การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือวัดละเอียดแบบตรวจวัดและปรับค่าชดเชยอัตโนมัติ ในกระบวนการผลิตชิ้นงานดิสก์เบรคหน้า กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

Design and Development of Automatic Fine Measurement and Adjustment in Automotive Front Disc Brake Production: A Case Study of Automotive Part Manufacturing

นพดล ช้างงาม, ฑิฆัมพร ทวีเดช และสมบัติ ทีฆทรัพย์

บทคัดย่อ

ในกระบวนการควบคุมการผลิตชิ้นงานดิสก์เบรกหน้าของรถยนต์ที่เป็นอยู่ จะใช้คนตรวจและปรับค่าชดเชย ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพต่ำ ส่งผลให้อัตราผลผลิตต่ำ จึงมีแนวคิดในการปรับเปลี่ยนไปเป็นการทำงานในระบบอัตโนมัติ งานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่เหมาะสมแล้วนำไปใช้กับระบบที่มีอยู่ ผลการดำเนินการพบว่า (1) เครื่องมือวัดละเอียดแบบตรวจวัดและปรับค่าชดเชยอัตโนมัติ มีดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะสั้น: Cpk 3.12 > 1.33 และ ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว: Ppk 3.11 > 1.67 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานยอมรับของลูกค้า (2) สามารถลดเวลาการผลิตต่อรอบลงจาก 52.94 วินาทีลดลงเหลือ 47.68 วินาที คิดเป็นร้อยละ 9.94 (3) อัตราความต้องการชิ้นงานต่อเวลาเท่ากับ 47.68 วินาที น้อยกว่าความต้องการของลูกค้าที่ 66 วินาที (4) กำลังการผลิตสามารถผลิตได้ 36,807 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งมากว่าความต้องการของลูกค้าที่ 26,588 ชิ้นต่อเดือน (5) อัตราผลผลิตสามารถปรับปรุงให้เพิ่มขึ้นได้เท่ากับร้อยละ 1.5 เมื่อพิจารณาของเสียทุกปัจจัยปัญหา และ (6) จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการวัดค่า อ่านและปรับค่าชดเชยในเครื่องจักรการผลิตผิดพลาดลดลงได้ร้อยละ 100 หรือไม่เกิดของเสียขึ้นอีกเลย

คำสำคัญ: การผลิตชิ้นส่วนรถยนต์, การพัฒนาโปรแกรม CNC, การตรวจวัดและปรับค่าชดเชยอัตโนมัติ

Abstract

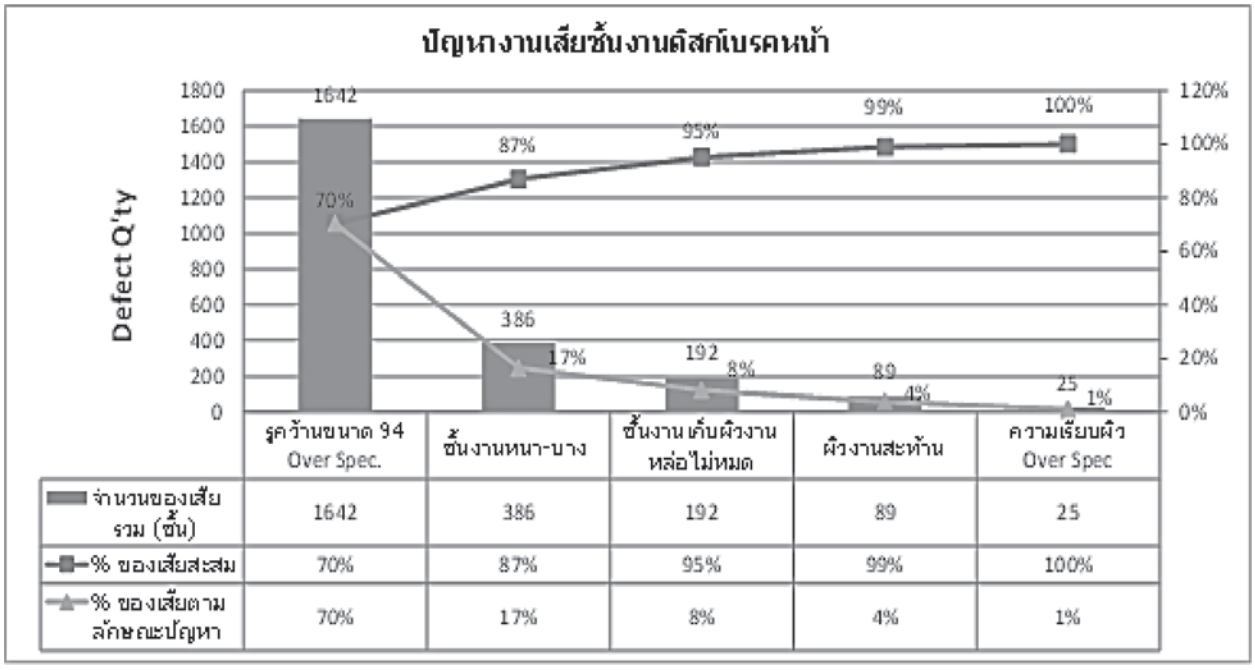
In the existing production of automotive front disc brake, the production control has been done through measuring and compensation adjustment by operators which were found to be in-efficient and lead to low productivity. Therefore, new idea for solving the problem is to change into automatics system by design and develop new software and hardware and apply to the existing system. It was found that the new system can perform as follows: (1) The automatics Measurement Tools for inspection and automatics compensation adjustment had Process capability index (Cpk) at 3.12 which was more than that of standard specification of 1.33 and Process performance index (Ppk) was

3.11 which was more than that of customer standard specification requirement of 1.67. (2) Cycle time was reduced from 52.94 to 47.68 second per piece or reduced by 9.94 percent. (3) Takt time was 47.68 second which less than that of customer at 66.0 second. (4) Production capacity was 36,807 pieces per month which was more than the customer requirement at 26,588 pieces per month. (5) Productivity was improved by 1.5 percent (considering of all factors). And finally (6) No reject parts occurred, or the new system had zero defect.

Keywords: automotive part manufacturing, CNC program development, automatic measuring and compensation adjustment

