

การแก้ไขปัญหารอยเชื่อมบนชิ้นงานปุ่มกดทำจากวัสดุ ABS ด้วยวิธีการเพิ่มและลดอุณหภูมิแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว

SOLVING WELD LINE PROBLEM OF PUSH BOTTOM PARTS MADE FROM ABS MATERIAL WITH RAPID HEATING AND COOLING OF MOLD TEMPERATURE

กิตติศักดิ์ บุญเปล่ง

นักศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Email : boonplaing213@gmail.com

รองศาสตราจารย์สถาพร ชาดาคม

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Email : sck@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

ในการเพิ่มคุณภาพของชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีดพลาสติก วิธีหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหารอยเชื่อมประสาน (Weld Line) และเพิ่มคุณภาพให้กับผิวชิ้นงานพลาสติกให้ดีขึ้น โดยใช้ระบบการหล่อร้อนและหล่อเย็นแม่พิมพ์แบบรวดเร็ว (Rapid Heat and Cool System) ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกโดยการหล่อร้อนให้แม่พิมพ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วถึงอุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g) ในขณะที่ฉีดเติมเนื้อพลาสติก เข้าเข้าพิมพ์ (Cavity) และทำการหล่อเย็นชิ้นงานพลาสติกอย่างรวดเร็วเพื่อลดปัญหาของรอยเชื่อมประสานบนชิ้นงานพลาสติก ในการทดลองนี้จะใช้ชิ้นงานต้นแบบเป็นปุ่มกดปลดลิคเบรคมือรถยนต์ มีความหนา 2.3 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่า ในวัฏจักรการหล่อร้อนและหล่อเย็นแม่พิมพ์แบบรวดเร็ว สามารถช่วยให้ขนาดรอยเชื่อมประสานลดน้อยลง 80% และผิวมีความมันวาวเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก รอยเชื่อมประสาน วัฏจักรการหล่อร้อนและหล่อเย็นแม่พิมพ์แบบรวดเร็ว อุณหภูมิคล้ายแก้ว

ABSTRACT

In improving quality of parts made by the plastic injection molding process, one method that can help solving the weld line problem and improving quality of the surface of plastic products is the use of rapid heating and cooling system. The rapid heating and cooling system was applied to increase efficiency of the cooling system in plastic injection molding by heating the mold to rapidly increase the mold temperature to glass transition temperature (T_g) while injecting plastic in the cavity in the filling process. Then rapidly apply the cooling process to improve weld line on the product. The prototype product is the unlock button of the car hand brake, which has 2.3 mm thickness and gloss surface. The experiment which applies the rapid heating and cooling system can decrease weld line up to 80% and increase gloss surface.

KEYWORDS : Injection mold, Weld line, Rapid heating and cooling system, Glass transition temperature

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหารอยเชื่อมประสา (Weld Line) ที่บริเวณผิวของชิ้นงานพลาสติกนั้นเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติกซึ่งมีสาเหตุมาจากข้อจำกัดในการออกแบบชิ้นงานพลาสติกและข้อจำกัดในการออกแบบแม่พิมพ์แบบทั่วไป นอกจากนี้ยังเกิดจากการกำหนดเงื่อนไขในการฉีดพลาสติก (Molding Condition) ที่ไม่เหมาะสมซึ่งทำให้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ผิวหน้าแม่พิมพ์เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาดังกล่าวได้ โดยปัญหาการเกิดรอยเชื่อมประสา นั้นจะส่งผลกระทบต่อในทางวิศวกรรม คือ ความสวยงามภายนอกของชิ้นงาน (Appearance) และในกรณีที่การประสานของพลาสติก บริเวณที่เกิดรอยเชื่อมประสา นั้นไม่สมบูรณ์ จะยังส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของชิ้นงานอีกด้วย ผลเสียดังกล่าวนี้ ยังส่งผลกระทบต่อทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยที่จะมีของเสียเพิ่มมากขึ้นจนส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการผลิตที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วยรวมถึงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดของเสียอีกด้วย จากงานวิจัยของ Guoqun Zhao และคณะ (2014) พบว่าปัญหารอยเชื่อมประสา มักจะเกิดที่ตำแหน่งด้านตรงข้ามกับทางเข้าของพลาสติกหรือตำแหน่งสุดท้ายที่พลาสติกไหลมาบรรจบกัน นอกจากนี้ปัญหาดังกล่าวมักจะเกิดกับพลาสติกที่มีความหนืด (Viscosity) สูง เช่น POM, ABS, PMMA, PS เป็นต้น ในกระบวนการฉีดพลาสติกแบบทั่วไปนั้นอุณหภูมิของพลาสติกเหลวจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อพลาสติกเหลวถูกฉีดเข้าไปในเบ้าพิมพ์ (Cavity) เนื่องจากการถ่ายเทอุณหภูมิจากพลาสติกเหลวไปยังวัสดุทำแม่พิมพ์และถูกส่งต่อไปยังระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เมื่อพลาสติกไหลมาบรรจบกันที่จุดสุดท้ายนั้นจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (Glass Transition Temperature) ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหารอยเชื่อมประสดังกล่าว ดังนั้นวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวนั้นจะต้องทำการเพิ่มอุณหภูมิของผิวหน้าแม่พิมพ์ให้สูงขึ้นมากกว่าปกติหรือเพิ่มความเร็วในการฉีดเพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถในการไหลของพลาสติกให้มากขึ้น แต่ในบางครั้งเนื่องจากข้อจำกัดต่างๆ ทำให้ไม่สามารถใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ทั่วไปในการแก้ไขปัญหารอยเชื่อมประสาได้ ในงานวิจัยนี้ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็นปุ่มกดพลาสติกเบอร์ดมีรอยย่นที่มีความหนา 2.3 มิลลิเมตร โดยพลาสติกที่ใช้ในการฉีดนั้นเป็นพลาสติกชนิด ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) เกรด AP8A โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการ

