

การปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบหมุดโดยใช้เครื่องมือทางสถิติ : กรณีศึกษาโรงงานผลิตโซ่

Improvement of Pin Inspection Process by Using Statistical Tools : Case Study of a Roller Chain Factory

อิสราวิทย์ เชาร์พานิช¹⁾, ศิวคล กัญญาคำ²⁾ และ พรเทพ ขอบจายเกียรติ³⁾

1) บริษัท ไทยเมโทรอุตสาหกรรม จำกัด E-mail : israwit@hotmail.com

2) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ E-mail : ohsiya@yahoo.com

3) ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น E-mail : porkho@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อประยุกต์ระเบียบวิธีทางสถิติในการลดเวลาการผลิต และกำหนดวิธีการตรวจสอบใหม่สำหรับกระบวนการลดขนาดหมุดที่ใช้ประกอบโซ่ของโรงงานผลิตโซ่ ซึ่งการวิจัยได้นำแผนภาพกลุ่มเชื่อมโยง และการระดมสมองผู้ที่เกี่ยวข้องในการผลิตโซ่ของโรงงานกรณีศึกษาเข้าร่วมระบุปัญหาที่เกิดขึ้น แล้วใช้การวิเคราะห์การถดถอยหาอัตราการลดขนาดวัสดุของหมุด เพื่อกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดที่ผู้ส่งมอบจะต้องผลิตให้โรงงาน ซึ่งช่วยลดเวลาที่ใช้ลดขนาดหมุดจาก 20 ชั่วโมง เป็น 5 ชั่วโมง (ลดเวลาได้ประมาณ 75%) นอกจากนั้นยังได้พัฒนาเครื่องวัดแบบใหม่ Go/No Go โดยใช้เทคนิคฟูลพรุฟ ตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดแทนวิธีการตรวจสอบแบบเดิมที่ใช้ไมโครมิเตอร์ ทำให้สามารถลดเวลาการตรวจสอบและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของผู้ตรวจสอบ โดยการตรวจสอบขนาดหมุดแต่ละชิ้นด้วยวิธีการเดิมจะใช้เวลาเฉลี่ย 9.47 วินาที ส่วนวิธีการที่นำมาเสนอจะใช้เวลาเฉลี่ยเพียง 5.09 วินาที ผลการวิจัยพบว่าการใช้เครื่องมือทางสถิติในการศึกษาครั้งนี้สามารถลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตของการผลิตได้อย่างชัดเจน

คำสำคัญ : การระดมสมอง , แผนภาพกลุ่มเชื่อมโยง , การวิเคราะห์การถดถอย , อัตราการลดขนาดวัสดุ , เทคนิคฟูลพรุฟ , ผลผลิต

Abstract

The objectives of this research were to apply statistical methodology as a tool for reducing the processing time and to install the new inspection procedure in the size reducing process of the pins in a Roller Chain Factory. Brainstorming and Affinity Diagram were initially used to generate the opinions of all participants to focus the problems. Regression Analysis was carried out to examine the Material Removal Rate (MRR) of the pins resulting in setting new initial pins' diameter specification from the supplier. As a result, the processing time can be remarkably reduced from 20 to 5 hrs (75% improved). The new gage Go/No Go was designed for approving work piece quality instead of the old inspection system using micrometer as regard to Fool

Proof Technique, eliminating undecided situation and increasing efficiency of the inspectors. The average inspection time was also decreased from 9.47 second/piece to be 5.09 second/piece. From the study, it was obvious that implementing the statistical tools can contribute to cost reduction and productivity improvement program.

Key words: Brainstorming, Affinity Diagram, Regression Analysis, Material Removal Rate, Fool Proof Technique, Productivity.

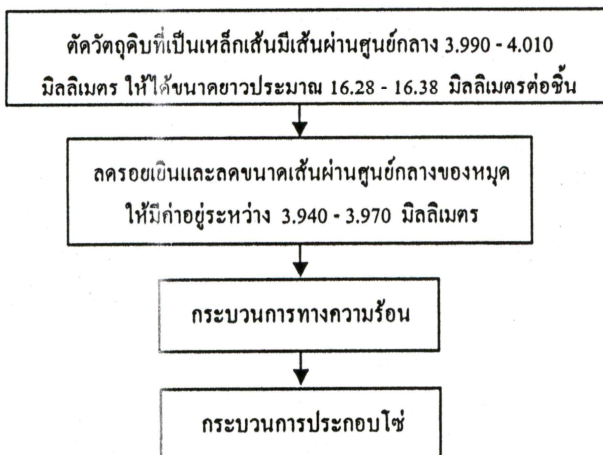
1. บทนำ

ทศวรรษที่ผ่านมาหลักการซิกซิกม่า (Six Sigma Concept) ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิต การแพทย์ ธุรกิจ เพื่อพัฒนาสมรรถนะของกระบวนการในด้านคุณภาพ ผลผลิต และต้นทุน สำหรับโปรแกรมซิกซิกม่านี้ถูกพัฒนาเป็นครั้งแรกในช่วง ค.ศ. 1980 โดยบริษัท โมโตโรล่า เพื่อลดผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสีย [1] ซึ่งเทคนิคทางสถิติได้ถูกนำมาใช้ทั้งในการกำหนดปัจจัย การวัดปัจจัย การวิเคราะห์ปัจจัย การปรับปรุงปัจจัย และการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ช่วยให้ธุรกิจสามารถแข่งขันกับผู้ผลิตรายอื่นๆ ได้ ดังนั้นองค์กรส่วนใหญ่จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงตนเองเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันโดยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์และ/หรือบริการ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน สำหรับโรงงานกรณีศึกษานี้ก็มีความจำเป็นต้องพัฒนาการผลิตให้มีประสิทธิภาพและผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยสาเหตุดังกล่าวข้างต้นการนำระเบียบวิธีทางสถิติมาช่วยปรับปรุงการผลิต และช่วยควบคุมคุณภาพจะทำให้โรงงานกรณีศึกษาสามารถลดต้นทุนการผลิตได้

