



การลดของเสียในโรงงานผลิตเหล็กหล่อชิ้นส่วนยานยนต์ Defective Reduction in Automotive Iron Part Factory

ธีระพงษ์ สำราญ และ ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย*

Teerapong Sam-ran and Natcha Thawesaengskulthai*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan, Bangkok 10330 Thailand

E-mail: teerapong_65@hotmail.com, natcha.t@chula.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียของผลิตภัณฑ์ Cylinder Disc Brake รุ่น Cy/D/B 110 ประเภทขนาด ผิดรูป และประเภททรายตกในโรงงานผลิตเหล็กหล่อชิ้นส่วนยานยนต์ โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาในเชิง ประดิษฐ์คิดค้น และการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบ 3^{因子} 2^{水準} ขั้นตอนการวิจัยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) กำหนดปัญหา ทำการวิเคราะห์ความผันแปรด้วยแผนภาพความสนใจ (2) หาสาเหตุหลักของปัญหา ระดมสมองหาสาเหตุ ของปัญหาและคัดกรองสาเหตุหลักของปัญหา (3) หาวิธีการแก้ปัญหา ทำการทดลองแบบ 3^{因子} 2^{水準} โดยการสลับที่ระดับปัจจัย ที่ดีที่สุด และแย่ที่สุด ใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาในเชิงประดิษฐ์คิดค้นในการช่วยแก้ไขปัญหที่เกิดข้อขัดแย้งทางเทคนิค เมื่อได้ข้อแนะนำในการแก้ปัญหาแล้วจึงนำมาออกแบบแนวคิด จากนั้นคัดเลือกแนวคิดด้วยวิธีการรวมน้ำหนัก จากนั้นทำ การออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด (4) นำการแก้ไขปัญหามาปฏิบัติ ทำการเปรียบเทียบก่อนและ หลังปรับปรุง และ (5) ติดตามควบคุมและประเมินผล ผลการแก้ไขปัญหาคือพบว่ามีปริมาณข้อบกพร่องก่อนการ ปรับปรุง 9.11% และหลังการปรับปรุง 1.58% มีสัดส่วนลดลง 7.53% และปัญหาทรายตกพบว่ามีปริมาณข้อบกพร่อง ก่อนการปรับปรุง 4.95% และหลังการปรับปรุง 0.60% มีสัดส่วนลดลง 4.35%

คำสำคัญ: การแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น, การออกแบบการทดลอง 3^{因子} 2^{水準}, ของเสีย, เหล็กหล่อ

ABSTRACT

This research aims to reduce defective rate of automotive iron part of Cylinder Disc Brake model Cy/D/B110. The two major types of defects are dimension no good (NG) and sand inclusion. The paper applies the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) and Shainin DOE in solving the defect problem. The research methodology consisted of five steps: (1) Define phase analyzed the variations by concentration chart. (2) Measuring phase identified root causes of problem by brain storming and problem scoring. (3) Analysis phase generated the solutions by adopting the Shainin, a basic DOE approach (Best of Best (BOB) and Worst of Worst (WOW)). Additionally, TRIZ approach was used to solve the technical contradiction and to generate solutions. The most suitable idea was selected by the weight sum method (WSM). Then design of experiment was used to find the best optimal factor level. (4) Improve phase implemented the solution and compare the performance results between before and after improvements. (5) Control phase is to monitor and control the results after the improvements. The results found that the defective rate of dimension NG type reduced from 9.11%

to 1.58% (7.53% reduction) and the defective rate of sand inclusion type reduced from 4.95% to 0.60% (4.35% reduction).

Keywords: TRIZ, Shainin DOE, Defective, Cast iron

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์จัดเป็นอุตสาหกรรมในระดับต้นที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งในด้านเศรษฐกิจการจ้างงาน การพัฒนาด้านเทคโนโลยียานยนต์ ตลอดจนการพัฒนาอุตสาหกรรมอื่น ๆ รวมไปถึงธุรกิจที่เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยานยนต์ด้วยเป็นอย่างมาก [1] สำหรับบริษัทรับจ้างผลิตสินค้าหรือ OEM (Original Equipment Manufacturing) มีการแข่งขันเพื่อการค้าขายของส่วนแบ่งทางการตลาด จึงต้องมีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพต่อกระบวนการผลิต และคุณภาพต้องเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ดังนั้นการปรับปรุง พัฒนาและการมีแนวคิดสร้างสรรค์จะช่วยให้สามารถก้าวสู่การเป็นชั้นนำด้านคุณภาพได้อย่างก้าวหน้าและมั่นคง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อ Cylinder Disc Brake รุ่น Cy/D/B 110 ประเภทขนาดผิวดรูป และประเภททรายตกในโรงงานผลิตเหล็กหล่อชิ้นส่วนยานยนต์ โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาในเชิงประดิษฐ์คิดค้น และการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบไชนิน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้หลักการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น และการออกแบบการทดลองแบบไชนินเพื่อลดปัญหาของเสียของเหล็กหล่อชิ้นส่วนยานยนต์

ทฤษฎีแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น ถูกคิดค้นขึ้นโดยวิศวกรชาวรัสเซียชื่อ Genrich S. Altshuller ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1946 โดยคำว่า TRIZ เป็นคำย่อมาจากภาษารัสเซียของคำว่า Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch ที่แปลว่า ทฤษฎีแก้ปัญหาการประดิษฐ์ซึ่งถ้าเป็นภาษาอังกฤษ จะใช้คำว่า Theory of Inventive Problems Solving แต่เนื่องจากเพื่อเป็นเกียรติแก่ผู้ให้

กำเนิดแนวคิดนี้ซึ่งเป็นชาวรัสเซียจึงมักนิยมเรียก TRIZ มาอย่างต่อเนื่อง [2,3]

