การลดจำนวนชิ้นงานผลิตซ้ำในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยวิธีซิกซ์ ซิกม่า

Reduction of a Number of Reworks in Automotive-part Manufacturing Process by Six Sigma

สิทธิพร พิมพ์สกุล[1] ศรสวรรค์ ผุยสี[1] และเดชพล รุ่งนภาพร[2]

Sittiporn Pimsakul[1], Sornsawan Puisee[1], and Dejphol Ruengnapaporn[2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 02-329-8339 โทรสาร 02-329-8340

[2] บริษัท ดาน่าสไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 02-326-0054 โทรสาร 02-326-0055

E-mail: pimsakuls@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนชิ้นงานผลิตซ้ำในกระบวนการผลิตสลิปจอยท์ ให้มีค่าน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ทั้งหมด จากสภาพในปัจจุบันกระบวนการผลิตสลิปจอยท์มีจำนวนชิ้นงานที่ผลิตซ้ำมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบซิกซ์ซิกม่า ซึ่งประกอบด้วย แผนผังแสดงสาเหตุและผล การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ และการออกแบบการทดลอง เพื่อกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตชิ้นงานผลิตซ้ำ และกำหนดค่าที่ดีที่สุดของแต่ละปัจจัยเหล่านั้น ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตชิ้นงานผลิตซ้ำประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) เส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์ 2) การรับค่าของระดับคลาส และ 3) อายุการใช้งานของมีดกลึง และค่าที่ดีที่สุดของแต่ละปัจจัยเหล่านี้ มีค่าเท่ากับ 1) -0.008 มม. 2) ค่าสูงสุด และ 3) 0 ถึง 50 ชิ้น ตามลำดับ การทดสอบเพื่อยืนยันผล พบว่า กระบวนการผลิตสลิปจอยท์มีจำนวนชิ้นงานผลิตซ้ำเฉลี่ยเท่ากับ 12.15 และ 21.48 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออายุการใช้งานของมีดกลึงอยู่ระหว่าง 0 และ 200 ชิ้น และระหว่าง 201 และ 400 ชิ้น ตามลำดับ

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง วิธีซิกซ์ ซิกม่า สลิปจอยท์

Abstract

Objective of this research is to reduce a number of reworks in Slip Joint manufacturing process to less than 30 percent. From current situation, the Slip Joint manufacturing process produces more than 80 percent of reworks. Researchers apply Six Sigma problem-solving techniques, including Cause and Effect Diagram, Failure Mode and Effect Analysis, and Design of Experiments, to indicate critical factors affecting reworks and indicate optimal values of each of these factors. Results from this research indicate that there are three most significant factors, consisting of 1) Nib Diameter of Tube Shaft, 2) Class Level, and 3) Tool Life and optimal values of these factors are 1) -0.008 mm., 2) Maximum value, and 3) 0-50 pieces, respectively. Results from confirmation experiments show that the Slip Joint manufacturing process can produce 12.15 and 21.48 percent average of reworks when using 0-200 pieces and 201-400 pieces of tool life, respectively.

Keywords: Design of Experiments, Six Sigma Approach, Slip Joint

1. บทนำ

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ และการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นอีกหนึ่งอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันในด้านคุณภาพและต้นทุนของผลิตภัณฑ์อย่างมาก ผลิตภัณฑ์จะต้องมีคุณลักษณะที่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า เนื่องจากต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานของลูกค้าเป็นสำคัญ

RECEIVED 1 February, 2012

ACCEPTED 3 October, 2012

โรงงานตัวอย่างในงานวิจัยนี้ ได้แก่ บริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด เป็นบริษัทผู้ผลิตเพลากลางของรถกระบะเพื่อจำหน่ายให้กับ บริษัทผู้ประกอบรถยนต์รายใหญ่หลายบริษัททั้งในและต่างประเทศ ในกระบวนการผลิตเพลากลางของรถกระบะ โรงงานจะให้ความสำคัญกับข้อกำหนดของลูกค้า แต่จากการวิเคราะห์โรงงานตัวอย่างข้างต้น ผู้วิจัยพบว่า กระบวนการผลิตชิ้นส่วนของเพลากลางรถกระบะหรือชิ้นส่วนชื่อ สลิปจอยท์ (Slip Joint) ยังไม่สามารถผลิตได้ตามข้อกำหนดของลูกค้า สลิปจอยท์เป็นชิ้นส่วนหนึ่งของเพลากลางรถกระบะ ที่ผลิตจากการสวมประกอบเข้าด้วยกันของ 2 ชิ้นส่วนย่อย ได้แก่ สลิปโยค (Slip Yoke) และทูปชาฟท์ (Tube Shaft) ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ชิ้นส่วนและการประกอบสลิปจอยท์