การปรับปรุงสมรรถนะกระบวนการผลิตโซ่ของโรงงานกรณีศึกษานี้จะมุ่งเน้นการลดต้นทุนในขั้นตอนการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุด (Pin) ที่ใช้ผลิตโซ่ โดยการวิจัยจะเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลด้วยการระดมสมองผู้ที่เกี่ยวข้อง คือ วิศวกร หัวหน้างาน และพนักงาน เพื่อกำหนดประเด็นปัญหาด้านคุณภาพที่ต้องการแนวทางแก้ไข จากนั้นจะใช้เครื่องมือทางสถิติมาช่วยแก้ไขปัญหาคุณภาพ ทำให้สามารถเพิ่มความเชื่อมั่นด้านคุณภาพของโซ่ที่ผลิต อีกทั้งทำให้องค์กรสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้อีกด้วย

2. การระบุปัญหาที่จะนำมาศึกษา

ปัจจุบันโรงงานการผลิตเหล็กหมุด โดยการนำเหล็กเส้นมาตัดเป็นท่อนจึงเกิดรอยเย็นที่หัวหมุด ดังนั้นจึงต้องลดรอยเย็นและลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดเพื่อนำมาเป็นชิ้นส่วนประกอบโซ่ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักของโรงงานการศึกษา โดยขั้นตอนการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดและขั้นตอนอื่นๆ จะแสดงดังรูปที่ 1 สาเหตุหลักในการปรับปรุงกระบวนการลดขนาดหมุด เนื่องจากการใช้เวลาค่อนข้างมากและเป็นจุดคอขวด (Bottle Neck) ของกระบวนการผลิตก็คือ กระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) และกระบวนการประกอบโซ่ ในกระบวนการลดขนาดหมุดจะนำทรายขัดวัสดุประมาณ 30 กิโลกรัม ผสมน้ำ 40 กิโลกรัม และใส่หมุด 80 กิโลกรัม



รูปที่ 1 กระบวนการไหลของการผลิตหมุดที่ใช้ประกอบโซ่ในโรงงานการศึกษา

หรือประมาณ 30,000 ชิ้น ลงไปในเครื่องขัด (Tumbling Machine) เพื่อให้ทรายและน้ำขัดผิวหมุดให้ลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจาก 3.990 - 4.010 มิลลิเมตร เป็น 3.940 - 3.970 มิลลิเมตร ซึ่งปัจจุบันการดำเนินงานดังกล่าวในแต่ละครั้งจะต้องใช้เวลาประมาณ 20 ชั่วโมง

ในการวิจัยนี้ได้ระดมสมองผู้ที่เกี่ยวข้องคือ วิศวกร หัวหน้างาน และพนักงานต่าง ๆ เพื่อกำหนดประเด็นปัญหาโดยใช้แผนภาพเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram) พบว่าปัญหาหลักของการดำเนินงานดังกล่าวข้างต้นคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดค่อนข้างใหญ่เกินไป และการตรวจวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมักเกิดความผิดพลาด จากนั้นได้ใช้แผนภาพกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) มาช่วยเชื่อมโยงข้อมูลสารสนเทศ และความคิดเห็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการผลิตโซ่ของโรงงานการศึกษาทำให้สามารถพิจารณาสาเหตุของการเกิดปัญหาได้ชัดเจนขึ้น [2] ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าอัตราการผลิตที่ค่อนข้างต่ำในขั้นตอนลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดเป็นผลให้เกิดความล่าช้าและมีของเสียเกิดขึ้นในขั้นตอนอื่นๆ ของกระบวนการประกอบโซ่ ความล่าช้านี้เกิดขึ้นจากกระบวนการลดขนาดหมุดต้องใช้เวลามาก และหมุดมีขนาด