ขั้นตอนการแก้ปัญหาโดย TRIZ มี 3 ขั้นตอนดังนี้

- 1) ค้นหาปัญหาที่มีอยู่
- 2) มองปัญหาในรูปแบบของ physical contradiction คือ กำหนดตัวแปรที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ในทิศทางกันข้ามกัน โดยอาศัย 39 ตัวแปรของ Altshuller (The Altshuller's 39 Engineering Parameters)
- 3) ค้นหาการแก้ปัญหา โดยอาศัย 40 หลักการพื้นฐานในการประดิษฐ์คิดค้น (40 Fundamental inventive principles) [3,4]

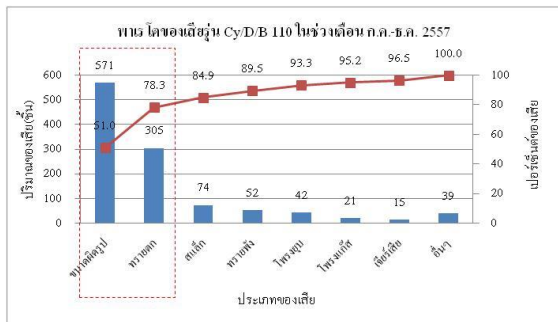
ระบบไชนิน (Shainin System) เป็นระบบหรือเทคนิคการแก้ปัญหาคุณภาพถูกพัฒนาขึ้นโดย Dorian Shainin (1914–2000) ชาวสหรัฐอเมริกา ระบบไชนินได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมภาคการผลิต ความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ และวิศวกรรมคุณภาพ Dorian Shainin เรียกงานสถิติวิศวกรรมนี้มีชื่อว่า Red X [5] เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับระบบไชนิน ได้แก่ Isoplot, Multivari Chart, Component search, Variable search, Group comparison Better (B) กับ Current (C) และ Pre-control [6] ข้อดีของการใช้เทคนิคไชนิน คือ ใช้ตัดสินใจทางวิศวกรรมและใช้สถิติอย่างง่าย ในอุตสาหกรรมมีประโยชน์มาก คนทำงานสามารถเข้าใจได้ง่าย [7]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การกำหนดปัญหา

การสำรวจของเสียตามประเภทของผลิตภัณฑ์ Cylinder Disc Brake รุ่น Cy/D/B110 ในช่วงปลายปี 2557 แสดงผลดังรูปที่ 1 พบว่าสามารถแบ่งของเสียตามประเภทได้แก่ ของเสียประเภทชิ้นงานขนาดผิวดรูปคิดเป็น 51.0% และของเสียประเภททรายตกคิดเป็น 27.3% ทั้งสองประเภทรวมกัน 78.3% ถือเป็นปัญหาหลักที่ต้องการ

แก้ไข ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกทั้ง 2 ปัญหาทำการวิจัยเพื่อทำการลดของเสียที่เกิดขึ้น



รูปที่ 1 พารโดของเสียรุ่น Cy/D/B 110

ลักษณะของข้อบกพร่องประเภท “ขนาดผิดรูป (Dimension no good)” แสดงดังรูปที่ 2 มีลักษณะที่สามารถสังเกตได้คือ ภายหลังการประกอบเข้ากับชิ้นส่วนอื่นแล้วไม่เป็นระนาบเดียวกัน ในกระบวนการหล่อเหล็กสามารถตรวจสอบได้โดยผ่านเครื่องมือวัดแบบ Go - No Go Gauge



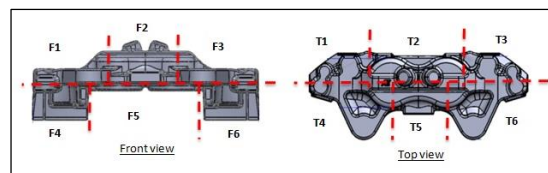
รูปที่ 2 ของเสียประเภทขนาดผิดรูป

ข้อบกพร่องประเภท “ทรายตกหรือทรายปนเปื้อน (Sand inclusion)” แสดงดังรูปที่ 3 มีลักษณะขาดหายไปของชิ้นงาน ชิ้นงานไม่ถูกเติมเต็มแต่ถูกแทรกด้วยเม็ดทราย ทำให้ชิ้นงานไม่ได้รูปร่างตามที่ต้องการ ไม่เหมาะกับการนำไปใช้งานเพราะอาจทำให้ส่งผลกระทบต่อเม็ดคอลลิ่งในกระบวนการกลึงไสหรืออาจทำให้เกิดความเสียหายจากการรับแรงได้

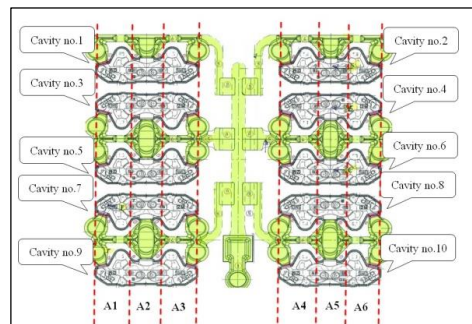


รูปที่ 3 ของเสียประเภททรายตก

จากนั้นทำการศึกษาการระบุร่องรอยด้วยเครื่องมือแผนภาพความสนใจ (Concentration chart) เพื่อวิเคราะห์ความผันแปรของการเกิดของเสียด้วยการวิเคราะห์ความผันแปรแบบวันต่อวัน (Lot to lot) ชิ้นต่อชิ้น (Piece to piece) จุดต่อจุด (Point to point) และพื้นที่ต่อพื้นที่ (Area to area) โดยทำการกำหนดตำแหน่งดังรูปที่ 4 แสดงตำแหน่งแบบจุดบนตัวชิ้นงานตามมุมมองด้านหน้าจุด F1 ถึง F6 และมุมมองด้านบนจุด T1 ถึง T6 และรูปที่ 5 แสดงการกำหนดตำแหน่งหมายเลขชิ้นตามตำแหน่งบนแม่พิมพ์เป็นหมายเลข Cavity 1 ถึง 10 และแบ่งตามพื้นที่บนแม่พิมพ์เป็น A1 ถึง A6