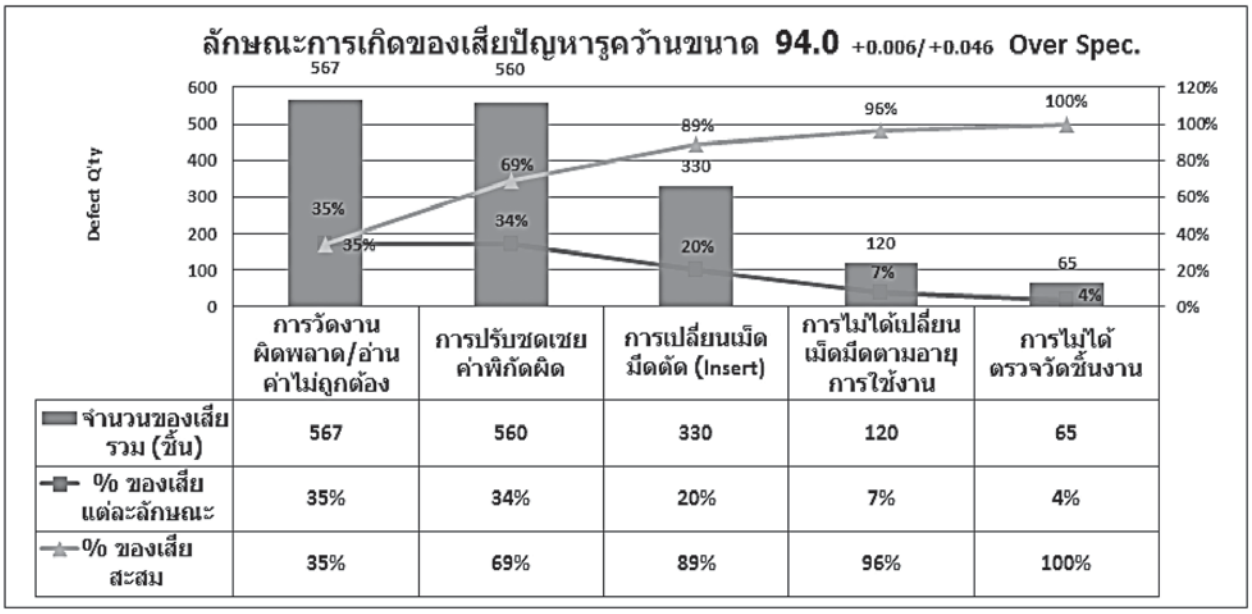
ความนำ

การตรวจวัดขนาดของชิ้นงานและการอ่านค่าในกระบวนการผลิตชิ้นงานดิสก์เบรกหน้าเป็นจุดที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิต เพราะค่าที่อ่านได้จะถูกนำไปปรับชดเชยในโปรแกรมของเครื่องจักร ตามมาตรฐานการผลิตกำหนดให้ทำการวัดและอ่านค่า 1 ชิ้นงานต่อการผลิต 10 ชิ้นงาน ณ ปัจจุบันพบว่า จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการปรับค่าชดเชยเฉลี่ย 3,300 PPM (piece per million) ต่อเดือน ซึ่งเกินกว่าค่าเป้าหมายที่ 1084 PPM ต่อเดือน ดังแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 จำนวนของเสียและร้อยละของของเสียสะสมระหว่างกระบวนผลิตการตั้งแต่เดือน มกราคม-มิถุนายน 2558

ลักษณะของเสียที่พบคือ ขนาดรูคว้านไม่ได้ตามมาตรฐานร้อยละ 70 ชิ้นงานหนา-บางไม่เสมอกันร้อยละ 17 เก็บผิวงานหล่อไม่หมดร้อยละ 8 ผิวงานสะท้อนร้อยละ 4 และผิวหยาบเกินมาตรฐานร้อยละ 1 หรือสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตจะเกิดจากการวัดงานผิดพลาดหรืออ่านค่าไม่ถูกต้องถึงร้อยละ 35 ดังแสดงในภาพที่ 2 ของเสียทั้งหมดเกิดจากการทำงานของพนักงานในการวางชิ้นงานและวางตำแหน่งในการวัดไม่ถูกต้อง ทำให้อ่านค่าผิดพลาด ส่งผลให้การปรับค่าชดเชยผิดพลาดและนำมาซึ่งของเสียจำนวนมาก



	การวัดงานผิดพลาด/อ่านค่าไม่ถูกต้อง	การปรับชดเชยค่าพิกัดผิด	การเปลี่ยนเม็ดมีดตัด (Insert)	การไม่ได้เปลี่ยนเม็ดมีดตามอายุการใช้งาน	การไม่ได้ตรวจวัดชิ้นงาน
จำนวนของเสียรวม (ชิ้น)	567	560	330	120	65
% ของเสียแต่ละลักษณะ	35%	34%	20%	7%	4%
% ของเสียสะสม	35%	69%	89%	96%	100%

ภาพ 2 ของเสียและร้อยละของเสียสะสมตามลักษณะการเกิดจากข้อมูลเดือน มกราคม-มิถุนายน 2558

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องมือวัดละเอียดแบบตรวจวัดและปรับค่าชดเชยอัตโนมัติ โดยการพัฒนาโปรแกรมในส่วนการทำงานหลักของอุปกรณ์ด้วยระบบ G-Code ซึ่งคาดว่าประโยชน์ที่จะได้รับคือ ลดจำนวนของเสียลงและสามารถเพิ่มอัตราการผลิตได้

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเขียน CNC Programming (ชาลี ตระการกูล, 2554)

1. การสร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานเครื่องจักร CNC มี 3 วิธี คือ

1.1 การป้อนโปรแกรมโดยตรงที่เครื่องจักร ในกรณีที่ชิ้นงานมีรูปร่างไม่ซับซ้อนเป็นเส้นตรง ไม่ต้องคำนวณมาก มีที่แก้ไขโปรแกรมเล็กน้อย.วิธีนี้ดีคือ รวดเร็ว ไม่ต้องใช้ Software ที่มีราคาสูง ข้อเสียคือเสี่ยงต่อการป้อนข้อมูลผิด

1.2 การเขียนโปรแกรมที่คอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมประเภท Text Editor แล้วนำไปโหลดเข้าเครื่อง CNC วิธีนี้คล้ายวิธีแรกแต่เปลี่ยนจากป้อนหน้าเครื่องมาเป็นการสร้างในคอมพิวเตอร์ก่อน แล้วนำไปโหลดเข้าเครื่อง ข้อดี เหมือนกับการป้อนหน้าเครื่องแต่ต้องเพิ่มขั้นตอนการโหลดโปรแกรมเข้าเครื่อง การป้อนที่หน้าคอมพิวเตอร์ความผิดพลาดอาจจะน้อยกว่า ใช้ในกรณีที่ไม่มี Software ประเภท CAM (Computer Aided Manufacturing) ข้อเสียเหมือนกับการป้อนหน้าเครื่อง

1.3 การใช้ CAD/CAM Software เข้าช่วย วิธีนี้ใช้หลักการของการสร้างไฟล์ CAD data ก่อน จากนั้นจะใช้ Software ประเภท CAM แปลงข้อมูลจาก CAD data เป็นของโปรแกรม CNC หลังจากนั้นก็โหลดโปแกรมเข้าเครื่องจักร ข้อดี ของวิธีนี้คือ สามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้รวดเร็วกว่าวิธีที่ 1 และ 2 มาก ความผิดพลาดจะน้อย สามารถจำลองการทำงานจริงของโปรแกรมในโหมด Simulation เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดและแก้ไขได้ก่อนการผลิตจริง ข้อเสีย คือ Software ประเภท CAD และ CAM มีราคาค่อนข้างสูง, ผู้เขียนโปรแกรมควรต้องมีพื้นฐานของ G-Code, M-Code

2. ระบบแกนของเครื่อง CNC (Axis System) โดยทั่วไปประกอบด้วยระบบ 2 และ 3 แกน

ระบบ 2 แกน จะพบในเครื่องกลึง CNC ทั่วไป แกน X จะอยู่ในแนวนอน ถ้าบริเวณจุดตัดของแกน X-Y คือ พิกัด X0,Y0 การเคลื่อนที่ในแนวแกน X ไปทางซ้าย X จะมีค่าเป็นลบ ในทางกลับกันถ้า X เคลื่อนที่ไปทางขวา X จะมีค่าเป็นบวกแกน Y จะอยู่ในแนวตั้ง ถ้า Y เคลื่อนที่ไปด้านบน Y จะมีค่าเป็นบวก และ Y เคลื่อนที่ลงด้านล่าง Y จะมีค่าเป็นลบ

ระบบ 3 แกนจะพบในเครื่องกัด (CNC Milling) และเครื่อง Machining Center จะมีแกนที่เพิ่มเข้ามาอีกหนึ่งแกน คือ แกน Z เป็นแกนที่มีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งหรือแนวลึก ถ้าเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน Z จะมีค่าเป็นบวก และถ้าเคลื่อนที่ลงด้านล่าง Z จะมีค่าเป็นลบ

Code ของโปรแกรม CNC สำหรับในเครื่องจักร CNC จะแบ่ง code โปรแกรมออกเป็น 2 ชุด คือ G-code เป็นรหัสในการควบคุมการเคลื่อนที่ในการตัดเฉือนชิ้นงาน ของโปรแกรมซีเอ็นซี และM-codeเป็นรหัสในการควบคุมฟังก์ชั่นการทำงานส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร เช่น การหยุดหมุนของเพลาขับ การจับ - ปล่อยชิ้นงาน เป็นต้น