คุณลักษณะทางคุณภาพของขั้นตอนการประกอบสลิปจอยท์ พิจารณาจากค่าของแรงดึงที่เกิดจากการดึงระหว่างสลิปโยค และทูปชาฟท์ สลิปจอยท์ที่มีค่าแรงดึงไม่อยู่ในช่วงของข้อกำหนดของลูกค้า (22 ถึง 89 N) จะต้องถูกนำกลับมาผลิตซ้ำใหม่ (Rework) ด้วยกระบวนการกลึง จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิตสลิปจอยท์ ในโรงงานตัวอย่าง ผู้วิจัยพบว่า เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานสลิปจอยท์ที่ต้องนำกลับมาผลิตซ้ำมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเกินกว่าจำนวนที่ได้กำหนดไว้ และส่งผลทำให้กระบวนการผลิตดังกล่าวมีความ สามารถในการผลิตที่ต่ำกว่าเป้าหมาย

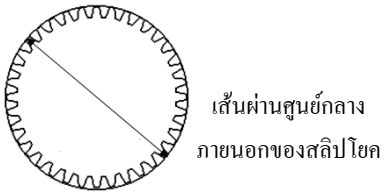
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาและกำหนดวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีซิกซ์ ซิกม่า เพื่อนำไปสู่การลดจำนวนชิ้นงานผลิตซ้ำให้มีจำนวนไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ผลิตได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตสลิปจอยท์

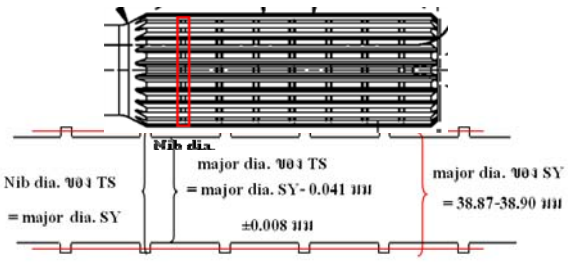
กระบวนการผลิตสลิปจอยท์ หมายถึงขั้นตอนของการนำชิ้นส่วน สลิปโยค และทูปชาฟท์มาสวมประกอบเข้าด้วยกัน โดยให้มีค่าแรงดึงเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า หรือมีค่าระหว่าง 22 และ 89 N

สลิปโยค เป็นชิ้นส่วนที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง เนื่องจากผ่านกระบวนการแทงขึ้นรูป หน้าตัดมีลักษณะคล้ายร่องฟันเฟือง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (ร่องฟันเฟือง) มีค่าระหว่าง 38.87 และ 38.90 มม. ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ภาพหน้าตัดของสลิปโยค

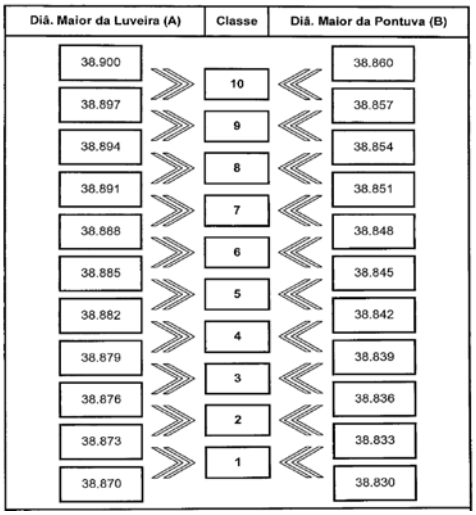
ทูปชาฟท์ เป็นชิ้นส่วนที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกตัน หน้าตัดมีลักษณะเป็นฟันเฟืองเมื่อผ่านกระบวนการกลึง ผิวภายนอกมีส่วนที่เรียกว่า นิป (Nib) ที่มีลักษณะคล้ายปุ่มที่ยื่นออกมา ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยความสูงของนิปมีค่ามากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสลิปโยคอยู่ 0.005 มม. และมีระยะเผื่ออยู่ระหว่าง +0.018 มม. และ -0.008 มม.



