

การวิเคราะห์จุดเสียหล่อไม่เต็มแบบ และเย็นตัวไม่ประสานบนชิ้นงานหล่อดุมล้อรถไถนา Misrun and Cold Shut analysis on the Bob of Pushcart Wheel Casting

ธนะโชค ไกยฤทธิ์, ทรงศักดิ์ แก้วประสม และ ธน ทองกลม*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*E-mail: thon.t@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

ชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสาน และชิ้นงานหล่อไม่เต็มแบบเป็นปัญหาสำคัญที่พบในงานหล่อชิ้นงานดุมล้อรถไถนา โดยลักษณะการไหลเติมเต็มในแม่พิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลทำให้เกิดปัญหาเหล่านี้ ซึ่งลักษณะการไหลเติมเต็มของน้ำโลหะมีผลมาจากอุณหภูมิในการเทหล่อ และระบบทางเดินน้ำโลหะ ดังนั้นจึงเป็นที่มาในการศึกษาสาเหตุของจุดเสียที่เกิดขึ้น ชิ้นงานดุมล้อรถไถนาออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Work และการจำลองการไหลของน้ำโลหะใช้โปรแกรม ProCAST ผลการทดลองพบว่าชิ้นงานที่เทหล่อที่อุณหภูมิสูงมีลักษณะการไหลที่สม่ำเสมอ และต่อเนื่อง จุดเสียชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสานและชิ้นงานไหลไม่เต็มแบบมักเกิดขึ้นเมื่อเทหล่อที่อุณหภูมิต่ำ

คำสำคัญ : จุดเสียหล่อไม่เต็มแบบ จุดเสียเย็นตัวไม่ประสาน ดุมล้อรถไถนา แบบจำลองงานหล่อ

Abstract

Cold shut and misrun are the severe problems which founded in the bob of pushcart wheel casting. Pattern of mold filling is the factor contributing to those problems. Mold filling is affected by temperature of molten metal and gating of casting. The objective of this work is to study cause of the defects. The component was designed using Solidwork and flow simulation using ProCAST Software. Experimental results found that the molten metal flow in the cavity has laminar and continuous flow pattern for the high pouring temperature. The defects have been often found in the low pouring point casting.

Keywords : Misrun, Cold Shut, Bob of Pushcart Wheel, Casting Simulation

บทนำ

ปัจจุบันกระบวนการหล่อมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมด้านต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์การผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักร รวมไปถึงอุปกรณ์เครื่องจักรกลทางการเกษตร เช่น ลูกรีดยาพารา ล้อสายพาน และดุมล้อรถไถนา เป็นต้น เนื่องจากกระบวนการหล่อสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน และมีโครงสร้างได้โดย กรณีที่ศึกษาโรงงานปทุมชัย โรงหล่อ อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี ผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทางการเกษตร ชิ้นงานส่วนใหญ่ผลิตจากเหล็กหล่อเทา จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ชิ้นงานดุมล้อรถไถนามีจุดเสียที่เกิดจากการหล่อไม่เต็มแบบ (Misrun) และ



ชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสาน (Cold Shut) จากการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดจุดเสียหล่อไม่เต็มแบบ และชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสาน ได้แก่ อุณหภูมิเทหล่อต่ำเกินไป ทางเดินน้ำโลหะไม่เหมาะสม และชิ้นงานมีส่วนที่มีหน้าตัดบาง เป็นต้น กระบวนการหล่อในปัจจุบันนำคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรม (Computer Aided Design and Computer Aid Engineering) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะ ลักษณะและรูปแบบการแข็งตัวของโลหะในโพรงแบบ จาก 2 ปัจจัยสามารถนำมาทำนายการเกิดจุดเสียบนชิ้นงานได้ จรรยาพร แสนทวิสุข และคณะ (2557) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะในโพรงแบบของการหล่อทองเหลืองแบบโบราณของชุมชนบ้านปะอาว โดยใช้โปรแกรมจำลองพฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะเทียบกับชิ้นงานจริง พบว่าในชิ้นงานที่มีพื้นที่หน้าตัดผนังบาง (Thin Wall) มีโอกาสเกิดจุดเสียหล่อไม่เต็มแบบ และชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสานเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากเมื่อน้ำโลหะไหลเข้าโพรงแบบที่มีลักษณะเป็นผนังบาง อุณหภูมิของน้ำโลหะจะลดลงทันที เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากน้ำโลหะสู่แม่พิมพ์ทั้งภายใน และภายนอกผนังบางพร้อมๆ กัน และเกิดการแข็งตัวก่อนไหลเข้าเต็มแบบ โดยรูปร่าง และลักษณะของจุดเสียจะขึ้นกับรูปแบบพฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะในโพรงแบบ Hernandez และคณะ (2010) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะที่ก่อให้เกิดจุดเสียแบบโลหะมีลักษณะชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสานในชิ้นงานก๊อคน้ำ โดยใช้โปรแกรมจำลองพฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะเทียบกับชิ้นงานจริงที่เกิดจุดเสีย พบว่า น้ำโลหะมีลักษณะการไหลแบบย้อนขึ้นเมื่อน้ำโลหะไหลเข้าโพรงชิ้นงานเมื่อพิจารณาบริเวณปลายของน้ำโลหะขณะที่ไหล พบว่า อุณหภูมิน้ำโลหะลดลง และบรรจบกันในตำแหน่งที่เกิดการไม่ประสานกันของน้ำโลหะเมื่อเทียบกับชิ้นงานจริง Sun และคณะ (2011) แก้ปัญหาจุดเสียที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานเพลาล้อหลังของรถบรรทุก โดยศึกษาจากผลจำลองพฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะ ผลการศึกษาพบว่า การปรับขนาดทางเดินน้ำโลหะโดยการเพิ่มขนาดของทางเข้า และลดระยะของทางเข้าสามารถแก้ปัญหาหน้าโลหะแข็งตัวปิดช่องทางเดินน้ำโลหะ Choudhari และคณะ (2014) ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาโพรงที่เกิดจากการหดตัวบนชิ้นงาน Cover Plate โดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อ จากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของตัวป้อนจ่ายน้ำโลหะสามารถชดเชยโพรงที่เกิดจากการหดตัวได้

