

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบ ผลิต และตรวจสอบ แม่พิมพ์สำหรับผลิตภัณฑ์ขวดน้ำ

An Application of Computer Aided Design/Manufacturing and Reverse Engineering for Blow Mould

ภาคภูมิ ธิติโรจนะวัฒน์^{1,2} ณัฐพล จันทรพาณิชย์^{2,4} พรพรม อุบลพงศ์^{1,2} ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ^{1,2,3*}
ชนะ รัศมิ์^{2,5} และคุณยุต เอี่ยมสะอาด^{1,3}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

⁴ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

⁵ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 *โทรศัพท์ 02-9427188 *โทรสาร 02-9427189 *E-mail: fengssr@ku.ac.th

Pakpoom Thitirojanawat^{1,2} Nattapon Chantarapanich^{2,4} Pornpohm Ubolpong^{1,2} and Supasit Rodkwan^{1,2,3*}
Chana Raksiri^{2,5} and Kunnayut Eiamsa-ard^{1,3}

¹Department of Electromechanic Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

²Center of Excellence of Rubber Mould, Research and Development Institute of Industrial Production Technology,
Faculty of Engineering, Kasetsart University

³Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

⁴Department of Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

⁵Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

Ladyao, Jatujak, Bangkok 10900 *Tel. 02-9427188 *Fax 02-9427189 *E-mail: fengssr@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอกระบวนการออกแบบ ผลิตและตรวจสอบสำหรับแม่พิมพ์ขวดน้ำ โดยการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ผลิต และวิศวกรรมย้อนรอย(Computer Aided Design/Manufacturing/Reverse Engineering, CAD/CAM/RE) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งจะทำให้การสร้างแบบจำลองสามมิติ (3D Modeling) ในคอมพิวเตอร์ทั้งการออกแบบขวดน้ำที่นำมาเป็นต้นแบบ และแม่พิมพ์ที่ทำการผลิต จากนั้นจึงใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณทางเดินของหัวกัด และสร้างรหัสจี (G-Code) เพื่อควบคุมเครื่องกัดอัตโนมัติ (Computer Numerical Control, CNC) ในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ แล้วจึงนำส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์มาประกอบ หลังจากนั้นจึงนำแม่พิมพ์ที่ได้จากการผลิตด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติมาทดสอบการเป่าขึ้นรูปขวดน้ำ และตรวจสอบความคลาดเคลื่อนทั้งในส่วนของการขึ้นรูปและการผลิต

และผลิตภัณฑ์ขวดน้ำที่ได้ นอกจากนี้ยังตรวจสอบปริมาตรบรรจุของขวดน้ำให้ได้ตามต้องการอีกด้วย ผลการดำเนินงานพบว่า แม่พิมพ์ขวดน้ำที่ได้จากงานวิจัยนี้มีขนาดที่คลาดเคลื่อนจากต้นแบบสามมิติในคอมพิวเตอร์เฉลี่ย $-0.399893/+0.170423$ มิลลิเมตร สำหรับแม่พิมพ์ประกอบบนและ $-0.322376/+0.219669$ มิลลิเมตร สำหรับแม่พิมพ์ประกอบล่าง โดยขวดน้ำที่ได้มีปริมาตรเฉลี่ย 612.226 ซีซี ตามเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นกระบวนการที่นำเสนอข้างต้นนี้จึงเป็นประโยชน์ สำหรับอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ขวดน้ำและงานวิจัยด้านแม่พิมพ์ในอนาคต รวมถึงผู้สนใจ เพื่อเป็นกรณีศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบ ผลิต และเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยสำหรับแม่พิมพ์ต่อไป

Abstract

This research presents the process of design, manufacturing and inspection process for blow molding using Computer Aided Design/Manufacturing (CAD/CAM) and Reverse Engineering (RE) which applied the technology to create 3D-Modelling of the bottle product and mold, then the research use the computer program to make the tool path and G-code for send to control CNC-Milling Machine.

After parts are machined, they were composed and tested by blowing up bottles and inspected for the error. There are two kinds of errors, one is dimension error and the other is volume error. Both errors are compared with 3D-Modelling in program. The mold has an error $-0.399893/+0.170423$ mm. The bottles, which blown out from the mold, have dimension error about $-0.322376/+0.219669$ mm. by average and the average volume is 612.226 cc. which gave the volume error 2.774 cc., also the physical inspections found out bottles are acceptable.