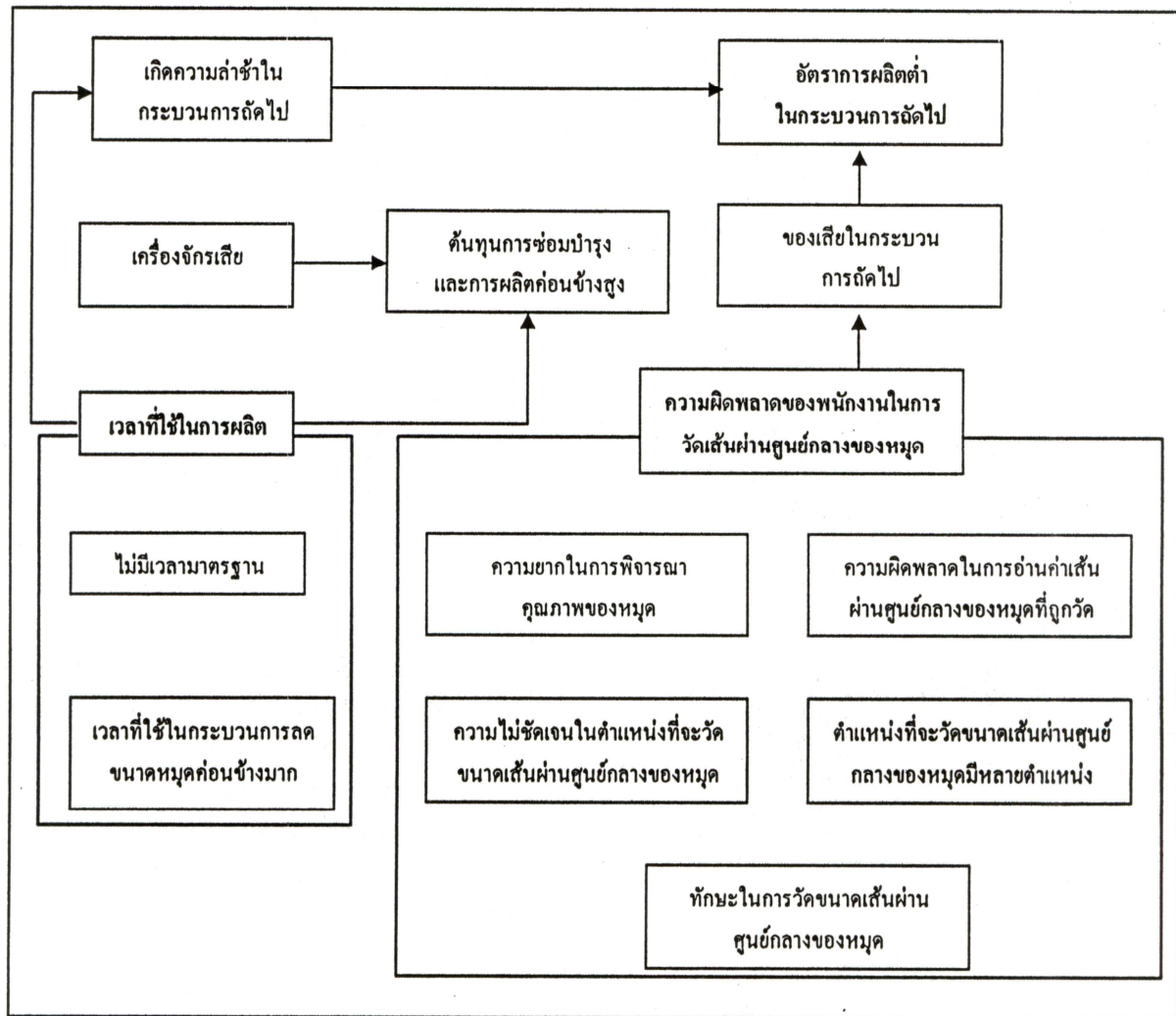
ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน (เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.940 - 3.970 มิลลิเมตร) นั้นมักเกิดจากการตรวจวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ผิดพลาดของพนักงานตรวจสอบคุณภาพซึ่งใช้ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) เป็นอุปกรณ์ในการวัด จากการศึกษาพบว่าการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดด้วยไมโครมิเตอร์นั้นจะทำได้ค่อนข้างยาก และผู้ตรวจสอบต้องมีทักษะพอสมควรเพราะตำแหน่งที่ทำการวัดมักจะมีหลายตำแหน่งและไม่มีความสะดวกจนตลอดจนการอ่านค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดผิดพลาดบ่อย ๆ จึงเป็นสาเหตุของการเกิดของเสียในกระบวนการถัดไป ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองลักษณะคือ กรณีที่หมุดมีขนาดใหญ่กว่า 3.970 มิลลิเมตร จะทำให้การนำหมุดไปขัดและประกอบโซ่ไม่ได้เนื่องจากหมุดมีขนาดใหญ่กว่าที่สวมเพื่อประกอบโซ่ ส่วนอีกกรณีคือหมุดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 3.940 มิลลิเมตร จะทำให้การนำหมุดไปขัดและประกอบโซ่ไม่ได้เช่นกัน เพราะหมุดมีขนาดเล็กกว่าที่สวมเมื่อประกอบโซ่แล้วจะหลุดออกทำให้โซ่ไม่สามารถยึดต่อกันได้

3. การวิเคราะห์อัตราการลดขนาดของหมุด

การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดโดยใช้ทรายผสมน้ำเป็นตัวขัดในกระบวนการลดขนาดหมุดของโรงงานการศึกษาในปัจจุบันนั้นจะใช้เวลาไม่แน่นอน และไม่มีการกำหนดเวลามาตรฐานของกระบวนการลดขนาดหมุด โดยทั่วไปแล้วปริมาณหมุดที่ผลิตแต่ละครั้งจะมีน้ำหนัก 80 กิโลกรัม หรือประมาณ 30,000 ชิ้น และพนักงานจะสวมหมุดที่ผ่านการขัดแต่ละครั้งจำนวน 8 ชิ้น ตามแผนการสวมตัวอย่างของมาตรฐานมิลิเทรี 105 อี (MIL-STD-105E) [3] มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยไมโครมิเตอร์ ซึ่งการสวมตัวอย่างหมุดเพื่อนำมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนั้น พนักงานจะใช้ประสบการณ์ของตนจนกระทั่งประมาณเวลาที่เครื่องทำการขัดลดขนาดหมุด โดยแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 16 ถึง 23 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นกับความแข็งของหมุดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดที่ผู้ผลิตวัตถุดิบ (เหล็กเส้นที่นำมาตัดเป็นหมุด) ส่งมอบให้โรงงานการศึกษา

ปัจจัยด้านความแข็งของเหล็กที่ใช้ผลิตหมุดนั้นจะทำการแก้ไขได้ยากเนื่องจากมีสาเหตุหลายอย่างที่ทำให้เหล็กที่ใช้ผลิตหมุดเกิดความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากผู้ผลิตวัตถุดิบ (เหล็กเส้น) ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงเน้นวิเคราะห์หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดที่เหมาะสม เพื่อลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดขนาดหมุด โดยดำเนินการวางแผนการทดลองตามเงื่อนไขดังนี้

- 1) หมุดที่รับมอบจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นโดยเฉลี่ย 3.995 มิลลิเมตร ความแข็งเฉลี่ย 94.7 HRC และปริมาณในการขัดแต่ละครั้งมีน้ำหนัก 80 กิโลกรัม หรือประมาณ 30,000 ชิ้น
- 2) ใช้ทรายเป็นตัวขัดโดยผสมกับน้ำ ซึ่งการทดลองแต่ละครั้งจะผสมทราย 30 กิโลกรัม กับน้ำ 40 กิโลกรัม
- 3) ใช้ไมโครมิเตอร์วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุด



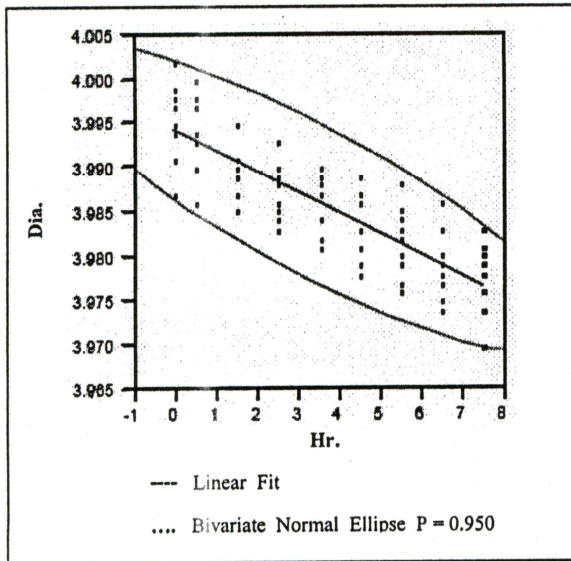
รูปที่ 2 แผนภาพกลุ่มเชื่อมโยงของปัญหาต่าง ๆ ในกระบวนการลดขนาดหมุด

จากแผนการชักถึงตัวอย่างเพื่อการยอมรับเชิงเดียวแบบปกติเมื่อขนาดของรุ่นอยู่ในช่วง 10,001 – 35,000 ชิ้น อัตราการหักสำหรับขนาดถึงตัวอย่างคือ D และมีระดับคุณภาพที่ยอมรับได้ (Acceptable Quality Level ; AQL) จะต้องชักถึงตัวอย่าง 8 ชิ้น มาตรวจสอบและจะยอมรับรุ่นเมื่อไม่พบของเสียเลย [3] อย่างไรก็ตามเพื่อลดความผิดพลาดในการทดสอบจึงให้พนักงานสุ่มหมุดจำนวน 10 ชิ้น จากหมุดทั้งหมดประมาณ 30,000 ชิ้นต่อการผลิต นำมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยไมโครมิเตอร์ โดยหมุดแต่ละชิ้นจะถูกวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุด และสุ่มหมุดตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้น มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อเครื่องขัดทำงานครบ 0.5 , 1.5 , 2.5 , 3.5 , 4.5 , 5.5 , 6.5 , และ 7.5 ชั่วโมง

จากนั้นนำค่าที่วัดได้มาสร้างกราฟดังแสดงในรูปที่ 3 แล้ววิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง [4] พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ขัดมากขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และ R-Square เท่ากับ -0.85501 และ 0.731036 ตามลำดับ ดังนั้นค่าอัตราการลดขนาดของหมุดเท่ากับ 0.00236 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งแสดงเป็นสมการเชิงเส้นตรงดังสมการที่ (1)

$$\text{Dia.} = 3.99427 - 0.00236 \text{ Hr.} \quad (1)$$

เมื่อ Dia. คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุด (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)
Hr. คือ เวลาที่ใช้ขัดลดขนาดหมุด (หน่วยเป็นชั่วโมง)



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการขัดหมุดกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุด

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงที่กล่าวไว้ข้างต้นจะช่วยประมาณเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดขนาดหมุดได้ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง จึงทดสอบหาเวลาที่ใช้ในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุด เมื่อค่าความแข็งของหมุดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดเปลี่ยนไปโดยกลุ่มหมุด 4 รุ่น ที่มีค่าความแข็งและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 96.4, 96.5, 94.8, 95.6 HRB และ 4.008, 4.001, 3.998, 3.999 มิลลิเมตร ตามลำดับ มาทดสอบขัดลดขนาดด้วยเครื่องขัด และใช้การวางแผนการทดลองตามเงื่อนไขข้างต้น คือ ปริมาณในการขัดแต่ละครั้ง (แต่ละรุ่น) มีน้ำหนัก 80 กิโลกรัม หรือ ประมาณ 30,000 ชิ้น ใช้ทรายเป็นตัวขัดโดยผสมทราย 30 กิโลกรัม กับ น้ำ 40 กิโลกรัม เมื่อหมุดผ่านการขัดด้วยเครื่องขัดเป็นเวลา 20 ชั่วโมง จะทำการสุ่มหมุด 10 ชิ้น มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยไมโครมิเตอร์ เพื่อหาอัตราการลดขนาดของหมุดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงแล้วเปรียบเทียบกับอัตราการลดขนาดของหมุดที่ประมาณจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง ซึ่งมีค่าอัตราการลดขนาดของหมุดเท่ากับ 0.00236 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จากผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าเมื่อขัดหมุดตัวอย่างทั้ง 4 รุ่น ที่กล่าวข้างต้นเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ทำให้นาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดลดลงเหลือ 3.968, 3.964, 3.951 และ 3.957 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีค่าเป็นไปตามคุณลักษณะจำเพาะที่กำหนดคือ 3.940 ถึง 3.970 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการลดขนาดของหมุดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงจะเท่ากับ 0.00208 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งต่ำกว่าอัตราการลดขนาดของหมุดที่ประมาณจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงประมาณ 0.00028 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากความแข็งของหมุดแต่ละรุ่น โดยพบว่าเมื่อความแข็งของหมุดมีค่ามากจะ

ทำให้อัตราการลดขนาดของหมุดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงมีค่าต่ำลง ส่วนตัวอย่างรุ่นที่ 3 มีค่าความแข็งของหมุดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 94.8 HRB และ 3.998 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ใกล้เคียงกับ 94.7 HRB และ 3.995 มิลลิเมตร ตามลำดับ ที่ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดที่ลดลงกับเวลาที่ขัด) จะมีอัตราการลดขนาดของหมุดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงเท่ากับ 0.00235 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราการลดขนาดของหมุดที่ประมาณจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาภาพรวมพบว่าค่าความแข็งของหมุด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดโดยเฉลี่ยทั้ง 4 รุ่น ที่นำมาทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1 นั้น มีค่าเท่ากับ 95.8 HRB และ 4.002 มิลลิเมตร ตามลำดับ จะมีค่ามากกว่าค่าความแข็งของหมุดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดโดยเฉลี่ยที่ใช้วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง จึงเป็นผลให้อัตราการลดขนาดของหมุดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงต่ำลง

4. แนวทางการปรับปรุงการดำเนินงาน

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น พบว่าอัตราการลดขนาดของหมุดที่ประมาณโดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงมีค่าเท่ากับ 0.00236 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และได้ทดสอบกับการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุด 4 รุ่น ที่มีค่าความแข็งและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นโดยเฉลี่ยประมาณ 95.8 HRB และ 4.002 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าอัตราการลดขนาดของหมุดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงจะเท่ากับ 0.00208 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และต้องใช้เวลาก่อนข้างมากในกระบวนการลดขนาดหมุด (เวลาที่ใช้ลดขนาดเท่ากับ 20 ชั่วโมง) ทั้งนี้เนื่องจากค่าความแข็งของหมุดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดโดยเฉลี่ยค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามแนวทางการปรับปรุงและแก้ไข เพื่อลดเวลาในกระบวนการลดขนาดหมุด ในการวิจัยครั้งนี้จึงลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นที่นำมาตัดเป็นหมุดเนื่องจากสามารถกำหนดให้ผู้ผลิตเหล็กเส้นเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ ส่วนความแข็งของหมุดจะมีสาเหตุหลายอย่างที่ทำให้เหล็กซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ผลิตหมุดเกิดความแข็งเพิ่มขึ้น เช่น ความแข็งเบื้องต้นของเหล็กที่ใช้ผลิต กระบวนการขึ้นรูป กระบวนการรีด กระบวนการตัด เป็นต้น จึงดำเนินการแก้ไขได้ยาก เพราะมีความซับซ้อนและใช้เวลาก่อนข้างมากในการวิเคราะห์สาเหตุ ดังนั้นการลดเวลาในกระบวนการลดขนาดหมุดครั้งนี้ จะแก้ไขโดยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดให้มีขนาดเล็กกว่า 4.002 มิลลิเมตร ที่โรงงานกรณีศึกษาใช้ในปัจจุบัน และเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดที่ใช้ประกอบโซ่นั้นจะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 3.940 ถึง 3.970 มิลลิเมตร ตามคุณลักษณะจำเพาะที่กำหนด พบว่าปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาใช้หมุดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นโดยเฉลี่ยใหญ่กว่าขนาดที่ใช้ประกอบโซ่ประมาณ 0.032 ถึง 0.062 มิลลิเมตร เมื่อนำอัตรา

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์อัตราการลดขนาดของหมุดเมื่อใช้เวลาในกระบวนการลดขนาดหมุด 20 ชั่วโมง และกำหนดคุณลักษณะจำเพาะด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดอยู่ระหว่าง 3.990 ถึง 4.010 มิลลิเมตร (mm.)

รุ่นที่	จำนวนตัวอย่าง (ชิ้น)	ความแข็ง (HRB)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุด (mm.)	เวลาที่ใช้ขัด (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อผ่านการขัด 20 ชั่วโมง (mm.)	อัตราการลดขนาดของหมุดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริง (มิลลิเมตร/ชั่วโมง)
1	10	96.4	4.008	20.0	3.968	0.00200
2	10	96.5	4.001	20.0	3.964	0.00185
3	10	94.8	3.998	20.0	3.951	0.00235
4	10	95.6	3.999	20.0	3.957	0.00210
ค่าเฉลี่ย	10	95.8	4.002	20.0	3.960	0.00208

การลดขนาดของหมุดที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงมาใช้กะประมาณเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดขนาดหมุด พบว่าใช้เวลา 13.56 ถึง 26.27 ชั่วโมง (ผลต่างระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดกับค่าที่กำหนดตามคุณลักษณะจำเพาะการลดขนาดของหมุดที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง) ดังนั้นถ้ากำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดอยู่ระหว่าง 3.950 ถึง 3.970 มิลลิเมตร จะใช้เวลาในกระบวนการลดขนาดหมุดประมาณ 4.24 ชั่วโมง เพื่อลดรอยเย็นที่เกิดขึ้นจากการตัดและทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดลดลงอยู่ระหว่าง 3.940 ถึง 3.970 มิลลิเมตร ตามคุณลักษณะจำเพาะที่กำหนด และสามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบไขของโรงงานกรณีศึกษาในปัจจุบันได้ทั้งกรณีที่มีหมุดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 3.970 มิลลิเมตร และกรณีที่มีหมุดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 3.940 มิลลิเมตร ดังกล่าวไว้ในหัวข้อการระบุปัญหาที่จะนำมาศึกษา

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การวิจัยนี้จะดำเนินการกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นที่นำมาตัดเป็นหมุดให้มีขนาดที่เหมาะสม นอกจากนั้นการวิจัยนี้ยังได้ปรับปรุงเครื่องมือวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุด เพื่อลดความผิดพลาดในการวัดของพนักงานที่ทำหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งจะช่วยลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบไขของโรงงานกรณีศึกษา

4.1 การกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุด

ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษา ได้กำหนดคุณลักษณะจำเพาะด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดอยู่ระหว่าง 3.990 ถึง 4.010 มิลลิเมตร ซึ่งมีผลให้กระบวนการลดขนาดหมุดต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดให้อยู่ระหว่าง 3.950 ถึง 3.970 มิลลิเมตร นั่นคือคุณลักษณะจำเพาะด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุดิบ (เหล็กเส้น) ที่โรงงานกรณีศึกษาจะต้องกำหนดให้ผู้ผลิตดำเนินการผลิตให้มีค่าอยู่ระหว่าง 3.950 ถึง 3.970 มิลลิเมตร ด้วย อย่างไรก็ตามในการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบว่า เมื่อขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดมีค่าสอดคล้องกับค่าที่กำหนดใหม่ (3.950 ถึง 3.970 มิลลิเมตร) ขณะที่ค่าความแข็งของหมุดโดยเฉลี่ยยังคงเท่าเดิมจะช่วยลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดขนาดหมุดนั้นเป็นจริงหรือไม่ โดยทดสอบกับหมุดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.950 ถึง 3.970 มิลลิเมตร จำนวน 4 รุ่น ๆ ละ 80 กิโลกรัม โดยมีจำนวนหมุดประมาณ 30,000 ชิ้น ซึ่งถูกนำมาขัดลดขนาดด้วยเครื่องขัดที่ใช้ทราย 30 กิโลกรัม ผสมน้ำ 40 กิโลกรัม โดยใช้เวลารุ่นละ 5 ชั่วโมง และก่อนทดสอบจะตบตัวอย่างหมุด จำนวน 10 ชิ้น จากแต่ละรุ่นมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นโดยเฉลี่ยได้ค่าเท่ากับ 3.964 , 3.963 , 3.959 และ 3.960 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นทำการลดขนาดหมุดด้วยเครื่องขัดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง และตบตัวอย่างหมุดจำนวน 10 ชิ้น ของแต่ละรุ่นมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอีกครั้งพบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.948 , 3.950 , 3.948 และ 3.951 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2 ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดทุกตัวอย่างอยู่ในช่วง 3.940 ถึง 3.970 มิลลิเมตร และสามารถนำหมุดเหล่านั้น (ทั้ง 4 รุ่น) ไปใช้ในกระบวนการประกอบไขได้ นอกจากนั้นยังพบว่าความแข็งของหมุดโดยเฉลี่ยดังสรุปในตารางที่ 2 นี้ไม่แตกต่างจากความแข็งของหมุดโดยเฉลี่ยที่ทดสอบและสรุปผลในตารางที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ 0.05 โดยทดสอบสมมติฐาน พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.484 ขณะที่อัตราการลดขนาดของหมุดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงมีค่าเท่ากับ 0.00245 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราการลดขนาดของหมุดโดยเฉลี่ยที่กะประมาณจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง ดังนั้นโรงงานกรณีศึกษาจะต้องกำหนดคุณลักษณะจำเพาะด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 3.950 ถึง 3.970 มิลลิเมตร ซึ่งช่วยให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการลดขนาดหมุดลดลงจาก 20 ชั่วโมง เป็น 5 ชั่วโมง หรือสามารถลดเวลาได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ใช้ในปัจจุบัน

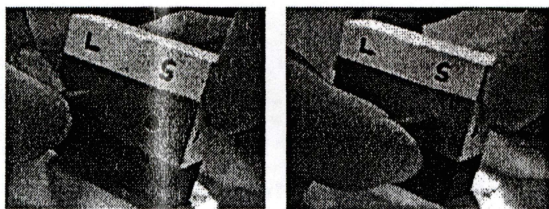
4.2 การปรับปรุงเครื่องมือวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุด

ในปัจจุบันการตรวจวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดที่ผู้มาเป็นตัวอย่าง โดยพนักงานตรวจสอบคุณภาพจะใช้ไมโครมิเตอร์เป็นเครื่องมือ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์อัตราการลดขนาดของหมุดเมื่อใช้เวลาในกระบวนการลดขนาดหมุด 5 ชั่วโมง และกำหนดคุณลักษณะจำเพาะด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดอยู่ระหว่าง 3.950 ถึง 3.970 มิลลิเมตร (mm.)

รุ่นที่	จำนวนตัวอย่าง (ชิ้น)	ความแข็ง (HRB)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุด (mm.)	เวลาที่ใช้ขัด (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อผ่านการขัด 20 ชั่วโมง (mm.)	อัตราการลดขนาดของหมุดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริง (มิลลิเมตร/ชั่วโมง)
1	10	94.3	3.964	5.0	3.948	0.00320
2	10	94.5	3.963	5.0	3.950	0.00260
3	10	96.4	3.959	5.0	3.948	0.00220
4	10	96.2	3.960	5.0	3.951	0.00180
ค่าเฉลี่ย	10	95.4	3.962	5.0	3.949	0.00245

วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดที่มีรูปทรงกระบอก และมีตำแหน่งที่จะวัดหลายตำแหน่งทำให้เกิดความไม่ชัดเจน จึงเป็นเหตุให้พนักงานตรวจสอบคุณภาพที่มีทักษะน้อยวัดค่าผิดพลาดและใช้เวลานาน ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงสร้างเครื่องมือวัดแบบใหม่ Go/No Go จากวัสดุเหล็กกล้าแล้วเจาะรูสองรู ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยรูใหญ่ (L) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.980 ± 0.005 มิลลิเมตร และรูเล็ก (S) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.940 ± 0.005 มิลลิเมตร ส่วนการใช้งานเครื่องมือวัดนี้จะดำเนินการด้วยเทคนิคฟูลพรูฟ (Fool Proof Technique) เพื่อป้องกันความผิดพลาด และช่วยให้เกิดความรวดเร็วในการตรวจสอบ โดยไม่ต้องวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดตัวอย่าง [5] สำหรับวิธีปฏิบัติการตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดด้วยเครื่องมือวัดแบบใหม่นี้จะแสดงรายละเอียดดังในรูปที่ 5