รูปที่ 3 ลักษณะภายนอกของทูปชาฟท์

ก่อนที่ชิ้นส่วนทั้ง 2 จะสวมประกอบเข้าด้วยกัน ทูปชาฟท์ต้องถูกนำไปผ่านกระบวนการกลึงก่อนขนาดของเส้นผ่าน

ศูนย์กลางของทูปชาฟท์จะถูกกำหนดโดย เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสลิปโยค สลิปโยคแต่ละชิ้นจะถูกวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกจำนวน 250 จุด ตลอดแท่งของสลิปโยคด้วยเครื่องมือวัดที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ และเครื่องมือวัดนี้จะส่งค่าที่น้อยที่สุดจาก 250 ค่าให้กับเครื่องกลึง เพื่อกำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของทูปชาฟท์



รูปที่ 4 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสลิปโยคและทูปชาฟท์จำนวน 10 ระดับ

จากรูปที่ 4 ตัวเลขในคอลัมน์ด้านซ้ายมือ คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสลิปโยค ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 11 ค่าหรือ 10 ระดับ (Class) ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสลิปโยคที่มีค่าน้อยที่สุดที่วัดได้อยู่ในช่วงของค่าในระดับใด (1, 2, … หรือ 10) ตัวเลขในคอลัมน์ด้านขวามือของระดับนั้น จะเป็นขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของทูปชาฟท์ และใช้ค่าที่น้อยของระดับนั้นๆ เพื่อกำหนดค่าในการกลึงชิ้นงานทูปชาฟท์

ทูปชาฟท์ที่ผ่านกระบวนการกลึงแล้ว พนักงานจะนำมาสวมประกอบเข้ากับสลิปโยคที่เป็นคู่กัน จากนั้นวัดค่าแรงดึงที่เกิดจากการดึงของชิ้นส่วนทั้งสอง โดยค่าแรงดังกล่าวเกิดจากแรงเสียดทานระหว่าง นิปของทูปชาฟท์ และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสลิปโยค ถ้าค่าแรงดึงมีค่าไม่อยู่ภายในช่วงระหว่าง 22 และ 89 N สลิปจอยท์จะต้องถูกนำกลับมาผลิตซ้ำ ชิ้นงานผลิตซ้ำสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ 1) สลิปจอยท์ที่มีค่าแรงดึงมากกว่า 89 N หรือสลิปจอยท์ที่ไม่สามารถสวมกันได้ตั้งแต่ครั้งแรก ชิ้นงานนี้จะถูกนำไปผลิตซ้ำโดยการกลึง และ 2) สลิปจอยท์ที่ค่าแรงดึงน้อยกว่า 22 N ทูปชาฟท์จะถูกนำไปผลิตซ้ำโดยกระบวนการลอกพลาสติก

2.2 ซิกซ์ ซิกม่า

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาตามแนวคิดของซิกซ์ซิกม่า อันเป็นหลักการของวิธีทางสถิติที่มีจุดมุ่งหมายที่สำคัญต่อการปฏิบัติการที่ปราศจากความผิดพลาด [1] ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบซิกซ์ ซิกม่า ด้วยเทคนิคทางสถิติที่สำคัญบางส่วนเท่านั้น วิธีซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma Approach) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนการแก้ปัญหา ดังนี้

1. การกำหนดปัญหา (Define Phase) เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาและกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

2. การวัดเพื่อการกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ประกอบด้วย การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gage R and R) [2] แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) [3] เพื่อกำหนดปัจจัยอันเป็นสาเหตุหลักและสาเหตุรองของปัญหานั้น และนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) [4]

3. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) โดยการนำเอาปัจจัย หรือสาเหตุที่สำคัญที่ได้จากผลการวิเคราะห์ด้วย FMEA มาตรวจทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments, DOE) [5]

4. การปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improvement Phase) โดยวิธีการออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่สำคัญและตัวแปรตอบสนองที่ต้องการ และนำไปสู่การกำหนดวิธีการแก้ไขปัญหา

5. การควบคุมการผลิต (Control Phase) การรักษาหรือควบคุมระดับสมรรถนะของกระบวนการที่ได้รับการปรับปรุงแล้วให้อยู่ในระดับที่คงที่ตามข้อกำหนดของโรงงานตัวอย่าง

