

การวิเคราะห์การไหลของสังกะสีในแม่พิมพ์ฉีดโดยใช้ คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม

ไพบูลย์ สานารักกิจ¹ ชนะ รักษิรี^{1,2*} สุภสิทธิ์ รอดขวัญ^{1,3} และชัยยกร จันทร์สุวรรณ^{1,3}
ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม
²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ
³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทร 0-2942-7188 โทรสาร 0-2942-7189 *อีเมล chana_raksiri@yahoo.com

Paiboon Sasanarakkit¹, Chana Raksiri^{1,2*}, Supasit Rodkwan^{1,3} and Chaiyakorn Junsuwan^{1,3}

¹Center of Excellence in Rubber Mould, Research and Development Institute of Industrial Production Technology

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University and

³Department 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

คำสำคัญ : การไหลของสังกะสี, แม่พิมพ์ฉีดสังกะสี, คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจำลองลักษณะการไหลของน้ำสังกะสีในแม่พิมพ์ฉีดสังกะสี เพื่อที่จะหาบริเวณที่เป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (Computer Aided Engineer , CAE) และช่วยลดเวลาในการทดลองฉีดชิ้นงานกับเครื่องจักรจริง โดยนำเอาเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการทำงาน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. ใช้ในการเขียนแบบชิ้นงาน 3 มิติ 2. ใช้จำลองการไหลของน้ำสังกะสีในแม่พิมพ์ฉีดสังกะสี จากการศึกษพบว่า การจำลองการไหลของน้ำสังกะสีในแม่พิมพ์ฉีดสังกะสีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม สามารถที่จะวิเคราะห์หาบริเวณที่เป็นจุดบกพร่องของชิ้นงานได้โดยใช้หลักการวิเคราะห์ 2 แบบคือ 1. วิเคราะห์จากลักษณะการไหลและทิศทางไหลของน้ำสังกะสี (Flow Analysis) 2. วิเคราะห์จากช่วงเวลาในการเติมเต็มของน้ำสังกะสี (Fill Time) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 2 แบบจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อรู้ถึงบริเวณที่เป็นจุดบกพร่องของชิ้นงานก็จะสามารถแก้ไขแบบชิ้นงาน 3 มิติ หรือค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเพื่อกำจัดข้อบกพร่องต่างๆ ให้หมดไป

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆ ในประเทศไทยได้มีการขยายตัวเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมทางด้านแม่พิมพ์เป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวและมีความต้องการเพิ่มขึ้นสูงมาก รวมถึงแม่พิมพ์ในด้านการฉีดสังกะสี (Zinc Die Casting) เนื่องจากการฉีดสังกะสีมีจุดเด่นดังนี้คือ

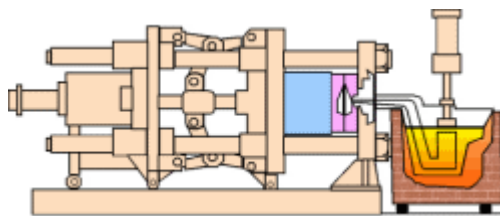
1. ใช้เครื่องฉีดแบบห้องอคร้อน (Hot Chamber) ซึ่งจะได้ผลผลิตที่สูง
2. งานฉีดสังกะสีใช้อุณหภูมิในการฉีดต่ำสุด ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย
3. สามารถใช้ฉีดชิ้นงานที่มีผนังบางมากๆ ได้
4. ใช้ฉีดชิ้นงานที่มีลักษณะซับซ้อนได้
5. ผิวของชิ้นงานที่ได้จากการฉีดสังกะสีจะดี สามารถตกแต่งด้วยเครื่องมือกลได้ง่ายและรวดเร็ว

ในปัจจุบันเทคโนโลยีหรือองค์ความรู้ในการผลิตและออกแบบแม่พิมพ์การฉีดสังกะสียังอยู่ในวงจำกัดและไม่ค่อยมีการเปิดเผย ทำให้ผู้ประกอบการในแต่ละแห่งพยายามที่จะศึกษาด้วยตนเองรวมทั้งใช้ประสบการณ์ในการผลิตและออกแบบแม่พิมพ์ โดยใช้วิธีผลิตแม่พิมพ์ขึ้นมาก่อนจากนั้นนำไปทดลองฉีดแล้วจึงนำชิ้นงานที่ได้จากการฉีดมาตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งชิ้นงานที่ได้อาจจะไม่ถูกต้องตามความต้องการ หรือชิ้นงานที่ได้มามีข้อบกพร่องเกิดขึ้น จึงต้องมีการทดลองฉีดและตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นงาน จนกว่าชิ้นงานจะมีความถูกต้องสมบูรณ์ (Trial and error) ซึ่งต้องใช้เวลาในการตรวจสอบนานและมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น แต่ในปัจจุบันอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) มาช่วยในการสร้างแบบของแม่พิมพ์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรมและวิเคราะห์ (CAE) มาช่วยวิเคราะห์การไหลของน้ำสังกะสีในแม่พิมพ์ ทำให้ช่วยลดเวลาที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์และขั้นตอนทดลองฉีดได้ซึ่งจะมีผลให้เวลาในการผลิตแม่พิมพ์สั้นลงด้วย

ดังนั้นโครงการนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการไหลของน้ำสังกะสีในแม่พิมพ์ฉีดสังกะสี (Zinc Die Casting) เพื่อให้ชิ้นงานที่ออกแบบมีความเหมาะสมในการฉีดสังกะสีและช่วยลดข้อบกพร่องของชิ้นงาน ซึ่งจะช่วยให้เวลาในการผลิตแม่พิมพ์สั้นลงด้วย

1.1 การหล่ออัดฉีดแบบห้องอคร้อน (Hot Chamber Die Casting Machine)

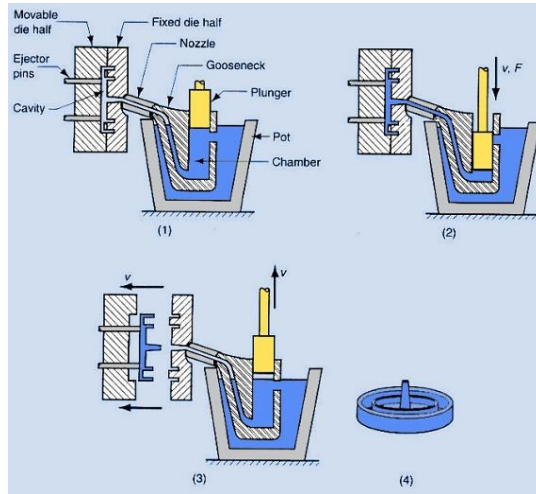
ในปัจจุบันเครื่องหล่ออัดฉีดที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานหล่อสังกะสีโดยทั่วไปจะใช้แบบ Hot Chamber โครงสร้างทั่วไปของเครื่องได้แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพด้านขวางของเครื่องหล่ออัดฉีดชนิดห้องอคร้อน (Hot Chamber Die Casting Machine)

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าเครื่องหล่ออัดฉีดแบบ Hot Chamber จะมีที่ฉีด (ที่สำหรับฉีดน้ำโลหะเข้าไปในแม่พิมพ์โดยใช้แรงอัด) นอนอยู่ในน้ำโลหะ ลักษณะเด่นสุดของเครื่องคือ อุณหภูมิของน้ำโลหะจะสูญเสียไปน้อยที่สุด ข้อดีอีก