แก้ไขปัญหารอยเชื่อมประสาและคุณภาพผิวของชิ้นงานโดยใช้วิธีการเพิ่มและลดอุณหภูมิแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว (RHCM) โดยจะทำการเพิ่มอุณหภูมิของผิวหน้าแม่พิมพ์ให้สูงกว่าอุณหภูมิปกติเพื่อลดของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตและพัฒนาวิธีการออกแบบแม่พิมพ์ที่จะใช้สำหรับวิธีการดังกล่าว

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาและพัฒนาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับวิธีการเพิ่มและลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์แบบรวดเร็ว
2. ศึกษากระบวนการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกสำหรับการเพิ่มและลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์แบบรวดเร็วด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
3. แก้ไขปัญหาการเกิดรอยเชื่อมประสาสำหรับชิ้นงานที่ผลิตด้วยพลาสติก

ขอบเขตของการวิจัย

1. การพัฒนาและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบใช้วัฏจักร การหล่อร้อนแม่พิมพ์แบบรวดเร็วด้วยน้ำร้อน
2. วัสดุชิ้นงานใช้พลาสติกชนิด Acrylonitrile Butadiene-Styrene (ABS) เกรด AP8A
3. ใช้โปรแกรม Moldex3D ในการวิเคราะห์และจำลองการไหล
4. ใช้เครื่องฉีดพลาสติก ขนาด 50 ตัน ยี่ห้อ FANUC ROBOSHOT S-2000i 50B

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
สถาพร ขาดาคม และคณะ (2006) ศึกษาวิธีการลดเวลาหล่อเย็นในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อเย็น ด้วยการใช้ทองแดงฝังเข้าไปในแม่พิมพ์ ในการทดลองใช้การจำลองการฉีดโดยใช้โปรแกรมทางด้าน CAE เข้ามาช่วยเพื่อช่วยวิเคราะห์ และทำนายผลชิ้นงานพิจารณาเงื่อนไขของ ค่าเวลาเย็นตัว (Time to Freeze) ค่าความลึกของรอยยุบตัว (Sink Mark Depth) ค่าการบิดตัว (Warpage) และค่าเวลาต่อรอบการฉีด (Cycle Time) จากผลการวิจัยพบว่า การใช้ทองแดงฝังในแม่พิมพ์จะช่วยลดเวลาต่อรอบการฉีดลงได้ถึง

40 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มที่จะช่วยลดการเกิดรอยยุบตัวได้ แต่การบิดตัวและโก่งตัวของชิ้นงานมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงาน และปริมาณของทองแดงที่ใช้ฝังในแม่พิมพ์ อุเทน คนะวาปี และคณะ (2015) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกฝากระป๋องสเปรย์โดยการใช้ระบบ ทางวังร้อนและทองแดงผสมแบรลียมในการทำแม่พิมพ์ จากผลการทดลองจะพบว่าเมื่อเปลี่ยนระบบป้อนเป็นแบบทางวังร้อนจะลดการสูญเสียเนื้อวัสดุจากระบบป้อนได้ 17% และเมื่อใช้วัสดุทองแดงผสมในการทำแม่พิมพ์ สามารถลดเวลาหล่อเย็นลงได้ 46% และส่งผลให้ลดเวลาต่อรอบการฉีดลงได้ 35% อีกทั้งเป็นการช่วยด้านสิ่งแวดล้อม ลดปริมาณขยะและของเสียประหยัดพลังงาน และแรงงานคนลงได้เป็นอย่างมาก Guilong Wang และคณะ (2011) ศึกษาถึงการออกแบบช่องให้ความร้อนและเย็นโดยใช้ร่วมกับวัฏจักรการหล่อร้อนแม่พิมพ์แบบรวดเร็วเพื่อเพิ่มการตอบสนองความร้อนของแม่พิมพ์โดยการวิเคราะห์ทางไฟไนท์เอลิเมนต์พบว่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับแม่พิมพ์ โดยการออกแบบช่องให้ความร้อนและเย็น จากการนำไปทดลองวัฏจักรการหล่อร้อนแม่พิมพ์แบบรวดเร็วจะมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับการออกแบบช่องให้ความร้อนและเย็นที่มีความเหมาะสมและลดปัญหาที่เกิดขึ้นงาน Guoqun Zhao และคณะ (2014) ศึกษาการหล่อร้อนแม่พิมพ์โดยการฝังฮีทเตอร์ เพื่อเป็นตัวช่วยทำให้แม่พิมพ์เกิดความร้อน โดยใช้ไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความร้อนเพื่อลดปัญหาการเกิดโพรงอากาศในขอบของจอ LCD จากการทดสอบแม่พิมพ์มีอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลทำให้รอยเชื่อมประสานหายไปและผิวด้านนอกมีความมันวาวและลดปัญหาการเกิดโพรงอากาศ Xiao-xin และคณะ (2014) ศึกษาการออกแบบช่องให้ความร้อนและเย็นแบบ Baffle สำหรับชิ้นส่วนภายในรถยนต์ที่มีรูปทรงซับซ้อนและจำลองการถ่ายเทความร้อนจากการวิเคราะห์และทำการประเมินผลการตอบสนองต่อความร้อนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแล้วนำผลไปปรับปรุงช่องให้ความร้อนและเย็นจากการทดลองพบว่า 1. การออกแบบช่องให้ความร้อนและเย็นแม่พิมพ์แบบ Baffle ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อความร้อนของแม่พิมพ์จะใช้เวลาในการตอบสนองลดลงจากเดิมได้ 5 ถึง 2.5 วินาที 2. สามารถทำให้ผิวชิ้นงานมันวาวมากขึ้น 3. รอยเชื่อมประสานที่ผิวชิ้นงานลดลง Shih-Chih Nian และคณะ (2014) ศึกษาการจำลองผลกระทบที่เกิดจากความหนาชิ้นงานในการออกแบบระยะและตำแหน่งของ