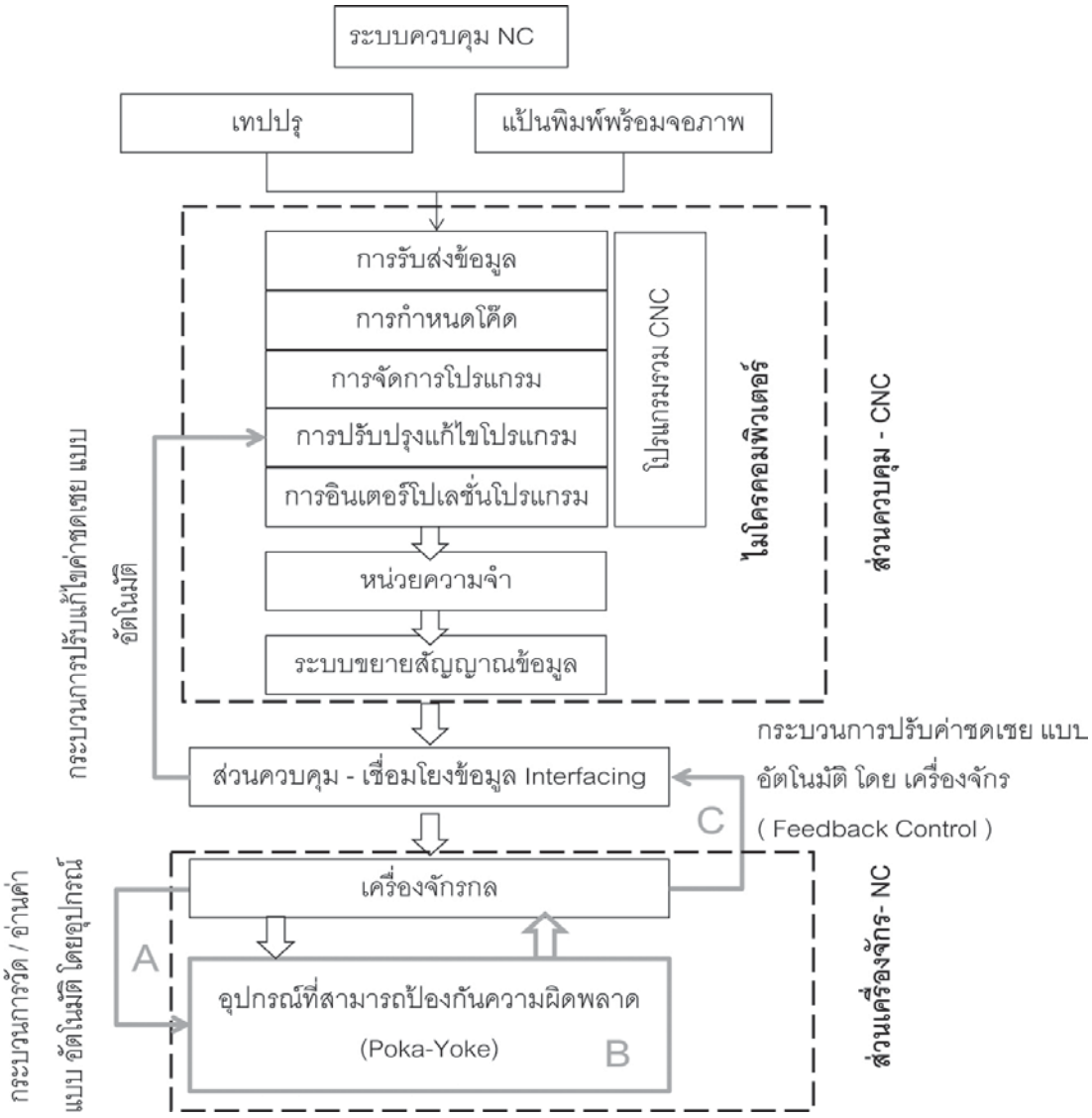
Six Sigma (โกศล ดีศีลธรรม, 2554) หลักการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบานการผลิตโดยทั่วไปมี 2 วิธีคือ Lean Manufacturing และ วิธี Six Sigma ซึ่งเน้นที่จำนวนชิ้นงานให้ลดความผันแปรของกระบวนการผลิต ผลคือ ลดอัตราการสูญเสียและลดค่าใช้จ่าย โดยการนำกระบวนการทางสถิติมาใช้ช่วยแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ขีดความสามารถของกระบวนการ (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550) เป็นการวิเคราะห์ระดับคุณภาพของกระบวนการ ดัชนีที่ใช้วัดหรือสะท้อนขีดความสามารถของกระบวนการว่าเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับข้อกำหนดของลูกค้า คือ ค่า Cp, Cpk (Process capability) และ Pp, Ppk (Process performance) ทั้งสองแบบเป็นการนำค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ค่าความผันแปรของกระบวนการและข้อกำหนดของลูกค้ามาคำนวณร่วมกัน

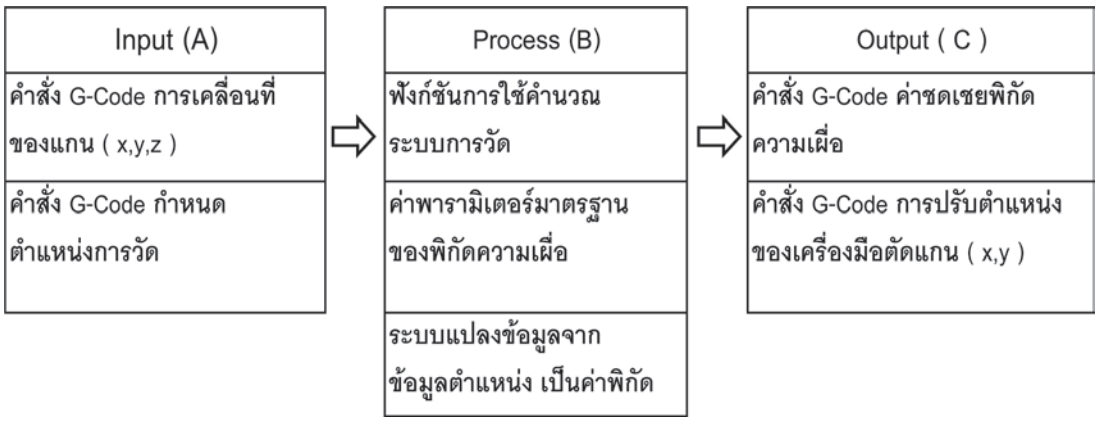
อัตราผลผลิต (productivity) (มาลินี ลีลัคนาวีระ, 2549) เป็นการวัดประสิทธิภาพการผลิตด้วยการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผลผลิตสินค้าหรือบริการต่อปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการผลิตของหน่วยการผลิตดัชนีวัดย่อยประกอบด้วยอัตราความต้องการของลูกค้า (tack time) กำลังการผลิต (capacity) หรือขีดความสามารถของเครื่องจักรต่อหน่วยเวลาที่กำหนดไว้ และเวลาที่ใช้ในการผลิตหรือประกอบงานหนึ่งรอบกระบวนการ (cycle time)