ประการหนึ่ง คือไม่ต้องคอนเดิมน้ำโลหะส่งเข้าที่ฉีด ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่เป็นของเครื่องแบบ Cold Chamber ทำให้ย่นเวลาการหล่อลงและเพิ่มผลผลิตสูงขึ้น รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของเครื่องแบบ Hot Chamber



รูปที่ 2 รอบการหล่อของเครื่องหล่ออัดฉีดแบบ Hot Chamber

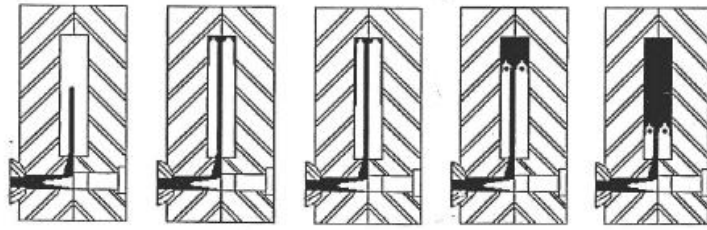
การหล่อด้วยเครื่องแบบ Hot Chamber นี้สามารถผลิตชิ้นงานติดต่อกันได้ตามจำนวนที่ต้องการ ขึ้นตอนการฉีดในแต่ละรอบมีดังนี้

1. สลักจะถูกดันด้วยแรงอัดลมเพื่อปิดแม่พิมพ์ ถ้าลูกสูบอยู่ในตำแหน่งลอยตัวน้ำโลหะจะไหลจากที่เก็บเข้าไปในกระบอกลูกสูบ (ท่อคล้ายคอห่าน)
2. เมื่อดันลูกสูบลงจะทำให้ น้ำโลหะไหลผ่านท่อเข้าไปในแม่พิมพ์ด้วยแรงดันประมาณ 210 กม/ ซม² ซึ่งเป็นแรงดันของเหลวที่ใช้กันทั่วไป และเมื่อลูกสูบขยับลอยตัวขึ้นบน น้ำโลหะส่วนที่เหลือก็จะไหลกลับเข้าไปในกระบอกลูกสูบ แล้วน้ำโลหะก็จะไหลจากที่เก็บเข้าสู่กระบอกลูกสูบอีกเพื่อเตรียมฉีดครั้งต่อไป
3. น้ำโลหะที่ฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ด้วยแรงดันจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วและแข็งตัว เมื่อเปิดแม่พิมพ์ออก ชิ้นงาน ช่องทางวิ่ง (Sprue Runner) น้ำโลหะและอื่น ๆ ก็จะถูกผลักออกด้านนอกด้วยสลักดัน (Ejector Pin)

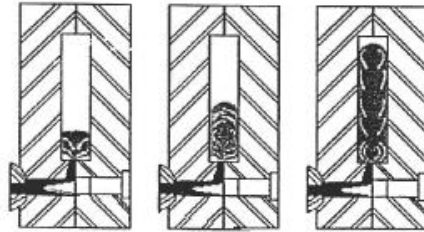
1.2 พื้นฐานการไหลของน้ำสังกะสี

การไหลของน้ำโลหะของการฉีดขึ้นรูปสังกะสียึดหลักตามพื้นฐานทฤษฎีที่ถูกค้นคว้าโดย Fommer เมื่อปี 1932, Brandt เมื่อปี 1937 และ Koester & Goehrint

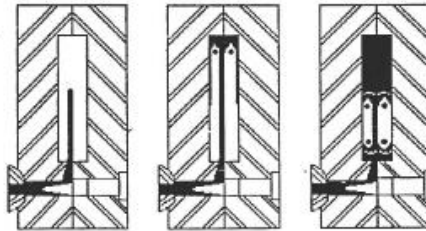
รูปที่ 4(1) แสดงทฤษฎีการไหลของ Fommer ที่กล่าวว่า น้ำโลหะที่เป็นลำน้ำจากทางเข้า วิ่งไปกระทบปลายสุดของผนังแบบและสะสม ทำให้เกิดการไหล สองแนววิ่งกลับมาทางด้านทางเข้า การไหลนี้วิ่งเข้าโพรงแบบ ขณะเดียวกันก็หมุนเวียนเอาก๊าซและอากาศไว้ด้วย ด้วยเหตุนี้ด้านทางเข้าจะถูกเติมเป็นด้านสุดท้าย ทำให้ก๊าซและอากาศเหลือที่บริเวณด้านทางเข้า



(1) การไหลแบบ FOMMER



(2) การไหลแบบ BRANDT



(3) การไหลแบบ KOESTER & GOEHRING

รูปที่ 3 การไหลของน้ำสังกะสีแบบพื้นฐานของจีนงาน

รูปที่ 3(2) แสดงทฤษฎีของ Brandt ที่กล่าวว่าน้ำโลหะที่เป็นลำนํ้าจากทางเข้า และวิ่งเข้าหาด้านปลายโพรงแบบ ขณะเดียวกันก็เกิดสภาพการวิ่งอย่างไม่สม่ำเสมอ และจะไหลในลักษณะนี้จนเต็มโพรงแบบการไหลเต็มโพรงแบบนี้ ถ้าทำช่องระบายอากาศบริเวณผิวปิดแม่พิมพ์ที่ด้านปลายโพรงแบบแล้วสามารถไล่ก๊าซ และอากาศออกจากโพรงแบบได้ง่าย

รูปที่ 3(3) แสดงทฤษฎีของ Koester & Goehring สนับสนุนทางทฤษฎีการไหลของ Fommer แต่แตกต่างจากทฤษฎีของ Fommer คือการสะสมเป็นเขื่อนของน้ำโลหะที่เป็นลำนํ้าจากทางเข้า ก็จะเกิดที่ด้านทางเข้าด้วย ด้วยเหตุนี้การเติมทั้งด้านปลายโพรงแบบ และด้านทางเข้าเริ่มขึ้น สุดท้ายจะเต็มทีบริเวณภายในโพรงแบบที่เป็นส่วนใหญ่ โดยธรรมชาติแล้ว การเหลืออยู่ของก๊าซ และอากาศจะปรากฏบริเวณที่ถูกเติมนํ้าโลหะส่วนสุดท้าย

ในความเป็นจริง ชิ้นงานที่มีรูปร่างง่ายดั่งการทดลอง และวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นมีน้อย แต่จะซับซ้อนและมีความหนาที่ผนังที่ไม่เท่ากัน ด้วยเหตุผลเหล่านี้การไหลภายในโพรงแบบที่แท้จริงจะไม่เป็นเหมือนการไหลแบบที่กล่าวมาข้างต้น แม้ว่าจะเป็นชิ้นงานเดียวกันก็ตาม การไหลจะเปลี่ยนไปอย่างมากที่ส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงาน และยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งทางเข้า รูปร่าง และทิศทางการไหล แต่จากประสบการณ์พบว่า การไหลของน้ำโลหะของชิ้นงานนั้น ให้ยึดหลักของ Fommer ประมาณ 70% นอกนั้นก็เหลือคือ Brandt, Koester & Goehring 30% นอกจากนั้นถ้าดูจากคุณภาพของชิ้นงานการไหลแบบ Brandt เป็นการไหลแบบอุดมคติของการฉีดที่ดีที่สุด เพราะว่าการไหลแบบ Brandt เป็นการหมุนวนเอาก๊าซ และอากาศออก ดังนั้นจึงมีเหลืออยู่น้อย การไล่ก๊าซและอากาศออกก็ง่าย ปัญหาการหมุนวนเอาก๊าซ และ