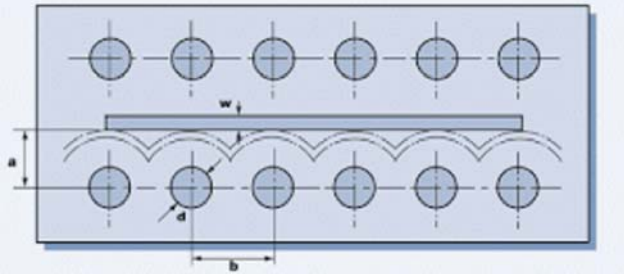
ขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ระยะห่างของขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนใกล้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีบทบาทสำคัญในการส่งผลกระทบต่ออัตราการให้ความร้อนโดยเฉพาะชิ้นงานหนานอกจากนี้ตำแหน่งของขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนมีส่วนสำคัญที่ทำให้ผิวแม่พิมพ์ภายนอกมีความร้อนที่สม่ำเสมอ

2. ระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

พลาสติกร้อนจะถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์และเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิที่พลาสติกแข็งตัวเพียงพอที่จะคงรูปร่างของแม่พิมพ์ไว้ได้ชิ้นงานก็จะถูกดันปลดออกจากแม่พิมพ์ ดังนั้นอุณหภูมิของแม่พิมพ์จึงเป็นส่วนที่สำคัญอย่างหนึ่งเนื่องจากมีส่วนช่วยควบคุมในวัฏจักรการฉีดพลาสติก อุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ใช้ผลิตชิ้นงานแต่ละอย่างจะขึ้นอยู่กับแพ็คเกจรีซินิดต่างๆ และเกรดพลาสติกที่ใช้ฉีดระยะทางที่พลาสติกไหลในแม่พิมพ์ความหนาของผนังชิ้นงาน ความยาวของระบบป้อนเป็นต้น บ่อยครั้งที่นิยมใช้อุณหภูมิใช้งานให้สูงกว่าอุณหภูมิที่จำเป็นเพื่อให้พลาสติกหลอมเหลวไหลเต็มแม่พิมพ์ได้เต็มพอดีเท่านั้นอุณหภูมิส่วนที่เพิ่มขึ้นนี้จะช่วยปรับปรุงผิวสำเร็จของชิ้นงานให้มีคุณภาพดีขึ้นสิ่งที่ควรพิจารณาในการออกแบบระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ ได้แก่

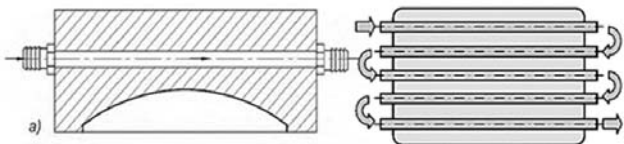
1. ระยะห่างระหว่างช่องหล่อเย็นกับแม่พิมพ์ช่องหล่อเย็นที่มีระยะห่างแม่พิมพ์มากกว่าจะทำให้แม่พิมพ์มีอุณหภูมิสม่ำเสมอและอุณหภูมิผิวแม่พิมพ์ระหว่างการผลิตจะสูงกว่าด้วย ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการลดการผิดรูปของชิ้นงานรวมถึงคุณสมบัติเชิงกลและการไหลเข้าสู่แม่พิมพ์แต่จะทำให้รอบเวลาฉีดของเครื่องฉีดยาวนานขึ้น
2. ระยะห่างระหว่างช่องหล่อเย็นแต่ละช่องหล่อเย็นที่อยู่ใกล้กันมากกว่าจะทำให้อุณหภูมิแม่พิมพ์สม่ำเสมอกว่า
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องหล่อเย็นเมื่อพิจารณาแบบอย่างที่เคยทำมาแล้วและจากประสบการณ์ตำแหน่งและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องระบายความร้อนควรเป็นไปตามตารางที่ 1 เพื่อให้เกิดการหล่อเย็นแบบ Soft Cooling

"w"	"d"	"a"	"b"
wall thickness of the product mm (in)	diameter of the cooling channels mm (in)	center distance with respect to mold cavity	center distances between cooling channels
2 (0.08)	8-10 (0.31-0.40)		
2-4 (0.08-0.16)	10-12 (0.40-0.47)	1.5-2d	2-3d
4-5 (0.16-0.24)	12-14 (0.47-0.55)		

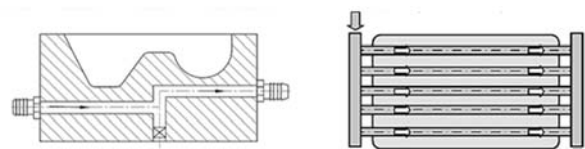


ตารางที่ 1 แสดงค่าพื้นฐานการออกแบบช่องหล่อเย็น

2.1 การหล่อเย็นแม่พิมพ์แบบชั้นเดียว (Cooling-Type Mold Plates) จะควบคุมโดยการใช้น้ำไหลวนในรูที่เจาะไว้ในแผ่นแม่พิมพ์โดยปกติจะเจาะทะลุถึงกันเพื่อต่อเป็นวงจรระบบหล่อเย็นวงจรนี้อาจเป็นแบบชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้จำนวนชั้นขึ้นอยู่กับ ความหนาของแม่พิมพ์มีอยู่สองลักษณะด้วยกันคือแบบชั้นเดียวอย่างง่ายและแบบชั้นเดียวด้วย ดังแสดงในแผนภาพที่ 1 และ 2