According to above the research is useful for the mold industry, any farther mold research, also for other interest, in case for study about an application of computer aided design/manufacturing and reverse engineering for drinking water product.

1. บทนำ

กระบวนการขึ้นรูปโดยการเป่า [1] ปัจจุบันกลายเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวค่อนข้างรวดเร็วทั้งในตลาดของประเทศไทยและต่างประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากตลาดของสินค้าที่นำมาบรรจุนั้นมีการแข่งขันกันค่อนข้างสูงและรุนแรง ซึ่งสินค้าที่บรรจุจากผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปจากการเป่านั้นจะเหมือนกันแต่จะต่างกันในด้านของรูปทรงและการออกแบบผลิตเพื่อดึงดูดใจของผู้ซื้อ การออกแบบรูปทรงที่ดูแล้วสะดุดตา มีความทันสมัย มีความคงทน และใช้งานง่าย มักจะได้รับความนิยมจากผู้ซื้อถึงแม้ว่าสินค้าภายในจะเหมือนกันก็ตาม แต่ผู้ขายสามารถเพิ่มมูลค่าของสินค้าได้อีกเท่าตัว

ปัจจุบันตลาดของเครื่องเป่าขวดได้มีการพัฒนาและแข่งขันกันทั้งด้านคุณภาพและราคา โดยนำเทคโนโลยีอันทันสมัยเข้ามาช่วยในการผลิตเพื่อให้ได้คุณภาพในการผลิตที่ดีขึ้นและสามารถผลิตได้ในจำนวนมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งทำให้ผู้ผลิตต้องทำการผลิตผลิตภัณฑ์จำนวนมากเพื่อให้มีความคุ้มทุนกับการผลิต โดยตัวอย่างอุตสาหกรรมที่ใช้ขวดที่ขึ้นรูปโดยการเป่า เช่น อุตสาหกรรมอาหาร ของเล่นเด็ก ขนส่ง เครื่องประดับตกแต่งบ้าน และอุตสาหกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ขวดน้ำชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) จะมีอยู่ 4 ข้อ [2] ได้แก่

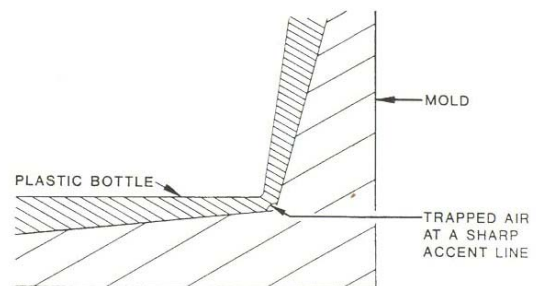
1. ค่าสัดส่วน (Blow up Ratio) ซึ่งต้องมีอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความสูงของขวดประมาณ 5:1 ถ้าค่าสัดส่วนต่ำจะส่งผลให้มีความหนืดมาก ขวดที่ก้นขวดหนักและมีค่าสัดส่วนสูงจะต้องเพิ่มน้ำหนัก และใช้เวลาในการเย็นตัวมากขึ้น แต่จะมีความแข็งแรงน้อย

หรือไม่แข็งแรงเลย

2. ค่ารัศมี ค่าความเอียง ขวดที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม, ผิวเรียบ และมีมุมขวดแหลม จะให้สมรรถภาพแบบรูปทรงลูกบาศก์ ซึ่งไม่เหมาะสม ค่าความหนาของผนังควรแตกต่างกันในแต่ละจุด มิฉะนั้นจะทำให้บริเวณมุมที่มีค่าความหนาจะน้อยจะไม่แข็งแรง และบริเวณผิวขวด (ระหว่างมุมทั้งสอง) จะหนาเกินไป สาเหตุเหล่านี้อาจเกิดจากการหล่อเย็นไม่ดี หรือค่าความหดตัวแต่ละจุดไม่เท่ากัน