วิธีดำเนินงานวิจัย

ทำการออกแบบพัฒนาโปรแกรมให้เครื่องจักรทำงานอัตโนมัติ โดยใช้หลักการนำเข้าข้อมูล (input) เชิงตัวเลข (numerical) ของระบบ G-Code จากเครื่องจักรควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CNC) (A) จากนั้น ชุดข้อมูลเชิงตัวเลขจะถูกส่งเข้าหน่วยประมวลผลกลางของส่วนควบคุมและเชื่อมโยงข้อมูล (processing) และถูกเปลี่ยนเป็นคำสั่งในรูปแบบของระบบ G-Code เพื่อให้อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติเคลื่อนที่ไปสัมผัสจุดที่ต้องการตรวจวัดค่าซึ่งคือตำแหน่งรูดว้านความโตเส้นผ่านศูนย์กลาง 94.0 +0.006/ +0.046 มม. (B) และ ขั้นตอนการส่งออกข้อมูลนำออก (output) คือค่าการตรวจวัดที่อุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติตรวจวัดและอ่านค่าได้ ส่งป้อนกลับไปยังกระบวนการนำเข้าข้อมูลเชิงตัวเลขอีกครั้งเพื่อปรับชดเชยค่าพิกัดความเผื่อที่เบี่ยงเบนออกไปจากค่าควบคุม (C) ซึ่งกระบวนการข้างต้นแสดงในภาพ 3 และ 4



ภาพ 3 แสดงโครงสร้างของระบบความคุม CNC ด้วยเครื่องอุปกรณ์ (equipment)



ภาพ 4 กระบวนการทำงานและตัวแปรควบคุมของอุปกรณ์เครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติ

การออกแบบโปรแกรมในการทำงานหลักของอุปกรณ์ทำโดย

1. กำหนดฟังก์ชั่นวัดขนาดในระนาบแกน X, Y และ Z สามารถหมุนหัวเข็มได้โดยอัตโนมัติผู้วิจัยได้ใช้หลักการเขียนโปรแกรมคำสั่งเพื่อกำหนดการเคลื่อนที่ของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติด้วยการกำหนดเป็นพารามิเตอร์ดังนี้

1.1 พารามิเตอร์กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติในแนวแกน X (แนวรัศมีของการวัดขนาดความโตชิ้นงานขนาด 94.0 มิลลิเมตร)

1.2 พารามิเตอร์กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติในแนวแกน Y (แนวรัศมีของการวัดขนาดความโตชิ้นงานขนาด 94.0 มิลลิเมตร)

1.3 พารามิเตอร์กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติในแนวแกน Z (ระยะความสูงของตำแหน่งการการวัดขนาด)

1.4 พารามิเตอร์กำหนดลำดับหรือรอบ (Sequence) การตรวจสอบของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติ

1.5 พารามิเตอร์กำหนดค่าพิกัดเผื่อการปรับชดเชยอัตโนมัติของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติ

2. วัดขนาดโดยการเชื่อมต่อกับตัวประมวลผลในการวัดของเครื่องจักรและแสดงผลออกมาทางหน้าจอได้ (B)

3. แสดงค่าความแม่นยำและค่าความละเอียดได้ถึงจุดทศนิยม 5 ตำแหน่ง (0.00001 mm.)(C)

4. การทดลองผลิตและตรวจวัดชิ้นงานด้วยเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติจะใช้ปริมาณการทดลองกับชิ้นงานดิสก์เบรกหน้า จำนวน 34,000 ชิ้น (อ้างอิงแผนการผลิตของบริษัทใน 1 เดือน) และใช้เครื่องจักรที่ทำการผลิตชิ้นงานดิสก์เบรกหน้าจำนวน 1 เครื่องของบริษัท

ดัชนีวัดค่าที่ใช้ประกอบด้วย

1. ดัชนีการวิเคราะห์ขีดความสามารถของกระบวนการ (process capability analysis) ประกอบด้วย

1.1 ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะสั้น: Cpk ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในช่วงของการทดลองผลิตชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้น (N=30 Trial Sample) เป็นค่าที่บอกถึงขีดความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น ค่านี้จะแสดงนัยความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความจำกัดและพื้นฐานของเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการซึ่งจะมีค่ามาตรฐานยอมรับที่ระดับ Cpk ≥ 1.33

$$C_{pk} = \min\left[C_{pu}, C_{pl}\right] \text{ โดยที่ } C_{pu} = \frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3\sigma} \text{ และ } C_{pl} = \frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3\sigma}$$

$$\text{Min.}\left\{\frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3^{*}\hat{\sigma}_{WITHIN}}, \frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3^{*}\hat{\sigma}_{WITHIN}}\right\}$$

โดยที่ USL = Upper specification limit

LSL = Lower specification limit

σ within = Within-subgroup standard deviation

1.2 ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว: Ppk ทำการเก็บข้อมูลช่วงของการทำการผลิตปริมาณมาก ด้วยจำนวนชิ้นงานตัวอย่างมากกว่า 30 ชิ้น (N>30 Initial Sample) เป็นค่าที่แสดงขีดความสามารถของกระบวนการในระยะยาว ซึ่งจะรวมเอาความผันแปรที่เกิดจากความไม่มีเสถียรภาพของกระบวนการเข้ามาด้วย กล่าวคือ มีความผันแปรระยะสั้นรวมกับความผันแปรอื่นที่เข้ามากระทบกระบวนการ ซึ่งจะมีค่ามาตรฐานยอมรับที่ระดับ Ppk ≥ 1.67

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \text{ และ } P_{pk} = \min\left[P_{pu}, P_{pl}\right]$$

$$\text{โดยที่ } P_{pu} = \frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3\sigma} \text{ และ } P_{pl} = \frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3\sigma}$$

$$\text{Min.}\left\{\frac{\bar{\bar{x}} - LSL}{3^{*}\hat{\sigma}_{OVERALL}}, \frac{USL - \bar{\bar{x}}}{3^{*}\hat{\sigma}_{OVERALL}}\right\}$$

โดยที่ USL = Upper specification limit

LSL = Lower specification limit

σ overall = Overall standard deviation

หากค่า Cpk และ Ppk มีค่าใกล้กัน แสดงว่ากระบวนการไม่สูญเสียเสถียรภาพเนื่องจากการขยับตัว

ของค่าเฉลี่ย นั่นคือกระบวนการควบคุมมีเสถียรภาพในระยะยาว ในการวิเคราะห์จะนำข้อมูลที่ได้รับมาบันทึกและเก็บข้อมูลค่าการวัดจากการทดลอง ไปวิเคราะห์บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Minitab เพื่อแปลผลของค่า Cpk และ Ppk

2. การวัดผลผลิต ประกอบกอบด้วย

2.1 การวัดอัตราผลผลิต คือ ดัชนีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตต่อทรัพยากรที่ใช้ในการก่อเกิดผลผลิตนั้น Productivity = Output / Input

2.2 อัตราความต้องการต่อเวลา (Track Time) ของลูกค้า จะมีค่าคงที่เสมอ เว้นแต่ความต้องการของลูกค้า/แผนผลิต เพิ่มขึ้นหรือลดลง Track time = เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งวัน (นาที)/ความต้องการสินค้าในแต่ละวัน (หน่วยสินค้า)

2.3 กำลังการผลิต คือ ขีดความสามารถของเครื่องจักต่อหน่วยเวลาที่กำหนดไว้ Capacity =Production Time / Maximum Cycle Time

2.4 Cycle Time = เวลาที่ใช้ในการผลิตหรือประกอบงานหนึ่งรอบกระบวนการ

ผลการวิจัย

1. การออกแบบโปรแกรมคำสั่งควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติ ใช้รูปแบบคำสั่งในลักษณะของพารามิเตอร์ควบคุมการแปลงข้อมูล และพารามิเตอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เพื่อการวัดขนาดด้วยคำสั่ง G-Code ดังแสดงรายละเอียดด้านล่างและตามภาพที่ 5

1.1 พารามิเตอร์กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติในแนวแกน X (แนวรัศมีของการวัดขนาดความโตชิ้นงานขนาด 94.0 มิลลิเมตร) กำหนดให้ตำแหน่งสัมผัสชิ้นงานแนวแกน X เท่ากับ 94.026 และ - 94.026 มิลลิเมตร