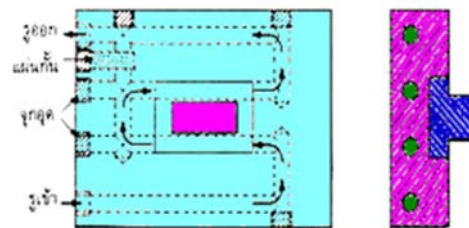
แผนภาพที่ 1 วงจรหล่อเย็นแผ่นแม่พิมพ์แบบชั้นเดียว



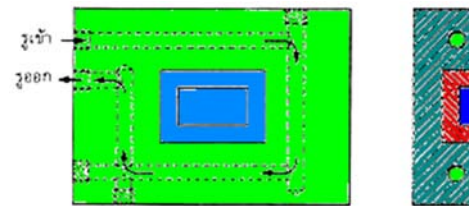
แผนภาพที่ 2 จรหล่อเย็นแผ่นแม่พิมพ์แบบชั้นเดียว ตัว U

2.2 การหล่อเย็นชุดประกอบแผ่นยึดอินเสิร์ตกับอินเสิร์ตเข้าด้วยกัน (Cooling Insert-Bolster Assembly) ในแม่พิมพ์ที่ประกอบขึ้นด้วยแผ่นยึดอินเสิร์ตกับอินเสิร์ตที่มีความหนาหรือความลึกของอิมเพรสชั่นไม่มากนัก การไหลเวียนของสารหล่อเย็นจำกัดอยู่เฉพาะในส่วนยึดอินเสิร์ต ผู้ออกแบบอาศัยคุณสมบัติในการนำความร้อนที่ดีของเหล็กช่วยในการถ่ายเท

ความร้อนออกจากเบ้าพิมพ์ (Cavity) อย่างรวดเร็วตามต้องการ ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนได้ดีเช่น ทองแดง ผสมเบอร์ลิลเลียม เป็นต้น นำมาทำเป็นอินเสิร์ตลักษณะการหล่อเย็นชุดประกอบแผ่นยึดอินเสิร์ตกับอินเสิร์ต จะเห็นได้ว่า ในแผนภาพที่ 3 และ 4 เป็นการเจาะช่องระบายความร้อน แบบวงจรรัดตัวขาดและวงจรสีเหลี่ยม ซึ่งเป็นการหล่อเย็นชุดประกอบแม่พิมพ์



แผนภาพที่ 3 หล่อเย็นแผ่นยึดอินเสิร์ตด้วยวงจรรัดตัวขาด



แผนภาพที่ 4 หล่อเย็นแผ่นยึดอินเสิร์ตด้วยวงจรสี่เหลี่ยม

3. ระบบการถ่ายเทความร้อนในแม่พิมพ์

โดยปกติแล้วในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดจะต้องมีการออกแบบระบบหล่อเย็น เพื่อช่วยในการระบายความร้อนออกจากเนื้อพลาสติกที่เข้าสู่เบ้าพิมพ์ในสภาพหลอมเหลว ซึ่งในสถานะดังกล่าวพลาสติกจะมีอุณหภูมิสูงมาก และต้องใช้เวลา นานกว่าจะกลับสู่สภาวะของแข็งอีกครั้งหนึ่ง จึงต้องมีกรออกแบบระบบหล่อเย็นเพื่อช่วยให้การระบายความร้อนเร็วขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้วิธีการสร้างรูหรือร่องที่แม่พิมพ์แล้วให้น้ำไหลผ่าน เพื่อให้ความร้อนถ่ายเทจากแม่พิมพ์สู่น้ำที่ไหลผ่านแต่ในบางครั้ง การสร้างระบบหล่อเย็นมักจะมีปัญหา เนื่องจากในแม่พิมพ์ประกอบไปด้วยระบบปลดและระบบจับยึดชิ้นส่วนต่างๆ มากมาย ทำให้ไม่สามารถสร้างระบบหล่อเย็นให้เข้าถึงในบางจุดได้ ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนสะสมในแม่พิมพ์และเกิดปัญหากับคุณภาพของชิ้นงานตามมา

4. เวลาหล่อเย็น

กระบวนการหล่อเย็นในแม่พิมพ์ จะเกิดขึ้นทันทีที่น้ำพลาสติกถูกเติมเข้าสู่แม่พิมพ์ การเปิดแม่พิมพ์และปลดชิ้นงาน ซึ่งจะต้องรอจนกว่าอุณหภูมิชิ้นงานลดลงจนถึงอุณหภูมิปลดชิ้นงาน เวลาในการหล่อเย็นสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (1)

$$t_c = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot \alpha} \times l_n \left(\frac{8}{\pi^2} \times \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \quad (1)$$

เมื่อ $\alpha = \frac{K}{\rho \cdot C_p}$ (2)

กำหนดให้

- t_c = เวลาหล่อเย็น s
- s = ความหนาของชิ้นงาน mm
- α = การแผ่ความร้อน mm²/s
- T_M = อุณหภูมิหลอมเหลว °C
- T_W = อุณหภูมิแม่พิมพ์ °C
- T_E = อุณหภูมิปลดชิ้นงาน °C
- K = ค่าการนำความร้อน W/m °C
- ρ = ความหนาแน่นของพลาสติก g/cm³
- C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ J/kg °C