3. เส้นแหลมจะส่งผลให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับช่องอากาศ อากาศนี้จะก่อให้เกิดโมเมนต์ระหว่างพื้นผิวแม่พิมพ์ และแรงดันของพลาสติกในทิศทางตรงข้ามกัน จะทำให้ผิวพลาสติกบริเวณเส้นผิวดกด และลดสมรรถภาพในการต้านทานแรงกระแทกดังแสดงในภาพที่ 1

4. พยายามหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในทางพื้นผิวและภาคตัดขวาง



ภาพที่ 1 บริเวณที่เกิดช่องอากาศ [2]

นอกจากนี้การออกแบบขวดน้ำตามทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้ว การออกแบบแม่พิมพ์ที่มีมาตรฐานสามารถใช้ในการขึ้นรูปขวดน้ำได้ตามแบบที่วางไว้ก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน โดยทั่วไปแล้วการออกแบบแม่พิมพ์ต้องคำนึงถึงขนาดและชนิดของเครื่องเป่า ชนิดของพลาสติกที่ใช้ในการทำขวดน้ำ ค่าแรงบิดแม่พิมพ์ซึ่งจะมีผลถึงขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงของแม่พิมพ์ ขนาดของแผ่นแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ ตลอดจนการกำหนด ลักษณะของแม่พิมพ์ รวมถึงระบบหล่อเย็น และระบบปลดชิ้นงาน ซึ่งการออกแบบให้ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ให้มีความเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูป จะส่งผลให้แม่พิมพ์ที่ออกแบบสามารถนำไปเป่าขึ้นรูปขวดน้ำที่สมบูรณ์ได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเป็นกรณีศึกษาของผลิตภัณฑ์ขวดน้ำดื่มตราเกษตร ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มาศึกษาการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design, CAD) มาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ (3D Modeling) ของขวดน้ำและแม่พิมพ์ ก่อนที่จะสร้างแม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตจริง และผลิตขวดน้ำโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing, CAM) ตามทฤษฎีที่มีอยู่ เพื่อทดแทนการออกแบบที่อาศัยประสบการณ์และการลองผิดลองถูก (Trials and Errors) ซึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดระหว่างกระบวนการผลิตได้ นอกจากนี้ยังมีการนำเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering) มาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแม่พิมพ์และผลิตภัณฑ์เพื่อควบคุมคุณภาพในกระบวนการขึ้นรูปขวดน้ำอีกด้วย

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การออกแบบผลิตภัณฑ์ขวดน้ำ

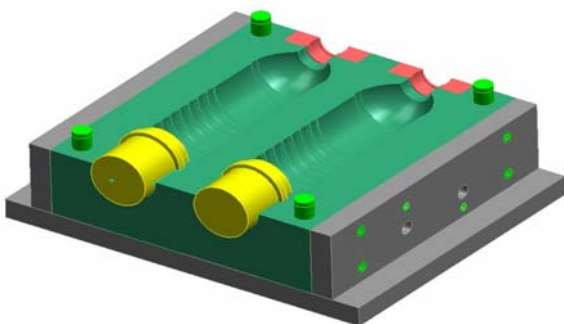
ในงานวิจัยจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ Unigraphics NX2 ในการออกแบบขวดน้ำตามหลักการข้างต้น โดยขวดน้ำมีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความสูงของขวดที่ 3.4 ไม่มีลักษณะรูปร่างขวดที่ให้สมรรถภาพแบบรูปทรงลูกบาศก์และการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในทางพื้นผิวและภาคตัดขวาง เช่น ขอบเหลี่ยม เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แบบจำลองสามมิติของขวดน้ำที่ได้จากการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Unigraphics NX2

