแผ่นดายตัด และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงโดยการเปลี่ยนยางยูรีเทน

ผู้วิจัยจึงได้กำหนดตัวแปรตอบสนองเป็นค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตมีสูตรคำนวณดังแสดงในสมการที่ (2)

$$\frac{X_1Y_1+X_2Y_2+X_3Y_3+X_4Y_4}{\text{ครน. ของ } A \text{ และ } B} \qquad (2)$$

โดย *A* คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด

B คือ อายุการใช้งานของยางยูรีเทน

X_1 คือ ค่าใช้จ่ายและค่าแรงช่างในการซ่อมบำรุงแท่งตัดและแผ่นดายตัดต่อครั้ง

Y_1 คือ จำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงแท่งตัดและแผ่นดายตัดภายในจำนวนสโตรกที่เท่ากับ ครน. ของ *A* และ *B*

X_2 คือ ค่าใช้จ่ายและค่าแรงช่างในการเปลี่ยนยางยูรีเทนต่อครั้ง

Y_2 คือ จำนวนครั้งในการเปลี่ยนยางยูรีเทนภายในจำนวนสโตรกที่เท่ากับ ครน. ของ *A* และ *B*

X_3 คือ ค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำของของเสียประเภทรอยต่อชิ้น

Y_3 คือ จำนวนของเสียประเภทรอยที่ต้องทำซ้ำจากจำนวนสโตรกที่เท่ากับ ครน. ของ *A* และ *B*

X_4 คือ ค่าใช้จ่ายในการทิ้งของเสียประเภทรอยต่อชิ้น

Y_4 คือ จำนวนของเสียประเภทรอยที่ต้องทิ้งจากจำนวนสโตรกที่เท่ากับ ครน. ของ A และ B

เนื่องจากในแต่ละการทดลองย่อยจะใช้อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด *(A)* และอายุการใช้งานของเปลี่ยนยูรีเทน *(B)* ไม่เท่ากัน ดังนั้นในแต่ละการทดลองย่อยจะใช้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหนึ่งหน่วยผลิตซึ่งประกอบด้วย คือค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ที่จำนวนการผลิตเท่ากันคือ *(A)* x *(B)* ชิ้น จากนั้นนำมาคิดเป็นค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่รวมต่อหน่วยผลิตที่ระดับต่างๆ ของการปรับตั้งค่าปัจจัย

3.3.2 การกำหนดแบบการทดลองและระดับของปัจจัยในการทดลอง

ผู้วิจัยได้ใช้แบบการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนองชนิดส่วนประสมกลางแบบ Faced-Center ที่มีค่า α เท่ากับ ±1 เนื่องจากมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถปรับตั้งระดับได้ถึง 5 ระดับ เนื่องจากมีจำนวนปัจจัยที่จะทดลอง 3 ปัจจัย จึงทำให้มีจำนวนการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง ในแต่ละการทดลองใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50 ชิ้น เพื่อทำให้ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ โดยยางยูรีเทนมีความแข็งเท่ากับ 35 Shore A ในการทดลองมีระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง แสดงได้ดังตารางที่ 5

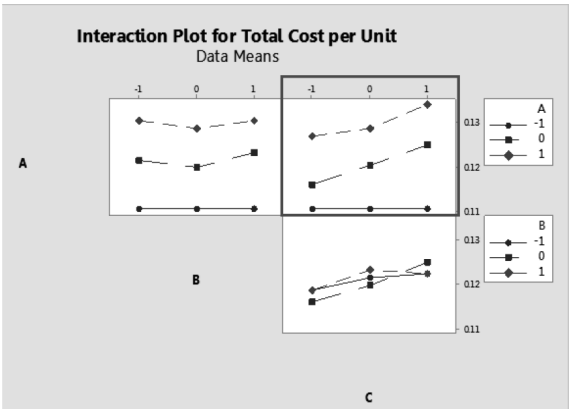
ตารางที่ 5 ระดับปัจจัยของการทดลอง

สัญลักษณ์	ปัจจัยนำเข้า	ลักษณะตัวแปร	หน่วย	ระดับของปัจจัยในการทดลอง			ระดับของปัจจัยในปัจจุบัน
				ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (+1)	
A	อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด	ต่อเนื่อง	สโตรก	30,000	40,000	50,000	50,000
B	อายุการใช้งานของยางยูรีเทน	ต่อเนื่อง	สโตรก	30,000	40,000	50,000	50,000
C	ความเร็วในการตัดเฉือน	ต่อเนื่อง	spm.	15	20	25	25

