การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสแกน 3 มิติในกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยและการตรวจสอบมิติ

The Application of 3D Scanner Technology in Reverse Engineering Process and Inspection

ฉัตรชัย จันทร์เด่นดวง[1] ณรงค์ พิทักษ์ทรัพย์สิน[2] ประสิทธิ์ วัฒนวงศ์สกุล[3]
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
โทร 0-25646500 โทรสาร 0-25646370 E-mail: chatrcc@mtec.or.th[1] narongp@mtec.or.th[2] prasitw@mtec.or.th[3]

Chatrchai Chandenduang[1*] Narong Pitaksapsin[2] Prasit Wattanawongsakun[3]
National Metal and Materials Technology Center, 114 Thailand Science Park, Paholyothin Road,
Kolng 1, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand
Tel: 0-25646500 Fax: 0-25646370 E-mail: chatrcc@mtec.or.th[1] narongp@mtec.or.th[2] prasitw@mtec.or.th[3]

บทคัดย่อ

ปัญหาหลักในการทำวิศวกรรมย้อนรอยในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนคือการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติ (3D CAD model) ให้เหมือนกับชิ้นงานต้นแบบ เนื่องจากรูปร่างของชิ้นงานโดยทั่วไปจะมีความโค้งเว้าของพื้นผิวที่มีรัศมีความโค้งเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้การวาดแบบจำลองคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม CAD ทั่วไปเป็นไปได้ยากเนื่องจากไม่สามารถวัดมิติของชิ้นงานได้อย่างถูกต้องด้วยเครื่องมือวัดทั่วไป แบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่วาดได้จึงมีค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งส่งผลต่อเนื่องไปในขั้นตอนการทำแม่พิมพ์ การใช้เทคโนโลยีสแกน 3 มิติสามารถช่วยแก้ปัญหาการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติของชิ้นงานต้นแบบได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว และยังสามารถใช้ตรวจสอบมิติเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานด้วยกันหรือเปรียบเทียบกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (CAD file) โครงงานนี้เป็นการนำเทคโนโลยีสแกน 3 มิติมาแทนขั้นตอนการวาดแบบจำลองคอมพิวเตอร์ในกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยและได้ทดลองทำวิศวกรรมย้อนรอยของชิ้นงาน 5 ชิ้นได้แก่ เม้าส์คอมพิวเตอร์ หัวไม้กอล์ฟ กันชนรถยนต์ แม่พิมพ์ดุมล้อ EDM และหน้ากากโทรศัพท์มือถือ โดยผลผลิตสุดท้ายคือต้นแบบและแม่พิมพ์ ซึ่งได้ผลดีเป็นที่น่าพอใจ

Abstract

The main problem of doing reverse engineering of any part in the REM (replacement equipment manufacturer) industry is “how to get a 3D CAD model of that part without losing accuracy.” For the part that has complex surface shape, it is very difficult for an engineer or a technician to convert that part into a 3D CAD model by drawing it on CAD software and get the exact dimensions of that part. Because the radius of the curved surface of the part changes continuously, the engineer could not precisely measure it by using standard measuring tools. Consequently, the 3D CAD model that he has drawn is not correct. This leads to error in mold making process. Currently there is a technology called 3D scanner that is helpful for engineers to create a 3D CAD model of an existing part without lossing accuracy. In this paper, reverse engineering work is performed using a 3D scanner to produce a 3D CAD model in the reverse engineering process. Five parts, golf club head, car bumper, EDM die, computer mouse and mobile phone case, are selected as case studies. The final products are prototypes for the first three parts and dies for the left. This work is a pilot project to prove that 3D scanner can be applied in the reverse engineering process in the step of converting an existing part into a 3D CAD model. At addition, 3D scanner technology is also used for inspection by comparing the produced part to 3D CAD model.