2.2 การออกแบบแม่พิมพ์

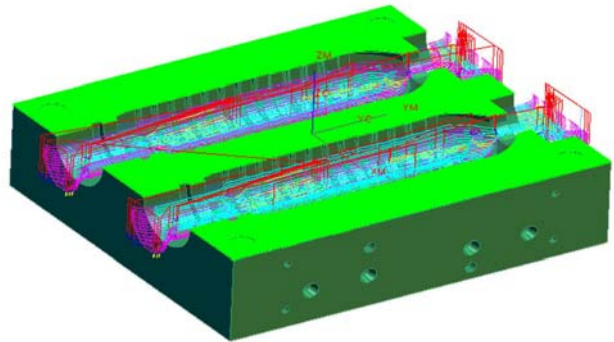
ในการออกแบบแม่พิมพ์จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต Unigraphics NX2 ร่วมกับตัวช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์อัตโนมัติ (Mould Wizard) เพื่อช่วยในการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิมพ์ คำนวณปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการผลิตคืออลูมิเนียมซึ่งเป็นวัสดุในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ และเหล็กกล้าซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบในการรับแรงขณะเปิด-ปิดแม่พิมพ์ ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการไว้ โดยแม่พิมพ์ที่ได้จากการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตที่สมบูรณ์ได้ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แบบจำลองสามมิติของแม่พิมพ์เป่าผลิตภัณฑ์ขวดน้ำที่ได้จากการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Unigraphics NX2

2.2 การออกแบบและขึ้นรูปแม่พิมพ์

หลังจากที่ได้แบบจำลองสามมิติตามต้องการแล้วจะนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต Unigraphics NX2 มาใช้วิเคราะห์เส้นทางเดินของหัวกัด (Tool Path) และจำลองสภาวะการกัดของแม่พิมพ์ ก่อนเพื่อสร้างรหัสจี (G-Code) ดังแสดงในภาพที่ 4 เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องกัดอัตโนมัติ โดยงานวิจัยจะใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี CHECALIER 2040 ในขึ้นรูปแม่พิมพ์ดังแสดงในภาพที่ 5-7 จากนั้นแม่พิมพ์ที่ได้จากการกัดจะนำมาปรับแต่งและประกอบส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์โดยใช้อุปกรณ์งานช่างพื้นฐานเพื่อความสะดวกสมบูรณ์ยิ่งขึ้นดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 4 การจำลองเส้นทางเดินของหัวกัดและสภาวะการกัดของแม่พิมพ์เพื่อสร้างรหัสจีโปรแกรม Unigraphics NX2



ภาพที่ 5 การขึ้นรูปแม่พิมพ์ด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ



ภาพที่ 6 การเจาะรูแผ่นประกอบแม่พิมพ์ด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี



ภาพที่ 7 แม่พิมพ์ที่ได้รับการประกอบส่วนต่างๆ ที่พร้อมใช้งาน

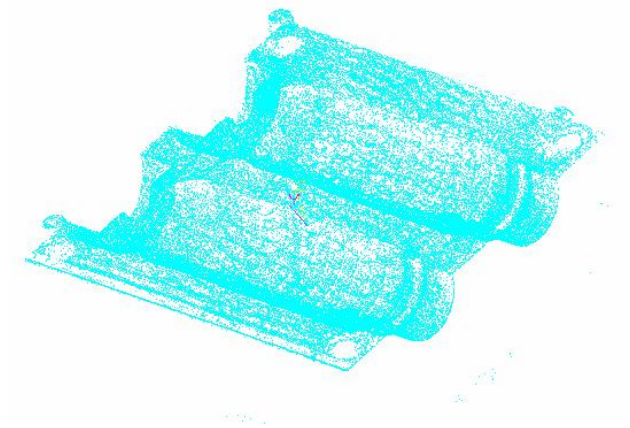
2.3 การตรวจสอบแม่พิมพ์และผลิตภัณฑ์ขวดน้ำ

นำแม่พิมพ์ที่ได้จากการขึ้นรูปโดยเครื่องกัดอัตโนมัติมาตรวจสอบขนาดในส่วนต่างๆ เพื่อศึกษาถึงความคลาดเคลื่อน (Error) ของพื้นผิวจากแบบ CAD ที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น [3] โดยจะใช้นาเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยซึ่งจะใช้เครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์ (3D Laser Scanner) ดังแสดงในรูปที่ 8 มาทำการเก็บพิกัดทางขนาดและรูปร่างของแม่พิมพ์ที่ได้มาในรูปของกลุ่มพิกัดจุด (Cloud of Points) ทั้งในส่วนของแม่พิมพ์ประกอบบนและประกอบล่าง (Upper and Lower Mold) ดังแสดงในภาพที่ 9 จากนั้นจึงนำกลุ่มพิกัดจุดดังกล่าวมาสร้างพื้นผิวสามเหลี่ยม (Polygon) โดยใช้หลักการการเชื่อมจุดเข้าด้วยกันดังแสดงในภาพที่ 10 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับแบบจำลองสามมิติที่ออกแบบไว้ข้างต้น โดยนำพื้นผิวทั้งสองมาซ้อนทับกันโดยใช้กระบวนการหาตำแหน่งที่ซ้อนทับกันสนิทที่สุด (Best Fit) ดังแสดงในภาพที่ 11 หากพบว่ามีความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวมาก จำเป็นต้อง