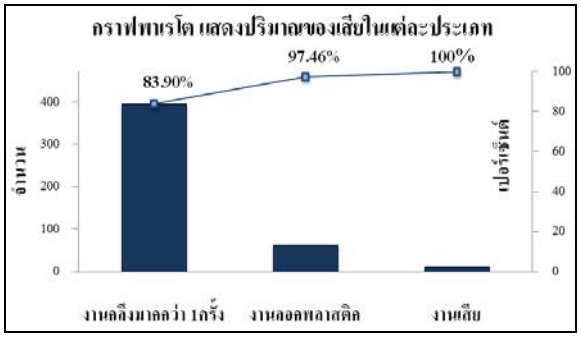
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปารเมศ ชุติมา และภานุ ชุดเจือจีน [6] ได้ศึกษาวิธีการลดของเสียจากการพ่นสีรองพื้น ในกระบวนการการผลิตกล่องนาฬิการาคาแพง โดยนำหลักการของซิกซ์ ซิกม่าไปประยุกต์ใช้ ผลการศึกษาพบว่า ผู้วิจัยสามารถลดจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในอดีต และทำให้ระดับมาตรฐานของกระบวนการผลิตสูงขึ้น สมชาย วิกรานตานนท์ และคณะ [7] ได้ใช้หลักการการออกแบบการทดลอง ในการเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ทุบขึ้นรูปร้อนมาตรวัดน้ำรุ่น LCX15 ผลจากการศึกษาสรุปได้ว่า ผู้วิจัยสามารถกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ที่มีนัยสำคัญ ซึ่งส่งผลให้อายุของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ อิราวัตร บัวจันทร์ และคณะ [8] ที่ใช้หลักการการออกแบบการทดลอง ในการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการทุบขึ้นรูปบอลวาล์ว และสามารถสรุปปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องลดลง ดำรงค์ศักดิ์ วัชรเวชศฤงคาร และคณะ [9] ได้ศึกษาการลดผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนพ่นสีฝุ่น โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม และผู้วิจัยสามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องรวมในทุกประเภทของผลิตภัณฑ์ลงได้

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การกำหนดปัญหา

จากการเก็บข้อมูลในกระบวนการผลิตสลิปจอยท์ พบว่า สลิปจอยท์มีโอกาสเกิดเป็นของเสียได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) ชิ้น งานผลิตซ้ำที่ต้องกลึงมากกว่า 1 ครั้ง (ค่าแรงดึงมากกว่า 89 N) 2) ชิ้นงานผลิตซ้ำที่ต้องทำการลอกพลาสติก (ค่าแรงดึงน้อยกว่า 22 N) และ 3) ชิ้นงานเสียรูปแบบอื่นๆ เช่น ทูปชาฟท์ไม่ได้ขนาดหรือเสียรูปทรง



รูปที่ 5 กราฟพาเรโตแสดงปริมาณของเสียในแต่ละประเภท

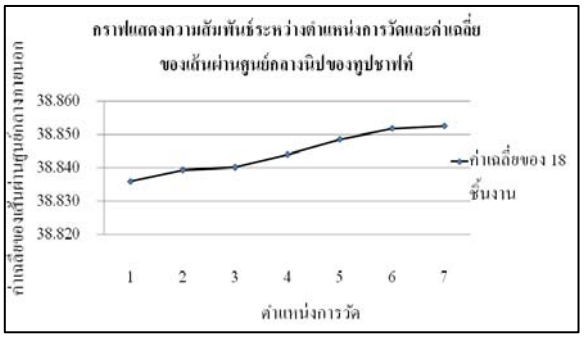
จากข้อมูลในรูปที่ 5 ชิ้นงานผลิตซ้ำที่ต้องกลึงมากกว่า 1 ครั้งมีจำนวนมากที่สุด หรือคิดเป็นร้อยละ 83.90 รูปแบบของชิ้นงานผลิตซ้ำดังกล่าว ก่อให้เกิดความล่าช้าและเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตจำนวนมาก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะศึกษาสาเหตุของปัญหา และกำหนดวิธีการแก้ปัญหาเพื่อลดจำนวนชิ้นงานผลิตซ้ำที่ต้องกลึงมากกว่า 1 ครั้ง

3.2 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

ทูปชาฟท์ที่ผ่านการกลึงแล้ว จะถูกวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยพนักงานในโรงงานตัวอย่าง ผู้วิจัยต้องการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด โดยใช้พนักงานวัดจำนวน 3 คน และวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทูปชาฟท์จำนวน 10 ชิ้น โดยพนักงานแต่ละคนจะทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด มีดังนี้ ค่าความแม่นยำของระบบการวัด (Total Gage R and R) เท่ากับ 23.12% ซึ่งถือว่ายอมรับได้ เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า 30% ค่าความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) เท่ากับ 15.78% ค่าความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) เท่ากับ 16.89% และค่าความเหมาะสมของระบบการวัดต่อกระบวนการผลิต มีค่าเท่ากับ 5 ซึ่งสามารถยอมรับได้ เนื่องจากมีค่าไม่น้อยกว่า 5 จากผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดข้างต้น ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า ระบบการวัดในกระบวนการผลิตสลิปจอยท์นี้ มีความแม่นยำอย่างเพียงพอ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์ โดยทำการวัดทูปชาฟท์จำนวน 18 ชิ้นงาน โดยที่แต่ละชิ้นของทูปชาฟท์วัดค่าทั้งหมด 7 จุด (7 ค่า) รูปที่ 6