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงระดับของปัจจัยที่ในการทดลอง ซึ่งปัจจัย *A* แทนอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด ในการกำหนดระดับปัจจัยได้ใช้การเก็บข้อมูลย้อนหลังพบว่า อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดเท่ากับ 30,000–40,000 สโตรก เริ่มพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอย จึงกำหนดให้ระดับต่ำ มีค่าเท่ากับ 30,000 สโตรก หากกำหนดระดับต่ำที่ต่ำกว่า 30,000 สโตรก ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูงกว่าที่ระดับ 30,000 สโตรกระดับกลางเท่ากับ 40,000 สโตรก และระดับสูงเท่ากับ 50,000 สโตรก ส่วนปัจจัย *B* แทนอายุการใช้งานของยางยูรีเทน ในการกำหนดระดับปัจจัยได้ใช้การเก็บข้อมูล

-17-0000(063-076)P5.indd 72 4/10/61 BE 1:53 PM

ย้อนหลังพบว่า อายุการใช้งานของของยางยูรีเทนเท่ากับ 30,000–40,00 สโตรก เริ่มพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอย จึงกำหนดให้ระดับต่ำ มีค่าเท่ากับ 30,000 สโตรก หากกำหนดระดับต่ำที่ต่ำกว่า 30,000 สโตรก ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูงกว่าที่ระดับ 30,000 สโตรก ระดับกลางเท่ากับ 40,000 สโตรก และระดับสูงเท่ากับ 50,000 สโตรก ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด และปัจจัย *C* แทนความเร็วในการตัดเฉือน ในการกำหนดระดับปัจจัยนั้นจะคำนวณจากความเร็วที่ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสายการผลิต และการคำนวณพบว่า ความเร็วในการตัดเฉือนที่ระดับต่ำสุดเท่ากับ 15 spm จะไม่ส่งผลต่อต่อประสิทธิภาพของสายการผลิต จึงกำหนดให้ระดับต่ำ มีค่าเท่ากับ 15 spm ระดับกลางเท่ากับ 20 spm และระดับสูงเท่ากับ 25 spm



รูปที่ 14 อันตรกริยาระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดและความเร็วในการตัดเฉือน

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์เทอมที่มีนัยสำคัญต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต

Response Surface Regression : Total Cost per Unit versus A,B,C
Stepwise Selection of Terms
α to enter = 0.05 α to remove = 0.05

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	0.001029	0.000343	117.47	≤0.0001
Linear	2	0.001003	0.000501	17.47	≤0.0001
A	1	0.000948	0.000948	324.63	≤0.0001
C	1	0.000055	0.000055	18.86	0.001
2-Way Interaction	1	0.0000026	0.00026	8.93	0.009
AC	1	0.0000026	0.000026	8.93	0.009
Error	16	0.000047	0.000003		
Lack-of-fit	11	0.000027	0.000002	0.63	0.76
Pure Error	5	0.00002	0.000004		
Total	19	0.001075			

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.0017084	95.66%	94.84%	94.50%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	P-Value	VIF
Constant		0.120393	0.000382	≤0.0001	
A	0.019468	0.009734	0.000540	≤0.0001	1.00
C	0.004692	0.002346	0.000604	0.001	1.00
AC	0.00361	0.001805		0.009	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