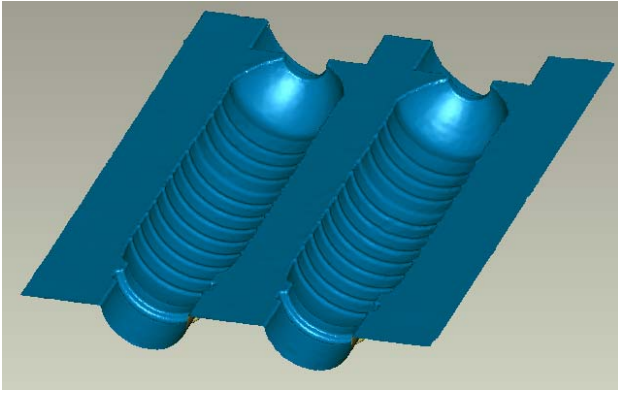
ดำเนินการแก้ไขเพื่อให้ขวดน้ำที่ได้จากแม่พิมพ์ มีความถูกต้องอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ก่อนที่จะนำมาติดตั้งและทดสอบการผลิตขวดน้ำในเครื่องเป่า MEGA (Semi-auto Bottle Blower) เพื่อขึ้นรูปขวดน้ำและทดสอบการผลิตขวดน้ำจากแม่พิมพ์ดังกล่าวดังแสดงในภาพที่ 12 และ 13 จากนั้นจึงนำขวดน้ำที่ได้มาตรวจสอบหาปริมาตรบรรจุโดยมีปริมาตรเฉลี่ยให้อยู่ในเกณฑ์ 615 ± 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และตรวจสอบขนาดทางกายภาพของขวดน้ำโดยเครื่องมือวัดชนิดเวอร์เนียแคลิเปอร์ เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากพิกัดแบบที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น



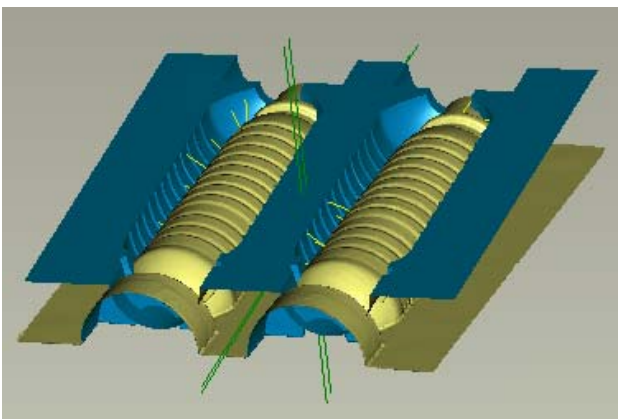
ภาพที่ 8 การเก็บพิกัดแม่พิมพ์ด้วยเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ



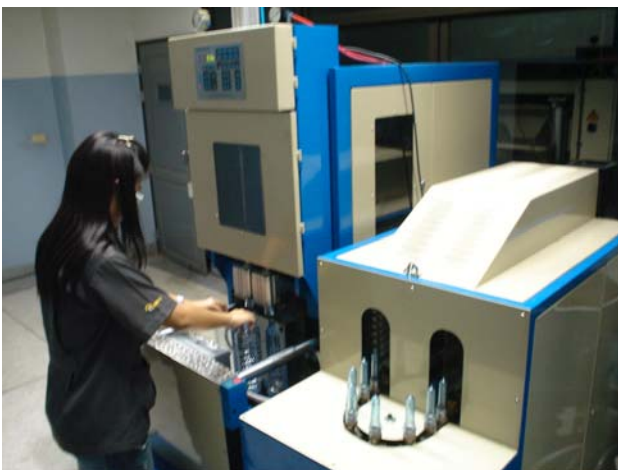
ภาพที่ 9 กลุ่มพิกัดจุดที่ได้จากเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์