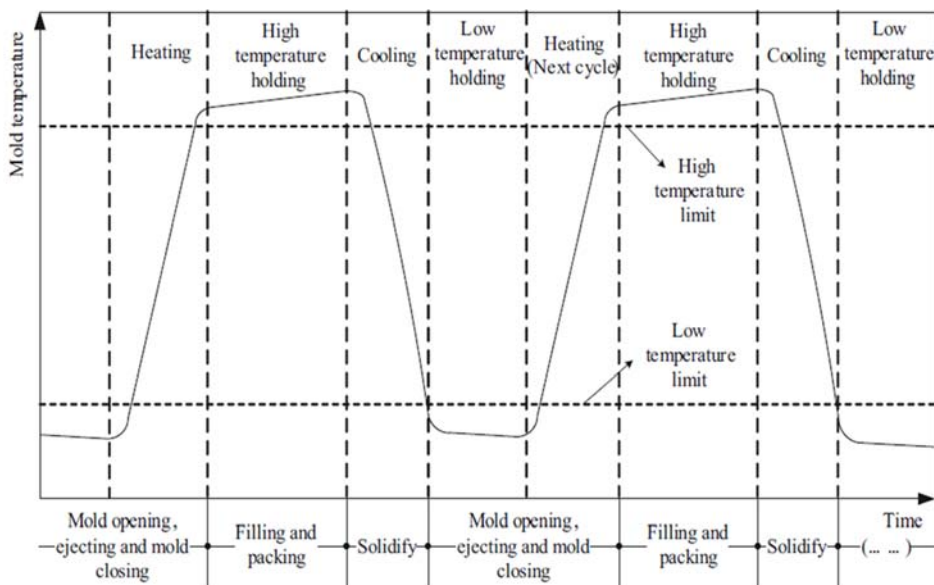
5. หลักการของกระบวนการ RHCM

วัฏจักรการหล่อร้อนและหล่อเย็นแม่พิมพ์แบบรวดเร็ว (RHCM) เป็นเทคโนโลยีการฉีดขึ้นงานพลาสติกแบบหนึ่ง ซึ่งแม่พิมพ์จะถูกทำให้ร้อนและเย็นอย่างรวดเร็ว ที่สอดคล้องกับวัฏจักรการฉีดขึ้นงาน ที่ต้องการให้พอลิเมอร์ หลอมเหลวไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ ด้วยการควบคุมอุณหภูมิของผนังแม่พิมพ์ ในหนึ่งวัฏจักรของการฉีดขึ้นงาน กระบวนการฉีดแบบ RHCM สามารถแบ่งออกเป็นสี่ช่วง การทำให้ร้อน การคงอุณหภูมิสูง ทำให้เย็นและการคงอุณหภูมิต่ำ ซึ่งทั้งหมดสอดคล้องกับวัฏจักรการฉีดอยู่แล้ว แผนภาพที่ 5 แสดงแผนภาพการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกระบวนการฉีด RHCM กรณีที่ต้องการให้แม่พิมพ์ร้อนทั้งสองด้าน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การศึกษาแม่พิมพ์จากสถานประกอบการ

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ จะเริ่มจากการศึกษาการทำงานและการออกแบบแม่พิมพ์แบบเดิมซึ่งทางบริษัทที่เข้าร่วมได้ทำการผลิตอยู่ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าแม่พิมพ์เดิมที่ใช้ในการผลิตอยู่ เป็นแม่พิมพ์ 2 Plate 2 เบ้าพิมพ์และมีช่องหล่อเย็นเป็นแบบวน (One Way) โดยใช้พลาสติกในการทดลองฉีดขึ้นงานเป็น ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) เกรด AP8A ซึ่งพบว่ามีปัญหาและข้อสังเกตดังนี้



แผนภาพที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

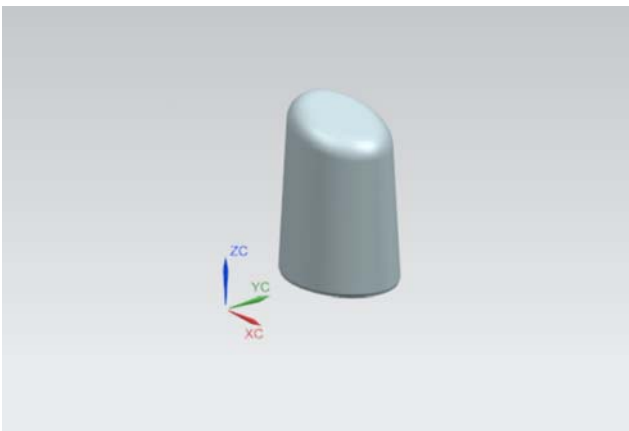
1.1 ชิ้นงานประสบปัญหารอยเชื่อมประสาน (Weld Line) และผิวไม่เงามันวาว

1.2 ชิ้นงานมีขนาดความหนาพอสมควร ซึ่งถ้าใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำก็จะทำให้ชิ้นงานเกิดปัญหารอยเชื่อมประสาน

1.3 ไม่สามารถทำให้อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงซึ่งพลาสติกเหลว ไหลมาบรรจบกันได้เข้าชิ้นทำให้รอยเชื่อมประสานไม่หลอมเข้าด้วยกัน