แสดง ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์ของแต่ละตำแหน่งการวัด ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์ที่วัดได้จากหัว (ตำแหน่งที่ 1) ไปท้าย (ตำแหน่งที่ 7) ของทูปชาฟท์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และแสดงให้เห็นว่าลักษณะทั่วไปของทูปชาฟท์มีลักษณะเรียว



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์ที่ตำแหน่งการวัดที่ 1 ถึง 7

จากผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด และผลการศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์ ผู้วิจัยตัดสินใจเลือกศึกษา สาเหตุที่ทำให้เกิดชิ้นงานผลิตซ้ำที่ต้องกลึงมากกว่า 1 ครั้งโดยพิจารณาจากทูปชาฟท์ จากนั้น ผู้วิจัยร่วมกับทีมงานที่เกี่ยวข้องในโรงงานตัวอย่าง ช่วยกันระดมความคิดเห็น เพื่อกำหนดสาเหตุที่ทำให้สลิปจอยท์มีค่าแรงดึงมากกว่า 89 N และสาเหตุที่ทำให้ทูปชาฟท์มีลักษณะเรียว โดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล ผลจากการระดมความคิดเห็นในแผนผังแสดงสาเหตุและผล โดยทีมงานที่เกี่ยวข้อง พบว่าสาเหตุของปัญหาข้างต้น มีตัวอย่าง ดังนี้ การปรับตั้งค่าเส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์ของเครื่องกลึงที่ไม่เหมาะสม การรับค่าของระดับคลาสผิด มีดกลึงกลึงไม่ได้ระดับ และเครื่องกลึงกลึงงานไม่กลม เป็นต้น

สาเหตุหลัก และสาเหตุรองที่ได้จากการวิเคราะห์ในแผนผังแสดงสาเหตุและผล จะถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อไป โดยจะนำเอาสาเหตุของปัญหาที่สำคัญและสามารถควบคุมได้มาวิเคราะห์ และให้คะแนนค่าความรุนแรง (Severity, S) ค่าโอกาสที่เกิดขึ้น (Occurrence, O) และค่าความสามารถในการตรวจจับ (Detection, D) ของแต่ละสาเหตุของปัญหาโดยผู้วิจัยและทีมงานที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 1 ผลการประเมินค่าระดับความเสี่ยง (RPN)

สาเหตุหลักของกระบวนการ	S	O	D	ค่า RPN
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของทูปชาฟท์	8	3	10	240
เส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์	8	3	10	240
การรับค่าของระดับคลาส	8	3	10	240
ความถี่ในการรับค่าของคลาส	8	3	9	216
ค่า Run-out ของทูปชาฟท์	8	4	4	128
อายุการใช้งานของมีดกลึง	7	3	6	126
ความเร็วคมตัด	7	3	6	126

จากนั้น ผู้วิจัยคำนวณค่าระดับความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) ซึ่งเกิดจากผลคูณของค่า S, O, และ D ถ้าค่า RPN มีค่ามาก แสดงว่าสาเหตุหรือปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าแรงดึงมาก ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกสาเหตุสำคัญที่มีคะแนน RPN > 100 คะแนน (ตามข้อกำหนดของโรงงานตัวอย่าง) ตารางที่ 1 แสดงเฉพาะสาเหตุหรือปัจจัยที่สำคัญที่มีค่า RPN > 100 เท่านั้น (จำนวน 7 สาเหตุ) ที่จะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ผู้วิจัยได้ทำการระดมความคิดเห็นร่วมกับทีมงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหา และพบสาเหตุที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดชิ้นงานผลิตซ้ำที่ต้องกลึงมากกว่า 1 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 1 ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยอาศัยวิธีการทางสถิติ โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยเบื้องต้น โดยใช้การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^{k-p} (2^{k-p} Fractional Factorial Design) กำหนดค่าของแต่ละระดับของแต่ละปัจจัย ดังในตารางที่ 2 จากนั้นผู้วิจัยจะใช้โปรแกรม Minitab 16 เพื่อการออกแบบการทดลอง และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือค่าแรงดึงของสลิปจอยท์