ภาพที่ 10 พื้นผิวสามเหลี่ยมที่ได้จากการเชื่อมกลุ่มพิกัดจุดเข้าด้วยกัน



ภาพที่ 11 กระบวนการหาตำแหน่งซ้อนทับที่สนิทที่สุดระหว่างแบบ CAD และผิวชิ้นงานที่ได้จากวิศวกรรมย้อนรอย



ภาพที่ 12 การติดตั้งและทดสอบแม่พิมพ์ด้วยการเป่าขึ้นรูปผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 13 ขวดน้ำที่ได้จากการเป่า

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต

จากนำเทคโนโลยีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต รวมถึงการนำเครื่องก๊อตมาประยุกต์ในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์จะได้แม่พิมพ์ที่สามารถใช้งานกับเครื่องเป่าขวดพลาสติกเพื่อผลิตขวดน้ำได้ดังแสดงในภาพที่ 14



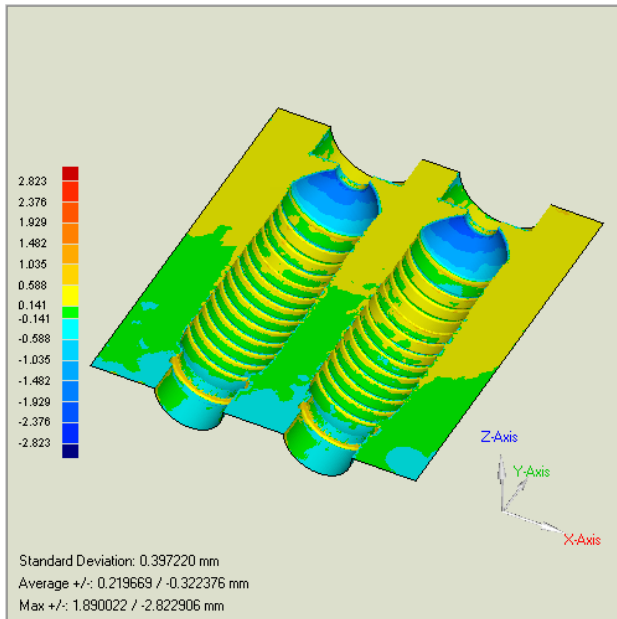
ภาพที่ 14 แม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการฉีดขวดน้ำพลาสติก

3.2 ผลการนำเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยมาใช้ในการตรวจสอบแม่พิมพ์

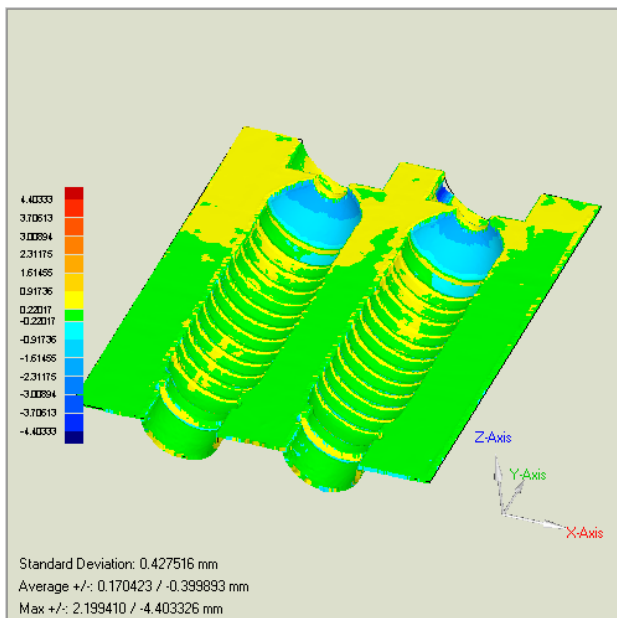
จากการนำเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยมาใช้ในการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของแม่พิมพ์สามารถแสดงผลค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้ดังในตารางที่ 1 และภาพที่ 15 และ 16