Total Cost per Unit = 0.120393 + 0.00973A + 0.002346C + 0.001805 AC

3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองแล้วได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6 จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธี Stepwise Regression ดังแสดงในรูปที่ 14 พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (P-Value < 0.05) ได้แก่ ผลหลัก (Main Effects) ของ 2 ปัจจัย คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดและความเร็วในการตัดเฉือน และอันตรกิริยาระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดและความเร็วในการ (A*C Interaction) ส่วนอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง (Curvature) ไม่มีนัยสำคัญ

ดังตารางที่ 7 แสดงผลการทดลองในการปรับระดับของปัจจัย ซึ่งปัจจัย *A* แทนอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด ส่วนปัจจัย *B* แทนอายุการใช้งานของยางยูรีเทน และปัจจัย *C* แทนความเร็วในการตัดเฉือน โดยปัจจัยตอบสนอง คือ ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต จากการเก็บข้อมูลพบว่าเมื่อระดับของปัจจัย A ที่ระดับ 1 หรือ 50,000 สโตรก ส่วนปัจจัย *B* ที่ระดับ -1 และ 1 หรือ 30,000 และ 50,000 สโตรก และปัจจัย *C* ที่ระดับ 1 หรือ 15 spm ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยผลิตสูงสุดจากการคำนวณโดยสมการที่ (2) มีค่าเท่ากับ

-17-0000(063-076)P5.indd 73 4/10/61 BE 1:53 PM

0.134 บาท/ชิ้น และการเก็บข้อมูลของแต่ละระดับปัจจัยไปทำการวิเคราะห์ผล และหาสมการถดถอยที่มีนัยสำคัญต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 7 ผลการทดลอง

STD OREDER	RUN ORDER	A	B	C	Total Cost per Unit
1	1	-1	-1	-1	0.111
2	2	-1	-1	1	0.111
3	3	-1	1	-1	0.111
4	4	-1	1	1	0.111
5	16	1	-1	-1	0.127
6	17	1	-1	1	0.134
7	18	1	1	-1	0.127
8	19	1	1	1	0.134
9	6	0	0	-1	0.116
10	7	0	0	1	0.125
11	14	0	1	0	0.123
12	15	0	-1	0	0.121
13	5	-1	0	0	0.111
14	20	1	0	0	0.129
15	8	0	0	0	0.121
16	9	0	0	0	0.118
17	10	0	0	0	0.121
18	11	0	0	0	0.118
19	12	0	0	0	0.121
20	13	0	0	0	0.118

อันตรกริยาระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดและความเร็วในการตัดเฉือน (A*C Interaction) มีผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต ดังแสดงในรูปที่ 14

จากรูปที่ 14 สามารถอธิบายอันตรกริยาระหว่างอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดและความเร็วในการตัดเฉือนได้ดังนี้

3.4.1 เมื่ออายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตมากขึ้น ไม่ว่าจะใช้ความเร็วตัดเฉือนระดับใดก็ตาม

3.4.2 ผลของความเร็วในการตัดเฉือน ต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต ขึ้นอยู่กับระดับของอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด ดังนี้

1) ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดที่ระดับต่ำ หรือ 30,000 สโตรก หากระดับความเร็วในการตัดเฉือนอยู่ในระดับใดจะไม่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต ทั้งนี้เนื่องจากที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดในระดับนี้ยังไม่เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นดายตัดมากนัก ดังนั้นเมื่อความเร็วเพิ่มมากขึ้นก็ยังไม่ทำให้เกิดครีบขึ้นทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

2) ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดที่ระดับกลาง หรือ 40,000 สโตรก และระดับสูง หรือ 50,000 สโตรก หากมีการเปลี่ยนระดับความเร็วในการตัดเฉือนจากน้อยไปมาก จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดมากขึ้น จะทำให้เกิดการสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นดายตัดมากขึ้น หากความเร็วในการตัดเฉือนยิ่งมาก จะทำให้เกิดการความสึกหรอของแท่งตัดและแผ่นดายตัดมากขึ้น จะส่งผลการเกิดครีบที่มีความสูงมาก ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตสูงขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต และอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด และความเร็วในการตัดเฉือน แสดงดังในสมการที่ (3)

$$\text{Total Cost per Unit} = 0.120393 + 0.009734\ A + 0.002346\ C + 0.001805\ A*C \quad (3)$$