รูปที่ 4 แผนภาพความสนใจแบบจุดบนชิ้นงาน



รูปที่ 5 แผนภาพความสนใจแบบชิ้นและพื้นที่บนแม่พิมพ์

ทำการสำรวจรายละเอียดของข้อบกพร่องโดยใช้แบบสำรวจแผนภาพความสนใจ ดังรูปที่ 6 เพื่อเก็บข้อมูลลोटการผลิต (Lot) หมายเลขชิ้น (Cavity no.) ชนิดและตำแหน่งของข้อบกพร่องจำนวน 30 ลोट พบความแตกต่างของตำแหน่งการเกิดข้อบกพร่องประเภทขนาดผิกรูปร่างแบบจุดต่อจุด ของเสียเกิดขึ้นในตำแหน่ง T1 คิดเป็น 50.7% และตำแหน่ง T3 คิดเป็น 49.3% ดังรูปที่ 4 และพบความแตกต่างของตำแหน่งการเกิดปัญหาแบบพื้นที่ต่อพื้นที่ พบว่าพื้นที่ A6 มีของเสียคิดเป็น 44.5% และพื้นที่ A1 มีของเสียคิดเป็น 40.3% ดังรูปที่ 5 และพบว่ามีความแตกต่างของตำแหน่งการเกิดข้อบกพร่องประเภททรายตกแบบจุดต่อจุด ของเสียเกิดขึ้นในตำแหน่ง F6 คิดเป็น 60.3% และตำแหน่ง F4 คิดเป็น 39.7% ดังรูปที่ 4 และความแตกต่างของตำแหน่งการเกิดปัญหาแบบพื้นที่ต่อพื้นที่ พบว่าพื้นที่ A4 มีของเสียคิดเป็น 52.8% และพื้นที่ A1 มีของเสียคิดเป็น 47.2% ดังรูปที่ 5

Defect check sheet For Cy/D/B110

Record date:.....

Record Name:.....

Front view: F1, F2, F3, F4, F5, F6

Top view: T1, T2, T3, T4, T5, T6

No.	Lot	Cavity No.	ชนิดDefect	ตำแหน่งDefect													
				F1	F2	F3	F4	F5	F6	T1	T2	T3	T4	T5	T6		
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	

รูปที่ 6 แบบสำรวจแผนภาพความสนใจ

3.2 การหาสาเหตุหลักของปัญหา

การวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้ผังก้างปลา ทำการระดมสมองของทีมงานปรับปรุงคุณภาพที่จัดตั้งขึ้น เพื่อระบุสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจทำให้เกิดปัญหา โดยแบ่งการทำผังก้างปลาออกเป็นสองฝั่งตามจำนวนปัญหา คือ ปัญหาประเภทขนาดผิกรูปร่างและปัญหาประเภททรายตก จากผลการวิเคราะห์ความผันแปรที่ได้นำมาเป็นข้อมูลสนับสนุนในการลงความเห็นของทีมงาน ผลการลงความเห็นพบว่าลักษณะข้อบกพร่องประเภทขนาดผิกรูปร่าง

อาจมีสาเหตุหลักมาจาก 1) ช่องปล่อยทรายเครื่องปั้นไม่สม่ำเสมอ และ 2) ใช้แรงกดแบบทรายน้อยเกินไป และสำหรับลักษณะข้อบกพร่องประเภททรายตกพบว่าอาจมีสาเหตุหลักมาจาก 1) Pin-Bush สึกหรือ และ 2) การปิดแบบเอียง

3.3. การหาวิธีการแก้ไขปัญหา

3.3.1 การหาสาเหตุหลักของปัญหา

จากการลงความเห็นของทีมงานปรับปรุงคุณภาพ ได้สรุปปัจจัยที่อาจทำให้เกิดปัญหาประเภทขนาดผิกรูปร่าง คือ แรงกดแบบทราย และช่องปล่อยทราย จึงนำมาออกแบบการทดลองแบบไขว้นินเปรียบเทียบสิ่งที่ดีที่สุด (Best of best (BOB)) และสิ่งที่แย่ที่สุด (Worst of worst (WOW)) โดยการสลับตำแหน่งสิ่งที่ดีที่สุดกับสิ่งที่แย่ที่สุด ออกแบบการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การสลับตำแหน่ง BOB กับ WOW

การทดลองที่	ปัจจัย 1	ปัจจัย 2
1	BOB	BOB
2	BOB	WOW
3	WOW	BOB
4	WOW	WOW

ค่าของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองถูกกำหนดจากขีดความสามารถของเครื่องจักรและสภาพที่เกิดขึ้นจริง ค่าของปัจจัยที่ดีที่สุด และค่าของปัจจัยที่แย่ที่สุดถูกกำหนดขึ้นดังนี้

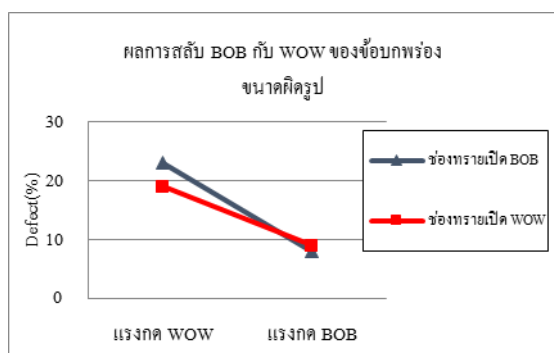
- ปัจจัยช่องทรายเปิด ดีที่สุดคือเปิด 100% ไม่มีสิ่งกีดขวางหรืออุดตัน และแย่ที่สุดคือเกิดการอุดตันมากที่สุด 70%
- ปัจจัยแรงกดแบบ ดีที่สุดคือ 21 MPa ความสามารถสูงสุดของเครื่องจักร และแย่ที่สุดคือ 12 MPa โหมดต่ำสุดของเครื่องจักร
- ปัจจัยช่องว่าง Pin-Bush ดีที่สุดคือ 0.2 mm ใช้ Pin-Bush ใหม่ ที่ยังไม่เกิดการสึกหรือ และแย่ที่สุดคือ 1.4 mm เกิดการสึกหรือเกินค่ามาตรฐาน