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กที่ผลิตชิ้นส่วนทดแทน (REM part) จะต้องนำชิ้นส่วนจริงมาทำวิศวกรรมย้อนรอย ปัญหาหลักของผู้ผลิตชิ้นส่วนทดแทนคือการแปลงชิ้นส่วนจริงให้อยู่ในรูปแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติ (3D CAD model) เนื่องจากแบบจำลองคอมพิวเตอร์เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากในกระบวนการผลิตปัจจุบันที่ใช้

* Corresponding author

เครื่องจักรที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ การวาดแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของชิ้นงานด้วยโปรแกรม CAD ทั่วไปโดยวิศวกรหรือช่างเทคนิคทำได้ยากและไม่เที่ยงตรง เนื่องจากชิ้นงานส่วนใหญ่มีรูปร่างที่มีผิวโค้งมนที่มีรัศมีเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องไม่สามารถวัดขนาดได้อย่างถูกต้องด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐานทั่วไป ทำให้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่วาดได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากของจริง เมื่อนำแบบจำลองคอมพิวเตอร์นี้ไปออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ ทำให้ได้แม่พิมพ์ที่ไม่ถูกต้อง จึงต้องมีการแก้ไขแม่พิมพ์ ทำให้เสียเวลาในการผลิตและมีของเสียเกิดขึ้นได้

สำหรับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ทดแทนชิ้นใหญ่ จะนำชิ้นงานจริงมาขึ้นรูปเป็นแบบแม่พิมพ์โดยใช้วัสดุเป็นปูนพลาสเตอร์ จากนั้นนำแบบปูนพลาสเตอร์มากัดเป็นแม่พิมพ์โลหะด้วยเครื่อง copy milling แต่แบบปูนพลาสเตอร์มีข้อเสียคือบิดตัวได้ง่าย ดังนั้นแม่พิมพ์ที่กัดได้จึงไม่ถูกต้อง

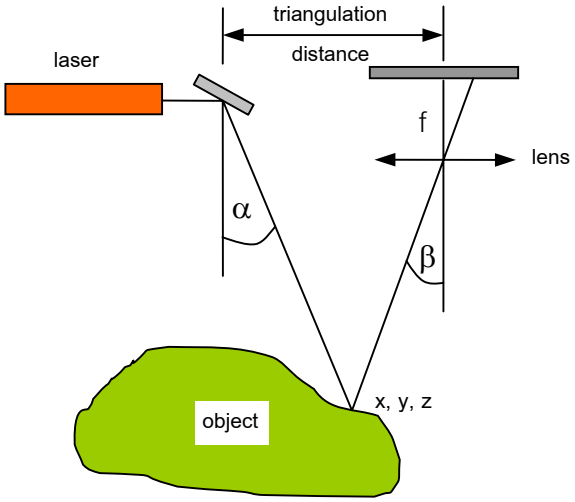
บทความนี้จึงนำเสนอกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยแบบใหม่ที่ใช้เทคโนโลยีสแกนเนอร์มาช่วยในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติจากชิ้นงานจริง และได้ทำการทดลองทำวิศวกรรมย้อนรอยของชิ้นงาน 5 ชิ้นได้แก่ 1. เม้าส์คอมพิวเตอร์ 2. หน้ากากโทรศัพท์มือถือ 3. กันชนรถยนต์ 4. หัวไม้กอล์ฟ และ 5. แม่พิมพ์ดุมล้อ EDM โดยผลผลิตจากการทดลองจะเป็นแบบแม่พิมพ์สำหรับสองชิ้นงานแรกและต้นแบบสำหรับสามชิ้นงานที่เหลือ นอกจากนี้ยังได้ใช้เทคโนโลยีสแกนเนอร์ในการตรวจสอบมิติของชิ้นงานที่ผลิตได้ โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ต้นแบบ

2. เทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติ

ปัจจุบันเทคโนโลยีสแกนเนอร์สามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทคือประเภทแบบสัมผัส (contact) และแบบไม่สัมผัส (non-contact) [1] อุปกรณ์แบบสัมผัสจะใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่าหัวแตะ (touch probe) ในการวัดมิติของพื้นผิวชิ้นงาน ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีนี้ได้แก่ เครื่องวัดพิกัด (coordinate measuring machine, CMM) เทคโนโลยีนี้มีการใช้งานในอุตสาหกรรมมาเป็นเวลานาน อุปกรณ์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันยังคงมีโครงสร้างพื้นฐานเหมือนเมื่อ 30 ปีที่แล้ว เพียงแต่มีชิ้นส่วนบางชิ้นที่มีความละเอียดเที่ยงตรงมากขึ้น มีฟังก์ชันการทำงานมากขึ้นและซอฟต์แวร์ที่ทันสมัยขึ้น [2] ข้อดีของเครื่องวัดพิกัดคือค่าที่วัดได้มีความละเอียดสูง (ค่าต่ำสุดประมาณ 1 ไมโครเมตร) ส่วนข้อเสียคือการสแกน หัวแตะต้องสัมผัสชิ้นงานอาจทำให้ชิ้นงานเสียหายได้ การสแกนเก็บข้อมูลจุดพิกัดทำได้ช้าและไม่สามารถสแกนชิ้นงานที่มีความนิ่มเช่นยางได้และที่มีรายละเอียดเล็กกว่าขนาดของหัวแตะ การสแกนต้องทำในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิเพื่อป้องกันการขยายหรือหดตัวของโครงสร้างเครื่อง และขนาดชิ้นงานถูกจำกัดด้วยโต๊ะทำงาน [3]

อุปกรณ์แบบไม่สัมผัสถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่กว่าและยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทย่อยคือแบบแสงเลเซอร์ (laser technology) และแบบกล้องถ่ายภาพ (optical technology) หลักการทำงานของทั้งสองแบบนี้จะคล้ายกันคือตัวเครื่องจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ (laser light) หรือแสงธรรมดาที่มีรูปแบบ (structured light) ฉายลงบนวัตถุและจะมีกล้อง CCD (charged coupling device) จับภาพและส่งมาประมวลผลในคอมพิวเตอร์โดยใช้หลักการคำนวณแบบสามเหลี่ยม (triangulation) [4] ดังรูปที่ 1 เพื่อคำนวณหาจุดพิกัดบนผิวของวัตถุ

เครื่องสแกนแบบไม่สัมผัสให้ค่าวัดที่มีความละเอียดสูงเช่นกัน (ค่าต่ำสุดประมาณ 2 ไมโครเมตร) [5] การสแกนทำได้เร็วกว่าเครื่องสแกนแบบสัมผัสหลายเท่าและได้ข้อมูลจุดพิกัดมากกว่า เนื่องจากการสแกนจะไม่สัมผัสชิ้นงาน ชิ้นงานจึงไม่เสียหายและสามารถสแกนชิ้นงานที่นิ่มได้ ข้อเสียของเครื่องสแกนแบบไม่สัมผัสคือไม่สามารถสแกนวัตถุที่มีสีดำและวัตถุที่มีผิวสะท้อนแสง แต่ข้อเสียนี้สามารถแก้ไขได้โดยการพ่นผงแป้งสีขาวด้านให้เคลือบผิวชิ้นงานบางๆ เพื่อทำให้วัตถุมีสีขาวและลดการสะท้อนแสง



รูปที่ 1 หลักการคำนวณจุดพิกัดแบบสามเหลี่ยม

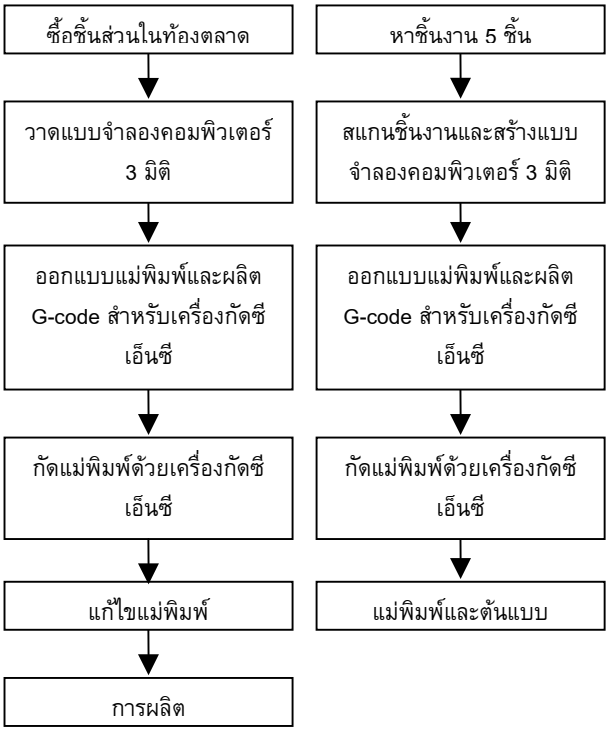
ในการทดลองนี้ได้ใช้เครื่องสแกนเนอร์ที่เป็นแบบกล้องถ่ายภาพ ข้อมูลที่ได้จากการสแกนจะอยู่ในรูปของกลุ่มของจุดพิกัด (point cloud) ซึ่งโปรแกรม CAD ทั่วไปยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง จะต้องใช้โปรแกรมวิศวกรรมย้อนรอย (reverse engineering software) แปลงข้อมูลจุดพิกัดเหล่านี้ให้เป็นข้อมูลแบบจำลองพื้นผิว (surface model) และอยู่ในรูปแบบไฟล์มาตรฐานเช่น IGES, STEP หรือ STL เพื่อโปรแกรม CAD ทั่วไปนำไปใช้งานต่อได้