(#102= 94.026 NOMINAL SIZE ACC. TO DRAWING)

(#107= X 94.026 MEAS. POSITION X)

(#109= X-94.026 MEAS. POSITION X)

1.2 พารามิเตอร์กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติในแนวแกน Y (แนวรัศมีของการวัดขนาดความโตชิ้นงานขนาด 94.0 มิลลิเมตร) กำหนดให้ตำแหน่งสัมผัสชิ้นงานแนวแกน Y เท่ากับ 94.026 และ - 94.026 มิลลิเมตร

(#111= X 94.026 MEAS. POSITION Y)

(#112= X-94.026 MEAS. POSITION Y)

1.3 พารามิเตอร์กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติในแนวแกน Z (ระยะความสูงของตำแหน่งการการวัดขนาด) กำหนดให้ตำแหน่งสัมผัสชิ้นงานเท่ากับ - 44.5 มิลลิเมตร

(#108= Z-44.5 MEAS. POSITION Z)

(#110= Z-44.5 MEAS. POSITION Z)

1.4 พารามิเตอร์กำหนดลำดับหรือรอบ (Sequence) การตรวจสอบของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติ กำหนดให้ทำการตรวจสอบทุก ๆ 10 ชิ้น ตรวจสอบ 1 ชิ้น

(#870=10 SPOT CHECK FREQUENCY)

1.5 พารามิเตอร์กำหนดค่าพิกัดเผื่อการปรับชดเชยอัตโนมัติของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติกำหนดให้กำหนดค่าพิกัดเผื่อการปรับชดเชย อยู่ระหว่าง 0.015 และ - 0.015มิลลิเมตร

(#103= 0.015 UPPER TOLERANCE VALUE)

(#104= - 0.015 LOWER TOLERANCE VALUE)

ตัวอย่าง โปรแกรมดังแสดงในภาพที่ 5

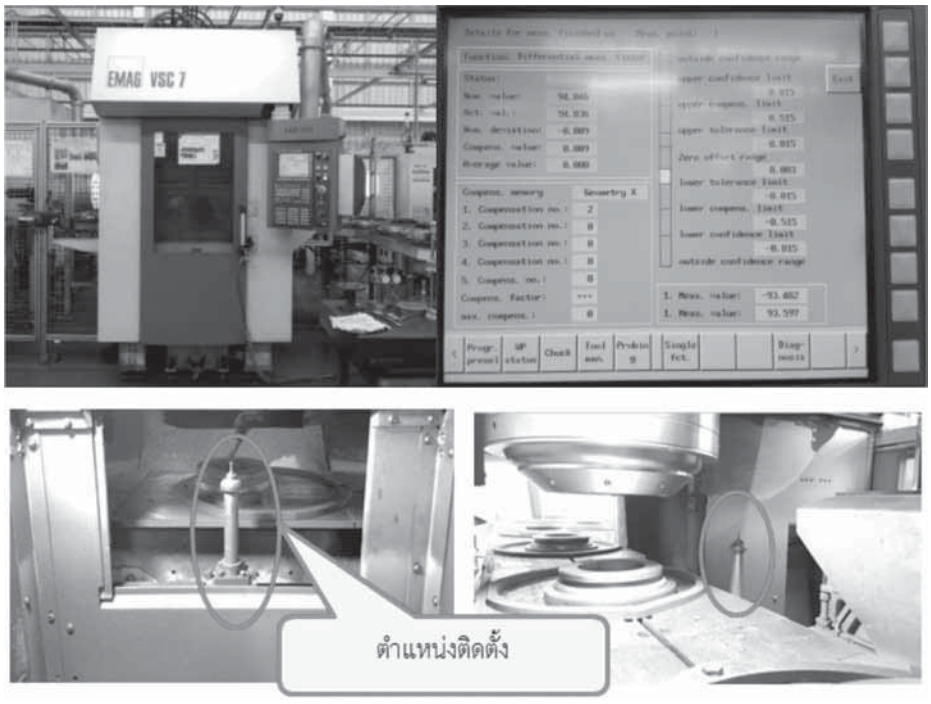
```
O1001(MITSU.A002 OP30)
(              - EMAG -              )
(       WORKPIECE PARAMETERS         )
(-----------------------------------)
(VERSION)(06.03.02)
(CREATED ON)(2015-12-15)
(UPDATED ON)(2015-12-15)
(AUTHOR)(NS)
(MACHINE TYPE)(VLC/VSC/VL)
(-----------------------------------)
( POGRAM PRESELECTION)
#801=2001(PROCESSING)
#802=3001(FINISHED PART MEASUREMENT)
#803=0000(PROCESSING CONTROL CUT)
#804=0000(CONTROL CUT MEASURING OPERATION)
#805=6003(TOOL DATA)
#806=0000(RINSE CLAMPING DEVICE)
#807=0000(CALIBRATION)
#862=4001(OFFSET SCREEN)
#863=0000(RETRACTION TRAVEL)
#813=0000(WARM-UP)
```

```
O3001(MEAS PROG MITSU)
(              - EMAG -                )
(          MEAS. PROGRAM                )
(-------------------------------)
(VERSION)(06.03.00)
(CREATED ON)(2015-12-15)
(UPDATED ON)(2015-12-15)
(AUTHOR)(NS)
(MACHINE TYPE)(VLC/VSC/VL)
(-------------------------------)
(#101= FUNCTION)
( 1   = INNER DIAMETER)
( 2   = EXTERNAL DIAMETER)
( 3   = STEP Z MINUS DIRECTION)
( 4   = STEP Z PLUS DIRECTION)
(13 = HEIGHT Z MINUS DIRECTION)
(14 = HEIGHT Z PLUS DIRECTION)
()

(#102= NOMINAL SIZE ACC. TO DRAWING)
(#103= UPPER TOLERANCE VALUE)
(#104= LOWER TOLERANCE VALUE)
(#105= EMPIRICAL VALUE)
(#107= 1. MEAS. POSITION X)
(#108= 1. MEAS. POSITION Z)
(#109= 2. MEAS. POSITION X)
(#110= 2. MEAS. POSITION Z)
(#111= 3. MEAS. POSITION Y)
(#112= 3. MEAS. POSITION Y)
(#101= SPINDLE POSITION, LHS)
(#125= SPINDLE POSITIONS FOR MEAS. POINT 2)
(#113= NUMBER OF MEASUREMENTS)
(#114= SPINDLE INDEXING ANGLE FOR #113 > 1)
(#115= SPINDLE OFFSET AFTER FAULTY MEASUREMENT)
(#116= MEAS. PROBE NUMBER, MEASURING POINT 1)
(#117= MEAS. PROBE NUMBER, MEASURING POINT 2)
(#119= CLEARANCE DIMENSION Z)
(#120= PROTECTION DIMENSION X)
(#121= PROTECTION DIMENSION Z)
(#130= NOMINAL COMPENSATION DIMENSION)
(#131= COMPENSATION FACTOR)
(#132= COMPENSATION MEMORY)
( 1 = GEOMETRY LENGTH X)
( 2 = GEOMETRY LENGTH Z)
( 3 = GEOMETRY RADIUS)
( 4 = WEAR LENGTH X)
( 5 = WEAR LENGTH Z)
( 6 = WEAR RADIUS)
()
(#133= 1. COMPENSATION NUMBER)
(#134= 2. COMPENSATION NUMBER)
(#135= 3. COMPENSATION NUMBER)
(#136= 4. COMPENSATION NUMBER)
(#137= 5. COMPENSATION NUMBER)
(#870=SPOT CHECK FREQUENCY)
( )
(INTERNAL DIAMETER)
#101=1
#102=94.03
#103=0.015
#104=-0.015
#105=.525
#107=94.0
#108=-44.5(-44.5)
#109=-94.0
#110=-44.5(-44.5)
#111=94.0
#112=-94.0
#113=2
#114=90
#116=1
#119=10.0
#121=10.0
#132=1
#133=02
#131=-1
#870=10
G610( TRANSFER/MEASURE )
( )
M99
```