จากการศึกษาปัญหา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าในการแก้ปัญหาจุดเสียบนชิ้นงานหล่อ ใช้วิธีการแก้ไขปัญหามาตรฐานที่ทำให้เกิดจุดเสียนั้นๆ หากเข้าใจถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดจุดเสียบนชิ้นงาน จะทำให้ทราบแนวทางในการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ และการใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะ และการกระจายตัวของอุณหภูมิของโลหะในโพรงแบบ สามารถนำมาวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดจุดเสียได้แม่นยำ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของจุดเสียบนชิ้นงานคัมล้อรถไถโดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อ

วิธีการวิจัย

ในการดำเนินงานได้ลงพื้นที่ในการเก็บข้อมูลที่โรงงานปทุมชัยโรงหล่อ อำเภอดงขุดม จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อศึกษากระบวนการผลิตชิ้นงานคัมล้อรถไถ ได้แก่ อุณหภูมิในการเทหล่อ อัตราในการเทหล่อ วัสดุชิ้นงาน และวัสดุทำแม่พิมพ์ เก็บข้อมูลรูปร่าง และขนาดของแม่พิมพ์ที่โรงงานใช้ในปัจจุบัน นำชิ้นงานที่เกิดจุดเสียมาวิเคราะห์รูปร่าง และลักษณะเพื่อระบุประเภทของจุดเสียนั้นๆ นำข้อมูลรูปร่าง และขนาดของแม่พิมพ์ที่โรงงานใช้ในปัจจุบันมาเขียนเป็นรูปร่าง 3 มิติโดยใช้โปรแกรม SolidWorks บันทึกไฟล์เป็นนามสกุล Parasolid (.x_t) จำลองกระบวนการหล่อโดยใช้โปรแกรม ProCAST โดยเริ่มต้นจากการนำรูปร่าง 3 มิติมาสร้างปริมาตรควบคุม (Meshing) โดยใช้ชุดคำสั่งใน Mode MeshCAST การขนาดของอิลิเมนต์ที่เหมาะสมในการทำงาน เมื่อได้ขนาดอิลิเมนต์ที่เหมาะสมในการทำงาน นำเอาโมเดลที่ผ่านการสร้างปริมาตรควบคุมมากำหนดขอบเขตเงื่อนไขของกระบวนการหล่อ (Boundary Conditions)



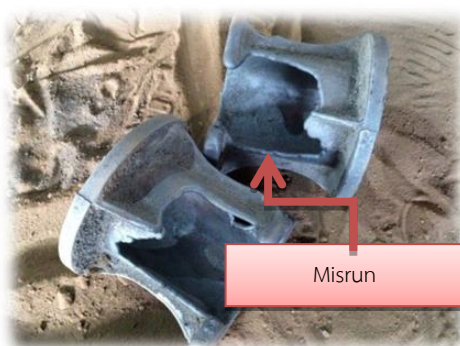
โดยอ้างอิงจากข้อมูลของกระบวนการผลิตจริงในโหมด PreCAST จากนั้นให้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อประมวลผล และนำผลที่ได้จากโปรแกรมมาวิเคราะห์

ผลการวิจัย และบทอภิปราย

ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของจุดเสียบนชิ้นงานดุมล้อรถไถนาโดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อ เริ่มต้นจากการศึกษาจุดเสียที่เกิดบนชิ้นงาน สร้างรูปร่าง 3 มิติ สร้างปริมาตรควบคุม ประมวลผลผ่านโปรแกรม วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การศึกษาลักษณะจุดเสียในชิ้นงานดุมล้อรถไถนา

ในกระบวนการหล่อโลหะจะมีจุดเสียที่เกิดขึ้นอยู่หลายแบบ ทั้งนี้ในกระบวนการหล่อดุมล้อรถไถนาของโรงงานปทุมชัยโรงหล่อ มีจุดเสียที่เห็นได้ชัด คือชิ้นงานไม่เต็มแบบ (Misrun) และชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสาน (Cold shut) จุดเสียชิ้นงานไม่เต็มแบบปรากฏบนชิ้นงานเกิดขึ้นบริเวณด้านข้างของชิ้นงาน บริเวณตรงข้ามกับทางเข้าน้ำโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 1 ลักษณะของจุดเสียคือ น้ำโลหะไหลเข้าไม่เต็มแบบเนื่องจากเกิดการเย็นตัวของน้ำโลหะก่อนน้ำให้ผิวของชิ้นงานแห้ง หรือเสียรูปร่างไป นอกจาก Misrun ที่ปรากฏบนชิ้นงานแล้ว มักจะพบ Cold shut บริเวณเดียวกันกับที่เกิด Misrun ลักษณะของจุดเสียคือ น้ำโลหะหลอมไม่ติดกันในส่วนท้ายของงานหล่อที่เต็มลง