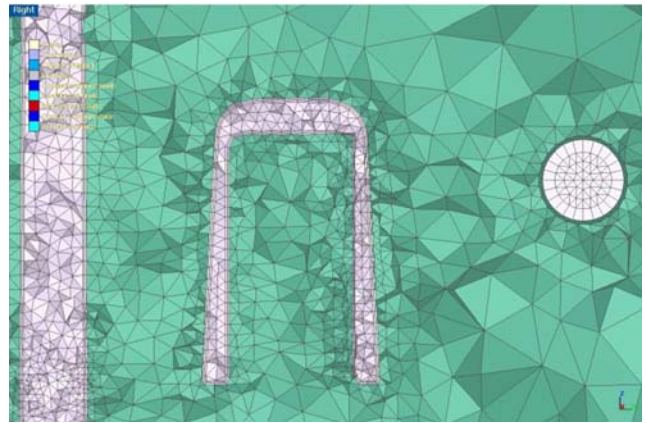
2. การขึ้นรูปชิ้นงานเป็น 3D โมเดล

ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Moldex 3D จำเป็นจะต้องสร้างชิ้นงานให้เป็น 3D โมเดลเสียก่อน เพื่อที่จะนำโมเดลที่ได้ไปแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อย (Mesh) และสร้างระบบอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ต่อไป



แผนภาพที่ 6 โมเดลชิ้นงานแบบ 3D

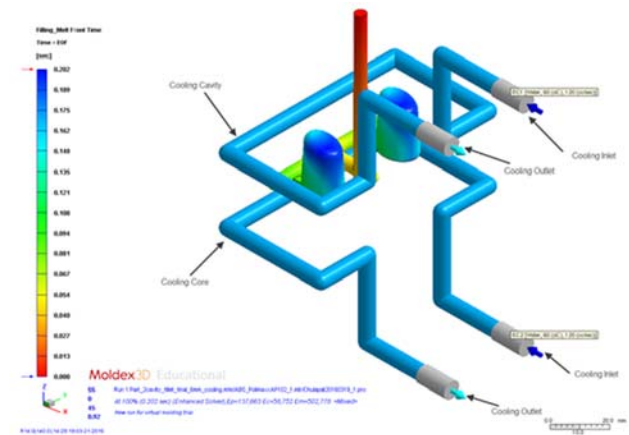
โดยแบ่งเอลิเมนต์ ชิ้นงานมีขนาด Mesh เท่ากับ 1 มิลลิเมตร ส่วนทางวิ่งมีขนาดเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร จำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด เท่ากับ 137,663 เอลิเมนต์ ดังที่ได้ทำการสร้างเมตแสดงในแผนภาพที่ 7



แผนภาพที่ 7 Generate solid mesh

3. การวิเคราะห์การไหลของแม่พิมพ์ด้วย CAE (โปรแกรม Moldex 3D)

ในการวิเคราะห์การไหลตัวของแม่พิมพ์เบื้องต้น จะทำการวิเคราะห์เป็นแบบ RHCM มีรูปแบบช่องหล่อเย็นดังแผนภาพที่ 8

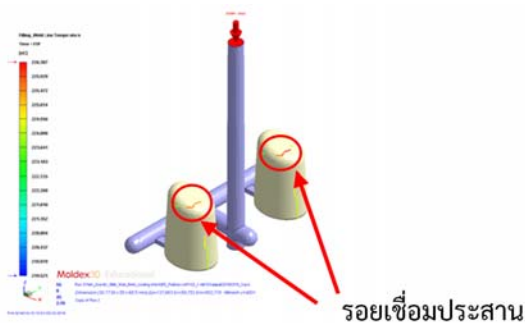


แผนภาพที่ 8 ระบบช่องหล่อเย็น

ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Moldex 3D มีการกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์ที่สำคัญดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไขในการวิเคราะห์

ตัวแปร/ข้อกำหนด	ค่าที่กำหนด
วัสดุฉีด	ABS เกรด AP8A
อุณหภูมิฉีด	230 °C
อุณหภูมิหล่อร้อนแม่พิมพ์	100 °C
อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์	25 °C
แรงดันฉีดสูงสุด	70 MPa
อุณหภูมิปลดชิ้นงาน	92 °C



แผนภาพที่ 9 ผลวิเคราะห์รอยเชื่อมประสาน

ซึ่งจากการวิเคราะห์จะได้ผลวิเคราะห์ที่สำคัญดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์

ผลวิเคราะห์	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์
เวลาฉีด	0.2 S
เวลาหล่อร้อน	11.2 S
เวลาหล่อเย็น	12 S
แรงดันฉีด	58.634 MPa
แรงดันย้ำ	19 MPa
อุณหภูมิชิ้นงาน	132 °C
อุณหภูมิรอยเชื่อมประสาน	226 °C

จากผลวิเคราะห์ที่แสดงดังในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิบริเวณรอยเชื่อมประสานยังสูงอยู่ซึ่งทำให้รอยเชื่อมประสานหลอมเข้ากันได้ดี

4. การทดลองฉีดชิ้นงานด้วยระบบหล่อเย็น (RHCM)

จากการวิเคราะห์การไหลทำให้ทราบถึงการตั้งค่าต่างๆ ในการฉีดชิ้นงานเพื่อแก้ไขปัญหารอยเชื่อมประสานของชิ้นงาน

4.1 ติดตั้งชุดระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์แบบ (RHCM) โดยในชุดระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ (RHCM) ประกอบไปด้วย mold temperature controller (water) ที่สามารถทำอุณหภูมิน้ำร้อนถึง 160 °C mold temperature controller (water) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 25 °C ถึง 60 °C ตู้ควบคุมน้ำร้อนและเย็น (Switching controller)



แผนภาพที่ 10 ติดตั้งระบบหล่อเย็นแม่ (RHCM)

4.2 ทำการฉีดชิ้นงานพลาสติก โดยตั้งค่าการฉีดตามผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Moldex 3D