ภาพ 5 โปรแกรมคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติ

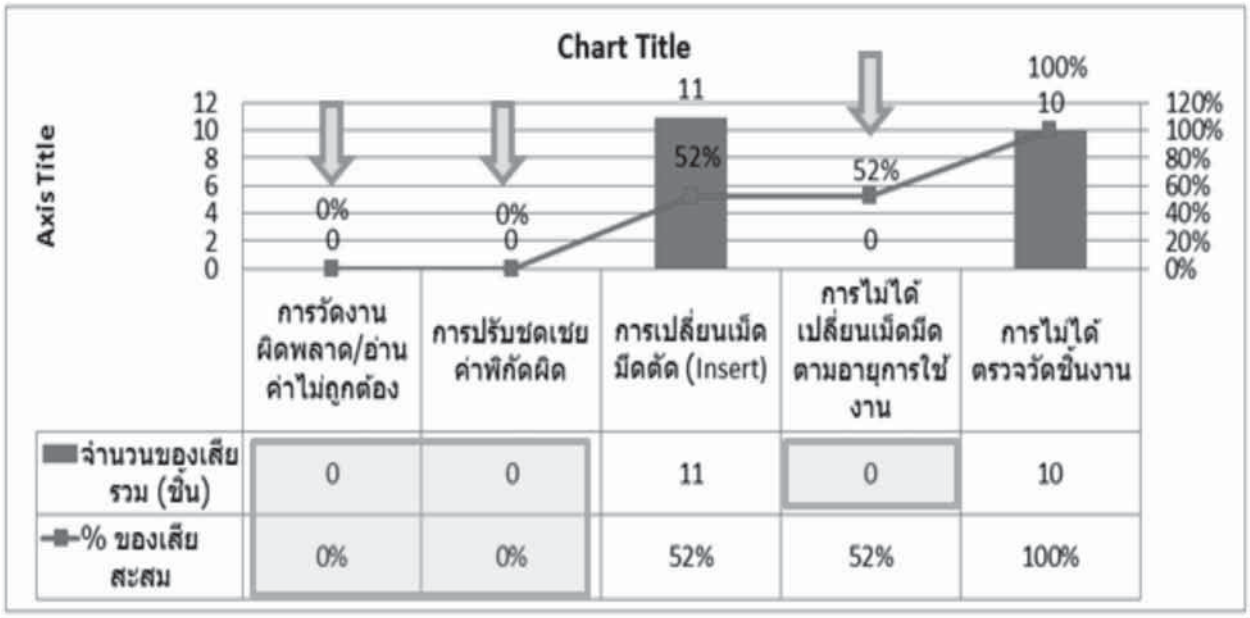
2. ผลการทดลองระหว่างวันที่ 15 ถึง 25 ธันวาคม พ.ศ.2558 เครื่องมือวัดละเอียดแบบตรวจวัดและปรับค่าชดเชยอัตโนมัติและโปรแกรมที่เขียนถูกนำไปติดตั้งเข้าระบบคำสั่งของเครื่องจักร ดังภาพ 6



ภาพ 6 เครื่องจักรและการติดตั้งโปรแกรม - อุปกรณ์เครื่องมือวัดละเอียดแบบตรวจวัดและปรับค่าชดเชยอัตโนมัติ

หลังการทดลองพบว่าจากการทดลองผลิตจำนวน 26,588 ชิ้น ของการผลิตในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2558 วันที่ 15 - 25 ธันวาคม พ.ศ.2558 หลังการปรับปรุง (สัปดาห์ที่ 3 - 4) ไม่เกิดของเสียด้านรูคว้านโตเกินข้อกำหนด ทั้งในช่วงการผลิตกะกลางวัน และกะกลางคืน โดยของเสียลดลงจาก 65 ชิ้นในสัปดาห์ที่ 1 และ 72 ชิ้นในสัปดาห์ที่ 2 หรือลดลงร้อยละ 100 ดังแสดงในตาราง 7

ลำดับที่	ลักษณะปัญหา	เดือน	จำนวนของเสียต่อสัปดาห์ (ชิ้น)				
			ธันวาคม 2558				จำนวนของเสียรวม (ชิ้น)
		ปริมาณการผลิตต่อเดือนตามแผนผลิต (ชิ้น)	สัปดาห์ที่ 1 วันที่ 1-7	สัปดาห์ที่ 2 วันที่ 8-14	สัปดาห์ที่ 3 วันที่ 15-21	สัปดาห์ที่ 4 วันที่ 22-25	
1	รูคว้านขนาด 94 Over Spec.	26,588	65	72	0	0	137
2	ชิ้นงานหนา-บาง	26,588	18	12	8	6	44
3	ชิ้นงานเก็บผิวงานหล่อไม่หมด	26,588	2	5	8	2	17
4	ผิวงานสะท้าน	26,588	2	4	3	3	12
5	ความเรียบผิว Over Spec	26,588	0	0	2	0	2
จำนวนของเสียรวม (ชิ้น)/ สัปดาห์			87	93	21	11	212



ภาพ 7 ร้อยละของของเสียระหว่างกระบวนการผลิตสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ของเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2558

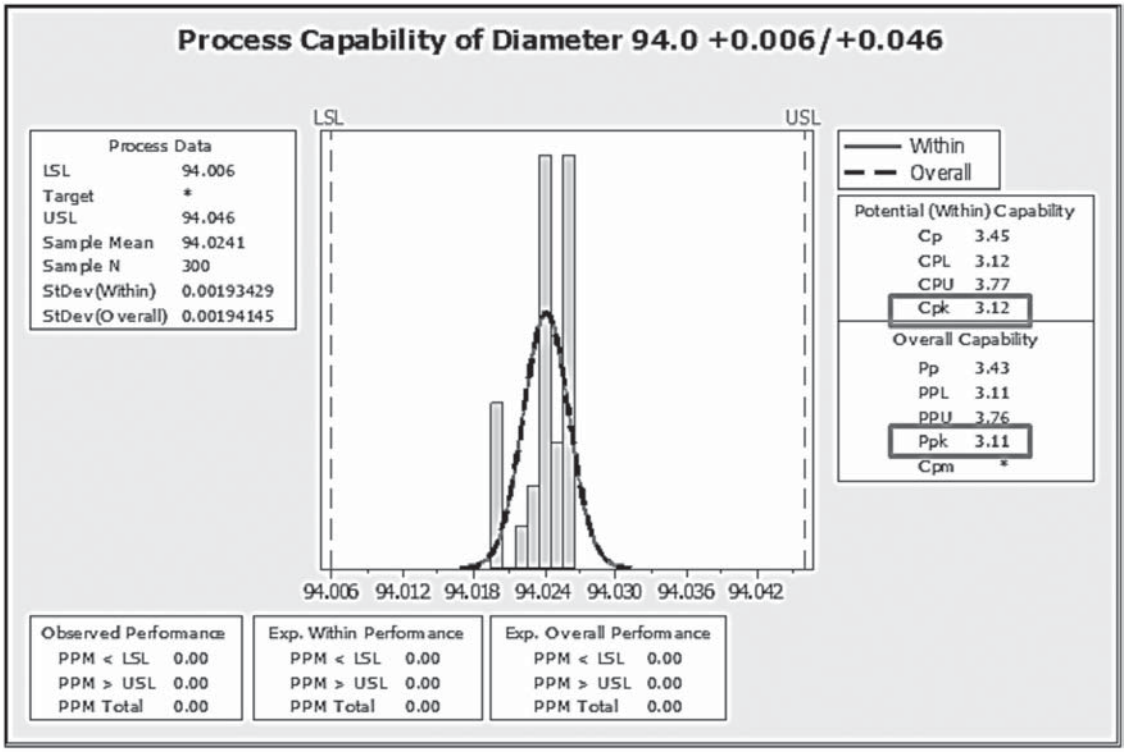
ผลการวิเคราะห์ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะสั้น: Cpk และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว: Ppk พบว่า ค่า Cpk (Continue Process Capability) คือดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนในระยะสั้น มีค่าเท่ากับ 3.12 ซึ่งมากกว่ามาตรฐานข้อกำหนดของลูกค้าที่ยอมรับได้ไม่ต่ำกว่า 1.33 และมีค่า Ppk (Preliminary Process Capability) ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการในระยะยาวมีค่าเท่ากับ 3.11 ซึ่งมากกว่ามาตรฐานข้อกำหนดของลูกค้าที่ยอมรับได้ไม่ต่ำกว่า 1.67 ดังแสดงตารางที่ 1 และภาพที่ 8