อากาศที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของชิ้นงาน ไม่ใช่เพียงแค่ข้อบกพร่องเดียว แต่ยังมีกรณีไม่ดี รอยชนกันของน้ำโลหะ เป็นต้น การไหลแบบ **Brandt** ชิ้นงานที่ซับซ้อน และความหนาของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงด้วยการไหลแบบนี้จะทำให้เติมเต็มได้ยาก แต่การออกแบบแม่พิมพ์จะออกแบบให้ได้ด้วยเงื่อนไขการไหลที่ใกล้เคียงกับแบบ **Brandt** อย่างเต็มที่

1.3 ความรู้เบื้องต้นของแบบจำลองในกระบวนการหล่อโลหะ

ในการศึกษาปรากฏการณ์ของกระบวนการการหล่อโลหะสามารถอธิบายได้โดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังรูปที่ 4 คือ

- จะต้องสามารถระบุปรากฏการณ์หรือพฤติกรรมของกระบวนการที่ต้องการศึกษาได้ เช่น ต้องการศึกษการเติมเนื้อโลหะเข้าไปในโพรงแม่พิมพ์ (**Filling of cavity**)

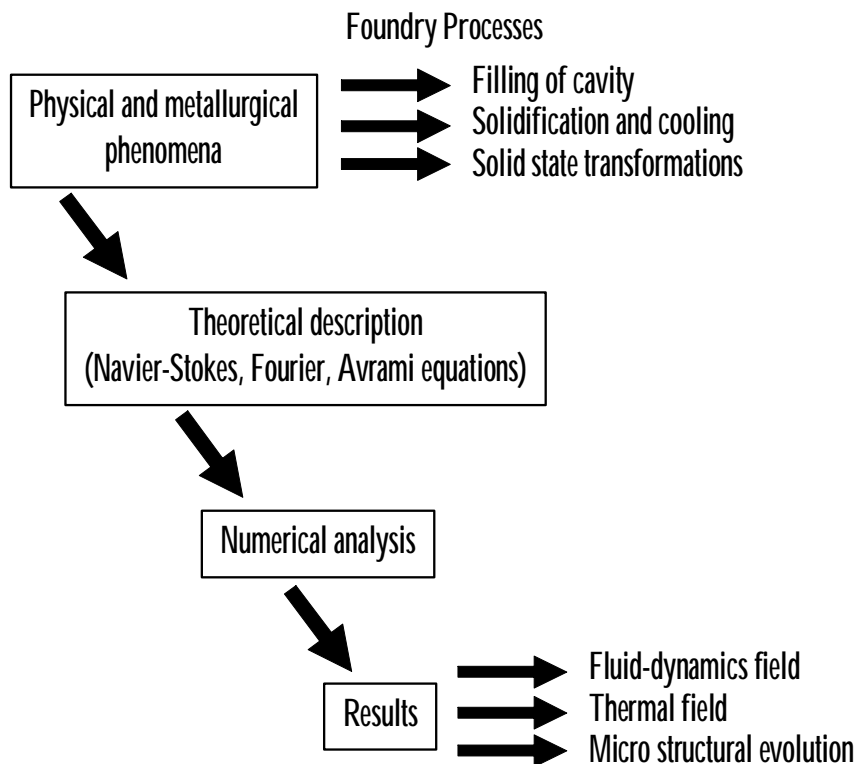
- ประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ให้สอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ต้องการศึกษา
- ทำการแก้สมการเพื่อหาผลเฉลย

จากทฤษฎีต่างๆ ที่ได้มีการศึกษากันมาในกระบวนการหล่อโลหะสามารถที่จะพิจารณาขั้นตอนในกระบวนการหล่อเพื่อนำมาหาคำตอบ คือ

- ขั้นตอนการเติมโลหะหลอมเหลวเข้าไปภายในโพรงแม่พิมพ์ (**Filling of Cavity**) ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยกฎของกลศาสตร์ของไหล (ระบบสมการนาเวียร์-สโตกส์)

- ขั้นตอนการเย็นตัวและการกลายเป็นของแข็งของโลหะ (**Solidification and Cooling of Alloy**) ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยกฎการถ่ายเทความร้อน

- ขั้นตอนการเข้าสู่สถานะของแข็ง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกฎของเทอร์โมไดนามิกส์



รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนแบบจำลองของกระบวนการหล่อโลหะ

ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ปัญหาเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหรือองค์ประกอบใหญ่ๆ ดังนี้คือ 1) การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต (Initial and Boundary Conditions) เช่น อุณหภูมิของชิ้นงาน, รูปร่างของชิ้นงาน, รายละเอียดต่างๆของแม่พิมพ์ เป็นต้น 2) คุณสมบัติของโลหะที่ต้องการศึกษา เช่น อุณหภูมิหลอมเหลว, ค่าความหนืด, ค่าความหนาแน่น, ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างโลหะ (ชิ้นงาน) และแม่พิมพ์ เป็นต้น

1.4 การสร้างแบบจำลองของกระบวนการหล่อโลหะ (Modeling of Foundry Processes)

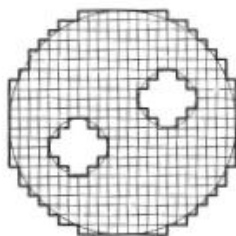
ในการสร้างแบบจำลองของกระบวนการหล่อโลหะนั้นจะต้องเริ่มจากขั้นตอนการกำหนดรูปร่างชิ้นงาน (Geometry definition), การกำหนดตาราง (mesh) ของรูปร่างชิ้นงาน (Geometry enmeshment), การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุและกระบวนการ (Material and process parameter definition), การจำลองการไหล (Simulation/Solution of the governing equations) และการประเมินหรือวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Evaluation of the results)

1.4.1 การกำหนดรูปร่างชิ้นงาน (Geometry definition)

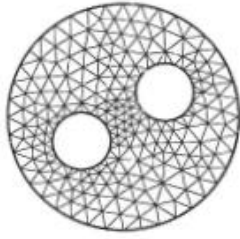
ในขั้นตอนแรกของการสร้างแบบจำลองจะเป็นการกำหนดรูปร่างหรือรูปทรงของชิ้นงาน รวมทั้งโครงสร้างต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการฉีด เช่น ระบบทางเข้าเพื่อป้อนน้ำโลหะเข้าไปในชิ้นงาน (Gating System), ระบบทางวิ่งของน้ำโลหะ (Running System) หรือ ระบบหล่อเย็น (Cooling System) เป็นต้น โดยส่วนใหญ่แล้วขั้นตอนนี้จะใช้โปรแกรมเฉพาะทาง CAD (Computer-Aided Design) เช่น AutoCAD, Pro/Engineer หรือ Unigraphics เป็นต้น ในการสร้างรูปร่างหรือรูปทรงของชิ้นงาน

