

การพัฒนากระบวนการตรวจสอบแม่พิมพ์อย่างขณะทำการผลิต  
และหลังการผลิตโดยอุปกรณ์ตรวจวัดแบบแตะสัมผัส  
**Development of Rubber Mould Inline Process  
and Offline Process Inspection by Touch Probe**

สุชาดา เจริญโมรา<sup>1</sup> ชนะ รัศสิริ<sup>1,2\*</sup> ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ<sup>1,3</sup> และคุณยุต เอี่ยมสะอาด<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ

<sup>3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร 0-2942-7188 โทรสาร 0-2942-7189 \*อีเมล chana\_raksiri@yahoo.com

Suchada Rianmora<sup>1</sup> Chana Raksiri<sup>1,2\*</sup> Supasit Rodkwan<sup>1,3</sup> and Kunayut Eiamsa-ard<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Center of Excellence in Rubber Mould, Research and Development Institute of Production Technology

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

<sup>3</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Jatujak, Bangkok 10900, Thailand,

Tel: 0-2942-7188 Fax 0-2942-7189 \*E-mail: chana\_raksiri@yahoo.com

#### บทคัดย่อ

การพัฒนากระบวนการออกแบบและการตรวจสอบขนาดระยะพิกต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ด้วยเทคนิควิศวกรรมย้อนรอยสามารถช่วยลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการตรวจรับแม่พิมพ์ให้ถูกต้องมากขึ้น โดยมีชุดอุปกรณ์ตรวจวัดแบบแตะสัมผัสชนิดติดตั้งบนเครื่องกัดซีเอ็นซี (Touch Probe on Machining centers) และอุปกรณ์วัดพิกัดแบบแตะสัมผัสชนิดควบคุมด้วยมือ (Portable Arm Coordinate Measuring Machine) โดยทำงานร่วมกับโปรแกรม PowerINSPECT ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบขนาดพิกัดและพื้นผิวที่ได้จากการวัดพร้อมทั้งรูปผลการวัดในรูปของรายงานแสดงข้อมูลซึ่งกระบวนการตรวจสอบแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การตรวจสอบแม่พิมพ์ขณะทำการผลิต (Inline Process) โดยไม่จำเป็นต้องโยกย้ายชิ้นงานแม่พิมพ์ออกจากเครื่องจักร หากมีข้อผิดพลาดสามารถทำการแก้ไขได้ทันทีและการตรวจสอบแม่พิมพ์ภายหลังการผลิต (Offline Process) เป็นการตรวจวัดระยะพิกัดให้ตรงตามแบบก่อนส่งมอบชิ้นงานให้กับลูกค้า แต่ทั้งนี้ถ้าตำแหน่งที่วัดได้ไม่เป็นไปตามค่าพิกัดที่ยอมรับได้จะต้องยกชิ้นงานมาทำการแก้ไขที่เครื่องจักร ทำให้เสียเวลาในการปรับตั้งค่าระยะของตัวชิ้นงานและตัวเครื่องจักรใหม่อีกครั้ง ถ้าพิจารณาในด้านการใช้งานเครื่องตรวจวัดโดยไม่คำนึงถึงค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ ของเครื่องมือ ชุดอุปกรณ์วัดพิกัดแบบแตะสัมผัสชนิดควบคุมด้วยมือ (Portable CMM) สามารถใช้งานได้ง่าย สะดวก

และรวดเร็วกว่าอุปกรณ์ตรวจวัดแบบแตะสัมผัสชนิดติดตั้งบนเครื่องกัดซีเอ็นซี

**คำสำคัญ:** วิศวกรรมย้อนรอย, อุปกรณ์ตรวจวัดแบบแตะสัมผัสชนิดโพรบ, การตรวจสอบแม่พิมพ์ขณะทำการผลิต, การตรวจสอบแม่พิมพ์ภายหลังการผลิต

#### Abstract

Development in design and dimension inspection of mould by utilizing reverse engineering (RE) technique can reduce lead time and increase the quality of mould inspection in terms of accuracy. For the study with two available methods selected: CNC control (Touch probe on machining centers) and hand-control (Portable arm Coordinate measuring machine), these equipments are used along with specialized software called "PowerInspect" which is capable of measuring the three-dimensional coordinate as well as analyzing the result. The first inspection is done on the machine during production (inline process) of which the adjustment is made then another inspection is examined after production (offline process) which involves rechecking the dimensions before sending to the customer. If any defects are detected, the workpiece would be brought back

for further correction which waste the time for any alignments and calibration. The experiment result demonstrates in terms of accuracy there is no significant difference between the two measurement methods. Nevertheless from operation point of view, the Portable Arm CMM has an advantage in its simplicity, and require less operation lead time.