ตารางที่ 1

แสดงการบันทึกค่าการวัดขนาดชิ้นงานขนาดความโต 94.0 +0.006/+0.046 จำนวน 300 ตัวอย่าง และภาพ 8

ชิ้น	ค่าวัดได้	ชิ้น	ค่าวัดได้	ชิ้น	ค่าวัดได้	ชิ้น	ค่าวัดได้	ชิ้น	ค่าวัดได้
1	94.026	31	94.026	61	94.026	91	94.026	121	94.026
2	94.026	32	94.026	62	94.026	92	94.026	122	94.026
3	94.026	33	94.026	63	94.026	93	94.026	123	94.026
4	94.026	34	94.026	64	94.026	94	94.026	124	94.026
5	94.026	35	94.026	65	94.026	95	94.026	125	94.026
6	94.026	36	94.026	66	94.026	96	94.026	126	94.026
7	94.026	37	94.026	67	94.026	97	94.026	127	94.026
8	94.026	38	94.026	68	94.026	98	94.026	128	94.026
9	94.026	39	94.026	69	94.026	99	94.026	129	94.026
10	94.026	40	94.026	70	94.026	100	94.026	130	94.026
11	94.024	41	94.024	71	94.024	101	94.024	131	94.024
12	94.024	42	94.024	72	94.024	102	94.024	132	94.024
13	94.024	43	94.024	73	94.024	103	94.024	133	94.024
14	94.024	44	94.024	74	94.024	104	94.024	134	94.024
15	94.024	45	94.024	75	94.024	105	94.024	135	94.024
16	94.024	46	94.024	76	94.024	106	94.024	136	94.024
17	94.024	47	94.024	77	94.024	107	94.024	137	94.024
18	94.024	48	94.024	78	94.024	108	94.024	138	94.024
19	94.025	49	94.025	79	94.025	109	94.025	139	94.025
20	94.024	50	94.024	80	94.024	110	94.024	140	94.024
21	94.025	51	94.025	81	94.025	111	94.025	141	94.025
22	94.023	52	94.023	82	94.023	112	94.023	142	94.023
23	94.025	53	94.025	83	94.025	113	94.025	143	94.025
24	94.023	54	94.023	84	94.023	114	94.023	144	94.023
25	94.022	55	94.022	85	94.022	115	94.022	145	94.022
26	94.024	56	94.024	86	94.024	116	94.024	146	94.024
27	94.020	57	94.020	87	94.020	117	94.020	147	94.020
28	94.020	58	94.020	88	94.020	118	94.020	148	94.020
29	94.020	59	94.020	89	94.020	119	94.020	149	94.020
30	94.020	60	94.020	90	94.020	120	94.020	150	94.020

ชิ้น	ค่าวัดได้	ชิ้น	ค่าวัดได้	ชิ้น	ค่าวัดได้	ชิ้น	ค่าวัดได้	ชิ้น	ค่าวัดได้
151	94.026	181	94.026	211	94.026	241	94.026	271	94.026
152	94.026	182	94.026	212	94.026	242	94.026	272	94.026
153	94.026	183	94.026	213	94.026	243	94.026	273	94.026
154	94.026	184	94.026	214	94.026	244	94.026	274	94.026
155	94.026	185	94.026	215	94.026	245	94.026	275	94.026
156	94.026	186	94.026	216	94.026	246	94.026	276	94.026
157	94.026	187	94.026	217	94.026	247	94.026	277	94.026
158	94.026	188	94.026	218	94.026	248	94.026	278	94.026
159	94.026	189	94.026	219	94.026	249	94.026	279	94.026
160	94.026	190	94.026	220	94.026	250	94.026	280	94.026
161	94.024	191	94.024	221	94.024	251	94.024	281	94.024
162	94.024	192	94.024	222	94.024	252	94.024	282	94.024
163	94.024	193	94.024	223	94.024	253	94.024	283	94.024
164	94.024	194	94.024	224	94.024	254	94.024	284	94.024
165	94.024	195	94.024	225	94.024	255	94.024	285	94.024
166	94.024	196	94.024	226	94.024	256	94.024	286	94.024
167	94.024	197	94.024	227	94.024	257	94.024	287	94.024
168	94.024	198	94.024	228	94.024	258	94.024	288	94.024
169	94.025	199	94.025	229	94.025	259	94.025	289	94.025
170	94.024	200	94.024	230	94.024	260	94.024	290	94.024
171	94.025	201	94.025	231	94.025	261	94.025	291	94.025
172	94.023	202	94.023	232	94.023	262	94.023	292	94.023
173	94.025	203	94.025	233	94.025	263	94.025	293	94.025
174	94.023	204	94.023	234	94.023	264	94.023	294	94.023
175	94.022	205	94.022	235	94.022	265	94.022	295	94.022
176	94.024	206	94.024	236	94.024	266	94.024	296	94.024
177	94.020	207	94.020	237	94.020	267	94.020	297	94.020
178	94.020	208	94.020	238	94.020	268	94.020	298	94.020
179	94.020	209	94.020	239	94.020	269	94.020	299	94.020
180	94.020	210	94.020	240	94.020	270	94.020	300	94.020



ภาพ 8 ภาพแสดงผลการวิเคราะห์ค่าขีดความสามารถของกระบวนการ Cpk และ Ppk

อัตราผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบจากข้อมูลการวางแผนผลิตตามความต้องการชิ้นงานในเดือนธันวาคม จำนวนตามคำสั่งซื้อเท่ากับ 26,588 ชิ้น และจำนวนชิ้นงานดีที่ได้ พบว่าอัตราผลผลิตเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 97.93 เป็น 99.2 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5 (รวมของเสียจากการผลิตทุกปัจจัย)

(ก่อนปรับปรุง: พฤศจิกายน) = 26,038÷ 26,588 =97.93%

(หลังปรับปรุง: ธันวาคม) = 26,376 ÷ 26,588 = 99.2%

เวลาที่ใช้ในการผลิตงานหนึ่งรอบกระบวนการ จากการวัดขนาดชิ้นงานโดยพนักงานด้วยไมโครมิเตอร์ เท่ากับ 52.94 วินาทีต่อชิ้น เวลาที่ใช้ในการผลิตงานหนึ่งรอบกระบวนการ จากการวัดขนาดชิ้นงานโดยเครื่องมือวัดละเอียดแบบตรวจวัดและปรับค่าชดเชยอัตโนมัติ เท่ากับ 47.68 วินาทีต่อชิ้น เวลาที่ลดลงคิดเป็นร้อยละ 9.94

ตาราง 2

แสดงการเปรียบเทียบเวลาการผลิตต่อรอบก่อน - หลังการปรับปรุงใช้เครื่องมือวัดละเอียดแบบตรวจวัดและปรับค่าชดเชยอัตโนมัติ