ตารางที่ 2 ระดับของแต่ละปัจจัยในการออกแบบทดลอง

สาเหตุสำคัญหรือปัจจัยของปัญหา	ระดับของปัจจัย	ต่ำ	สูง
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของทูปชาฟท์	2	(-0.008) ม.ม.	(+0.008) ม.ม.
เส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์	2	(-0.008) ม.ม.	(+0.018) ม.ม.
การรับค่าของระดับคลาส	2	ต่ำสุด	สูงสุด
ความถี่ในการรับค่าของคลาส	2	20 จุด	250 จุด
ค่า Run-out ของทูปชาฟท์	2	0-50	100-150
อายุการใช้งานของมีดกลึง	2	0-50 ชิ้น	2000-2050 ชิ้น
ความเร็วคมตัด	2	0.1	0.2

3.4 การปรับปรุงแก้ไขปัญหา

ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k (2^k Factorial Design) โดยพิจารณาเฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญเบื้องต้น จากการวิเคราะห์ในหัวข้อ 3.3 เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยเหล่านั้น จากนั้น ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบและยืนยันผลการทดสอบ แล้วจึงนำค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตสลิปจอยท์ ในโรงงานตัวอย่างต่อไป

3.5 การควบคุมกระบวนการผลิต

ผู้วิจัยพิจารณาเลือกแผนภูมิควบคุม (Control Chart) ที่มีความเหมาะสมกับตัวแปรตอบสนอง หรือค่าแรงดึงของสลิปจอยท์ กำหนดวิธีการวัด ขนาดกลุ่มตัวอย่าง และความถี่ในการเก็บรวบรวมข้อมูลภายหลังการปรับปรุง สรุปผลการศึกษาโดยพิจารณาจากจำนวนชิ้นงานผลิตซ้ำที่มีค่าลดลงและในขั้นตอนสุดท้าย ผู้วิจัยจะสรุปผลของการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4. ผลการดำเนินงาน

จากขั้นตอนการดำเนินงานในหัวข้อ 3.1 ถึง 3.3 ผู้วิจัยสามารถกำหนดสาเหตุ หรือปัจจัยที่สำคัญจำนวน 7 สาเหตุที่มีผลต่อการเกิดชิ้นงานผลิตซ้ำที่ต้องกลึงมากกว่า 1 ครั้ง ดังในตารางที่ 1 และทำการออกแบบการทดลองแบบ 2_{IV}^{7-3} เพื่อคัดกรองปัจจัยที่สำคัญ โดยแบ่งแต่ละปัจจัยออกเป็น 2 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 ผู้วิจัยทำการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 16 จะพบว่า การคัดกรองปัจจัยเพื่อกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึง ต้องทำการทดลองทั้งสิ้นจำนวน 16 การทดลอง จากนั้น นำผลจากการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Minitab 16 ดังแสดงในรูปที่ 7 จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสลิปจอยท์อย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05) มีทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูฟชาฟท์ (B) การรับค่าของระดับคลาส (C) และปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อค่าแรงดึงของสลิปจอยท์ หรือ ค่า P-value มีค่าใกล้เคียง 0.05 ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของทูปชาฟท์ (A) และอายุการใช้งานของมีดกลึง (F)

Factorial Fit: Force (N) versus A, B, C, D, E, F, G

Estimated Effects and Coefficients for Force (N) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		281.625	9.375	30.04	0.021
A	143.750	71.875	9.375	7.67	0.083
B	327.000	163.500	9.375	17.44	0.036
C	246.000	123.000	9.375	13.12	0.048
D	-8.500	-4.250	9.375	-0.45	0.729
E	7.250	3.625	9.375	0.39	0.765
F	150.500	75.250	9.375	8.03	0.079
G	57.750	28.875	9.375	3.08	0.200
A*B	83.500	41.750	9.375	4.45	0.141
A*C	1.000	0.500	9.375	0.05	0.966
A*D	64.500	32.250	9.375	3.44	0.180
A*E	124.250	62.125	9.375	6.63	0.095
A*F	6.000	3.000	9.375	0.32	0.803
A*G	97.250	48.625	9.375	5.19	0.121
B*D	-4.750	-2.375	9.375	-0.25	0.842