**Keywords:** Reverse Engineering (RE), Touch Probe, Inline process, Offline process

## 1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามามีส่วนร่วมในวงการอุตสาหกรรม และกระบวนการผลิตมากขึ้นทั้งนี้หมายถึงรวมถึงอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ที่มีกระบวนการผลิตยุ่งยากและซับซ้อน ในส่วนของการตรวจสอบขนาดของแม่พิมพ์ที่ผ่านมาจะต้องกระทำภายหลังจากผ่านกระบวนการกัดขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วทำให้การสูญเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นในการแก้ไขข้อบกพร่องหากแม่พิมพ์ที่ได้มานั้นมีขนาดผิดพลาดไม่เป็นไปตามแบบที่วางเอาไว้ ด้วยสาเหตุดังกล่าวจำเป็นต้องผลิตแม่พิมพ์ขึ้นมาใหม่หรือทวนในระหว่างการผลิตขึ้นรูปแม่พิมพ์จำเป็นต้องมีการนำชิ้นงานออกมาวัดขนาด ทำให้ต้องโยกย้ายชิ้นงานออกมาจากเครื่องจักร ด้วยเหตุนี้ภายหลังจากวัดขนาดเสร็จเรียบร้อยแล้วแม่พิมพ์จะต้องถูกตั้งค่าเริ่มต้นบนเครื่องจักรใหม่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง และเกิดความยุ่งยากในการจัดวางแม่พิมพ์บนเครื่องจักรอีกด้วย

วิศวกรรมย้อนรอยเป็นกระบวนการผลิตชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์และอุปกรณ์ต่างๆ โดยอาศัยการตรวจสอบข้อมูลทางเทคนิคและข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์หรืออุปกรณ์ต้นแบบซึ่งเกี่ยวข้องกับการสืบค้นข้อมูลทางเทคนิครวมถึงการย้อนรอยขนาดและรูปร่างของต้นแบบวัสดุ กรรมวิธีการผลิตตลอดจนการตรวจสอบคุณสมบัติและสมรรถนะของผลิตภัณฑ์ สำหรับการนำวิศวกรรมย้อนรอยไปประยุกต์ใช้สามารถทำได้หลากหลายลักษณะ อาทิ

1. วัดอุปกรณ์ที่ไม่สามารถทำการวัดขนาดและออกแบบเพื่อที่จะทำแม่พิมพ์ด้วยวิธีการCAD/CAM ได้ ทั้งนี้เพราะอาจเกิดความเสียหายต่อวัตถุนั้นๆ

2. วัตถุที่ได้รับการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงขนาดแต่ไม่ได้มีการจดบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงนั้นไว้

3. ในกรณีที่ต้องการออกแบบวัตถุใหม่วิศวกรรมย้อนรอยสามารถสร้างรูปแบบของวัตถุเป็นลักษณะ 3 มิติได้ และสามารถนำแบบนั้นมาใช้ซ้ำ เพื่อเป็นการประหยัดเวลา และเงินอีกด้วย

4. สำหรับวัตถุที่ถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศ และข้อมูลต่างๆ อาทิ ขนาด ความกว้างหรือความยาวของวัตถุไม่ได้แนบมาด้วยเราสามารถเก็บรายละเอียดต่างๆ ได้

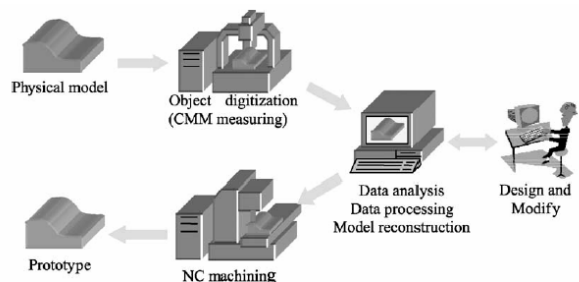
5. การเปรียบเทียบมาตรฐานของวัตถุในเชิงคุณภาพกล่าวคือผลิตภัณฑ์จากบริษัทที่มีคุณภาพโดยวัดจากรูปร่าง ขนาดหรือแม้กระทั่งความสวยงามของสินค้าที่ดีกว่า บริษัทก็จะได้รับความพึงพอใจของลูกค้า วิศวกรรมย้อนรอยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้

6. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายหลังจากการทำวัตถุดิบแบบ (prototype) แล้ว

7. การสร้างขึ้นส่วนของมนุษย์ อาทิ ไขข้อกระดูกสันหลัง เป็นต้นทั้งนี้รูปร่างลักษณะของไขข้อนั้นไม่สามารถวัดขนาดได้ละเอียดในทุกจุด วิศวกรรมย้อนรอยสามารถสแกนชิ้นส่วนจริงแล้วมาสร้างเป็นของเทียมขึ้นโดยที่มีรายละเอียดต่างๆ สมบูรณ์แบบ

## 2. วิศวกรรมย้อนรอย

การประยุกต์ใช้วิศวกรรมย้อนรอยในงานวิศวกรรมของงานวิจัยนี้ อ้างอิงมาจากงานวิจัยทางเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยโดยที่ก่อนหน้านี้จะนำวิศวกรรมย้อนรอยมาประยุกต์ใช้ในงานร่วมกันกับเครื่อง Coordinate Measuring Machine (CMM) ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้ในการวัดขนาดของชิ้นงาน โดยมีลักษณะเป็นหัวโพรบไปสัมผัสตามจุดต่างๆ เพื่อวัดขนาดของชิ้นงานในระนาบ 3 มิติ แล้วทำการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งจะให้ค่าที่ละเอียด อีกทั้งในอุตสาหกรรมยานยนต์มักใช้เป็นเครื่องมือในการวัดชิ้นส่วนเพื่อการควบคุมคุณภาพ ทั้งนี้โปรแกรมการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design; CAD) และโปรแกรมการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing; CAM) จะถูกนำมาใช้ร่วมกับกระบวนการของวิศวกรรมย้อนรอยในการเก็บข้อมูลจากวัตถุ การแก้ไขโครงสร้างแบบจำลองชิ้นงาน (solid model) จนกระทั่งส่งข้อมูลไปยังเครื่อง numerical controller (NC Machining) ข้อมูลทางการวัดจะได้มาจากเก็บค่าพิกัดจุดทั้ง 3 มิติโดยใช้เครื่อง CMM ซึ่งเป็นวิธีการที่นับได้ว่าประสบความสำเร็จในการสร้างแบบจำลองชิ้นงาน (solid model) และนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ลำดับขั้นตอนการทำการกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยได้แสดงไว้ในภาพที่ 1 [2]