รูปที่ 4 เครื่องมือวัดแบบใหม่

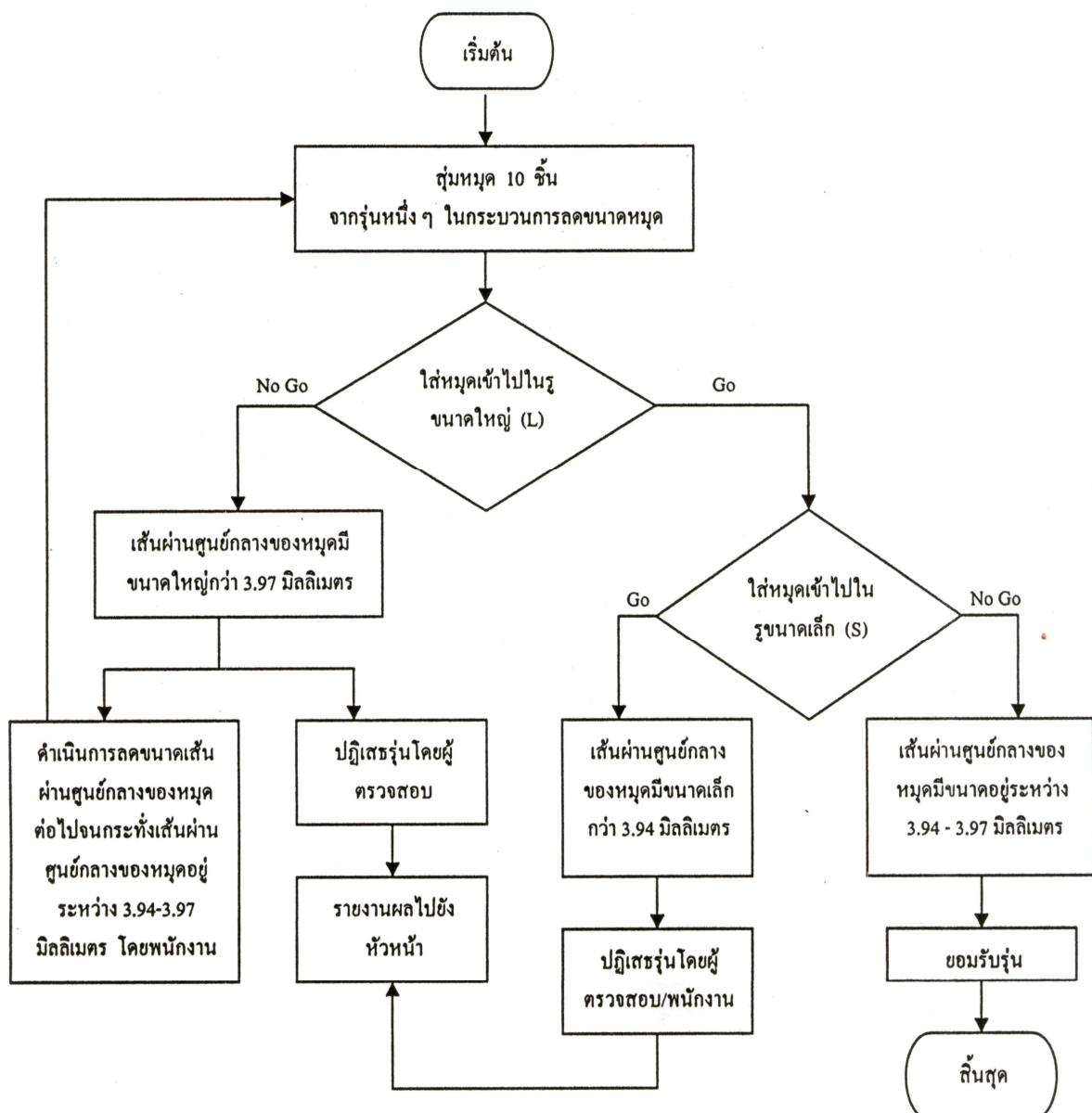
การวิเคราะห์ระบบตรวจสอบเชิงคุณภาพที่นำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุด เพื่อพิจารณาว่าการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดแบบใหม่มีความถูกต้องและใช้เวลาน้อยลงเพียงใดนั้น จะให้พนักงานที่ผ่านการฝึกใช้เครื่องมือดังกล่าวจำนวน 3 คน ทำการตรวจสอบหมุดจำนวน 20 ชิ้น ที่สุ่มมาตรวจวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างละเอียดถูกต้องในเบื้องต้นแล้ว โดยพนักงานแต่ละคนจะตรวจสอบหมุดตัวอย่างแต่ละชิ้น 2 ครั้ง ด้วยเครื่องมือวัดแบบใหม่ ซึ่งผลการทดสอบจะแสดงในตารางที่ 4 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถทำซ้ำ (% Repeatability) เปอร์เซ็นต์ไบแอส (% Bias) เปอร์เซ็นต์ความสัมฤทธิ์ผล

ของความสามารถทำซ้ำ (% Effectiveness of Repeatability) และ เปอร์เซ็นต์ความสัมฤทธิ์ผลของไบแอส (% Effectiveness of Bias) เป็นที่น่าพึงพอใจในระดับ 100% ทุก ๆ ด้าน [6] ซึ่งแสดงว่าเครื่องมือวัดแบบใหม่มีประสิทธิภาพมากพอที่จะใช้ตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งเวลาที่ใช้ตรวจสอบโดยเฉลี่ยลดลงอย่างชัดเจนจากเดิม 9.47 วินาทีต่อชิ้น เป็น 5.09 วินาทีต่อชิ้น นอกจากนั้นยังพบว่าระบบการตรวจสอบแบบใหม่ที่น่าเสนอจะช่วยลดความผิดพลาดในการอ่านค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดและยังช่วยให้พนักงานใช้เครื่องมือวัดแบบใหม่ได้ง่าย ส่งผลให้การตรวจสอบเกิดความแม่นยำและสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น