1.4.2 การกำหนดตาราง (mesh) ของรูปร่างชิ้นงาน (Geometry enmeshment)

ขั้นตอนนี้คือ ขั้นตอนในการสร้างตาราง (mesh) ภายในบริเวณขอบเขตของปัญหาที่ต้องการจะศึกษา ซึ่งขอบเขตนี้ถูกสร้างขึ้นไว้แล้วจากโปรแกรม CAD โดยตัวแปรที่สนใจ เช่น ความเร็ว อุณหภูมิ และความดัน จะถูกเก็บไว้ในแต่ละจุดของตารางที่กระจายตัวอยู่ในขอบเขตนี้ การสร้างตารางนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามลักษณะการกระจายตัวของตาราง คือ ตารางแบบมีโครงสร้าง (Structured Mesh) และ ตารางแบบไม่มีโครงสร้าง (Unstructured Mesh) โดยตารางแบบมีโครงสร้างนั้น จะมีการกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบ (รูปที่ 5) ส่วนตารางแบบไม่มีโครงสร้างนั้นจะมีรูปทรงเป็นอะไรก็ได้ แต่ส่วนใหญ่แล้วตารางแบบมีโครงสร้างจะใช้ตารางเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม และตารางแบบไม่มีโครงสร้างจะใช้ตารางเป็นรูปทรงสามเหลี่ยม



รูปที่ 5 ตาราง (mesh) แบบมีโครงสร้าง



รูปที่ 6 ตาราง (mesh) แบบไม่มีโครงสร้าง

ขั้นตอนการสร้างตารางนี้มีผลต่อความถูกต้องของผลการคำนวณเป็นอย่างมาก โดยความถูกต้องของผลการคำนวณที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับตารางในบริเวณที่สนใจ คือ ถ้าใช้จำนวนจุดมากขึ้นก็จะได้ผลการคำนวณที่ถูกต้องแม่นยำขึ้น แต่การใช้จำนวนจุดที่มากจะต้องใช้เวลา และกำลังคอมพิวเตอร์ในการคำนวณที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องทำการแบ่งจำนวนจุดให้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยจะใช้ตารางแบบไม่มีรูปลักษณะ (Non-Uniform Grid) หรือตารางที่มีการอัดตัว (Clustered Grid) เพื่อที่จะทำการแบ่งบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงให้มีความละเอียดมาก และทำการแบ่งตารางแต่เพียงหยาบ ๆ ในส่วนของบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย

1.4.3 การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุและกระบวนการ (Material and process parameter definition)

ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุและตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการคิดสำหรับการสร้างแบบจำลองของกระบวนการฉีดสังกะสี ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการสำหรับการนำไปใช้ในการหาคำตอบของระบบสมการของการไหลเข้าภายในแม่พิมพ์ ขั้นตอนแรกจะทำการกำหนดค่าคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่มีผลกระทบกับการฉีดสังกะสี ทำการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นสำหรับปริมาณที่ไม่รู้ค่า เช่น อุณหภูมิเริ่มต้น และการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตสำหรับตัวไม่รู้ค่า เช่น ความร้อนหรือความดันที่จุดเริ่มต้นของกระบวนการฉีดหรือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่หน้าสัมผัสระหว่างวัสดุในกระบวนการฉีด กระบวนการที่สำคัญที่จะต้องใส่เข้าไปจะเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการไหลและการแข็งตัวของระบบการฉีด ตัวอย่าง เวลาในการนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์, ผลกระทบทั้งหมดของการสมดุลทางความร้อนของแม่พิมพ์ ในการเข้าใจถึงผลของขั้นตอนในการจำลองการไหลของสังกะสีเข้าไปภายในแม่พิมพ์จะต้องรู้และเข้าใจในวัสดุ และปัจจัยของขั้นตอนที่ใช้ในการจำลองการไหลสำหรับเหตุผลที่สำคัญจะต้องใช้ค่าคุณสมบัติทางความร้อนที่ถูกต้องและขั้นตอนในการคิดนั้นจะต้องมีความเป็นไปได้ ถ้าทำได้ดังที่กล่าวมาจะทำให้ได้ผลของการวิเคราะห์การจำลองการไหลได้แม่นยำมากขึ้น

1.4.4 การจำลองการไหล (Simulation)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคำนวณโดยใช้สมการที่ครอบคลุมถึงการไหลและการแข็งตัวของสังกะสี โดยจะทำการคำนวณ ณ. จุดที่ได้ทำการแบ่งตาราง (mesh) เอาไว้และใช้คุณสมบัติของวัสดุและตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการที่ได้กำหนดไว้ด้วย ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกเก็บไว้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกันของการจำลองการไหลและการแข็งตัวของสังกะสี เพื่อที่จะนำผลลัพธ์เหล่านี้ไปประเมินหรือวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

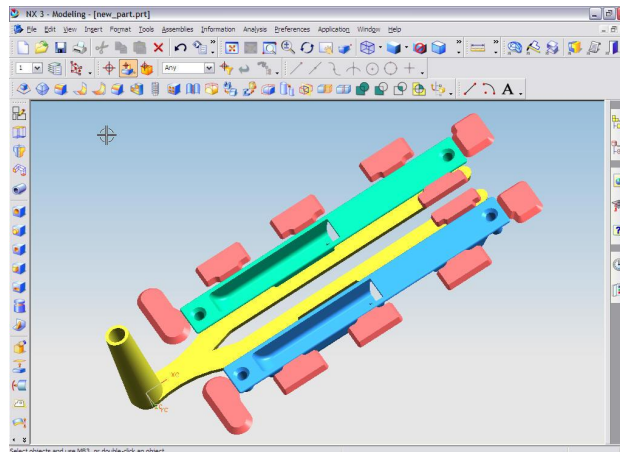
1.4.5 การประเมินหรือวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Evaluation of the results)

หลังจากผ่านขั้นตอนการจำลองการไหล ผลลัพธ์ที่ได้มาจะอยู่ในรูปของอุณหภูมิ, ความดัน และความเร็ว เก็บอยู่ ณ. จุดต่างๆ ของตาราง (mesh) ที่ได้แบ่งเอาไว้ ในการที่จะประเมินผลลัพธ์ให้สมบูรณ์ข้อมูลต่างๆ จะถูกทำให้เป็น 3 มิติ และแสดงค่าต่างๆ เป็นลำดับชั้น (criteria) ในการประเมินผลการเติมน้ำสังกะสีเข้าไปในโพรงแม่พิมพ์จะสามารถ

วิเคราะห์ได้ว่าจุดใดของชิ้นงานมีโอกาสที่จะเกิดอากาศหรือแก๊สตกค้างได้ ในการสังเกตทางด้านอุณหภูมิจะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าบริเวณใดของชิ้นงานจะเกิดการเย็นตัวก่อนซึ่งอาจจะมีผลให้ชิ้นงานเกิดข้อบกพร่องขึ้น