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอย

ที่มา : Yu Zhang (2003)

วิศวกรรมย้อนรอยจะเริ่มต้นแบบจากแนวคิดและวิธีการออกแบบเดิมที่มีอยู่แล้วโดยผสมผสานการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์, เทคโนโลยีการวัด และเทคโนโลยี CAD/CAM จะเห็นได้ว่าวิศวกรรมย้อนรอยมีความน่าสนใจในแต่ละสาขาที่ต่างกันออกไปอย่างมากมาย เช่น ด้านยานยนต์ การต่อเรือ อิเล็กทรอนิกส์ และทางการแพทย์ โดยหัวข้อที่ใช้ในการศึกษาจะแตกต่างกันออกไป ดังนี้

1. ต้นแบบของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายที่ถูกสร้างด้วยมือและไม่มีแบบจำลองชิ้นงาน (Solid Model) เช่น แบบดินเหนียวในอุตสาหกรรมยานยนต์

2. ชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนทำให้ยากในการสร้างจากโปรแกรม CAD โดยตรง

3. ชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนที่ต้องได้รับการวัด เพราะฉะนั้นแบบจากวิศวกรรมย้อนรอยที่สร้างขึ้นจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองชิ้นงาน (solid model) ที่มีอยู่แล้ว

กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยประกอบด้วยการทำงานหลักๆอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

1. การเก็บข้อมูลจากวัตถุ: รูปร่างทั้ง 3 มิติของชิ้นงานจะต้องถูกวัดด้วยวิธีการที่เหมาะสม

2. การประมวลผลข้อมูลจากการวัด: ข้อมูลทั้ง 3 มิติจะต้องได้รับการประมวลผลเพื่อที่จะนำไปใช้ขั้นตอนต่อไปได้

3. การสร้างแบบจำลองชิ้นงาน (solid model): จะต้องสร้างแบบจำลองชิ้นงาน (solid model) ที่มีความสมบูรณ์เพื่อแสดงข้อมูลที่สำคัญของชิ้นผลิตภัณฑ์ได้หมด (Yu Zhang, 2003)

## 2. การสำรวจเอกสาร

กระบวนการตรวจสอบจะใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ชุดอุปกรณ์วัดพิกัดแบบและสัมผัสชนิดควบคุมด้วยมือ (Portable Arm Coordinate Measuring Machine) และอุปกรณ์ตรวจวัดแบบและสัมผัสชนิดติดตั้งบนเครื่องกัดซีเอ็นซี (Touch Probe On Machining Centers) ดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับโดยทำงานร่วมกับโปรแกรม PowerINSPECT ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบขนาดพิกัดและพื้นผิวที่ได้จากการวัดพร้อมทั้งรูปผลการวัดในรูปของรายงานแสดงข้อมูล ซึ่งนอกจากนี้ได้มีการศึกษาภาวะการไหลของยางในแม่พิมพ์ที่ผลิตได้จากการประยุกต์ใช้วิศวกรรมย้อนรอยด้วยโปรแกรมจำลองการไหล



ภาพที่ 2 ชุด portable arm CMM



ภาพที่ 3 ชุดหัวโพรบ

เครื่อง Portable Arm CMM เป็นชุดอุปกรณ์ที่มีความทันสมัยและสะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งลักษณะการทำงานจะมีส่วนประกอบหลักคือ หัวโพรบเช่นเดียวกับที่ยึดติดกับเครื่องกัด CNC หรือเครื่อง CMM แต่ที่แตกต่างออกไปคือชุดหัวโพรบที่ยึดอยู่กับแขน (Portable Arm) สามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างอิสระตามการเคลื่อนที่ของแขน สำหรับข้อมูลพิกัดต่างๆที่ได้จากการตรวจวัดนั้นย่อมมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากเคลื่อนที่ของแขน หัวโพรบและตำแหน่งของระบบขณะทำการสแกนวัตถุ ซึ่งค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ที่เกิดขึ้นจะมีค่าประมาณ  $\pm 50\text{-}60\text{ }\mu\text{m}$ . ทั้งนี้ชุดหัวโพรบซึ่ง

ยังไม่รวมค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้จากตัวเครื่องจักรจะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ประมาณ  $\pm 10\text{ }\mu\text{m}$ .