5. สรุปและเสนอแนะ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติดังกล่าวข้างต้นพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดไว้มีค่าอยู่ระหว่าง 3.990 ถึง 4.010 มิลลิเมตร นั้นค่อนข้างมีขนาดใหญ่เกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของหมุดที่ผ่านกระบวนการลดขนาดแล้วจะต้องอยู่ระหว่าง 3.940 ถึง 3.970 มิลลิเมตร จึงจะใช้ประกอบใช้ได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเบื้องต้นของหมุดใหม่ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ระหว่าง 3.950 ถึง 3.970 มิลลิเมตร ทำให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการลดขนาดหมุดจากเดิม 20 ชั่วโมง ลดลงเหลือเพียง 5 ชั่วโมงต่อรุ่นการผลิตที่มีประมาณน้ำหนักหมุด 80 กิโลกรัม หรือมีจำนวนหมุดประมาณ 30,000 ชิ้น ซึ่งเป็นผลให้สามารถลดเวลารอคอยของกระบวนการทางความร้อน และกระบวนการประกอบโซ่ของโรงงานกรณีศึกษาได้ค่อนข้างมาก ทำให้อัตราการผลิตโซ่เพิ่มขึ้น

นอกจากนั้นในขั้นตอนการตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดด้วยไมโครมิเตอร์ในปัจจุบัน พนักงานจะต้องมีทักษะในการวัดพอสมควรจึงจะลดความผิดพลาดได้ ทั้งนี้เนื่องจากหมุดมีรูปทรงกระบอกและมีหลายตำแหน่งที่จะวัด ทำให้เกิดความไม่ชัดเจนในตำแหน่งที่จะวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุด อีกทั้งยังต้องใช้เวลาค่อนข้างมากในการตรวจวัด ดังนั้นการวิจัยนี้จึงสร้างเครื่องมือวัดแบบใหม่ Go/No Go และวิธี



รูปที่ 5 วิธีปฏิบัติการตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดด้วยเครื่องมือวัดแบบใหม่

ปฏิบัติการตรวจสอบเชิงคุณภาพ เพื่อใช้ตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดโดยไม่ต้องวัดขนาดอย่างแท้จริง ซึ่งการตรวจสอบจะระบุว่าหมุดมีขนาดเป็นไปตามคุณลักษณะจำเพาะที่กำหนด (ระหว่าง 3.940 ถึง 3.970 มิลลิเมตร) หรือไม่ ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวสามารถตรวจสอบได้ถูกต้องและทำให้เวลาที่ใช้ตรวจสอบโดยเฉลี่ยลดลงจากเดิม 9.47 วินาทีต่อชิ้น เป็น 5.09 วินาทีต่อชิ้น

อย่างไรก็ตามผลการศึกษายังพบว่า ปัจจัยด้านความแข็งแรงของหมุดก็มีผลต่อเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดขนาดหมุด ดังนั้นการศึกษาต่อไปควรทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของหมุด กับเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดขนาดหมุดจะช่วยให้โรงงานกรณีศึกษาสามารถเพิ่มอัตรา

การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหมุดได้ ตลอดจนการศึกษาถึงปริมาณทรายและน้ำที่เหมาะสมต่อการทำหน้าที่ขัดลดขนาดหมุดก็จะช่วยลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดขนาดหมุด และเพิ่มอัตราการผลิตไข่ของโรงงานกรณีศึกษาได้อีกด้วย

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความถูกต้องของเครื่องมือวัดแบบใหม่

ตัวอย่าง ชั้นที่	คุณภาพที่ แท้จริง	พนักงานคนที่ 1		พนักงานคนที่ 2		พนักงานคนที่ 3		สรุปผลของ พนักงานทั้ง 3
		ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	
1	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
2	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
3	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
4	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	ถูกต้อง
6	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
7	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	ถูกต้อง
8	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	ถูกต้อง
9	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
10	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
11	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
12	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
13	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	ถูกต้อง
14	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
15	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	ถูกต้อง
16	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
17	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
18	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	ถูกต้อง
19	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง
20	G	G	G	G	G	G	G	ถูกต้อง

หมายเหตุ G คือ ตัวอย่างหมวดที่เป็นของดี และ NG คือ ตัวอย่างหมวดที่เป็นของเสีย

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบเชิงคุณภาพของ
เครื่องมือวัดแบบใหม่

เปอร์เซ็นต์ความสามารถทำซ้ำ	พนักงานคนที่ 1	20/20	100%
	พนักงานคนที่ 2	20/20	100%
	พนักงานคนที่ 3	20/20	100%
เปอร์เซ็นต์ไบแอส	พนักงานคนที่ 1	20/20	100%
	พนักงานคนที่ 2	20/20	100%
	พนักงานคนที่ 3	20/20	100%
เปอร์เซ็นต์ความสัมฤทธิ์ผลของความสามารถทำซ้ำ		20/20	100%
เปอร์เซ็นต์ความสัมฤทธิ์ผลของไบแอส		20/20	100%

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Douglas C. Montgomery. 2001. Introduction to Statistical Quality Control. 4th Ed. New York : John Wiley & Sons.
- [2] วิฑูรย์ สิมะโชติ. 2541. 7 New QC Tools เครื่องมือคุณภาพยุคใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : TPA Publishing.
- [3] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2539. มาตรฐานระบบการตรวจสอบด้วยการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ MIL-STD-105E. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [4] พรเทพ ขอบฉายเกียรติ. 2545. ความน่าจะเป็นและสถิติวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 7. ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [5] <http://www.isixsigma.com/offsite.asp?A=Fr&Url=http://www.campbell.berry.edu/faculty/igout/tutorial.html>. (สิงหาคม 2548).
- [6] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2546. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) (ประมวลผลด้วย MINTTAB). กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).