- ปัจจัยมุมปิดแบบ ดีที่สุดคือ 0 องศา ไม่มีความเอียง และแย่ที่สุดคือ 5 องศา มีความเอียงเกินมาตรฐาน
- สามารถสรุปการกำหนดค่าของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองได้ดังตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าของปัจจัย BOB กับ WOW

ปัจจัย	ค่าของปัจจัย	
ปัญหาขนาดผิวดรูป	BOB	WOW
1) ช่องทรายเปิด	100%	70%
2) แรงกดแบบ	21 MPa	12 MPa
ปัญหาทรายตก	BOB	WOW
1) ช่องว่าง Pin-Bush	0.2 mm	1.4 mm
2) มุมปิดแบบ	0 องศา	5 องศา

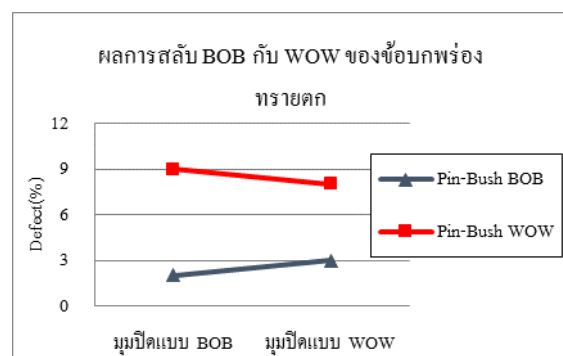
ตัวแปรตาม (Response) คือจำนวนของเสียประเภทขนาดผิวดรูปมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยในการทดลอง 1 ครั้ง ได้ชิ้นงานรวม 100 ชิ้น ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 7 พบว่าเมื่อใช้แรงกดแบบแย่ที่สุด กับช่องทรายเปิดแบบดีที่สุด มีอัตราของเสียเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้แรงกดแบบดีที่สุด กับช่องทรายเปิดแบบแย่ที่สุด มีอัตราของเสียลดลง แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทขนาดผิวดรูปคือ แรงกดแบบทราย



รูปที่ 7 ผลการสลับ BOB กับ WOW ของข้อบกพร่องขนาดผิวดรูป

สำหรับปัญหาประเภททรายตกมีปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุมาจากมุมการปิดแบบ และช่องว่าง Pin-Bush

นำมาออกแบบการทดลองแบบ 2² แฟกเตอร์ โดยการสลับตำแหน่งสิ่งที่ดีที่สุดกับสิ่งที่แย่ที่สุด แปรตามคือจำนวนของเสียประเภททรายตกมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยในการทดลอง 1 ครั้ง ได้ชิ้นงานรวม 100 ชิ้น ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 8 พบว่าเมื่อใช้มุมปิดแบบแย่ที่สุดกับช่องว่าง Pin-Bush ดีที่สุด มีอัตราของเสียลดลง และเมื่อใช้มุมปิดแบบดีที่สุดกับช่องว่าง Pin-Bush แบบแย่ที่สุด มีอัตราของเสียเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภททรายตกคือ ช่องว่าง Pin-Bush



รูปที่ 8 ผลการสลับ BOB กับ WOW ของข้อบกพร่องทรายตก

3.3.2 การหาแนวทางแก้ไขปัญหาคัดแยกทางเทคนิค

เมื่อได้ปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของปัญหาแล้ว ทำการหาแนวทางแก้ไขปัญหามีข้อขัดแย้งทางเทคนิค กล่าวคือเมื่อแก้ปัญหานึงให้ดีขึ้นแล้วมีผลกระทบต่อสิ่งอื่นในทางที่แย่ลง ดังนั้นจึงใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างสรรค์แนวคิดในการแก้ไขปัญหาได้อย่างเหมาะสม มีลำดับการแก้ปัญหามาตรฐานดังนี้

- 1) วิเคราะห์ระบบทางเทคนิคของปัญหาที่ต้องแก้ไข คือแรงกดแบบทรายซึ่งตรงกับปัญหาทางเทคนิค 39 ข้อของ TRIZ คือ ข้อที่ 11 แรงดัน (Pressure)
- 2) ระบุข้อขัดแย้งทางเทคนิคของการแก้ไขการเพิ่มแรงกดคือ จิตความสามารถของเครื่องจักรไม่สามารถสร้างแรงดันได้เกินค่าที่ดีที่สุดแล้ว ตรงกับข้อขัดแย้ง 39

ข้อของ TRIZ คือ ข้อที่ 32 ความสามารถในการผลิตมีขีดจำกัด (Manufacturability)

3) แก้ไขข้อขัดแย้งทางเทคนิค โดยใช้ข้อเสนอแนะจากตาราง TRIZ ได้แก่

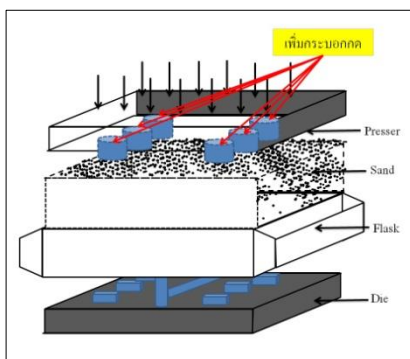
ข้อ#1 คือ การแบ่งออกเป็นส่วนๆ (Segmentation)

ข้อ#35 คือ การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติ (Transformation of properties)

ข้อ#16 คือ กระทำเพียงบางส่วนหรือกระทำให้มากเกินไป (Partial or Excessive Action) [4]

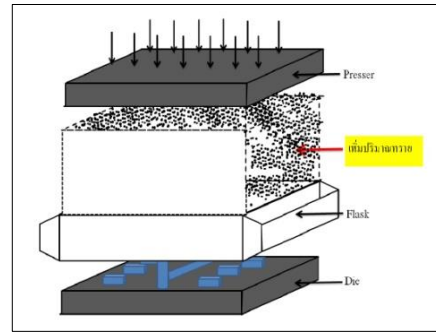
จากนั้นนำข้อเสนอแนะมาระดมสมองกับทีมงานเพื่อออกแบบแนวทางแก้ไขปัญหา โดยกรอบในการออกแบบแนวคิดการแก้ไขปัญหาคือใช้ข้อเสนอวิธีการแก้ปัญหาจาก TRIZ ดังนี้