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนของแม่พิมพ์

ชิ้นงาน	ค่าความคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิเมตร)
แม่พิมพ์ประกอบบน	+0.170423	0.397220
	-0.399893	
แม่พิมพ์ประกอบล่าง	+0.219669	0.427516
	-0.322376	



ภาพที่ 15 ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนด้วยวิศวกรรมย้อนรอย



ภาพที่ 16 ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนด้วยวิศวกรรมย้อนรอย

3.2 ผลการทดสอบการเป่าเพื่อผลิตขวดน้ำ

จากการทดสอบการเป่าพบว่าขวดน้ำที่ได้พบว่าขวดน้ำที่ได้มีขนาดและรูปร่างตามต้องการ ซึ่งจากการตรวจสอบขวดน้ำโดยใช้เครื่องมือวัดชนิดเวอร์เนียร์แคลิเบเปอร์ปรากฏว่าขนาดในส่วนต่างๆ มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ได้กำหนดไว้ นอกจากนี้การทดสอบการบรรจุปริมาตรน้ำจากขวดจำนวน 6 ขวดพบว่ามีความเฉลี่ยอยู่ที่ 612.226 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.569) ซึ่งเข้าอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้ (615 ± 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยลักษณะของขวดน้ำที่ได้จากการเป่าสามารถแสดงได้ในภาพที่ 17

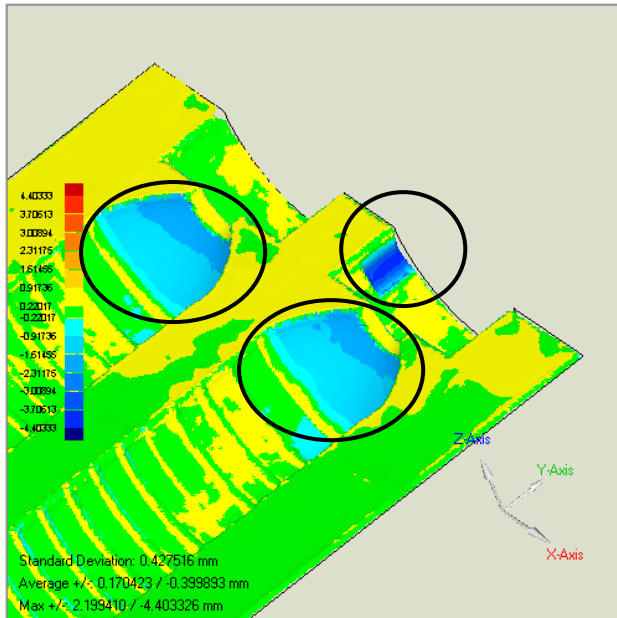


ภาพที่ 17 ขวดน้ำสำเร็จรูปที่ได้จากการฉีด

4. วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่ากระบวนการออกแบบขวดน้ำที่มีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความสูงของขวดที่ 3.4 และมีรูปทรงเป็นไปตามหลักการการออกแบบขวดน้ำที่ขึ้นรูปโดยการเป่าและผลิตกันซ์ขวดน้ำโดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) นั้นส่งผลให้การออกแบบแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) และกระบวนการผลิตระหว่างกระบวนการเป่าไม่เกิดความซับซ้อนทางทางการผลิต นอกจากนี้กระบวนการตรวจสอบ (Inspection Process) ในส่วนของแม่พิมพ์ที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC) โดยใช้เทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยพบว่าความคลาดเคลื่อนโดยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่มีผลจากการใช้อุปกรณ์งานช่างพื้นฐานเพื่อปรับแต่งพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ให้มีความเรียบซึ่งอาจทำให้เนื้อวัสดุบางส่วนหายไปดังแสดงในภาพที่ 18 ซึ่งในส่วนนี้เนื้อวัสดุหายไปปริมาณมากทางผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขโดยนำวัสดุมาเติม ณ ตำแหน่งที่ว่างแล้วเชื่อมติดกัน โดยข้อดีของการแสดงผลความคลาดเคลื่อนเป็นแผนภาพสี (Contour) และค่าในเชิงคณิตศาสตร์ (Numerical Values) ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรมย้อนรอย (CARE) สามารถระบุตำแหน่งที่มีความผิดพลาดเพื่อใช้ในการแก้ไขแม่พิมพ์ก่อนนำไปใช้งานในกระบวนการผลิตต่อไป ได้ดีทั้งการใช้เครื่องมือวัดพื้นฐานทั่วไป เช่น เวอร์เนียแคลิเบเปอร์ ได้