## 3. วิธีดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนการศึกษานั้นเริ่มต้นด้วยการนำชิ้นงานยางรองเท้ารถจักรยานยนต์ตัวอย่างมาทำการสแกนด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ 3 มิติ (3D laser scanner) เพื่อเข้าสู่กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอย หลังจากนั้นนำค่าพิกัดจุดที่ได้มาสร้าง solid modeling พร้อมตกแต่งพื้นผิวให้สวยงาม ดังภาพที่ 4 จากนั้นโปรแกรม CAD จะถูกนำมาออกแบบรายละเอียดเพื่อทำแม่พิมพ์ ซึ่งทั้งนี้รูปแบบภายในชิ้นงานจะมีรูทะลุผ่าน ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบตัวสไลด์ (slide) ขึ้นมาด้วย ซึ่งภายหลังจากได้แบบแบบจำลองชิ้นงาน (solid model) ที่เสร็จสมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว ถึงขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์ ทั้งนี้แบบแบบจำลองชิ้นงาน (solid model) ที่ได้นั้นจะถูกนำมาใช้เป็นค่าพิกัดต้นแบบเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการตรวจสอบด้วยชุดหัวโพรบสำหรับเครื่องจักร CNC รุ่น Renishaw MP700 (ในส่วนของ inline Inspection) และเครื่อง Portable arm CMM (ในส่วนของ offline inspection) ต่อไป



a.



b.

ภาพที่ 4 ชิ้นงานของยางรองเท้ารถจักรยานยนต์

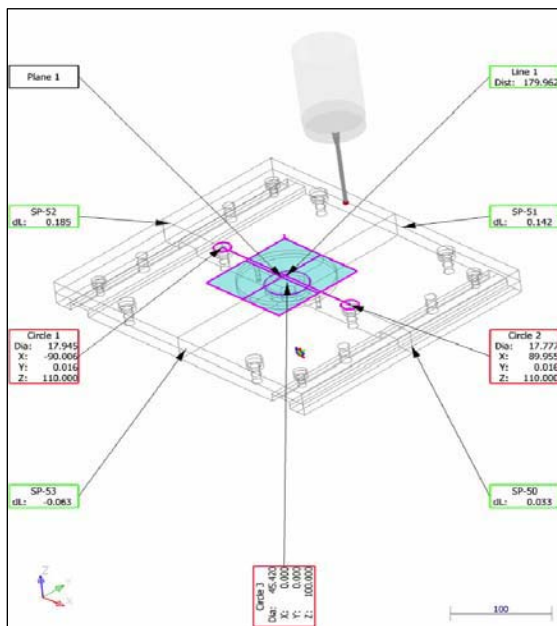
a. ชิ้นงาน b. แบบจำลอง

ในขณะที่ทำการผลิตแม่พิมพ์ยางรองเท้ารถจักรยานยนต์ตัวอย่างชุดหัวโพรบสำหรับเครื่องจักร CNC รุ่น Renishaw MP700 จะถูกนำมาใช้ตรวจสอบค่าพิกัดต่างๆ บนแม่พิมพ์ ซึ่งเรียกว่า “Inline Inspection หรือ In Process Data Inspection” และภายหลังจากการเสร็จสิ้นกระบวนการดังกล่าวแล้ว แม่พิมพ์จะถูกยกออกมาจากเครื่อง CNC milling (Chevalier 2040 VMC) จากนั้นเครื่อง Portable arm CMM ซึ่งใช้ร่วมงานกับโปรแกรม PowerInspection สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบและตรวจรับ จะถูกนำมาใช้ตรวจสอบแม่พิมพ์ในลักษณะเดียวกันกับชุดหัวโพรบ (inline Inspection) แต่จะแตกต่างกันตรงที่วิธีการตรวจสอบ กล่าวคือ การใช้ portable arm CMM นี้จะไม่สามารถตรวจสอบแม่พิมพ์ขณะทำการผลิตได้ และผลค่าพิกัดที่ได้จาก 2 วิธีดังกล่าวจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดจุดต้นแบบที่ได้สร้างไว้โดยโปรแกรมเขียนแบบ ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบจะถูกนำมาวิเคราะห์ผลพร้อมเขียนรายงาน นอกจากนี้ได้มีการนำแม่พิมพ์ที่ได้จากกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยมาประกอบบนเครื่องฉีดยางเพื่อการทดลองฉีดชิ้นงานจริงต่อไป

#### 4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดมีหลายจุดด้วยกันทำให้มีข้อมูลตัวเลขมากมายและเพื่อความสะดวกต่อการประมวลผล ทางคณะผู้วิจัยจึงได้เลือกเปรียบเทียบระยะพิคัดของแม่พิมพ์แผ่นเหล็กทรงเพียงชิ้นงานเดียว ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยพิจารณาในส่วนของคุณค่าความผิดพลาด (errors) ของอุปกรณ์ชุด Portable arm CMM และอุปกรณ์ชุด Touch probe ดังตารางที่ 1 และ ตามลำดับ

และจากตารางบันทึกผลที่ 1 และ 2 สามารถทำการสรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าระยะที่วัดได้จากอุปกรณ์ Portable Arm CMM และ Touch Probe บนเครื่อง CNC ดังแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 5 แม่พิมพ์แผ่นเหล็กทรง