แผนภาพที่ 11 แสดงการฉีดชิ้นงาน

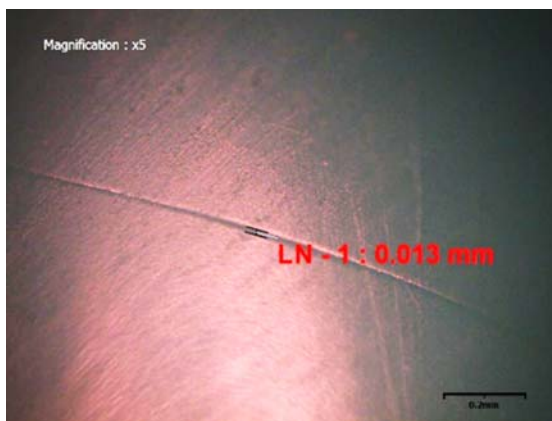
ผลการวิจัย

ภายหลังจากการทดลองฉีดขึ้นงานพลาสติกตามค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Moldex 3D และการใช้ระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์แบบ (RHCM) ควบคู่กัน โดยตั้งค่า mold temperature controller (water) ทำน้ำร้อน ให้ถึงอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Tg) ของพลาสติกชนิด ABS 110°C โดยตั้งค่าอุณหภูมิตามลำดับดังนี้ 80°C, 90°C, 100°C, 110°C และตั้งค่า Mold Temperature Controller (Water) ทำน้ำเย็นไว้ที่ 25°C จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ชิ้นงานที่ไม่ได้ฉีดด้วยระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์แบบ (RHCM) จะพบรอยเชื่อมประสานชัดเจน (Weld Line) บริเวณด้านบนของชิ้นงานซึ่งเกิดจากน้ำพลาสติกหลอมเหลวไหลอ้อมอินเลอร์ คอ มาบรรจบกันซึ่งตลอดระยะเวลาทางการไหลของน้ำ

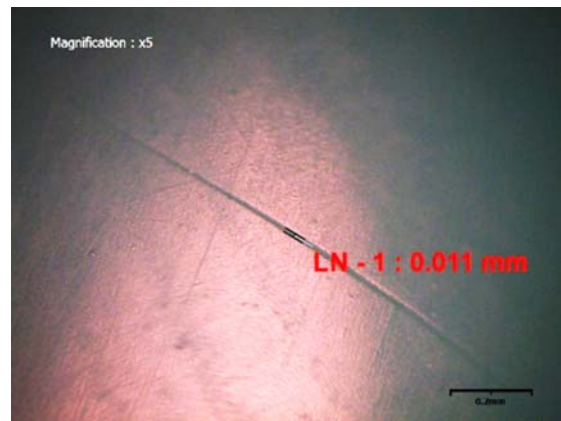
พลาสติกหลอมเหลวได้สัมผัสกับผนังแม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิต่ำจึงส่งผลต่ออุณหภูมิของพลาสติกหลอมเหลวลดลงอันเป็นเหตุเกิดรอยเชื่อมประสานที่ชิ้นงาน (Weld Line) เนื้อพลาสติกไม่ประสานหลอมเข้าด้วยกัน ดังที่แสดงในแผนภาพที่ 12 แต่เมื่อปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพของระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ให้สามารถเพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้ถึงจุดอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Tg) ของพลาสติกและหล่อเย็นชิ้นงานให้ถึงอุณหภูมิปลด (TEjec) ภายในหนึ่งวัฏจักรการฉีดก็สามารถช่วยให้รอยประสาน (Weld Line) ลดน้อยลงและรวมถึงส่งผลให้ผิวของชิ้นงานที่มีความเงามันวาวมากขึ้น โดยทางผู้วิจัยและคณะได้เพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนตามลำดับ 80°C, 90°C, 100°C จนถึง 110°C

ตารางที่ 4 สรุปผลเปรียบเทียบระหว่างระบบหล่อเย็น แม่พิมพ์แบบเดิมกับระบบหล่อเย็นแบบ (RHCM)

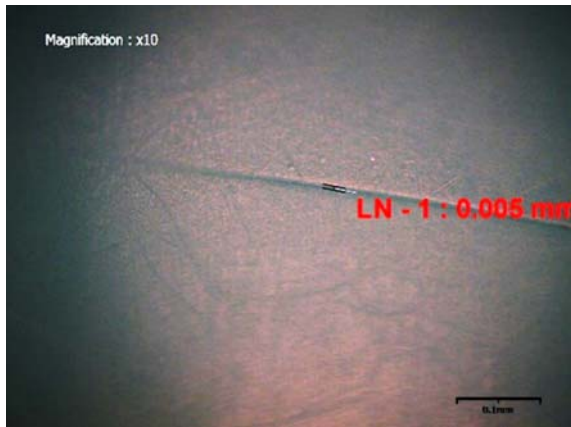
	ระบบหล่อเย็นแบบเดิม	ระบบหล่อเย็นแบบ (RHCM)				ความต่าง	เปอร์เซ็นต์ %
		80	90	100	110		
อุณหภูมิน้ำร้อน °C	60	80	90	100	110	50	50 %
อุณหภูมิแม่พิมพ์ °C	50	70	80	90	100	50	50 %
ขนาด (Weld line) mm	0.013	0.011	0.005	0.005	0.005	0.008	80 %