จากสมการ Stepwise Regression ข้างต้นพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 95.66% ซึ่งอยู่ในระดับที่สูง แสดงว่าสมการสามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลได้ดี จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมให้กับแต่ละปัจจัยที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตต่ำที่สุด โดยการใช้หลักการ Optimization ได้ผลลัพธ์ว่าค่าที่เหมาะสม คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดที่ระดับ –1 หรือ 30,000 สโตรก และความเร็วในการตัดเฉือนที่ระดับ –1 หรือ 15 spm โดยพยากรณ์ว่าหากใช้ค่าอายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด และความเร็วในการตัดเฉือนที่ระดับดังกล่าวจะทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตเท่ากับ 0.1101 บาทต่อชิ้น

3.5 การทดลองยืนยันผล

ผู้วิจัยได้ทดลองยืนยันผลที่ระดับปรับตั้งที่เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณ โดยทำการเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายรวม

-17-0000(063-076)P5.indd 74 4/10/61 BE 1:53 PM

ต่อหน่วยผลิตที่ค่าปรับตั้งระดับปัจจัย ดังนี้ คือ อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดที่ระดับต่ำ หรือ 30,000 สโตรก และความเร็วในการตัดเฉือนที่ระดับต่ำ หรือ 15 spm ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงโดยมีระดับของปัจจัยดังตารางที่ 8 ทำการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงเป็นระยะเวลา 2 เดือน แสดงได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ระดับปัจจัยหลังการปรับปรุง

ลำดับ	ปัจจัย	ระดับปัจจัยหลังการปรับปรุง
1	แรงกำหนดของเครื่องปั๊ม ในกระบวนการตัดเฉือนและเจาะ	80 ตัน
2	ความแข็งของยางยูรีเทน	35 Shore A (Soft Grade)
3	วิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์	ระยะที่ชิ้นงานห่างจาก ขอบแผ่นเหล็กน้อยกว่า 5.0 มม.
4	อายุการใช้งานของยางยูรีเทน	30,000 สโตรก
5	อายุการใช้งานของ แท่งตัดและแผ่นดายตัด	30,000 สโตรก
6	ความเร็วรอบในการตัด	15 รอบต่อนาที

ตารางที่ 9 ผลการเก็บข้อมูลย้อนหลัง 2 เดือน

เดือน	ผลิต	ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอย (ชิ้น)		สัดส่วนของเสีย
	(ชิ้น)	ทำซ้ำ	ทิ้ง	(%)
ม.ค.	68,320	0	0	0.000
ก.พ.	79,426	0	0	0.000

จากตางรางที่ 9 พบว่าไม่พบของเสียทำให้ค่าใช้จ่ายจากของเสียประเภทรอยเป็น 0 บาท ค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงแท่งตัดและแผ่นดายตัด และการเปลี่ยนยูรีเทน เท่ากับ 0.07 และ 0.04 บาทต่อชิ้น ตามลำดับ ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตเท่ากับ 0.11 บาทต่อชิ้น ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตก่อนและหลังปรับปรุง ดังสมการที่ (3) พบว่าค่าใช้จ่ายต่อหน่วยลดลงเหลือเท่ากับ 0.110 บาทต่อชิ้น จากก่อนปรับปรุงที่มีค่าใช้จ่ายหน่วยผลิตเท่ากับ 0.675 บาทต่อชิ้น หรือลดลงเป็นสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 83.70 ซึ่งใน 1 เดือน มีการผลิตแผ่นรองเครื่องเล่นซีดีเท่ากับ 60,000 ชิ้น สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เท่ากับ 40,500 บาทต่อเดือน หรือ 486,000 บาทต่อปี