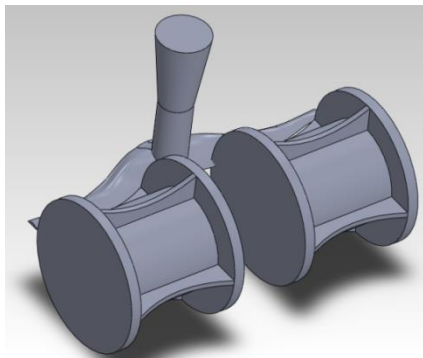


รูปที่ 1 จุดเสียชิ้นงานไม่เต็มแบบ และชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสานบนชิ้นงานดุมล้อรถไถนา

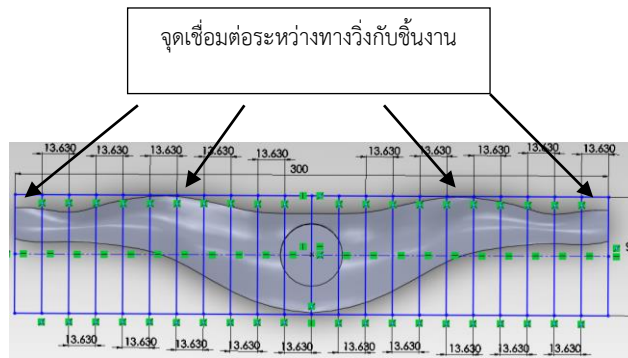
2. การสร้างรูปร่าง 3 มิติ และสร้างปริมาตรควบคุม

ในการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำโลหะจำเป็นต้องสร้างรูปร่าง 3 มิติ แล้วเปลี่ยนเป็นไฟล์นามสกุล Parasolid (.x.t) ซึ่งในกระบวนการสร้างรูปร่าง 3 มิติ จะต้องวัด และสร้างชิ้นงานให้มีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นงานจริงมากที่สุด แม่พิมพ์ที่โรงงานใช้ในปัจจุบัน ประกอบด้วยแอ่งเทเป็นลักษณะทรงกระบอกปากกว้างต่อกับรูปทรงกระบอกตรง ทางวิ่งมีลักษณะโค้ง และมีจุดเชื่อมต่อกับชิ้นงานดุมล้อรถไถ 2 ตำแหน่งต่อชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 2 จุดเชื่อมต่อนี้มีลักษณะแคบลงตามหลักการออกแบบ Pressurize Gating System แม่พิมพ์ 1 ชุดสามารถผลิตดุมล้อได้ 2 ตัวในการเทหล่อ 1 ครั้ง





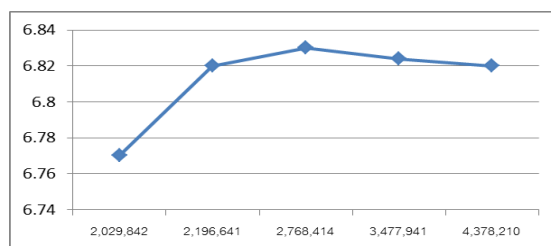
แม่พิมพ์ในการผลิตชิ้นงานดุมล้อรถไถ
(ไม่รวมไส้แบบ)



รูปร่างและขนาดของทางวิ่ง

รูปที่ 2 รูปร่าง 3 มิติของแม่พิมพ์ที่โรงงานใช้ในปัจจุบัน

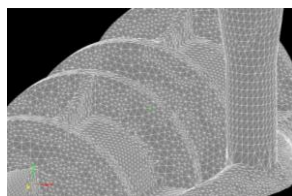
ในการสร้างปริมาตรควบคุมที่มีคุณภาพจำเป็นต้องหาขนาดอิเลเมนต์ที่เหมาะสม โดยในการทดลองกำหนดขนาดอิเลเมนต์เริ่มต้นที่ 7.0 และทำการลดขนาดลงทีละ 0.5 มิลลิเมตร โดยพิจารณาเวลาในการเติมเต็ม (Fill time) ของน้ำโลหะในโพรงแบบเป็นค่าในการวิเคราะห์ หากมีค่าต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 จะเลือกเอาขนาดอิเลเมนต์ที่หยาบที่สุดที่ให้ค่าคงที่เป็นขนาดที่ใช้ในการทดลอง จากการทดลองพบว่า อิเลเมนต์ขนาด 7.0 มิลลิเมตร ให้จำนวนอิเลเมนต์ 2,029,842 อิเลเมนต์ ระยะเวลาในการเติมเต็มเท่ากับ 6.770 วินาที อิเลเมนต์ขนาด 6.5 ให้จำนวนอิเลเมนต์ 2,196,641 อิเลเมนต์ ระยะเวลาในการเติมเต็ม 6.820 วินาที อิเลเมนต์ขนาด 6.0 ให้จำนวนอิเลเมนต์ 2,768,414 อิเลเมนต์ ระยะเวลาในการเติมเต็มเท่ากับ 6.830 วินาที อิเลเมนต์ขนาด 5.5 ให้จำนวนอิเลเมนต์ 3,477,941 อิเลเมนต์ ระยะเวลาในการเติมเต็ม 6.824 วินาที อิเลเมนต์ขนาด 5.0 ให้จำนวนอิเลเมนต์ 4,378,210 อิเลเมนต์ ระยะเวลาในการเติมเต็มเท่ากับ 6.820 วินาที แสดงดังในรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้จากกราฟว่ามีขนาดอิเลเมนต์ที่ 6.5 มีระยะเวลาการเติมเต็มที่ 6.8 วินาที เป็นค่าแรกที่เริ่มคงที่ดังนั้นเราจึงได้เลือกขนาดอิเลเมนต์ที่ 6.5