แนวคิดที่ 1 เพิ่มจุดกดแบบทรายแบบเฉพาะจุด (TRIZ solution no.1 Segmentation) สภาพเดิมคือใช้แผ่นเรียบในการกดแบบทราย แนวคิดในการปรับปรุงคือเพิ่มกระบะกวดที่เครื่องกดแบบเพื่อลดปริมาตรของทรายแบบเฉพาะจุดดังรูปที่ 9 ให้ตำแหน่งที่เพิ่มกระบะกวดนั้นตรงกับตำแหน่งที่เกิดของเสีย สามารถเลือกเฉพาะพื้นที่ได้



รูปที่ 9 แนวคิดเพิ่มจุดกดแบบทรายแบบเฉพาะจุด

แนวคิดที่ 2 เพิ่มปริมาณทราย (TRIZ solution no. 35 Transformation of properties) ในสภาพปัจจุบันใช้ทรายในการปั้นแบบ 400 กิโลกรัมต่อครั้ง แนวคิดการปรับปรุงคือเพิ่มปริมาณของทรายที่ปั้นในแต่ละแบบให้มากขึ้น โดยต้องมีการปรับขนาดของถังใส่ทรายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นตามตำแหน่งดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แนวคิดเพิ่มปริมาณทราย

แนวคิดที่ 3 เพิ่มจำนวนครั้งในการกดแบบ (TRIZ solution no.16 Partial or Excessive Action) สภาพปัจจุบันคือทำการกดแบบเพียงครั้งเดียวในการปั้นแบบ แนวคิดในการปรับปรุงคือเพิ่มจำนวนครั้งในการกดแบบเพื่อให้เกิดการกระจายแรงอย่างสม่ำเสมอและได้รับแรงกระทำมากขึ้น

ใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นแก้ไขปัญหาดังกล่าวตามลำดับการแก้ปัญหาดังนี้

1) วิเคราะห์ระบบทางเทคนิคของปัญหาที่ต้องแก้ไขคือช่องว่างของ Pin-Bush ซึ่งเกิดจากการสึกหรอของวัสดุที่มีการเคลื่อนที่เสียดสีกัน ซึ่งตรงกับปัญหาทางเทคนิค 39 ข้อของ TRIZ คือ ข้อที่ 15 ความทนทานของวัตถุเคลื่อนที่ (Durability of moving object)

2) ระบุนข้อขัดแย้งทางเทคนิคของการแก้ไขการเพิ่มความทนทานของวัสดุคือ โดยธรรมชาติของวัสดุที่เสียดสีกันด้วยแรงกระทำสูงและในสภาพแวดล้อมที่มีความร้อนสูง ซึ่งตรงกับข้อขัดแย้ง 39 ข้อของ TRIZ คือ ข้อที่ 35 ความสามารถในการปรับตัวได้ (Adaptability)

3) แก้ไขข้อขัดแย้งทางเทคนิค โดยใช้ข้อเสนอแนะจากตาราง TRIZ ได้แก่

ข้อ#15 คือ ความเป็นพลวัต (Dynamicity)

ข้อ#35 คือ การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติ (Transformation of properties)

ข้อ#13 คือ กลับทิศทาง-กลับหัวกลับหาง (Do it in reverse) [4]

จากนั้นนำข้อเสนอแนะมาระดมสมองกับทีมงานเพื่อออกแบบแนวทางแก้ไขปัญหาคือ โดยกรอบในการออกแบบ

แนวคิดการแก้ไขปัญหาคือใช้ข้อเสนอวิธีการแก้ปัญหาจาก TRIZ ดังนี้

แนวคิดที่ 1 ปรับความเร็วในการปิดแบบลง (TRIZ solution no. 15 Dynamicity) ในสภาพปัจจุบันใช้ความเร็วในการปิดแบบที่ค่ามาตรฐาน 50 cm/s แนวคิดในการปรับคือ ปรับความเร็วในการปิดแบบลงเพื่อลดแรงกระแทกแบบทราซ

แนวคิดที่ 2 ทำ Guide pin-bush ให้ยาวขึ้น (TRIZ solution no. 35 Transformation of properties) สภาพปัจจุบันคือ ให้ระยะนำ 20 mm แนวคิดในการปรับปรุงคือ เพิ่มระยะการนำทางในการสวม Pin-Bush ให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมระยะการปิดแบบให้มากขึ้น

แนวคิดที่ 3 เพิ่ม Clearance ที่แม่พิมพ์ (TRIZ solution no. 13 Do it in reverse) สภาพปัจจุบันคือ แม่พิมพ์มีการออกแบบให้มีระยะ Clearance 0.3 mm แนวคิดในการปรับปรุงคือ ทำการปะแผ่นโลหะที่แม่พิมพ์เพื่อเพิ่มช่องว่างในแบบทราซให้มากขึ้น

หลังจากการระดมสมองสร้างแนวคิดในการแก้ไขปัญหานั้น จากนั้นนำแนวคิดมาคัดกรองโดยใช้เครื่องมือวิธีการรวมน้ำหนัก (Weight Sum Method (WSM)) [2] โดยกำหนดเกณฑ์ในการพิจารณา และลงคะแนนจากทีมงานปรับปรุงคุณภาพ โดยมีการกำหนดช่วงระดับ 1-5 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การกำหนด Rating Scale

คำอธิบาย	ระดับ
แย่กว่าเดิมมาก	1
แย่กว่าเดิม	2
เท่าเดิม	3
ดีกว่าเดิม	4
ดีกว่าเดิมมาก	5

จากนั้นทำการให้คะแนนในตารางวิธีการรวมน้ำหนักโดยทำการกำหนดน้ำหนักและลงคะแนนโดยทีมงานปรับปรุงคุณภาพ ผลการเลือกแนวคิดแก้ปัญหา