นอกเหนือจากการช่วยสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติจากชิ้นงานจริงแล้ว เทคโนโลยีสแกนเนอร์ยังสามารถใช้ในงานควบคุมคุณภาพโดยช่วยตรวจสอบมิติของชิ้นงานที่ผลิตได้เทียบกับไฟล์แบบจำลองคอมพิวเตอร์ของชิ้นงานนั้นหรือตรวจสอบมิติระหว่างชิ้นงานที่ผลิตได้ด้วยกันเอง

3. กระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยแบบใหม่

ขั้นตอนในการทำวิศวกรรมย้อนรอยชิ้นส่วนแบบดั้งเดิม มีขั้นตอนดังรูปที่ 2 (ก) ส่วนการทำวิศวกรรมย้อนรอยแบบใหม่ที่ใช้ในการทดลองนี้ มีขั้นตอนดังรูปที่ 2 (ข) จะสังเกตเห็นว่าขั้นตอนการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติจากแบบดั้งเดิมเปลี่ยนมาประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสแกนเนอร์แทน ซึ่งมีหลักการในการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์จาก

ชิ้นงานจริงโดยเริ่มจากการนำชิ้นงานมาสแกนทั้งชิ้น ผลจากการสแกนจะได้ข้อมูลที่เป็นกลุ่มของจุดพิกัด (point cloud) ของพื้นผิวชิ้นงาน จุดพิกัดเหล่านี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ในโปรแกรม CAD ทั่วไปได้ จะต้องทำให้เป็นแบบจำลองพื้นผิว (surface model) ด้วยโปรแกรมวิศวกรรมย้อนรอย (reverse engineering software) แล้วแปลงเป็นรูปแบบไฟล์มาตรฐานเช่น IGES, STEP หรือ STL ที่โปรแกรม CAD ทั่วไปสามารถนำไปใช้งานต่อได้เช่นนำไปออกแบบเป็นแม่พิมพ์ เป็นต้น



(ก) (ข)

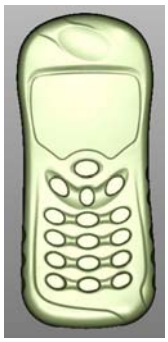
รูปที่ 2 (ก) ขั้นตอนการทำวิศวกรรมย้อนรอยแบบดั้งเดิม (ข) ขั้นตอนการทำวิศวกรรมย้อนรอยแบบใหม่