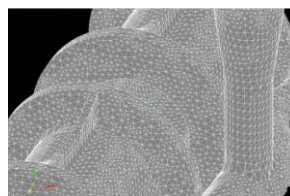
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาในการเติมเต็มและขนาดของอิเลเมนต์ที่เหมาะสม

จากรูปเป็นการหาขนาดอิเลเมนต์ที่เหมาะสมจะหาโดยการสร้างปริมาตรควบคุมที่ขนาดอิเลเมนต์ 7.0 mm ลดลงทีละ 0.5 mm จนถึง 5.0 mm เพื่อหาระยะเวลาในการเติมเต็มที่คงที่ แสดงดังในรูปที่ 4

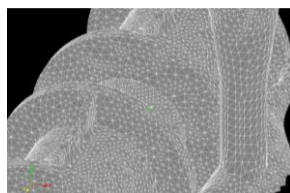




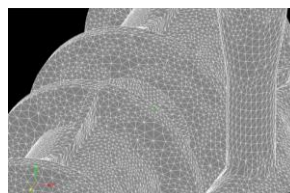
อีลิเมนต์ขนาด 5.0



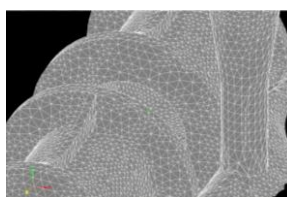
อีลิเมนต์ขนาด 5.5



อีลิเมนต์ขนาด 6.0



อีลิเมนต์ขนาด 6.5



อีลิเมนต์ขนาด 7.0

รูปที่ 4 ขนาดอีลิเมนต์ขนาดต่างๆ บนชิ้นงานทดลอง

3. การกำหนดขอบเขตเงื่อนไข และการจำลองกระบวนการหล่อ

ในการสร้างแบบจำลองงานหล่อต้องใส่ข้อมูลขอบเขตเงื่อนไขสำหรับกระบวนการ โดยขอบเขตเงื่อนไขจะอยู่ในรูปแบบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหล่อ เช่น อุณหภูมิหล่อ อัตราการเทหล่อ จึงต้องไปเก็บข้อมูลกระบวนการหล่อที่ปทุมชัยโรงหล่อในวันที่ 10 ตุลาคม 2558 เวลา 05.00 น. ข้อมูลที่ต้องการเก็บได้แก่ อัตราการเทหล่อและอุณหภูมิในการเทหล่อ อัตราการเทหล่อสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 1 จากการเก็บข้อมูลพบว่า อัตราการเทหล่อต่ำสุดอยู่ที่ 670 กรัม/วินาที และอัตราการเทหล่อสูงสุดอยู่ที่ 1,500 กรัม/วินาที อัตราการเทหล่อโดยเฉลี่ยมีค่า 1,000 กรัม/วินาที ซึ่งจะนำไปใช้เป็นอัตราการเทหล่อในการทดลอง จากการศึกษากระบวนการหล่อที่โรงงานพนักงานในโรงงานจะรองเอาน้ำโลหะจากเตาหลอมมาไว้ในเข้าขนาดใหญ่ และเทน้ำโลหะจากเข้าขนาดใหญ่ใส่เข้าเทที่มีลักษณะคล้ายกระบวยขนาดเล็กก่อนเทลงแม่พิมพ์ ในการวัดอุณหภูมิที่ใช้ในการเทหล่อใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิด Infrared ติดตั้งบนขาตั้งกล้องและยิงไปที่น้ำโลหะบริเวณปากแอ่งเทของการเก็บข้อมูลพบว่า อุณหภูมิของน้ำโลหะในเวลาเทแรกอยู่ที่ 1,300 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำโลหะในเข้าเทสุดท้ายมีค่า 1,193 องศาเซลเซียส จึงกำหนดอุณหภูมิเทหล่อที่ใช้ในการทดลองที่ 1,300 1,280 1,260 1,240 1,220 1,200 และ 1,190 องศาเซลเซียส นำข้อมูลทั้งหมดมากำหนดเป็นขอบเขตเงื่อนไขในการจำลองดังแสดงในตารางที่ 1

$$\text{อัตราการเทหล่อ} = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นงาน (กรัม)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการเทหล่อ (วินาที)}} \quad (1)$$