S = 37.5 PRESS = 406208
R-Sq = 99.86% R-Sq(pred) = 59.49% R-Sq(adj) = 97.90%

รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์การทดลองแบบ 2_{IV}^{7-3}

ผู้วิจัยยังได้ทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^4 จากปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยข้างต้น โดยแบ่งระดับของแต่ละปัจจัยออกเป็น 2 ระดับ และได้การทดลองทั้งสิ้น 32 การทดลอง แล้วนำค่าผลการทดลองไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Minitab 16 และได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 8 ดังจะเห็นได้ว่า เส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์ (B) การรับค่าของระดับคลาส (C) อายุการใช้งานของมีดกลึง (D) และ อันตรกิริยาระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์และการรับค่าของระดับคลาส (Interaction B และ C) เป็นปัจจัย และปัจจัยร่วมที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสลิปจอยท์อย่างมีนัยสำคัญ (= 0.05)

Factorial Fit: Force(N) versus A, B, C, D

Estimated Effects and Coefficients for Force(N) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		190.000	20.68	9.19	0.000
A	25.875	12.937	20.68	0.63	0.540
B	210.625	105.312	20.68	5.09	0.000
C	175.625	87.813	20.68	4.25	0.001
D	129.375	64.688	20.68	3.13	0.006
A*B	40.750	20.375	20.68	0.99	0.339
A*C	51.250	25.625	20.68	1.24	0.233
A*D	-6.250	-3.125	20.68	-0.15	0.882
B*C	95.000	47.500	20.68	2.30	0.035
B*D	80.500	40.250	20.68	1.95	0.069
C*D	63.000	31.500	20.68	1.52	0.147
A*B*C	43.375	21.687	20.68	1.05	0.310
A*B*D	17.125	8.563	20.68	0.41	0.684
A*C*D	11.125	5.562	20.68	0.27	0.791
B*C*D	13.375	6.687	20.68	0.32	0.751
A*B*C*D	41.250	20.625	20.68	1.00	0.333

S = 116.993 PRESS = 875984
R-Sq = 81.50% R-Sq(pred) = 26.00% R-Sq(adj) = 64.16%

รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์การทดลองแบบ 2^4

จากนั้น ผู้วิจัยได้วิเคราะห์เฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย โดยใช้ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab 16 ดังแสดงในรูปที่ 9

Response Optimization

Parameters

Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Force	Target	22	55	89	1	1

Global Solution

Nib = -0.008
class = 1 (1)
tool life = 0

Predicted Responses

Force = 60.3125 , desirability = 0.843750

รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์ค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

จากผลการวิเคราะห์ค่าระดับ และค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยสามารถสรุปได้ว่า ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสลิปจอยท์ คือ 1) เส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์ (Nib) จะอยู่ที่ค่า -0.008 มม. หรือค่าระยะเผื่อจากค่ากลางของการปรับตั้งเครื่องจักร 2) การรับค่าของระดับคลาส (Class) จะอยู่ที่ค่าสูงสุดจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสลิปโยค และ 3) อายุการใช้งานของมีดกลึง (Tool Life) จะอยู่ที่ 0-50 ชิ้น ดังสรุปไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าระดับและค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	ระดับ / ค่าที่เหมาะสม
เส้นผ่านศูนย์กลางนิป (B)	ต่ำ (-1) / -0.008 ม.ม.
การรับค่าของระดับคลาส (C)	สูง (+1) / สูงสุด
อายุการใช้งานของมีดกลึง (D)	ต่ำ (-1) / 0 - 50 ชิ้น

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการวิจัย โดยใช้ค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยจากตารางที่ 3 และนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจริง โดยกำหนดอายุการใช้งานของมีดกลึงออกเป็น 2 ช่วง คือ 0-200 และ 201-400 ชิ้น เนื่องด้วยเหตุผลด้านต้นทุนการผลิต และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง และได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานผลิตซ้ำ ดังในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานผลิตซ้ำ

ครั้งที่	เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานผลิตซ้ำ (%)	
	อายุการใช้งานมีดกลึง (ชิ้น)	
	0 ถึง 200	201 ถึง 400
1	10.5	19.63
2	13.8	23.33
ค่าเฉลี่ย	12.15	21.48

จากตารางที่ 4 ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานผลิตซ้ำมีค่าลดลงจากในอดีตที่มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 กล่าวคือ เมื่ออายุของมีดกลึงอยู่ระหว่าง 0 และ 200 ชิ้น จะมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานผลิตซ้ำเท่ากับ 12.15 เปอร์เซ็นต์ และเมื่ออายุของมีดกลึงอยู่ระหว่าง 201 และ 400 ชิ้น จะมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานผลิตซ้ำเท่ากับ 21.48 เปอร์เซ็นต์