4. การทดลองและผลการทดลอง

การทำวิศวกรรมย้อนรอยแบบใหม่ด้วยการนำเทคโนโลยีสแกนเนอร์มาประยุกต์ใช้ ได้ทำการทดลองโดยใช้ชิ้นงาน 5 ชิ้นเป็นตัวอย่างได้แก่ เม้าส์คอมพิวเตอร์ หน้ากากโทรศัพท์มือถือ หัวไม้กอล์ฟ กันชนรถยนต์ แม่พิมพ์ดุมล้อ EDM ผลผลิตสุดท้ายที่ต้องการคือแบบแม่พิมพ์และต้นแบบของชิ้นงาน ขั้นตอนในการทำวิศวกรรมย้อนรอยจะดำเนินการตามขั้นตอนในรูปที่ 2 (ข) ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนดังแสดงในตัวอย่างหน้ากากโทรศัพท์มือถือดังนี้ ขั้นตอนแรกนำหน้ากากโทรศัพท์มือถือดังรูปที่ 3 (ก) มาสแกนด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ ซึ่งจะได้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติในรูปของจุดพิกัดดังรูปที่ 3 (ข) จากนั้นนำไฟล์แบบจำลองนี้มาทำเป็นแบบจำลองพื้นผิว (surface model) ด้วยโปรแกรมวิศวกรรมย้อนรอย (reverse engineering software) โดยทำการตกแต่งแบบจำลองให้พร้อมใช้งานในการออกแบบเป็นแม่พิมพ์ ได้แบบจำลองพื้นผิวดังรูปที่ 3 (ค) แล้วบันทึกเป็นไฟล์มาตรฐานเช่น ไฟล์ IGES หรือ STEP แล้วนำมาเปิดในโปรแกรม CAD/CAM จะได้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติดังในรูปที่ 3 (ง) นำแบบจำลองนี้มาออกแบบเป็นแม่พิมพ์ครึ่งซีกได้ดังรูปที่ 3 (จ) แล้วนำมาจำลองการกัดแม่พิมพ์ของเครื่องกัดซีเอ็นซีดังรูปที่ 3 (ฉ) และผลิต G-code และนำไปผลิตชิ้นงานจริงได้ดังรูปที่ 3 (ช)

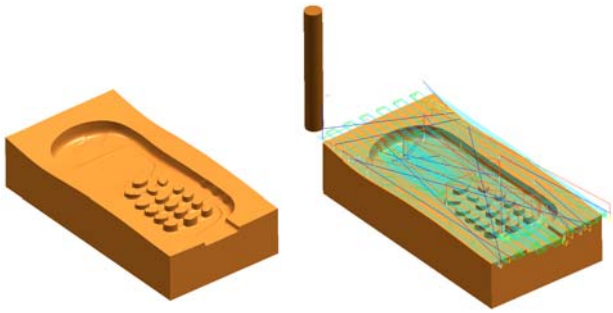
(ก)

(ข)



(ค)

(ง)



(จ) (ฉ)

(ช)

รูปที่ 3 แสดงรายละเอียดขั้นตอนการทำวิศวกรรมย้อนรอย

วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์และต้นแบบจะเป็นแวกซ์สำหรับงานกัดซึ่งมีขนาดจำกัด ดังนั้นแม่พิมพ์และต้นแบบบางชิ้นงานจึงมีการขยายและลดขนาดลงตามความเหมาะสม นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสแกนเนอร์ในการตรวจสอบมิติของชิ้นงาน รายละเอียดของการทดลองมีดังนี้

4.1 เม้าส์คอมพิวเตอร์

หลังจากสแกนและสร้างเป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติแล้ว นำแบบจำลองคอมพิวเตอร์มาออกแบบเป็นแม่พิมพ์ประกบด้วยโปรแกรม CAD/CAM และผลิต G-code สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซี โดยมีการขยายแบบแม่พิมพ์ให้ใหญ่ขึ้น 3 เปอร์เซ็นต์ แม่พิมพ์ที่ผลิตได้มีรูปร่างใกล้เคียงกับชิ้นงานจริง

รูปที่ 4 เม้าส์คอมพิวเตอร์และแม่พิมพ์ประกบที่ขยายใหญ่ขึ้น 3 %

4.2 หน้ากากโทรศัพท์มือถือ

หน้ากากโทรศัพท์มือถือได้ออกแบบเป็นแม่พิมพ์ครึ่งซีกด้วยโปรแกรม CAD/CAM และผลิต G-code สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซี แม่พิมพ์ที่ผลิตได้มีรูปร่างเหมือนกับชิ้นงานต้นแบบ