ตารางที่ 1 Touch probe

วงกลมที่ 1 (circle 1)	Tolerance	Nominal	Measured	Deviation	Errors
	แกน x ( $\pm 0.10$ )	-90.000	-89.998	0.002	-
ศูนย์กลาง	แกน y ( $\pm 0.10$ )	0.000	-0.002	-0.002	-
	แกน z ( $\pm 0.10$ )	110.000	110.000	0.000	-
เส้นผ่านศูนย์กลาง	( $\pm 0.10$ )	17.500	17.990	0.490	<b>0.390</b>
วงกลมที่ 2 (circle 2)					
	แกน x ( $\pm 0.10$ )	90.000	89.965	-0.035	-
ศูนย์กลาง	แกน y ( $\pm 0.10$ )	0.000	-0.002	-0.002	-
	แกน z ( $\pm 0.10$ )	110.000	110.000	0.000	-
เส้นผ่านศูนย์กลาง	( $\pm 0.10$ )	17.500	17.940	0.440	<b>0.340</b>
วงกลมที่ 3 (circle 3)					
	แกน x ( $\pm 0.10$ )	0.000	0.000	-0.000	-
ศูนย์กลาง	แกน y ( $\pm 0.10$ )	0.000	0.000	-0.000	-
	แกน z ( $\pm 0.10$ )	100.000	100.000	-0.000	-
เส้นผ่านศูนย์กลาง	( $\pm 0.10$ )	45.000	45.038	0.038	-

ตารางที่ 2 Portable arm CMM

วงกลมที่ 1 (circle 1)	Tolerance	Nominal	Measured	Deviation	Errors
	แกน x ( $\pm 0.10$ )	-90.000	-90.006	-0.006	-
ศูนย์กลาง	แกน y ( $\pm 0.10$ )	0.000	0.016	-0.016	-
	แกน z ( $\pm 0.10$ )	110.000	110.000	0.000	-
เส้นผ่านศูนย์กลาง	( $\pm 0.10$ )	17.500	17.945	0.445	<b>0.345</b>
วงกลมที่ 2 (circle 2)					
	แกน x ( $\pm 0.10$ )	90.000	89.955	-0.045	-
ศูนย์กลาง	แกน y ( $\pm 0.10$ )	0.000	0.016	0.016	-
	แกน z ( $\pm 0.10$ )	110.000	110.000	0.000	-
เส้นผ่านศูนย์กลาง	( $\pm 0.10$ )	17.500	17.777	0.277	<b>0.177</b>
วงกลมที่ 3 (circle 3)					
	แกน x ( $\pm 0.10$ )	0.000	0.000	-0.000	-
ศูนย์กลาง	แกน y ( $\pm 0.10$ )	0.000	0.000	-0.000	-
	แกน z ( $\pm 0.10$ )	100.000	100.000	-0.000	-
เส้นผ่านศูนย์กลาง	( $\pm 0.10$ )	45.000	45.420	0.420	<b>0.320</b>

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าระยะที่วัดได้จากอุปกรณ์ Portable Arm CMM และ Touch Probe บนเครื่อง CNC

พิกัดตาม แบบ (มม.)		พิกัดที่วัดได้ (มม.)		% ของผลต่างระหว่าง พิกัดตามแบบ และ พิกัด ที่วัดได้		ค่าความผิดพลาดที่เกิน ค่าความคลาดเคลื่อนที่ ยอมรับได้ (มม.)	
		Portable Arm CMM	Touch Probe	Portable Arm CMM	Touch Probe	Portable Arm CMM	Touch Probe
วงกลม 1							
เส้นผ่านศก.	17.5	17.945	17.990	2.543	2.800	0.345	0.390
วงกลม 2							
เส้นผ่านศก.	17.5	17.777	17.940	1.582	2.514	0.177	0.340
วงกลม 3							
เส้นผ่านศก.	45	45.420	45.040	0.933	0.084	0.320	-

#### วิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 1: ผลการตรวจวัดระยะพิคัดด้วยอุปกรณ์ชุด touch probe บนเครื่องจักร CNC

ส่วนที่ 1 จะทำการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ชุด touch probe บนเครื่องจักร CNC ซึ่งเป็นการการตรวจสอบพิคัดจุดของแม่พิมพ์ โดยที่ไม่ต้องยกแม่พิมพ์ออกจากเครื่องกัด เรียกกระบวนการนี้ว่า "inline" เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในการเดินเครื่องจักรที่จะต้องป้อนเข้าไปในเครื่องจักร CNC เพื่อใช้ควบคุมกับโปรแกรม PowerInspect นั้นมีขนาดใหญ่มาก อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งค่าตัวแปรต่างๆ นั้นใช้เวลานานและก่อปรกับเครื่องจักร CNC ไม่สามารถหยุดสายการผลิตได้บ่อยครั้ง จึงเป็นเหตุทำให้ขั้นตอนการปฏิบัติงานเป็นไปด้วยความล่าช้า อย่างไรก็ตามในการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ชุดนี้จะต้องอาศัยทักษะและความเข้าใจโปรแกรมที่ใช้ควบคุมเครื่องจักร CNC (G-code) ด้วย เพื่อความปลอดภัยของชิ้นงานและตัวผู้ทำการปฏิบัติงาน ดังนั้นควรมีผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับวิธีการใช้เครื่องจักร CNC มาให้คำแนะนำขณะทำการตรวจวัด