ตารางที่ 1 ขอบเขตเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองกระบวนการหล่อ

ขอบเขตเงื่อนไข	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
จำนวนอิเลเมนต์	2,196,641
จำนวน Step ในการทดลอง	20,000 Step
วัสดุที่ใช้เทหล่อ	เหล็กหล่อเทา
วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์	Green_Sand
วัสดุที่ใช้ทำไส้แบบ	Resin_Bonded_Sand
อุณหภูมิเทหล่อ	1,300 1,280 1,260 1,240 1,220 1,200 และ 1,190 องศาเซลเซียส
อัตราในการเทหล่อ	1,000 กรัมวินาที/
พื้นที่ในการเทน้ำโลหะ	1,000 ตารางมิลลิเมตร

ผลที่ได้จากการจำลองโดย ProCAST จะช่วยให้สามารถมองเห็นพฤติกรรมการไหล และการแข็งตัวจนถึงการแข็งตัวของน้ำโลหะ ในการทดลองจะใช้ตัวแปรในการวิเคราะห์ 3 รูปแบบ คือ อุณหภูมิ สัดส่วนของแข็ง ของเหลว/ (Solid Fraction) และความเร็วของน้ำโลหะที่บริเวณต่างๆ ในการทดลองได้วิเคราะห์ที่อุณหภูมิเทหล่อ 1,300 1,280 1,260 1,240 1,220 1,200 และ 1,190 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในการวิเคราะห์สัดส่วนการแข็งตัวของโลหะ ได้วิเคราะห์ตามแถบสีดังแสดงในรูปที่ 5 แถบสีที่มีสีแดงเข้มจะถือเป็นส่วนที่ของเหลว 1 ส่วน สัดส่วนของของเหลวจะเปลี่ยนกลายเป็นสัดส่วนของแข็งตามสีที่เปลี่ยนไปจากสีแดงไปเป็นสีส้มเหลือง และสีเทาตามลำดับ