ขนาดผิวดรูป ดังตารางที่ 4 พบว่าผลการลงคะแนนเลือกแนวคิดที่มีคะแนนสูงสุด คือ แนวคิดที่ 1 การเพิ่มจุดกดแบบทราซแบบเฉพาะจุด ซึ่งจะได้นำแนวคิดนี้ไปปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4 วิธีการรวมน้ำหนักแนวคิดแก้ปัญหาขนาดผิวดรูป

เกณฑ์การเลือก	น้ำหนัก	แนวคิด					
		แนวคิดที่ 1		แนวคิดที่ 2		แนวคิดที่ 3	
		ระดับ	คะแนน	ระดับ	คะแนน	ระดับ	คะแนน
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง	30%	2	0.60	2	0.60	1	0.30
ผลกระทบกับผลิตภัณฑ์อื่น	15%	3	0.45	2	0.30	3	0.45
ประสิทธิภาพการใช้งาน	15%	5	0.75	4	0.60	4	0.60
การดูแลรักษา	15%	3	0.45	3	0.45	3	0.45
ความสะดวกในการใช้งาน	15%	4	0.60	2	0.30	4	0.60
ความเป็นไปได้	10%	5	0.50	3	0.30	4	0.40
รวมคะแนน	100%	3.35		2.55		2.80	
ผลการจัดลำดับ		1		3		2	
พัฒนาต่อหรือไม่		พัฒนาต่อ		ไม่		ไม่	

การใช้วิธีการรวมน้ำหนักในการเลือกแนวคิดแก้ปัญหาทราซได้ผลดังตารางที่ 5 พบว่าผลการเลือกแนวคิดที่มีคะแนนสูงสุด คือ แนวคิดที่ 3 การเพิ่ม Clearance ที่แม่พิมพ์ ซึ่งจะได้นำแนวคิดนี้ไปปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 5 วิธีการรวมน้ำหนักแนวคิดแก้ปัญหาทราซตก

เกณฑ์การเลือก	น้ำหนัก	แนวคิด					
		แนวคิดที่ 1		แนวคิดที่ 2		แนวคิดที่ 3	
		ระดับ	คะแนน	ระดับ	คะแนน	ระดับ	คะแนน
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง	15%	3	0.45	1	0.15	2	0.30
ผลกระทบกับผลิตภัณฑ์อื่น	15%	3	0.45	4	0.60	3	0.45
ประสิทธิภาพการใช้งาน	30%	4	1.20	5	1.50	5	1.50
การดูแลรักษา	15%	3	0.45	1	0.15	3	0.45
ความสะดวกในการใช้งาน	15%	3	0.45	3	0.45	3	0.45
ความเป็นไปได้	10%	4	0.40	3	0.30	4	0.40
คะแนนรวม	100%	3.40		3.15		3.55	
ผลการจัดลำดับ		2		3		1	
พัฒนาต่อหรือไม่		ไม่		ไม่		พัฒนาต่อ	

3.3.3 การออกแบบการทดลอง

สำหรับปัญหามาตรฐานผิวดรูปได้กำหนดระดับปัจจัยที่จะทำการทดลอง 3 ระดับปัจจัยดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การกำหนดระดับปัจจัย

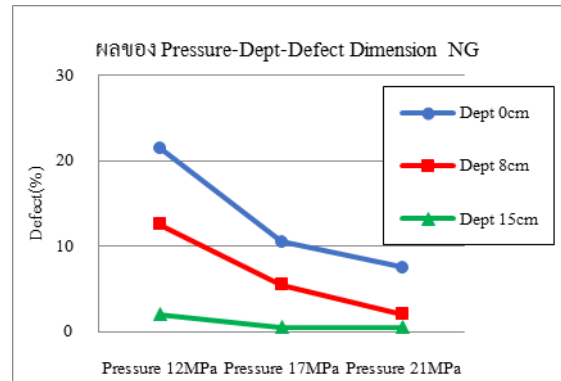
ปัจจัย	ระดับของปัจจัย			หน่วย
แรงกดแบบทราย (Pressure)	12	17	21	MPa
ความลึกกระบอก (Dept)	0	8	15	cm

ลำดับการทดลองแบบสุ่ม ทำการลำดับการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 16 และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมการทดลอง $3^2 \times 2 = 18$ ครั้ง ในการทดลองแต่ละครั้งจะได้ชิ้นงาน 100 ชิ้น ตัวแปรตามคือ จำนวนของเสียประเภทขนาดผิวดรูปใช้หน่วยวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดลองปัญหาขนาดผิวดรูป

Pressure (MPa)	Dept (cm)		
	0	8	15
12	21.5	12.5	2.0
17	10.5	5.5	0.5
21	7.5	2.0	0.5

จากผลการทดลองพบว่า ที่แรงกดมากที่สุด 21 MPa กับระยะกดลึกน้อยที่สุด 0 cm มีข้อบกพร่องประเภทขนาดผิวดรูปเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการสลัดที่กับระยะความลึกอื่นๆ และที่แรงกดน้อยที่สุด 12 MPa กับระยะกดลึกมากที่สุด 15cm พบว่าข้อบกพร่องประเภทขนาดผิวดรูป มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการสลัดที่กับระยะความลึกอื่นๆดังแสดงในรูปที่ 11 จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทขนาดผิวดรูปคือแรงกดแบบทรายและระยะความลึกของกระบอกกดทราย



รูปที่ 11 ผลของ Pressure-Dept-Defect Dimension NG

สำหรับปัญหาทรายตกได้กำหนดปัจจัยที่จะทำการทดลอง 3 ระดับปัจจัยดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การกำหนดระดับปัจจัย

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย			หน่วย
Plate thickness	0.0	0.5	1.0	mm.
Clearance pin-bush	0.2	0.7	1.4	mm.