เวลาการผลิตต่อรอบ (Cycle Time)		45	วินาที
กำลังผลิต ต่อ ชั่วโมง	=	3600 / 45	
	=	80	ชิ้น / ชั่วโมง
จำนวนรอบการตรวจวัดชิ้นงาน			
ทุกๆ 10 ชิ้น สุ่มตรวจ 1 ชิ้น	=	8.0 ครั้ง	ต่อชั่วโมง
เวลาในการตรวจวัดชิ้นงานโดยพนักงาน	=	65	วินาที / ครั้ง
	=	520	วินาที / ชั่วโมง
กำลังผลิต ต่อ ชั่วโมงที่ใช้ผลิตจริง	=	(3600-520) / 45	
ที่สามารถทำการผลิตได้จริง	=	68	ชิ้น / ชั่วโมง
เวลาการผลิตต่อรอบ (Cycle Time)	=	3600 / 68	วินาที ต่อ ชิ้น
ที่สามารถทำการผลิตได้จริง	=	52.94	วินาที ต่อ ชิ้น

เวลาการผลิตต่อรอบ (Cycle Time)		45	วินาที
กำลังผลิต ต่อ ชั่วโมง	=	3600 / 45	
	=	80	ชิ้น / ชั่วโมง
จำนวนรอบการตรวจวัดชิ้นงาน			
ทุกๆ 10 ชิ้น สุ่มตรวจ 1 ชิ้น	=	8.0 ครั้ง	ต่อชั่วโมง
เวลาในการตรวจวัดชิ้นงานโดยพนักงาน	=	25	วินาที / ครั้ง
	=	200	วินาที / ชั่วโมง
กำลังผลิต ต่อ ชั่วโมงที่ใช้ผลิตจริง	=	(3600-200) / 45	
ที่สามารถทำการผลิตได้จริง	=	75.5	ชิ้น / ชั่วโมง
เวลาการผลิตต่อรอบ (Cycle Time)	=	3600 / 75.5	วินาที ต่อ ชิ้น
ที่สามารถทำการผลิตได้จริง	=	47.68	วินาที ต่อ ชิ้น

อัตราความต้องการต่อเวลาของลูกค้า จากความต้องการชิ้นงานในเดือนธันวาคมจำนวนตามคำสั่งซื้อเท่ากับ 26,588 ชิ้น ต่อจำนวนชั่วโมงการผลิตที่ 487.5 ชั่วโมง (คิดเป็น 29,250 นาที) จึงคิดเป็น Takt Time เท่ากับ 1.1 นาที หรือ 66 วินาที ต่อการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้นที่ลูกค้าต้องการซึ่งจากผลการปรับปรุงสามารถลดเวลาการผลิตลงได้เท่ากับ 47.68 วินาที ต่อการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้น จึงน้อยกว่าที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถผลิตชิ้นงานได้เร็วกว่าเวลาที่ลูกค้าต้องการ

ในด้านกำลังการผลิต เมื่อคำนวณจากเวลาการผลิตทั้งหมดของเดือน ต่อเวลาการผลิตต่อรอบเท่ากับ 487.5 ชั่วโมงต่อเดือน ÷ 47.68 วินาทีต่อชิ้น จะได้กำลังการผลิตเท่ากับ 36,807 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งมากกว่าความต้องการของลูกค้าที่เท่ากับ 26,588 ชิ้นต่อเดือน

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมการทำงานของเครื่องมือวัดละเอียดแบบตรวจวัดและปรับค่าชดเชยอัตโนมัติ ด้วยระบบ G-code เพื่อช่วยลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากการวัดค่าอ่านและปรับค่าชดเชยในเครื่องจักรการผลิตจากการทำงานด้วยมนุษย์การวิจัยเป็นแบบทดลอง ผลการวิจัยพบว่าได้ว่าปัญหาของเสียการวัดค่า อ่านและปรับค่าชดเชยในเครื่องจักรการผลิตลดลงได้ร้อยละ 100 ซึ่งลดลงได้มากกว่าร้อยละ 80 ที่เป็นเป้าหมาย และลดลงเป็นไม่เกิดของเสียขึ้นเลยคือ 0 ชิ้นซึ่งน้อยกว่า 77.80 ชิ้นต่อเดือน และเครื่องมือวัดละเอียดแบบตรวจวัดและปรับค่าชดเชยอัตโนมัติยังมีดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะสั้น: Cpk3.12 > 1.33 และ ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว: Ppk3.11 > 1.67 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานยอมรับของลูกค้าจึงสามารถยอมรับความสำเร็จเมื่อเครื่องมือช่วยให้ของเสียลดลงได้ร้อยละ 100 สามารถลดเวลาการผลิตต่อรอบลงจาก 52.94 วินาที ลดลงเหลือ 47.68 วินาที คิดเป็นร้อยละ 9.94 อัตราความต้องการชิ้นงานต่อเวลาเท่ากับ 47.68 วินาที น้อยกว่า Takt time ของลูกค้าที่ 66 วินาทีด้านกำลังการผลิต สามารถผลิตได้เท่ากับ 36,807 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งมากว่าความต้องการของลูกค้าเท่ากับ 26,588 ชิ้นต่อเดือน และภาพรวมของอัตราผลผลิต สามารถปรับปรุงให้เพิ่มขึ้นได้ร้อยละ 1.5 (เมื่อพิจารณาของเสียทุกปัจจัยปัญหาเป็นภาพรวม)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับองค์การธุรกิจ เนื่องจากผู้วิจัยได้ปฏิบัติงานในหน้าที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบกระบวนการและทดลองผลิตภัณฑ์ใหม่ จึงพบปัญหาความผิดพลาดจากจากกระบวนการที่ใช้พนักงานในการตรวจวัดขนาดความถูกต้องด้วยเครื่องมือที่ไม่เหมาะสมและ/หรือมีเงื่อนไขในการใช้งานที่ยากลำบาก ส่งผลให้เกิดของเสียโดยไม่จำเป็น ผลจากงานวิจัยชิ้นนี้จึงสนับสนุนข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานที่มีความละเอียดสูงเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการทำงานเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดความเมื่อยล้าจากขั้นตอนการทำงานที่ยากลำบากของพนักงาน ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานได้

หน่วยงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ควรคิดวางระบบกระบวนการตรวจวัดชิ้นงานแบบอัตโนมัติตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบกระบวนการและสายการผลิตเพื่อการลดของเสียเชิงป้องกัน

2. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป งานวิจัยครั้งนี้ยังไม่ได้จัดทำในส่วนของฟังก์ชั่นการสอบเทียบเครื่องมือวัดละเอียดแบบตรวจวัดและปรับค่าชดเชยอัตโนมัติ ดังนั้นผู้สนใจควรนำส่วนนี้ไปพัฒนาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2550). *หลักการควบคุมคุณภาพ*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).

โกศล ดีศีลธรรม. (2544). *เพิ่มศักยภาพการแข่งขันด้วยแนวคิดลีน*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ชาลี ตระการกูล. (2554). *เทคโนโลยีซีเอ็นซี CNC Technology*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

มาลินี ลีลัคนาวีระ. (2549). *การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต โดยใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตและการวางผังโรงงานในบริษัท สยามคอมเพรสเซอร์ จำกัด*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Translated Thai References

Deeseenthum, K. (2001). *Productivity improvement by LEAN*. Bangkok: Se-Ed. (in Thai)

Leelakkanaveera, M. (2006). *Productivity improvement by line balancing and lay out technique in factory of Siam Compressor Co., Ltd.* Master of Engineering Thesis, Chiang Mai University. (in Thai)

Ploypanitcharoen, K. (2007). *Quality control principle. Bangkok: Technology* Promotion Association (Thailand-Japan). (in Thai)

Trakankul, C. (2011). *CNC technology*. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan). (in Thai)