ในขั้นตอนของการควบคุมกระบวนการผลิตนั้น ผู้วิจัยได้ทำการควบคุมปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อกระบวนการผลิต โดยใช้การควบคุมตามแบบที่โรงงานตัวอย่างใช้ปฏิบัติงานอยู่แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาของการวิจัย ผู้วิจัยจึง

ไม่สามารถนำผลของการควบคุมกระบวนการผลิตมานำเสนอ ณ ที่นี้ได้

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาสาเหตุที่สำคัญที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสลิปจอยท์ โดยเลือกที่จะลดจำนวนชิ้นงานผลิตซ้ำที่ต้องกลึงมากกว่า 1 ครั้ง เริ่มต้นจากการทดสอบความแม่นยำของระบบการวัด การสร้างแผนผังแสดงสาเหตุและผลด้วยการระดมความคิดของทีมงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อค้นหาสาเหตุที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสลิปจอยท์ และการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเพื่อคัดกรองสาเหตุสำคัญ หรือปัจจัยที่มีนัยสำคัญ และกำหนดค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย จากการศึกษาข้างต้น ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสลิปจอยท์ ได้แก่ 1) เส้นผ่านศูนย์กลางนิปของทูปชาฟท์ จะอยู่ที่ค่า -0.008 มม. หรือค่าระยะเผื่อจากค่ากลางของการปรับตั้งค่าเครื่องจักร 2) การรับค่าของคลาสจะอยู่ที่ค่าสูงสุด จากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสลิปโยค และ 3) อายุการใช้งานของมีดกลึงจะอยู่ที่ค่า 0 ถึง 50 ชิ้น ผลจากการทดลองตามค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ เพื่อยืนยันผลพบว่า เปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานผลิตซ้ำลดลง เมื่ออายุของมีดกลึงอยู่ระหว่าง 0 และ 200 ชิ้น จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.15 เปอร์เซ็นต์ และเมื่ออายุของมีดกลึงอยู่ระหว่าง 201 และ 400 ชิ้น จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.48 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าลดลง (จากในอดีตที่มีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์) และมีค่าไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ตามที่ได้กำหนดไว้ และเป็นค่าที่ยอมรับได้ของโรงงานตัวอย่าง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้บริหาร ผู้จัดการ และทีมงานของบริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูล อุปกรณ์ และเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับการดำเนินงานโครงงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Breyfogle III, Forrest W. “Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods,” Reproduced from the Quality Management Forum, 1999.

[2] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542). การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA), สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 12-16.

[3] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2549). วิธีทางสถิติเพื่อการพัฒนาคุณภาพ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 21-31.

[4] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2547). การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA), บริษัท เทคนิคอล แอพโพรช เคาน์เซลลิ่ง แอนท์ เทรนนิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ, หน้า 23-121.

[5] ปารเมศ ชุติมา (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ หน้า 259-292.

[6] ปารเมศ ชุติมา และ ภาณุ ชุดเจือจีน, “การประยุกต์ซิกซ์ซิกม่า เพื่อลดของเสียจากการพ่นสีรองพื้นในการผลิตกล่องนาฬิการาคาแพง,” การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 24-26 ตุลาคม 2550, หน้า 78-83.

[7] สมชาย วิกรานตานนท์, อัษฎา จิรประยุกต์เลิศ และ วารุณี เปรมานนท์, “การเพิ่มอายุแม่พิมพ์ทุบขึ้นรูปร้อนมาตรวัดน้ำรุ่น LCX15 โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง,” การประชุมวิชาการสถิติประยุกต์ระดับชาติประจำปี 2549, หน้า 7-19.

[8] อิราวัตร บัวจันทร์, อัษฎา จิรประยุกต์เลิศ และ เจริญ สุนทราวาณิชย์, “การลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการทุบขึ้นรูปบอลวาล์ว,” การประชุมวิชาการสถิติประยุกต์ระดับชาติประจำปี 2549, หน้า 135-146.

[9] ดำรงค์ศักดิ์ วัชรเวชศฤงคาร, อัษฎา จิรประยุกต์เลิศ และ เจริญ สุนทราวาณิชย์, “การลดผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการพ่นสีฝุ่น,” การประชุมวิชาการสถิติประยุกต์ระดับชาติประจำปี 2549, หน้า 121-133.