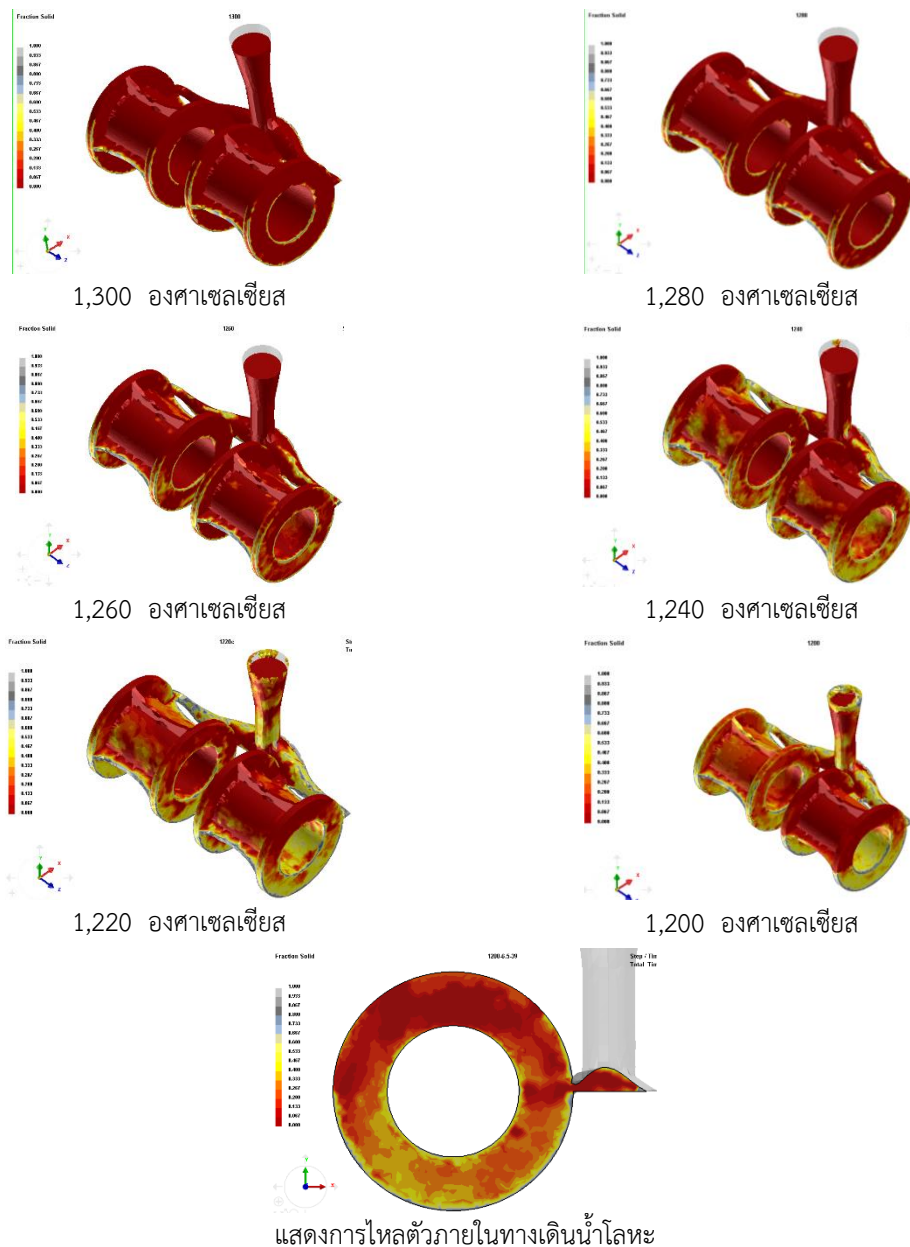


รูปที่ 5 แถบแสดงสัดส่วนการแข็งตัว

การจำลองการไหลของน้ำโลหะที่ส่งผลให้ชิ้นงานคูลลอร์ถไถนาที่อุณหภูมิเทหล่อ 1,300 1,280 1,260 1,240 และ 1,220 องศาเซลเซียส การไหลของน้ำโลหะยังสามารถส่งผลให้ชิ้นงานคูลลอร์ถไถนาเต็มแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดูผลได้จากแถบสีแสดงสัดส่วนการแข็งตัวของน้ำโลหะดังรูปที่ 6 จากผลการทดลองพบว่าน้ำโลหะสามารถไหลได้เต็มแบบ โดยเกิดเฟสของแข็งขึ้นเล็กน้อยในบริเวณชิ้นงานที่มีหน้าตัดบาง แต่ก็ยังสามารถไหลได้เต็มแบบ เมื่อวิเคราะห์ทางเดินน้ำโลหะพบว่าทางเดินน้ำโลหะยังมีประสิทธิภาพในการลำเลียงน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบ โดยผลที่ได้จากการประมวลผลของคูลลอร์ถไถนาที่อุณหภูมิเทหล่อ 1,260 องศาเซลเซียสลงมา เริ่มมีของเหลวกึ่งของแข็งผสมอยู่ในบริเวณทางเดินน้ำโลหะ และชิ้นงานคูลลอร์ถไถนาในสัดส่วนที่มากขึ้น ผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าการแข็งตัวของชิ้นงานจะแข็งตัวจากด้านนอกของชิ้นงาน คือส่วนที่ติดกับแม่พิมพ์ เนื่องจากส่วนที่ติดกับแม่พิมพ์นั้นจะมีการถ่ายเทความร้อนเป็นส่วนแรกๆ รอบชิ้นงาน การแข็งตัวจะแข็งตัวจากส่วนของผนังที่มีความบาง และชิ้นงานจะเย็นตัวช้า หรือเร็วอุณหภูมิเทหล่อจะส่วน จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าชิ้นงานที่มีอุณหภูมิเทหล่อสูงจะปรากฏเฟสของแข็งขึ้นเพียงเล็กน้อยในเวลาที่น้ำโลหะไหลเต็มแบบ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ลดลงมา แถบสีจะให้เห็นความแตกต่างของการแข็งตัว โดยชิ้นงานที่เทหล่อที่อุณหภูมิ 1,260 องศาเซลเซียส – 1,200 องศาเซลเซียส จะปรากฏแถบสีเหลืองซึ่งอยู่ในสถานะกึ่งของแข็งกึ่งของเหลว ซึ่งในความเป็นจริงแล้วสถานะกึ่งของแข็งกึ่งของเหลวจะไม่สามารถไหลตัวได้ ซึ่งจากรูปที่



แสดงจะเห็นว่าชิ้นงานที่มีแถบสีเหลืองอยู่ แต่ชิ้นงานยังสามารถเติมแบบได้ เนื่องจาก การแข็งตัวของแข็ง กิ่งของเหลวที่ปรากฏนั้น เป็นการแข็งตัวภายนอกของผนังชิ้นงาน แต่ถ้าหากทำการวิเคราะห์ภาพตัดดูภายในชิ้นงาน จะสามารถทำให้เห็นส่วนกลางของทางเดินน้ำโลหะนั้นยังมีแถบสีแดง ซึ่งอยู่ในสถานะของของเหลวทำให้น้ำโลหะ ยังสามารถไหลเติมเต็มชิ้นงานได้

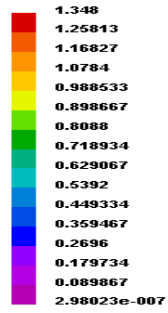


รูปที่ 6 การเกิดเฟสของแข็งภายในชิ้นงานที่อุณหภูมิต่างๆ

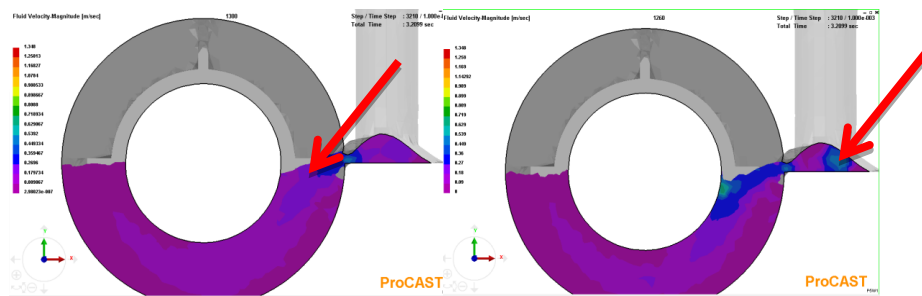
ในการวิเคราะห์ที่ได้วิเคราะห์ถึงความเร็วของน้ำโลหะในขณะที่ไหลเข้าสู่แบบหล่อตามตำแหน่งต่างๆ ภายในแบบหล่อ ซึ่งมีการกำหนดผลที่ใช้เวลาในการเติมเต็มเข้าชิ้นงานตามลัทธิของเวลาที่กำหนดเวลาไว้ 3.2 (วินาที) และจะมีแถบสีที่แสดงถึงความเร็วของน้ำโลหะในขณะที่ไหลเข้าสู่แบบหล่อตามลัทธิของเวลาที่กำหนดตามตำแหน่งต่างๆ ภายในแบบหล่อ แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งจะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันดังอุณหภูมิต่อไปนี้ 1,300 1,280 1,260 1,240 1,220 1,200 และ 1,190 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 8