โดยการตรวจสอบโดยใช้เทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยนั้นเป็นการตรวจสอบแบบความคลาดของผิวต่อผิวซึ่งนับว่ามีความละเอียดกว่ามาก ส่วนในการตรวจสอบรูปร่างของขวดน้ำและปริมาตรการบรรจุนั้นพบว่ามีความผิดพลาดทางด้านขนาดและรูปร่างและการบรรจุปริมาตรน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 612.226 ลูกบาศก์เซนติเมตรอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้



ภาพที่ 18 ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนด้วยวิศวกรรมย้อนรอย

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าเวลาที่ใช้ในการเก็บพิกัดสามมิติเพื่อตรวจสอบแม่พิมพ์ขวดน้ำนั้นใช้เวลานานเนื่องจากคุณสมบัติของเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์ที่สามารถเก็บกลุ่มพิกัดจุดได้ทีละน้อย[4] แต่ถ้านำเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติก (3D Optical Scanner) มาใช้แล้วจะช่วยลดเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบได้มากขึ้นเนื่องจากเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติกจะเก็บพิกัดพื้นผิวได้ทีละมากๆ อย่างไรก็ตามการตรวจสอบด้วยเครื่องชนิดนี้จะสามารถใช้กับพื้นผิวที่ไม่ซับซ้อนมาก ดังนั้นหากต้องการตรวจสอบแม่พิมพ์ที่มีพื้นผิวที่ซับซ้อนและมีรายละเอียดมากกว่าแล้วควรใช้เครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์ร่วมด้วยกับหัวแตะสัมผัส (Touch Probe) เพื่อให้ได้ผลที่ดียิ่งขึ้น [3]

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่ากระบวนการออกแบบแม่พิมพ์และผลิตภัณฑ์ขวดน้ำโดยการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (CAD/CAM) ตามหลักการของการออกแบบขวดน้ำและแม่พิมพ์สำหรับเป่าข้างต้นนั้น ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขวดน้ำที่ได้มีมาตรฐาน และสามารถลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้น มากกว่าที่จะใช้ประสบการณ์และการลองผิดลองถูก (Trials and Errors) ซึ่งอาจก่อให้เกิดการออกแบบรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อน และก่อให้เกิดความยุ่งยากในกระบวนการผลิต

(Manufacturing Critical Complication) ได้ นอกจากนี้การเลือกใช้เทคโนโลยีการตรวจสอบที่เหมาะสมจะสามารถทำให้เกิดการควบคุมคุณภาพ (Quality Control) ของขวดน้ำได้เป็นอย่างดี ดังนั้นกระบวนการที่นำเสนอข้างต้นนี้จึงเป็นประโยชน์ สำหรับอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ขวดน้ำและงานวิจัยด้านแม่พิมพ์ในอนาคต รวมถึงผู้สนใจ เพื่อเป็นกรณีศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบผลิตและเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยสำหรับแม่พิมพ์ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาไฟฟ้าเครื่องกลการผลิตและ สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDIPt) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับงบประมาณเครื่องมือ และอุปกรณ์ รวมถึงคำแนะนำในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตรายการผลิตทางอุตสาหกรรม ทำเนียบผลิตภัณฑ์สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม, 2549.
- [2] Lee, Norman C., *Blow Molding Design Guide*.(1998) Carl Hanser Verlag, München, Germany.
- [3] ณัฐพล จันทราพานิช ชนะ รัชศิริ ศรีสิทธิ์ เจริญบุตร และศุภสิทธิ์ รอดขวัญ, วิศวกรรมย้อนรอยในงานสร้างแบบกึ่งหุ่นยนต์กำลังสามมิติ การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, ภูเก็ต, 2547.
- [4] Chantarapanich N., S. Rodkwan S., C. Chandenduag, K. Sengpanich and S. Wanchat, *An Investigation of Reverse Engineering Techniques: 3D Laser System and 3D Optical System*, The 45th Annual Kasetsart University Conference, Bangkok, Thailand, 2007.