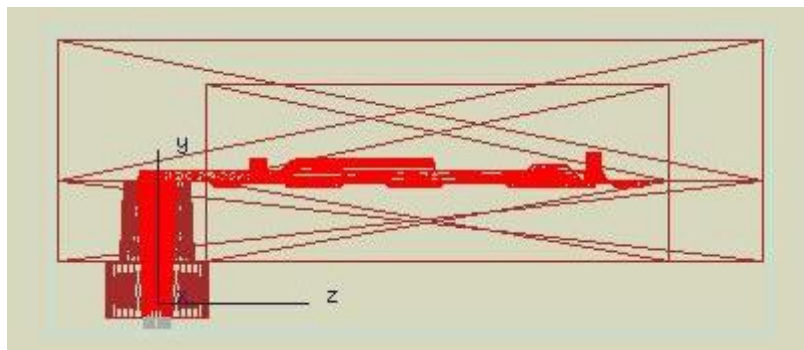
2. การสร้างแบบจำลองการไหลของสังกะสี

2.1 เขียนแบบจำลองชิ้นงาน 3 มิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ



รูปที่ 8 แสดงแบบจำลองชิ้นงาน 3 มิติของชิ้นงานที่ต้องการศึกษา

2.2 สร้างแบบจำลองการไหลของน้ำสังกะสีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม MAGMA



รูปที่ 9 แสดงแบบจำลองชิ้นงานในโปรแกรม MAGMA

3. ผลการทดลอง

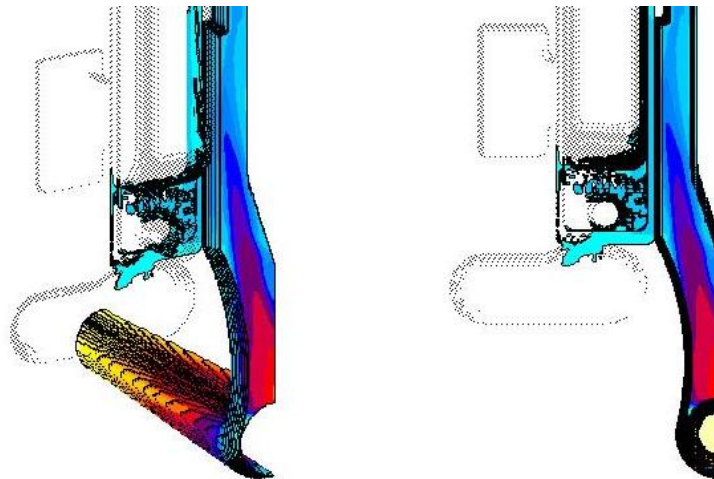
ผลที่ได้จากการจำลองการไหลของน้ำสังกะสี สามารถแสดงได้หลายประเภทเช่น อุณหภูมิ , เวลาในการเติมเต็ม (Fill Time) , ความดัน , เวกเตอร์ของความเร็ว เป็นต้น ซึ่งผลของการจำลองการไหลของน้ำสังกะสีจะถูกแสดงด้วยลำดับชั้นของสีต่างๆ และข้อมูลจะถูกเก็บไว้ ณ.ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยสามารถนำผลจากการจำลองการไหลมาทำการวิเคราะห์เพื่อทำนายลักษณะต่างๆของการฉีดและจุดบกพร่องต่างๆ ที่จะเกิดกับชิ้นงาน ได้ดังนี้

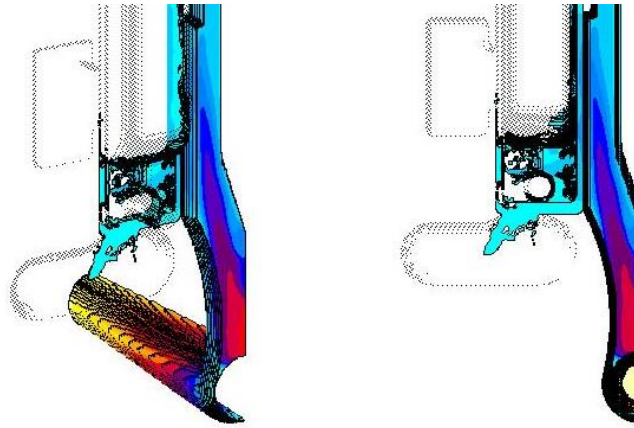
1. ลักษณะการป้อนเดิมน้ำสังกะสี และทิศทางการไหลของน้ำสังกะสีเพื่อศึกษาว่าบริเวณใดมีการไหลแบบไม่สม่ำเสมอมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดโพรงอากาศภายในชิ้นงานได้
2. บริเวณใดที่มีโอกาสเกิดโพรงอากาศภายในชิ้นงานได้
3. ลักษณะการทำงานของรูส้น (Overflow)

3.1 ผลการวิเคราะห์การจำลองการไหลของน้ำสังกะสีครั้งที่ 1

จากการวิเคราะห์การป้อนเดิมน้ำสังกะสี และทิศทางการไหลของน้ำสังกะสีจะพบว่ามียู่ 2 บริเวณที่มีโอกาสเกิดโพรงอากาศภายในชิ้นงานคือ

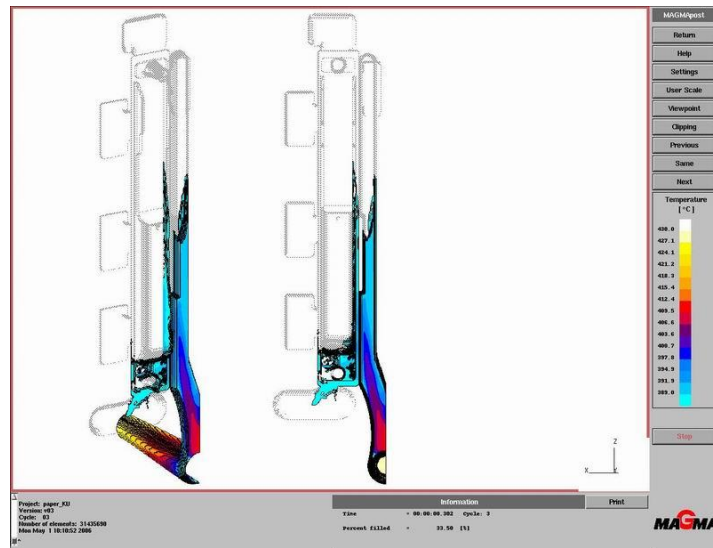
บริเวณที่ 1 จะเป็นบริเวณด้านล่างของชิ้นงานใกล้กับรูฉีด ดังแสดงในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 จะเห็นว่าการไหลของน้ำสังกะสีมีลักษณะการไหลที่ไม่ต่อเนื่องและหมุนวน การป้อนเดิมน้ำสังกะสีจะป้อนเดิมน้ำสังกะสีจากข้างขวาและซ้ายก่อน และจะมีน้ำสังกะสีบางส่วนไหลเข้าไปในรูส้น ดังนั้นจะเห็นว่าบริเวณตรงกลางของชิ้นงานจะยังไม่ถูกป้อนเดิมน้ำสังกะสีแต่จะถูกปิดล้อมด้วยน้ำสังกะสีจากบริเวณข้างเคียง ซึ่งถ้ามีอากาศตกค้างอยู่บริเวณดังกล่าวก็จะทำให้เกิดโพรงอากาศภายในชิ้นงานได้