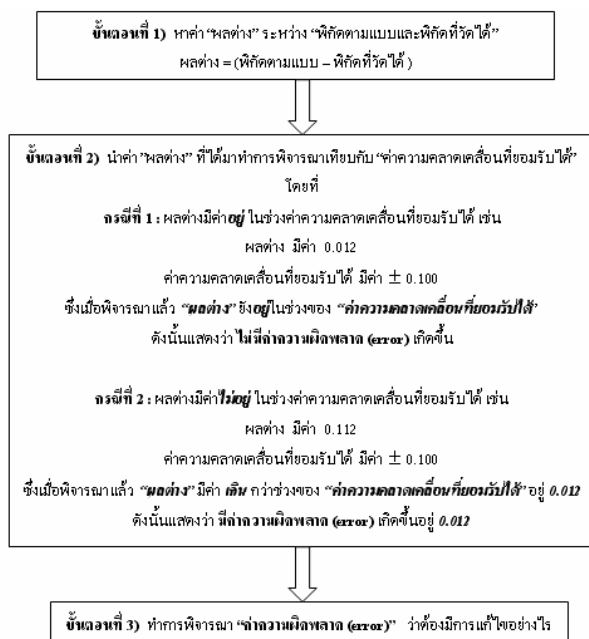
เนื่องจากแบบชิ้นงานที่ได้จากไฟล์ CAD ไม่สมบูรณ์ในเรื่องของโครงสร้างพื้นผิวจึงเป็นเหตุทำให้การตรวจวัดไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ กล่าวคือ หัวโพรบไม่สามารถหาระยะพิคัดและพื้นผิวบนชิ้นงานบางส่วนได้ จึงทำให้ค่าพิคัดที่วัดได้ไม่สามารถเปรียบเทียบ

กับค่าพิกัดจริงจากแบบจำลองชิ้นงาน (solid model) ความผิดพลาดจึงมีค่าสูง

ในตารางที่ 2 ได้แสดงถึงข้อผิดพลาดด้านพื้นผิวและระยะพิกัดที่ชัดเจนมากขึ้นและสัญลักษณ์ “xxxx” นั้นหมายถึง ค่าระยะพิกัดที่โปรแกรมไม่สามารถอ่านค่าได้ ซึ่งสามารถเป็นข้อกำหนดที่สำคัญอีกประการหนึ่งสำหรับการใช้งานด้วยอุปกรณ์ชุด touch probe บนเครื่องจักร CNC ว่าจะต้องมีการตรวจสอบพื้นผิวของแบบจำลองชิ้นงาน (solid model) ให้สมบูรณ์ก่อนที่จะทำการตรวจวัด และจากการทดลองแปลงไฟล์จากโปรแกรม CAD เพื่อที่จะส่งข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมการตรวจวัดระยะพิกัดทำให้ทราบว่าค่าจริงส่งไฟล์ในรูปแบบสกุลของ .IGES จะเหมาะสมที่สุด

## วิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 2: ผลการตรวจวัดระยะพิกัดด้วยอุปกรณ์ชุด portable arm CMM

ภายหลังการทดลองใช้งานอุปกรณ์ชุด portable arm CMM ในการตรวจวัดแม่พิมพ์พบว่ามีความสะดวกสบายและใช้งานง่ายกว่าอุปกรณ์ชุด touch probe บนเครื่อง CNC ซึ่งทั้งนี้ไม่คำนึงถึงค่าข้อมูลต่างๆ เช่นตัวเลข อาทิ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (tolerance) ของโปรแกรม PowerInspect ค่าความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดทั้ง 2 ชุด (ชุด portable arm CMM และ ชุด touch probe) และเครื่องจักร CNC เนื่องจากผลการทดลองในส่วนที่ 1 (ตรวจวัดด้วยชุด touch probe บนเครื่อง CNC) และส่วนที่ 2 (ตรวจวัดด้วยชุด portable arm CMM) เป็นข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม PowerInspect และประเด็นที่สำคัญของการวิเคราะห์ผลก็คือ “ค่าความผิดพลาด (errors) ” ที่เกิดขึ้น ซึ่งหาได้จากขั้นตอนในแผนภาพที่ 6 ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 6 แสดงขั้นตอนการพิจารณาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัด

จากขั้นตอนที่ 3) “ค่าความผิดพลาด (error) ” ที่เกิดขึ้น สามารถทำการแก้ไขได้โดยการเพิ่มช่วง “ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้” ให้กว้างขึ้นกล่าวคือ

“ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้” มีค่า ±0.100 อาจจะเพิ่มค่าเป็น ±0.200 ทำให้ค่า “ผลต่าง” (0.112) ยังอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