รูปที่ 5 หน้ากากโทรศัพท์มือถือพร้อมแม่พิมพ์

4.3 หัวไม้กอล์ฟ

ได้ออกแบบหัวไม้กอล์ฟเป็นต้นแบบด้วยโปรแกรม CAD/CAM และผลิต G-code สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซี โดยมีการขยายต้นแบบให้ใหญ่ขึ้น 5 เปอร์เซ็นต์ ต้นแบบที่ได้มีรูปร่างเหมือนกับชิ้นงานจริง ถึงแม้จะมีการขยายขนาดก็ตาม

รูปที่ 6 หัวไม้กอล์ฟพร้อมต้นแบบที่ขยายขนาดใหญ่ขึ้น 5%

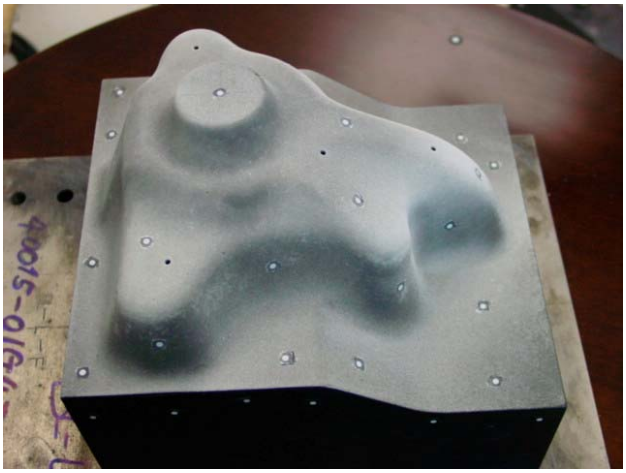
4.4 กันชนรถยนต์

กันชนรถยนต์ที่ทำจากไฟเบอร์กลาสมีขนาดประมาณ 90 ซม. นำมาสแกนและสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติ แล้วนำมาออกแบบเป็นต้นแบบด้วยโปรแกรม CAD/CAM และผลิต G-code สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซี ต้นแบบถูกลดขนาดลงเหลือ 17.5 เปอร์เซ็นต์เพื่อให้พอดีกับขนาดของก้อนแวกซ์ ต้นแบบที่ผลิตได้มีรูปร่างเหมือนกับชิ้นงานจริง

รูปที่ 7 กันชนรถยนต์และต้นแบบที่ลดขนาดลงเหลือ 17.5%

4.5 แม่พิมพ์ดุมล้อ EDM

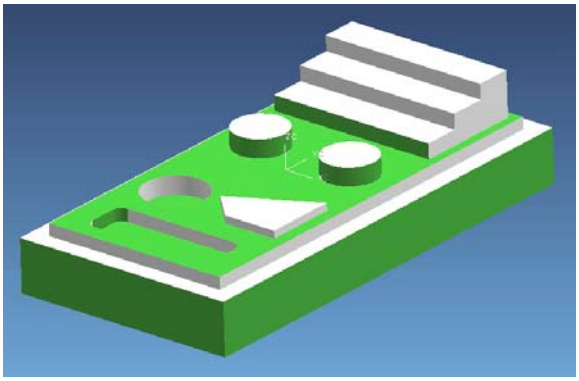
แม่พิมพ์ดุมล้อได้นำมาออกแบบเป็นต้นแบบด้วยโปรแกรม CAD/CAM และผลิต G-code สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซี โดยได้ลดขนาดของต้นแบบลงเหลือ 60 เปอร์เซ็นต์เพื่อให้พอดีกับขนาดของก้อนแวกซ์ ต้นแบบที่ผลิตได้มีรูปร่างเหมือนชิ้นงานจริง ถึงแม้จะถูกลดขนาดลงก็ตาม