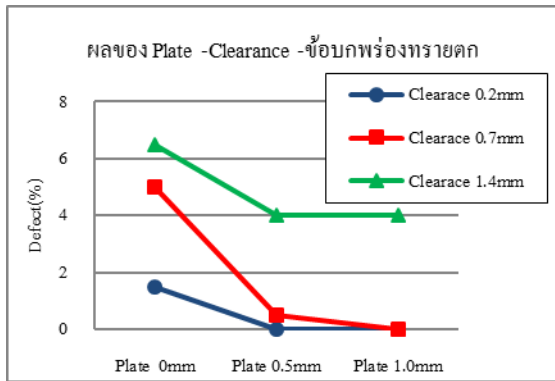
ลำดับการทดลองแบบสุ่ม ทำการลำดับการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 16 และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมการทดลอง $3^2 \times 2 = 18$ ครั้ง ในการทดลองแต่ละครั้งจะได้ชิ้นงาน 100 ชิ้น ตัวแปรตามคือ จำนวนของเสียประเภททรายตก ใช้หน่วยวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการทดลองปัญหาทรายตก

Plate thickness (mm)	Clearance pin-bush (mm)		
	0.2	0.7	1.4
0	1.5	5	6.5
0.5	0	0.5	4
1.0	0	0	4

จากผลการทดลองพบว่าที่ Plate thickness มากที่สุด 1.0 mm กับระยะ Clearance pin-bush มากที่สุด 1.4 mm พบว่าข้อบกพร่องประเภททรายตกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการสลัดที่กับระยะ Clearance pin-bush อื่นๆ และที่ Plate thickness น้อยที่สุด 0 mm กับระยะ Clearance pin-bush น้อยที่สุด 0.2 mm

พบว่าข้อบกพร่องประเภททรายตกมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการสลับที่กับระยะ Clearance pin-bush อื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 12 จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภททรายตก คือ Plate thickness และระยะ Clearance pin-bush

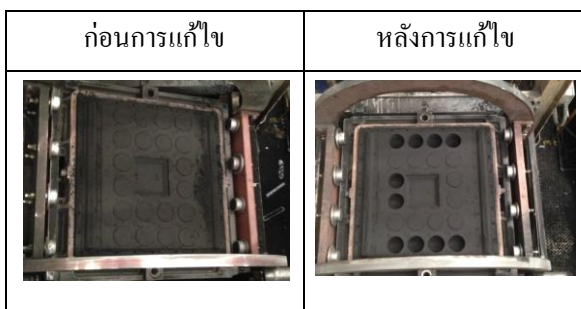


รูปที่ 12 ผลของ Plate - Clearance - ข้อบกพร่องทรายตก

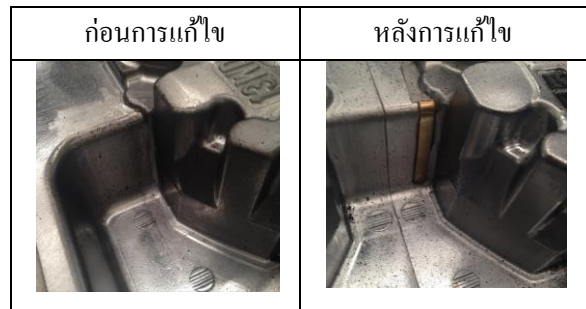
3.4 การนำวิธีการแก้ไขปัญหามาปฏิบัติ

3.4.1 ดำเนินการแก้ไขปัญหา

สำหรับปัญหานาฬิกาผิดรูปมีสาเหตุหลักของปัญหามาจากแรงกดแบบ แนวทางในการแก้ไขปัญหาคือการติดตั้งเพิ่มกระบอกแบบเฉพาะจุดเพื่อเพิ่มแรงกดแบบทรายในตำแหน่งที่ต้องการดังแสดงในรูปที่ 13 และการแก้ไขปัญหาคือการเพิ่มแผ่นโลหะบนแม่พิมพ์ดังรูปที่ 14



รูปที่ 13 สภาพก่อนและหลังแก้ไขปัญหานาฬิกาผิดรูป



รูปที่ 14 สภาพก่อนและหลังแก้ไขปัญหายุ้งทรายตก

3.4.2 ประเมินผลการแก้ไขปัญห

เมื่อได้ทำการแก้ไขปัญหมาแล้ว ในขั้นตอนการประเมินผลนี้จะใช้เทคนิคการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการแก้ไข โดยใช้ข้อมูลอย่างละ 30 ล็อตการผลิตต่อเนื่อง จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 ด้วยการพล็อตกราฟ Interval plot ที่ความเชื่อมั่น 95% ของค่าเฉลี่ยสองด้าน เปรียบเทียบ B vs C พบว่าผลของการแก้ปัญหาคือการเพิ่มขนาดนาฬิกาผิดรูป และทรายตกมีผลไปในทิศทางเดียวกันคือภายหลังการปรับปรุงมีปริมาณของเสียลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงที่ความเชื่อมั่น 95%

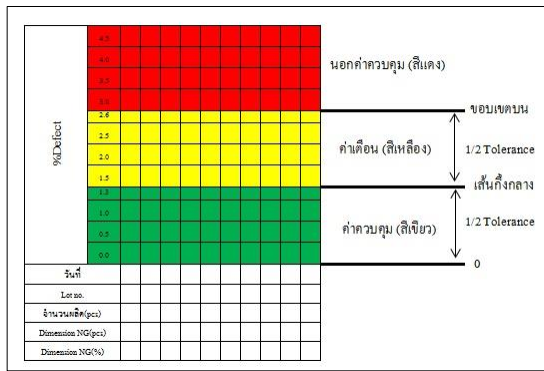
3.5 การติดตามควบคุม

เป็นการติดตามปริมาณข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น หากมีความผิดปกติจะได้มีการกลับไปตรวจสอบกระบวนการผลิตได้อย่างทันท่วงที

3.5.1 การทำ Pre-control

เนื่องจากการควบคุมสัดส่วนข้อบกพร่องเป็นการควบคุมด้านเดียว (One side tolerance) ลักษณะของ Pre-control แสดงดังรูปที่ 15 ซึ่งแบ่งช่วงการควบคุมเป็นดังนี้