4. สรุป

งานวิจัยได้ศึกษาผลกระทบของ 6 ปัจจัยอันได้แก่ 1) แรงกำหนดของเครื่องปั๊ม 2) ความแข็งของยางยูรีเทน 3) วิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ 4) อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด 5) อายุการใช้งานของยางยูรีเทนและ 6) ความเร็วในการตัดเฉือน ที่มีต่อค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิต โดยค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตเกิดจากค่าใช้จ่ายของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอย ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงแท่งตัดและแผ่นดายตัด และค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนยางยูรีเทนซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า 1) แรงกำหนดของเครื่องปั๊มขนาด 80 ตัน เพียงพอต่อการรับแรงตัดเฉือนสำหรับชิ้นงานกรณีศึกษา 2) ความแข็งของยูรีเทนชนิด Soft Grade ที่มีความแข็งเท่ากับ 35 Shore A สามารถรับแรงตัดเฉือนของชิ้นงานกรณีศึกษาได้ 3) วิธีการวางชิ้นงานบนแม่พิมพ์ได้ทำการปรับปรุงตัวบังคับเพื่อให้ระยะห่างของชิ้นงานจากขอบแผ่นเหล็กมากกว่า 1.5 เท่าของความหนาของชิ้นงาน 4) ผลจากการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนองชนิดส่วนประสมกลางแบบ Faced-Center เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตต่ำที่สุด พบว่าควรใช้อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัดหรือเท่ากับ 30,000 สโตรก และความเร็วในการตัดเฉือนน้อยหรือ 15 spm ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยมีค่าน้อย และเนื่องจากค่าใช้จ่ายของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยเป็นสัดส่วนที่มากในค่าใช้จ่ายรวม จึงทำให้ที่อายุการใช้งานของแท่งตัดและแผ่นดายตัด และความเร็วในการตัดเฉือนที่น้อย ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตต่ำที่สุดด้วย และ 5) อายุการใช้งานของยางยูรีเทนไม่มีนัยสำคัญ

จากผลการดำเนินการวิจัยพบว่าค่าใช้จ่ายรวมต่อหน่วยผลิตลดลงจาก 0.675 บาทต่อชิ้น เป็น 0.110 บาทต่อชิ้น และหลังการปรับปรุงไม่พบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอย ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 486,000 บาทต่อปี

เอกสารอ้างอิง

[1] B. Sornnil, *Fachnde Metall.* Bangkok: KMUTNB Textbook Publishing Center, 2012, pp. 92–97.
[2] *Cold-reduced steel sheets and strip,* Japanese

-17-0000(063-076)P5.indd 75 4/10/61 BE 1:53 PM

Industrial Standard G3141, 2005.

[3] V. Premanond and O. Deawwanich, *Mold and Die Material.* TPA Publishing Center, 2014, pp. 2–3.

[4] C. Supprayakorn, P. Swasdisorn, and W. Prasertworanun, *Die Design.* TPA Publishing Center, 2014, pp. 9–11.

[5] V. Premanond and P. Keawtatip, *Sheet Metal Die.* TPA Publishing Center, 2014, pp. 66–68.

[6] S. Wongai and C. Jaturnonda, *"Defect reduction of ring plate for bolt locking in progressive die process by design and analysis of experiment,"* M.S. thesis, Department of Production Engineeing, Faculty of Engineeing King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2011 (in Thai).

[7] P. Leetrakul, *"Influence of clearance in the piercing process to effecting the shaving process for alloy sheet,"* M.S. thesis, Department of Manufacturing Engineeing, Faculty of Engineeing Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 2011 (in Thai).

[8] P. Oonchuen *"Reduction of defective rate from rough surface defects of casted product,"* M.S. thesis, Department of Industrial Engineeing, Faculty of Engineeing Chalalongkorn University, 2016 (in Thai).

[9] *Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA),* 4th ed., Automotive Industry action Group (AIAG), 2008, pp. 67–111.

-17-0000(063-076)P5.indd 76 4/10/61 BE 1:53 PM