Fluid Velocity-Magnitude [m/sec]

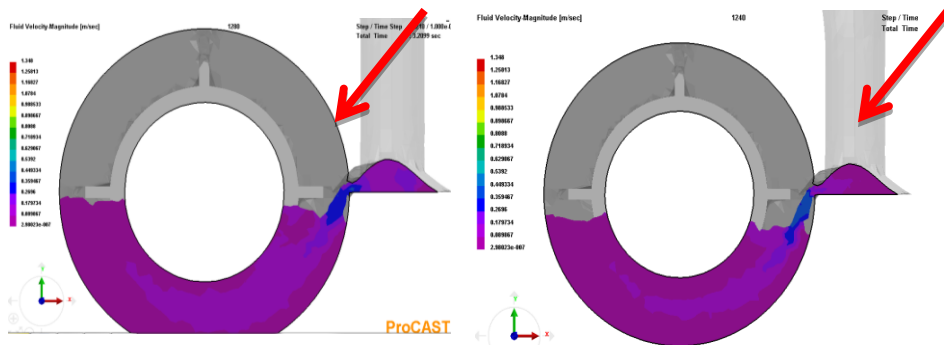


รูปที่ 7 แสดงความเร็วการไหลของน้ำโลหะ (วินาที/เมตร)



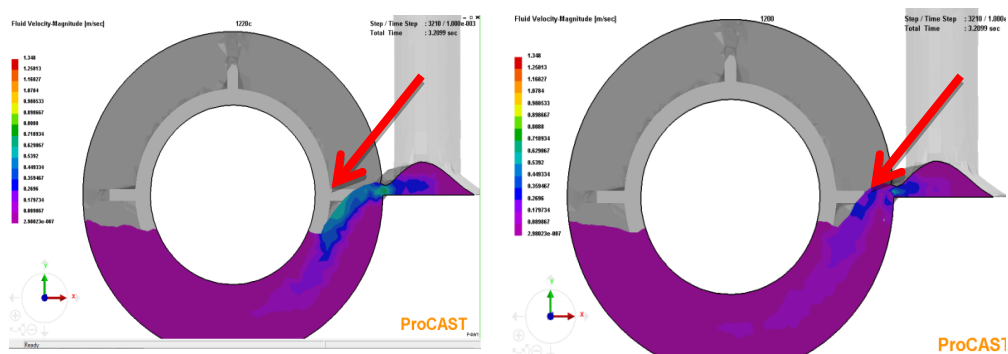
1,300 องศาเซลเซียส

1,280 องศาเซลเซียส



1,260 องศาเซลเซียส

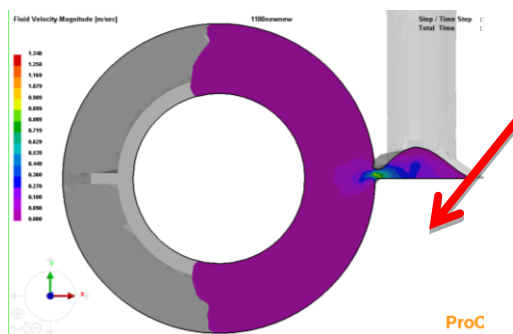
1,240 องศาเซลเซียส



1,220 องศาเซลเซียส

1,200 องศาเซลเซียส

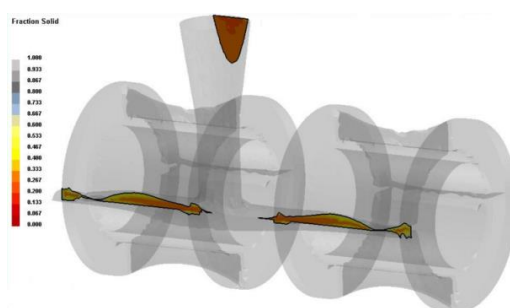




1,190 องศาเซลเซียส

รูปที่ 8 ความเร็วในการไหลของน้ำโลหะในโพรงแบบ (ต่อ)