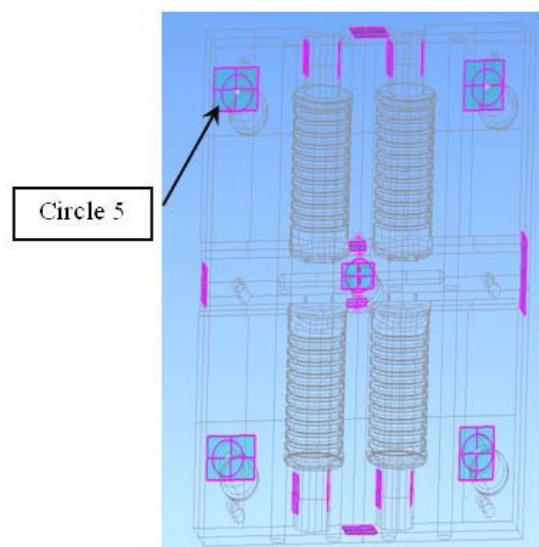
แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาด้วยว่าตำแหน่งของแม่พิมพ์ที่เกิดค่าความผิดพลาดนั้นเป็นส่วนที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อขนาดของผลิตภัณฑ์มากน้อยอย่างไร หากตำแหน่งดังกล่าวไม่สำคัญมากนักก็สามารถแก้ไขช่วงระยะค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ให้สอดคล้องกับค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น แต่ถ้าตำแหน่งนั้นเป็นส่วนที่สำคัญก็ต้องทำการแก้ไขแม่พิมพ์ใหม่ ดังนั้นสามารถสรุปการพิจารณาค่าความผิดพลาดได้ว่า

1. ถ้า “พิกัดตามแบบ” มากกว่า “พิกัดที่วัดได้” ต้องทำการเจาะรูขยายขนาดบนแม่พิมพ์ให้กว้างเท่ากับพิกัดตามแบบ
2. ถ้า “พิกัดตามแบบ” น้อยกว่า “พิกัดที่วัดได้” ต้องทำการพิจารณาแก้ไขค่าช่วงระยะค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

จากแนวทางการวิเคราะห์ข้างต้นทำให้สามารถแก้ไขและตรวจสอบระยะพิกัดได้อย่างมีระบบมากขึ้น ยกตัวอย่างดังตารางที่ 4 แสดงผลการตรวจวัดระยะวงกลมที่ 5 (ในภาพที่ 7) ของแม่พิมพ์ส่วนล่างด้วยเครื่อง portable arm CMM จากโปรแกรม PowerInspect

ตารางที่ 4 แสดงผลการตรวจวัดระยะแม่พิมพ์ส่วนล่าง

วงกลมที่ 5 (circle 5)	Tolerance	Nominal	Measured	Deviation	Errors
แกน X	( ±0.10)	-90.000	-89.928	0.072	-
ศูนย์กลาง	แกน Y ( ±0.10)	-7.100	-6.736	0.364	0.264
แกน Z	( ±0.10)	110.000	109.988	-0.012	-
เส้นผ่านศูนย์กลาง	( ±0.10)	22.000	22.113	0.113	0.013



ภาพที่ 7 แสดงตำแหน่งวงกลมที่ 5

จากข้อมูลในตาราง “จุดศูนย์กลางตามแนวแกน Y” และ “ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม” เกิด “ค่าความผิดพลาดที่เกินกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้” อยู่ 0.264 และ 0.13 มม. ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 6 แล้วจะพบว่า ตำแหน่งของวงกลมดังกล่าวไม่ส่งผลต่อขนาดของผลิตภัณฑ์และไม่ใช่ว่าจุดที่สำคัญของแม่พิมพ์ที่ต้องมีการควบคุมขนาดให้ตรงตามแบบ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นระยะพิสัยของตำแหน่งดังกล่าวจึงสามารถผ่อนปรนได้ตามความเหมาะสม

ถึงแม้ว่าอุปกรณ์ชุด portable arm CMM จะใช้งานได้ง่ายและสะดวกกว่าชุด touch probe แต่ถ้าพิจารณาในส่วนของการผลิตแม่พิมพ์แล้ว อุปกรณ์ชุด touch probe สามารถทำการตรวจวัดขณะทำการผลิตได้ทันทีและขีดความสามารถในการตรวจวัดได้จะสูงกว่า กล่าวคือ สามารถทำการตรวจวัดตำแหน่งบนแม่พิมพ์ซึ่งอุปกรณ์ชุด portable arm CMM ไม่สามารถทำได้และในกรณีที่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นสามารถทำการแก้ไขได้ทันที อีกทั้งยังไม่ต้องเสียเวลาโยกย้ายชิ้นงานรวมถึงทำการปรับตั้งค่าเริ่มต้นของทั้งเครื่องจักรและชิ้นงานใหม่

#### 4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถหาแนวทางเพื่อสร้างฐานความรู้ในกระบวนการตรวจสอบและตรวจรับแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

1. เริ่มต้นจากการกำหนดตำแหน่งที่ต้องการทำการตรวจวัดระยะพิสัยบนแม่พิมพ์ที่กำหนด
2. สร้างรูปแบบของเอกสารจัดเก็บข้อมูล (inspection data sheet) ที่มีเนื้อหาที่ง่ายต่อการเข้าใจ
3. ทำการตรวจสอบแม่พิมพ์ด้วยอุปกรณ์ที่เหมาะสม
4. หากมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจะต้องทำการพิจารณาสาเหตุที่ส่งผลให้ค่าตัวแปรต่างๆ ไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งแก้ไข

นอกจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (tolerance) จากการใช้โปรแกรมตรวจวัด ยกตัวอย่างเช่น โปรแกรม PowerInspect แล้วจะต้องคิดคำนวณ “ค่าความเที่ยงตรง” (uncertainty) ของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวัดด้วย เพื่อผลการตรวจวัดที่ถูกต้องและเชื่อถือได้