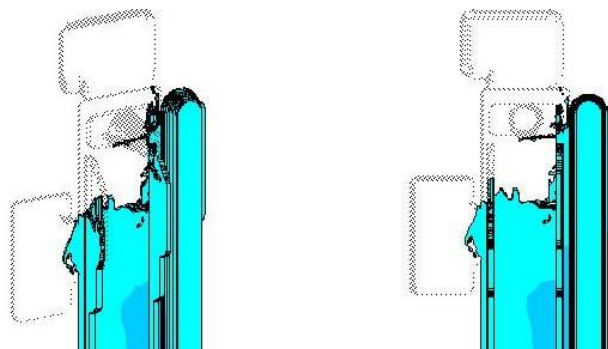
รูปที่ 10 แสดงบริเวณที่เกิดโพรงอากาศด้านล่างของชิ้นงาน

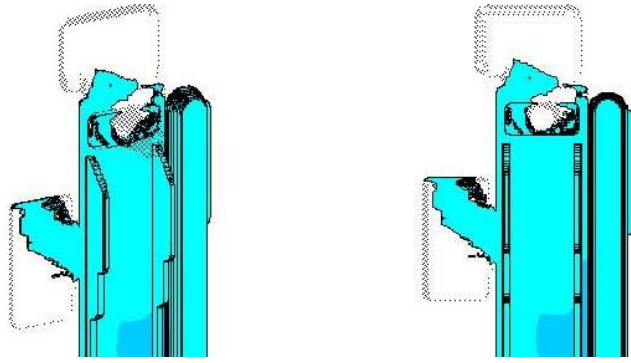




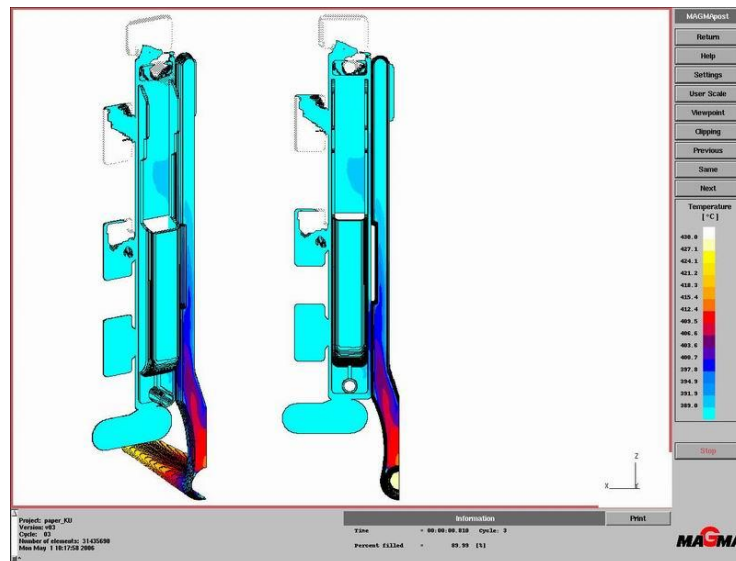
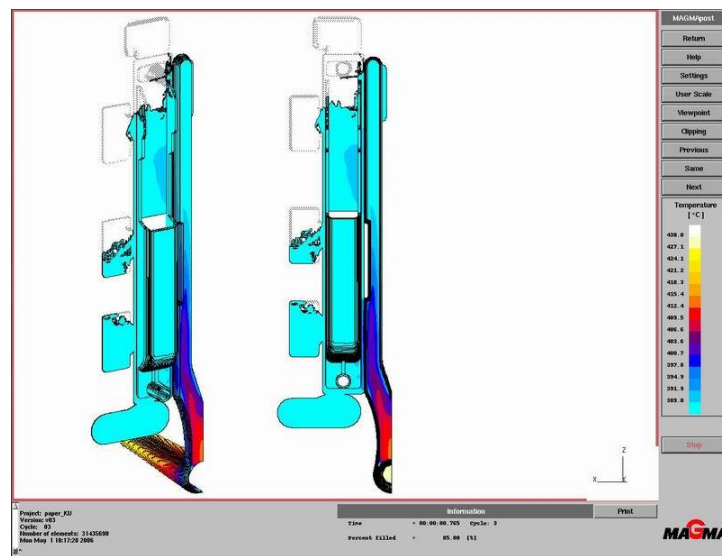
รูปที่ 11 แสดงการไหลของบริเวณที่เกิดโพรงอากาศด้านล่างของชิ้นงาน

บริเวณที่ 2 จะเป็นบริเวณด้านบนของชิ้นงานใกล้กับบริเวณปลายสุดของทางวิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 12 และรูปที่ 13 จะเห็นว่าการไหลของน้ำสังกะสีมีลักษณะการไหลที่หมุนวน การป้อนเดิมของน้ำสังกะสีจะป้อนเดิมจากทางด้านล่าง ขึ้นมาและป้อนเดิมจากทางเข้า (Ingate) ด้านขวา และจะมีน้ำสังกะสีบางส่วนไหลเข้าไปในรูสัน ดังนั้นจะเห็นว่าบริเวณตรงกลางของชิ้นงานจะยังไม่ถูกป้อนเดิมแต่จะถูกปิดล้อมด้วยน้ำสังกะสีจากบริเวณข้างเคียง ซึ่งถ้ามีอากาศตกค้างอยู่บริเวณดังกล่าวก็จะทำให้เกิดโพรงอากาศภายในชิ้นงานได้เช่นกัน