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะพบว่าที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส ลงมาจนถึง 1,200 องศาเซลเซียส น้ำโลหะมีพฤติกรรมการไหลจากที่สูงลงที่ต่ำ และเต็มโพรงแบบในลักษณะจากด้านล่างขึ้นด้านบน (Bottom Up) แต่เมื่อพิจารณาที่ขึ้นงานอุณหภูมิ 1,190 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำโลหะมีพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วน คือมีการไหลขึ้นด้านบนของชิ้นงานคล้ายคลื่น พฤติกรรมการไหลรูปแบบที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานที่เทหล่อที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เช่น กันแต่จะเกิดเมื่อขึ้นงานใกล้จะเต็มแบบแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 8 เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างพฤติกรรมการไหลกับสัดส่วนการแข็งตัว พบว่า น้ำโลหะแข็งตัวในบริเวณทางเข้าของชิ้นงานบางส่วนทำให้เหลือพื้นที่ในการไหลของน้ำโลหะน้อย ดังแสดงในรูปที่ 9 โดยการแข็งตัวจะเกิดขึ้นจากภายนอกเข้ามาภายในของทางเข้า เมื่อทางเดินน้ำโลหะมีขนาดเล็กลงจะส่งผลให้เกิดแรงดันที่จุดๆ นั้น (Choke) จึงปรากฏพฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะที่มีทิศทางไหลขึ้น และมีการไหลแบบปั่นป่วน ดังแสดงในรูปที่ 10 พฤติกรรมการไหลลักษณะเช่นนี้เมื่อเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำจะก่อให้เกิดจุดเสียหล่อไม่เต็มแบบ และชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสาน ลักษณะเป็นช่องโหว่กลางชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 11

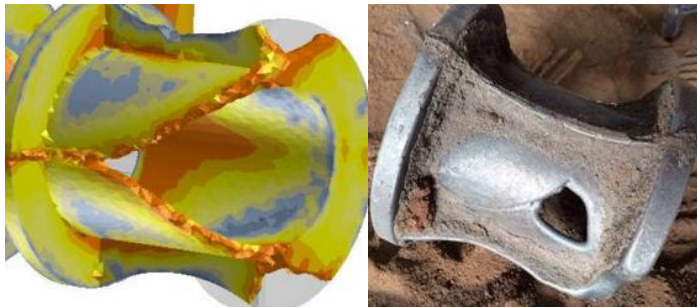


รูปที่ 9 ภาพตัดแสดงการแข็งตัวบริเวณทางเข้า





รูปที่ 10 พฤติกรรมการไหลที่ก่อให้เกิดจุดเสียหล่อไม่เต็มแบบ และชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสาน



รูปที่ 11 แสดงจุดเสียหล่อไม่เต็มแบบ และชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสานแบบช่องโหว่กลางชิ้นงาน

สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาผลของทางเดินน้ำโลหะที่มีผลต่อการเติมเต็มชิ้นงานตุ้มล้อรถไถ พบว่า ที่อุณหภูมิเทหล่อ 1,300 1,280 1,260 1,240 และ 1,220 องศาเซลเซียส น้ำโลหะสามารถเติมเต็มให้กับชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่มีจุดเสียในชิ้นงานตุ้มล้อรถไถ และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,200 องศาเซลเซียสลงมา น้ำโลหะเกิดการแข็งตัวก่อนเติมแบบ จึงทำให้ชิ้นงานเกิดการแข็งตัวปรากฏจุดเสียหล่อไม่เต็มแบบ และชิ้นงานเย็นตัวไม่ประสาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทไทยซัมมิต ฮาร์เนส จำกัด และกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ที่ได้เอื้อเฟื้อลิขสิทธิ์การใช้โปรแกรม SolidWorks ในการสร้างแบบจำลอง 3D และโปรแกรม ProCAST ในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณโรงงานปทุมชัยโรงหล่อ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บข้อมูลมาทำงานวิจัย และตัวอย่างชิ้นงานจริง ที่ได้นำมาศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- ธน ทองกลม จรวัยพร แสนทวีสุข* คมสันต์ ภูเต้านิล และพงประเสริฐ ศรีเนตร (2557). การวิเคราะห์จุดเสียในการหล่อทองเหลืองวิธีขึ้นหยาบแบบโบราณโดยการหล่อในแม่พิมพ์แบบปิดกรณีศึกษาการหล่อทองเหลืองบ้านปะอาว . เอกสารการประชุมวิชาการมอบ. วิจัย ครั้งที่ 8 ประจำปี 2557
- ไพบุลย์ ชูพงษ์อาตม์. (2533). ข้อบกพร่องที่เกิดกับงานหล่อ และการแก้ไข. กรุงเทพมหานคร. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม
- มนัส สติรจินดา, วิศวกรรมงานหล่อเหล็ก, (เอกสารการสอน) คณะวิศวกรรมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 56-282.



- Choudhari, C.M. et. al, (2014). Casting Design and Simulation of Cover Plate Using Auto Cast X Software for Defect Minimization with Experimental Validation. Procardia Materials Science. Vol 6. 786-797.
- Hernandez, A.J. et. al, (2010). Cold Shut Formation Analysis on a Free Lead Yellow Brass Tap. Engineering Failure Analysis. Vol 17. 1285-1289.
- Pearce, J.T.H. และคณะ. (2544). ข้อบกพร่องในงานหล่อโลหะ สาเหตุและวิธีการแก้ไข. กรุงเทพมหานคร ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
- Sun, Y. et. al, (2011). Numerical Simulation and Defect Elimination in the Casting of Truck Rear Axle Using a Nodular Cast Iron. Materials and Design. Vol 32. 1623-1629.
- ESI Group. (2010). ProCAST Tutorials Version 2010.0. ESI Group Head Office. Paris. France.