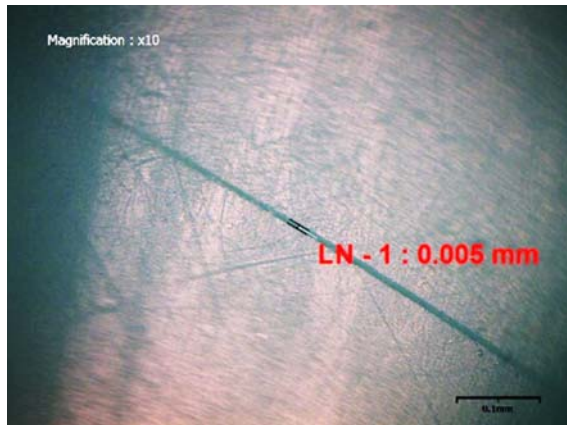
แผนภาพที่ 12 ไม่ได้ฉีดด้วยระบบ RHCM 60°C



แผนภาพที่ 13 ฉีดด้วยระบบ RHCM 80°C



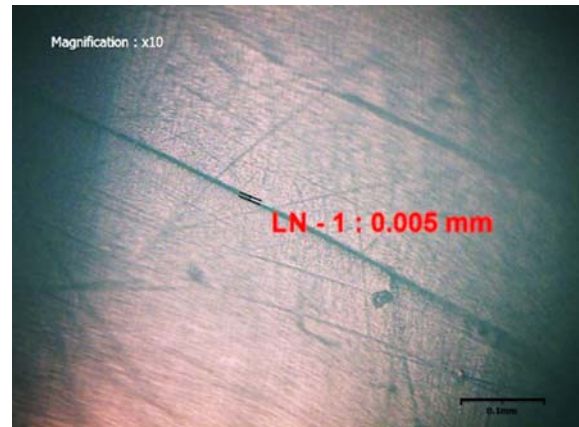
แผนภาพที่ 14 ฉีดด้วยระบบ RHCM 90 °C



แผนภาพที่ 16 ฉีดด้วยระบบ RHCM 110 ?

สรุป

จากการทดลองจะพบว่าเมื่อปรับเปลี่ยนมาใช้ระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์เป็นวัฏจักรการหล่อร้อนและหล่อเย็นแม่พิมพ์แบบรวดเร็ว (RHCM) ปัญหารอยเชื่อมประสานที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานได้มีขนาดลดน้อยลงตามลำดับถึง 80% แต่ในการวิจัยทดลองครั้งนี้ได้ถูกการออกแบบช่องระบายความร้อนของแม่พิมพ์ที่ไม่เอื้อต่อระบบหล่อเย็นแบบ (RHCM) และวัสดุที่ทำแม่พิมพ์มีคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนไม่ดี ทำให้ลดประสิทธิภาพของระบบหล่อเย็นแบบ (RHCM) จึงส่งผลให้ยังคงเหลือให้เห็นรอยเชื่อมประสานอยู่บ้างเมื่อนำไปส่องดูกับกล้องไมโครสโคป ทั้งนี้จึงต้องมีการออกแบบระบบช่องระบายความร้อนแม่พิมพ์ให้เหมาะสมกับระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์แบบ (RHCM) รวมถึงวัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์ก็สำคัญเช่นกันควรจะใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนที่ดี เช่น วัสดุทองแดงผสมเบริลเลียม (Beryllium



แผนภาพที่ 15 ฉีดด้วยระบบ RHCM 100 °C

Copper (BeCu) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อร้อนและเย็นแม่พิมพ์แบบรวดเร็ว (RHCM) สูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจาก บริษัท จุลพัฒนพลาสติก จำกัด และคณะวิจัยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาพิมพ์และตายพลาสติก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อีกทั้งวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และสถาบันไทย-เยอรมัน (TGI) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ขาลี ตระการกุล. 2536. การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- สถาพร ชาดาคม และคณะ. 2006. "การศึกษาการใช้ทองแดงฝังในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก สำหรับเทอร์โมพลาสติกกลุ่ม Semi Crystalline." วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ฉบับพิเศษ ฉบับที่ 2: 21-16.
- อุเทน คณะวาปี และคณะ. 2015. "การเพิ่มประสิทธิภาพแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกฝากระป๋องสเปรย์โดยการใช้ระบบทางวิ่งร้อน และทองแดงผสมเบริลเลียมในแม่พิมพ์." วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับที่ 7: 31-38.

Guilong, W., et al. 2011. "Research on optimization design of the heating/cooling channels for rapid heat cycle molding based on response surface methodology and Constrained particle swarm optimization." *Expet Systems With Applications*, 38: 6705-671.

Guoqun, Z., et al. 2014. "Development and evaluation of a new rapid mold heating and cooling method for rapid heat cycle molding." *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 78: 99-111.

Prabodh, C., (2000). "Mould Cooling Channel and Cooling System in Factory." *A Guide to Injection Moulding of Plastics*, 3, 1 Retrieved February 1, 2016 from <http://pcboulur.freesevers.com/undcoolingsys.html>

Shih-Chih, N., et al. 2014. "Key parameters and optimal design of a single-layered induction coil for external rapid mold surface. heating." *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 57: 109-117.

Xiao-xin, W., et al. 2014. "Heating/cooling channels design for an automotive interior part and its evaluation in interior part and its evaluation in rapid heat cycle molding." *Materials and Design*, 59: 310-322.



>> กิตติศักดิ์ บุญเปล่ง

สำเร็จการศึกษา ปริญญาตรี (อ.สบ.) สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล (ออกแบบแม่พิมพ์) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์พิเศษ ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



>> รองศาสตราจารย์สถาพร ชาดาคม

สำเร็จการศึกษา ปริญญาโท (ค.อม.) สาขาเครื่องกล และปริญญาตรี (ค.อบ.) สาขาเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง รองศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