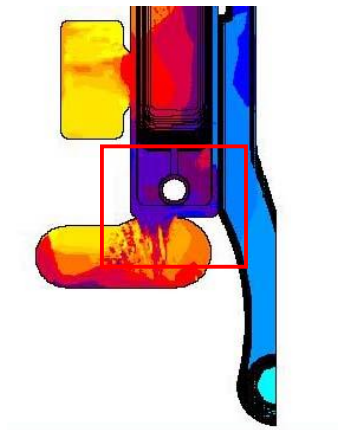


รูปที่ 12 แสดงบริเวณที่เกิดโพรงอากาศด้านบนของชิ้นงาน

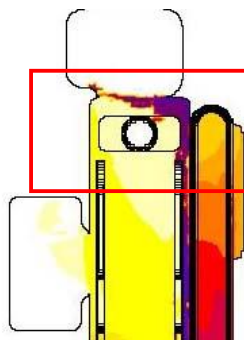


รูปที่ 13 แสดงการไหลของบริเวณที่เกิดโพรงอากาศด้านบนของชิ้นงาน

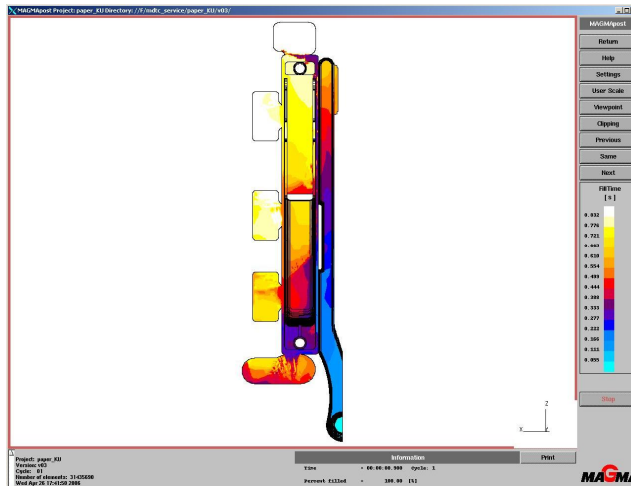
จากการวิเคราะห์ผลของช่วงเวลาในการเติมเต็ม (Fill Time) ของน้ำสังกะสี ณ บริเวณต่างๆ ภายในโพรงแบบ เพื่อตรวจหาบริเวณที่มีโอกาสเกิดโพรงอากาศภายในชิ้นงานจะพบว่ามียู่ 2 บริเวณที่มีโอกาสเกิดโพรงอากาศ ซึ่งจะเป็น บริเวณเดียวกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำสังกะสีคือ บริเวณที่ 1 จะเป็นบริเวณด้านล่างของชิ้นงาน ใกล้กับรูฉีด บริเวณที่ 2 จะเป็นบริเวณด้านบนของชิ้นงานใกล้กับบริเวณปลายสุดของทางวิ่ง โดยสามารถอธิบายได้จาก ลักษณะการแสดงผลของลำดับชั้นสีต่างๆ จะสังเกตเห็นว่าบริเวณดังกล่าวทั้งสองบริเวณ จะถูกปิดล้อมด้วยสีที่แสดงถึงการเติมเต็มของน้ำสังกะสีที่มาถึงก่อนซึ่งบริเวณที่อยู่ตรงกลางจะถูกเติมเต็มทีหลัง ดังนั้นจะมีผลให้อากาศที่ตกค้างอยู่ บริเวณตรงกลางไม่สามารถถูกระบายออกไปได้ ซึ่งจะทำให้เกิดโพรงอากาศภายในชิ้นงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 14 , 15 และ 16



รูปที่ 14 แสดงบริเวณที่เกิดโพรงอากาศด้านล่างของชิ้นงานจากการวิเคราะห์ด้วยช่วงเวลาเติมเต็ม



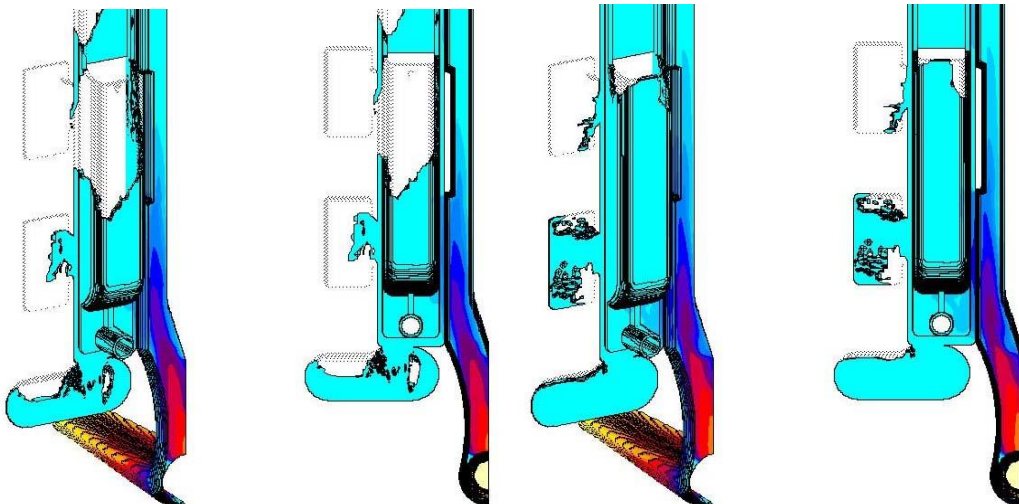
รูปที่ 15 แสดงบริเวณที่เกิดโพรงอากาศด้านบนของชิ้นงานจากการวิเคราะห์ด้วยช่วงเวลาเติมเต็ม



รูปที่ 16 แสดงช่วงเวลาเติมเต็มทั้งชิ้นงาน

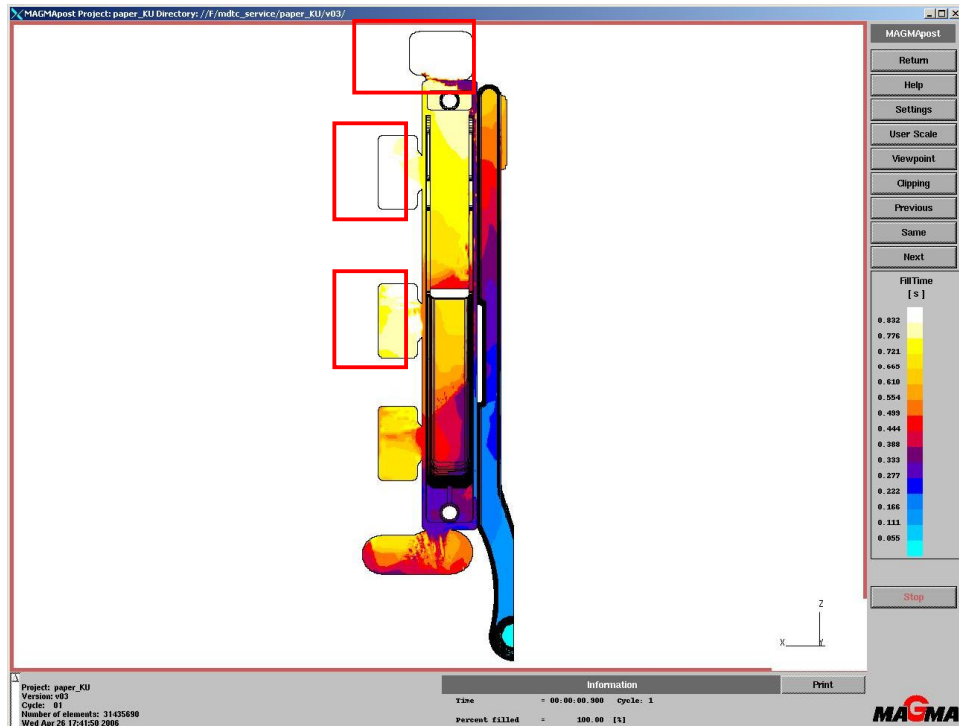
การวิเคราะห์การทำงานของรูลันซึ่งตามทฤษฎีการออกแบบแม่พิมพ์ รูลันจะติดตั้งอยู่บริเวณที่มีการบรรจบกันของน้ำสังกะสีซึ่งเป็นบริเวณที่มีโอกาสเกิดการไหลแบบไม่สม่ำเสมอ และจะทำให้มีข้อบกพร่องในชิ้นงานเกิดขึ้น หรือรูลันจะต้องถูกเติมเต็มเป็นบริเวณสุดท้ายเพื่อไล่อากาศจากโพรงแบบให้ไปอยู่ในรูลัน

จากการวิเคราะห์การทำงานของรูลันดังแสดงในรูปที่ 17 จะเห็นว่าการบรรจบกันของน้ำสังกะสีที่ไหลขึ้นมาจากด้านล่างและไหลลงมาจากด้านบน เมื่อน้ำสังกะสีมาบรรจบกันก็จะไหลออกทางรูลันซึ่งจะทำให้การไหลที่ไม่สม่ำเสมอไปเกิดขึ้นในรูลันแทน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการออกแบบรูลัน ณ.บริเวณนี้สามารถใช้งานได้ตามทฤษฎี