จากขั้นตอนสรุปแนวทางการตรวจวัดดังกล่าว ในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดนั้นนับว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมาก ทั้งนี้จะต้องเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดให้เหมาะสมโดยพิจารณาถึงระยะเวลาที่กำหนดจากผู้ว่าจ้างในการทำการตรวจวัดว่ามีระยะเวลานานเท่าไร รวมถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (tolerance) และค่าความเที่ยงตรงต่างๆ (uncertainty) ของเครื่องมือที่ใช้ด้วยว่าเคร่งครัดมากน้อยอย่างไร จึงจะสามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถลดค่าใช้จ่ายในการทำงานอีกด้วย

ภายหลังจากการทดลองตรวจวัดค่าพิสัยต่างๆ ทำให้ทราบว่าในทุกขั้นตอนของกระบวนการตรวจวัดแต่จำเป็นจะต้องคำนึงถึงค่าความผิดพลาด (errors) ที่เกินค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (tolerance) ที่จะเกิดขึ้นพร้อมกับจะต้องหาวิธีการป้องกันและแก้ไขข้อผิดพลาดดังกล่าวให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากที่สุดและก่อนที่จะทำการสรุปผลการศึกษาจำเป็นจะต้องทำการวิเคราะห์เหตุและผลของ

ผลลัพธ์เพื่อให้ได้มาซึ่งคุณภาพและความน่าเชื่อถือขององค์กรต่อไปในอนาคต

ภายหลังจากโปรแกรม PowerInspect ทำการเก็บข้อมูลพร้อมเปรียบเทียบค่าระยะพิสัยที่ได้จากการใช้อุปกรณ์ Touch probe บนเครื่อง CNC และจากเครื่อง portable arm CMM กับค่าที่ได้จากแบบจำลองชิ้นงาน (solid model) ทำให้ทราบผลว่า ชิ้นงานแม่พิมพ์จริงที่ได้จากการกระบวนการผลิตนั้นมีข้อผิดพลาดมากมายเกิดขึ้น จึงทำให้ขนาดและระยะต่างๆ บนชิ้นงานเกิดความคลาดเคลื่อน ซึ่งข้อผิดพลาดต่างๆ เหล่านี้ เกิดจากการใช้เครื่องจักรในการกัดและตกแต่งชิ้นงานจึงเป็นเหตุทำให้ค่าระยะที่ได้ไม่เป็นไปตามแบบจำลองชิ้นงาน (solid model) ที่ได้ออกแบบไว้ นอกจากนี้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ที่เกิดขึ้นนั้นมีตัวแปรที่สำคัญอีกประเภทหนึ่งคือ มาจากอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดทั้งสองประเภทข้างต้น

ในการรองรับการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศอุตสาหกรรม การผลิตที่มีการขยายตัวค่อนข้างสูงและยังคงมีความต้องการการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง คือ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมยานยนต์และอุตสาหกรรมยางซึ่งกำลังเป็นที่สนใจอยู่ในขณะนี้ ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะต้องใช้แม่พิมพ์เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการผลิต ในอดีตที่ผ่านมาการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ยังอาศัยความรู้จากประสบการณ์ของช่างแม่พิมพ์เป็นหลักทำให้ได้เครื่องมือที่มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร จึงเป็นเหตุทำให้ผลผลิตที่ออกมาได้รับผลตอบแทนที่ต่ำ ดังนั้นการพัฒนาอุตสาหกรรม ในสาขาเหล่านี้ที่สำคัญคือการยกระดับขีดความสามารถในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ที่มีคุณภาพให้สูงขึ้น เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิต

ในการดำเนินการดังกล่าวจำเป็นต้องนำเทคโนโลยีในการออกแบบและการผลิตแม่พิมพ์เข้ามาช่วยอย่างเหมาะสมเพื่อสร้างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมทันสมัยครบวงจรเพื่อตอบสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรมการผลิตได้ทันเวลา และที่สำคัญคือการช่วยยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับอุตสาหกรรมไทย

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

- สถาบันไทย-เยอรมัน (TGI) สำหรับทุนสนับสนุนผ่านโครงการการประยุกต์ใช้วิศวกรรมย้อนรอยสำหรับพัฒนาการออกแบบและการตรวจสอบแม่พิมพ์ยาง
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับทุนสนับสนุนผ่านโครงการ การประยุกต์ใช้วิศวกรรมย้อนรอยสำหรับพัฒนาการออกแบบและการตรวจสอบแม่พิมพ์ยาง
- ขอขอบคุณ
- คุณรุ่งธรรม ปัญญาวิภาต, คุณวัชรพงษ์ ชูแก้ว และคุณเสกสรรค์ วินยารักษ์กุล จากศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง (CERM) สถาบันค่นควาและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDIPT) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**เอกสารอ้างอิง**

- [1] Giovanna S. and Franco D., 2004. Three-dimensional optical measurements and reverse engineering for automotive applications, Robotics and computer-Integrated Manufacturing, V. 20, pp. 359-367.
- [2] Yu Zhang, Research into the engineering application of reverse engineering technology, Journal of Materials Processing Technology 139 (2003), pp. 472–475.