- ค่าควบคุม สัญลักษณ์ สีเขียว คือค่าเฉลี่ยข้อบกพร่อง
- ค่าเตือน สัญลักษณ์ สีเหลือง คือ อยู่ภายใน 2 เท่าของค่าควบคุม
- นอกค่าควบคุม สัญลักษณ์ สีแดง คือ อยู่เกิน 2 เท่าของค่าควบคุม



รูปที่ 15 ลักษณะของ Pre-control

การกำหนดค่าใน Pre-control แยกออกเป็น 2 ส่วนตามลักษณะของปัญหา คือของเสียประเภทขนาดผิดรูปและทรายตก โดยใช้ข้อมูลสัดส่วนข้อบกพร่องเฉลี่ยเป็นค่าควบคุม และค่าขอบเขตบนคือ 2 เท่าของค่าควบคุม แสดงค่าดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สัดส่วนของเสียกับการกำหนดขอบเขต

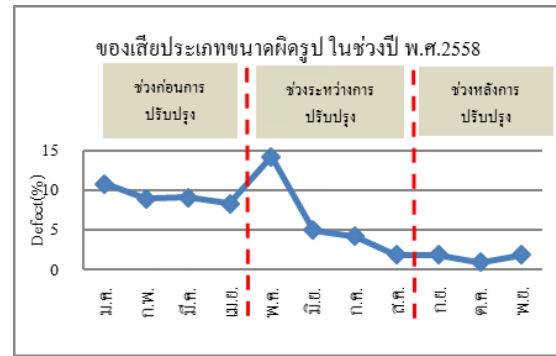
ประเภทข้อบกพร่อง	สัดส่วนข้อบกพร่องเฉลี่ย	ขอบเขตบน
ขนาดผิดรูป	1.3%	2.6%
ทรายตก	0.6%	1.2%

เกณฑ์การตัดสินใจ

- ถ้าล้อยอดแรกอยู่ในแถบเขียวให้ผลิตต่อ
- ถ้าล้อยอดแรกสีเหลืองให้ตรวจสอบล้อยอดที่สองหากเป็นสีเหลืองหรือแดงให้หยุดเพื่อปรับตั้งค่า
- ถ้าล้อยอดแรกสีแดง ให้หยุดและปรับตั้งค่า

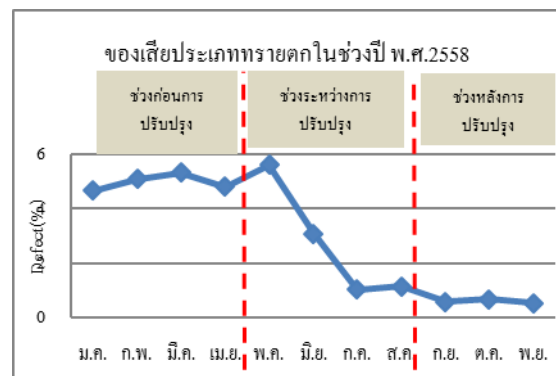
3.6 ผลการศึกษา

จากการควบคุมและติดตามผลหลังการแก้ไขเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าปริมาณข้อบกพร่องประเภทขนาดผิดรูปก่อนการปรับปรุง 9.11% ระหว่างการปรับปรุง 3.53% และหลังการปรับปรุง 1.58% ดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 ของเสียประเภทขนาดผิดรูป

จากการควบคุมและติดตามผลหลังการแก้ไขเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าปริมาณข้อบกพร่องประเภททรายตกก่อนการปรับปรุง 4.95% ระหว่างการปรับปรุง 1.56% และหลังการปรับปรุง 0.60% ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 ของเสียประเภททรายตก

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการดำเนินการวิจัยใช้เครื่องมือ TRIZ ในการออกแบบแนวคิดแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นปัญหาที่มีข้อขัดแย้งทางเทคนิค และใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบ 3因子 ซึ่งเป็นการใช้สถิติอย่างง่ายมาช่วยในการแก้ปัญหา ได้ผลการแก้ไขปัญหามาตรฐานที่มีปริมาณข้อบกพร่องก่อนการปรับปรุง 9.11% ระหว่างการปรับปรุง 3.53% และหลังการปรับปรุง 1.58% ลดลง 7.53% เมื่อเทียบกับก่อนและหลังการปรับปรุง และปัญหาทรายตกพบว่ามีปริมาณข้อบกพร่องก่อนการปรับปรุง

4.95% ระหว่างการปรับปรุง 1.56% และหลังการ
ปรับปรุง 0.60% ลดลง 4.35% เมื่อเทียบก่อนและหลัง
การปรับปรุง

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันยานยนต์. แผนแม่บทอุตสาหกรรมยานยนต์ปี พ.ศ. 2555–2559, กระทรวงอุตสาหกรรม. [ระบบออนไลน์]
แหล่งที่มา: http://www.thaiauto.or.th/2012/th/about-us/download/Master_Plan_Final_2555-2559.pdf, 2555.
- [2] รัชฎา ทวีแสงสกุลไทย. ตำราประกอบการสอนรายวิชาการบริหารจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม. ภาควิชา
วิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- [3] Barry, K., Domb, E., and Slocum, M. S. What is TRIZ. *The TRIZ Journal*, 2010.
- [4] Altshuller, G., Shulyak, L., Rodman, S. The Innovation Algorithm TRIZ Systematic Innovation
and Technical Creativity. Technical Innovation Center, 2nd Edition, 2007.
- [5] Bhote, K. R. and Bhote, A. K. World Class Quality. New York: American Management
Association, 2000.
- [6] Stefan, H. S., and MacKay, R. J. An Overview of the Shainin System for Quality Improvement.
Journal of quality engineering, 2008; 20(6).
- [7] Thomas, A. J., and Antony, J. A Comparative Analysis of the Taguchi and Shainin DOE
Technique in an Aerospace Environment. *International journal of productivity and
performance management*, 2005; 54(8): 658- 678.