รูปที่ 8 แม่พิมพ์ดุมล้อ EDM และต้นแบบที่ลดขนาดลงเหลือ 60%

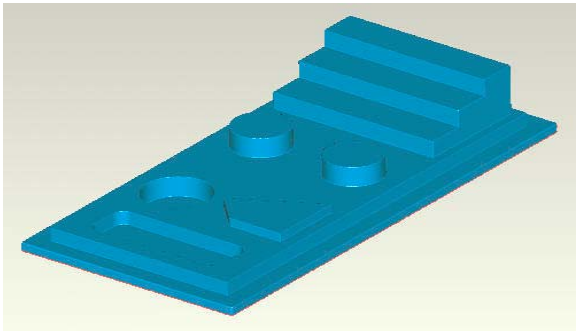
4.6 การตรวจสอบมิติชิ้นงาน

การทดลองนี้เป็นการทดลองการตรวจสอบมิติของชิ้นงานด้วยเทคโนโลยีสแกนเนอร์ การทดลองเริ่มจากการวาดแบบชิ้นงาน 3 มิติด้วยโปรแกรม CAD/CAM โดยใช้รูปทรงง่ายๆ เช่น ทรงกระบอก ทรงเหลี่ยม เป็นต้น ซึ่งได้เป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติดังรูปที่ 9 (ก) จากนั้นผลิต G-code สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีและกัดเป็นชิ้นงานขึ้นมาโดยใช้วัสดุเป็นเหล็ก ได้ชิ้นงานดังรูปที่ 9 (ข) แล้วนำชิ้นงานมาสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ ได้เป็นแบบจำลองจุดพิกัดของชิ้นงานดังรูปที่ 9 (ค) นำแบบจำลองจุดพิกัดไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 9 (ก)) โดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์เป็นจุดอ้างอิง (reference) ผลการเปรียบเทียบแสดงด้วยแถบสีแสดงความสูงต่ำ โดยหนึ่งแถบสีมีระยะห่างเท่ากับ 10 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 9 (ง) ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ ± 20 ไมโครเมตร

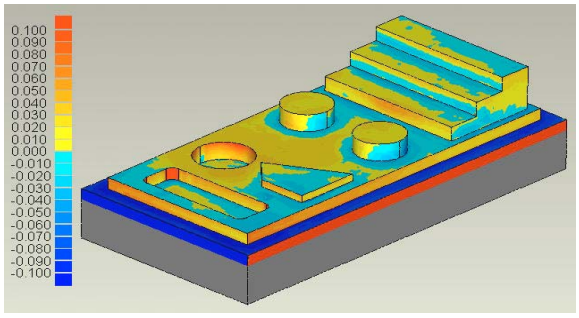


(ก)

(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 9 (ก) แบบจำลองคอมพิวเตอร์ของชิ้นงาน (ข) ชิ้นงานที่ผลิตจากแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (ค) แบบจำลองจุดพิกัดที่ได้จากการสแกน (ง) การเปรียบเทียบมิติระหว่างแบบจำลองคอมพิวเตอร์กับแบบจำลองจุดพิกัด

5. บทสรุป

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติในกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยสามารถทำได้ โดยเทคโนโลยีสแกนเนอร์สามารถช่วยในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติจากชิ้นงานจริง ซึ่งแบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่ได้มีมิติที่ถูกต้องมากกว่าการวาดแบบเองโดยใช้เครื่องมือวัดขนาดมาตรฐานทั่วไป ชิ้นงาน 5 ชิ้นที่ได้นำมาทดลองทำวิศวกรรมย้อนรอยให้ผลดีเป็นที่น่าพอใจ นอกจากนี้เทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติยังสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการผลิตได้ โดยการเปรียบเทียบขนาดของชิ้นงานกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์หรือเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานด้วยกันเองก็ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณดำรงค์ ถนอมจิตร คุณสมบูรณ์ อัศวพิชญโชติ และคุณวัชรากร สุศิวะ เจ้าหน้าที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้ความช่วยเหลือในการกัดชิ้นงานด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] http://www.geocities.com/bumbies/3d/choosescanner.htm

[2] http://www.qualitydigest.com/mar02/html/cmm.html

[3] http://www.timecompress.com/magazine/magazine

[4] http://w3.impa.br/~pcezar/3dp/original/realscan.pdf

[5] http://www.geomagic.com

[6] ฉัตรชัย จันทร์เด่นดวง ณรงค์ พิทักษ์ทรัพย์สิน และประสิทธิ์ วัฒนวงศ์สกุล, “การพัฒนาความสามารถด้านวิศวกรรมย้อนรอยในอุตสาหกรรม REM”, รายงานการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรม ฉบับสมบูรณ์, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, ปี พ.ศ. 2546