รูปที่ 17 แสดงการบรรจบกันของน้ำสังกะสี

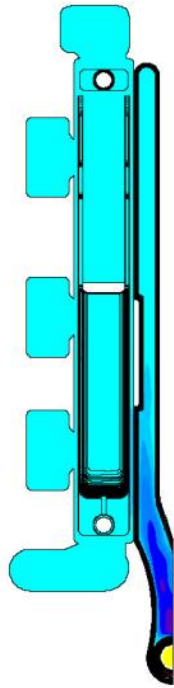
และจากรูปที่ 18 ซึ่งเป็นการแสดงถึงช่วงเวลาในการเติมน้ำสังกะสีจนเต็มโพรงแบบ จะสังเกตเห็นว่าบริเวณที่เป็นรูลันจะเป็นบริเวณที่มีการไหลของน้ำสังกะสีเข้าไปเป็นลำดับสุดท้าย ยกเว้นรูลันบริเวณด้านล่างของชิ้นงานจะถูกเติมเต็มก่อนเพราะอยู่ใกล้กับรูฉีด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการออกแบบรูลัน โดยส่วนใหญ่สามารถใช้งานได้ตามทฤษฎี



รูปที่ 18 แสดงช่วงเวลาในการเติมน้ำสังกะสีของรูล้น

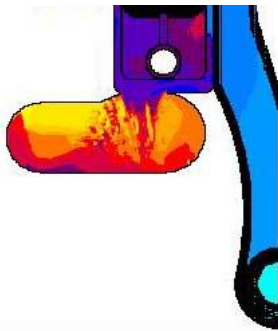
3.2 ผลการวิเคราะห์การจำลองการไหลของน้ำสังกะสีครั้งที่ 2

จากผลการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 พบว่าจะมีบริเวณที่เกิดโพรงอากาศภายในชิ้นงานอยู่ 2 บริเวณคือ บริเวณด้านล่างของชิ้นงานใกล้กับรูฉีดและบริเวณด้านบนของชิ้นงานใกล้กับบริเวณปลายสุดของทางวิ่ง ดังนั้นจึงทำการแก้ไขแบบจำลองชิ้นงาน 3 มิติทั้งสองบริเวณดังนี้ บริเวณด้านล่างของชิ้นงานใกล้กับรูฉีดทำการขยายขนาดทางเข้าของรูล้นเพื่อให้มีการระบายอากาศที่ดีขึ้น บริเวณด้านบนของชิ้นงานใกล้กับบริเวณปลายสุดของทางวิ่งทำการขยายขนาดทางเข้าของรูล้นเพื่อให้มีการระบายอากาศที่ดีขึ้นเช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 19

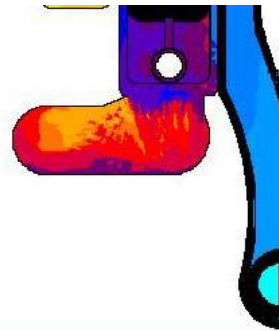


รูปที่ 19 แสดงการแก้ไขแบบชิ้นงาน 3 มิติ

จากการวิเคราะห์ผลของช่วงเวลาในการเติมเต็มของน้ำสังกะสี ณ บริเวณต่างๆ ภายใน โครงแบบ แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่เกิดโพรงอากาศทั้ง 2 บริเวณสามารถถูกแก้ไขให้มีลักษณะการไหลของน้ำสังกะสีที่ดีขึ้น โดยสามารถอธิบายได้จากลักษณะการแสดงผลของลำดับชั้นสีต่างๆ ดังนี้บริเวณด้านล่างของชิ้นงานใกล้เคียงรูฉีดได้ขยายทางเข้าของรูสันให้ยาวขึ้น ดังนั้นน้ำสังกะสีจะไหลไปยังรูสันได้ดีขึ้น ซึ่งจะช่วยให้อากาศที่ตกค้างอยู่ระบายไปยังรูสันได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 จะพบว่าโพรงอากาศบริเวณนี้สามารถที่จะถูกระบายให้เข้าไปยังรูสันได้ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 20



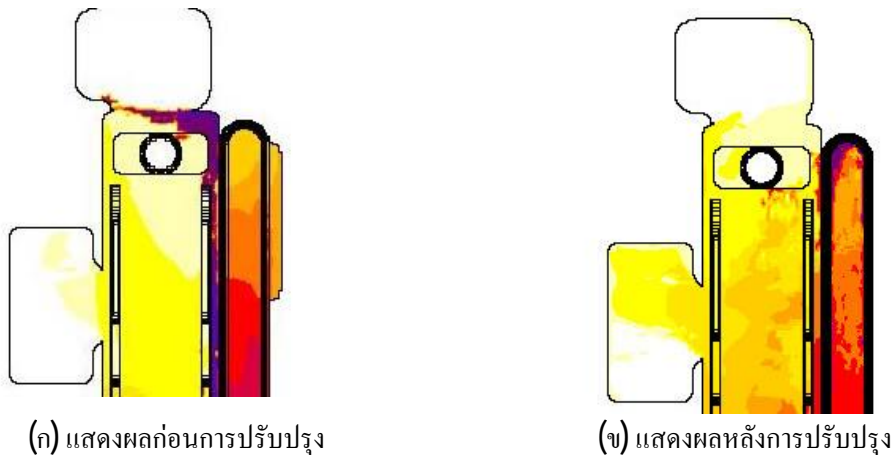
(ก) แสดงผลก่อนการปรับปรุง



(ข) แสดงผลหลังการปรับปรุง

รูปที่ 20 แสดงผลการปรับปรุงบริเวณด้านล่างของชิ้นงาน

บริเวณด้านบนของชิ้นงานใกล้เคียงกับบริเวณปลายสุดของทางวิ่ง ทำการขยายทางเข้าของรูลึกลงให้ยาวขึ้น เช่นเดียวกัน ดังนั้นน้ำสังกะสีจะไหลไปยังรูลึกลงได้ดีขึ้น ซึ่งจะช่วยให้อากาศที่ตกค้างอยู่ระบายไปยังรูลึกลงได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 จะพบว่าการเติมเต็มของน้ำสังกะสีบริเวณนี้จะมีลักษณะการไหลที่ต่อเนื่องขึ้น โดยแสดงจากลำดับชั้นของสีจะเป็นการเรียงไปตามลำดับเวลาของการเติมเต็มและสามารถช่วยลดโพรงอากาศได้ดัง แสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 21 แสดงผลการปรับปรุงบริเวณด้านบนของชิ้นงาน

4. สรุปผล

จากการศึกษาการออกแบบและวิเคราะห์แม่พิมพ์ฉีดสังกะสีด้วยระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและช่วยในงานวิศวกรรม ทำให้เข้าใจถึงขั้นตอนของกระบวนการจำลองการไหลของการฉีดสังกะสีเปรียบเทียบกับขั้นตอนการฉีดจริง รวมทั้งยังสามารถเข้าใจถึงการนำเอาผลลัพธ์จากการจำลองการไหลของน้ำสังกะสีในรูปแบบต่างๆ มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาบริเวณที่มีโอกาสจะเกิดโพรงอากาศหรือเกิดข้อบกพร่องภายในชิ้นงานได้ เมื่อรู้ถึงบริเวณที่มีโอกาสจะเกิดโพรงอากาศหรือเกิดข้อบกพร่องภายในชิ้นงานก็สามารถที่จะทำการปรับปรุงและพัฒนาขั้นตอนการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเพื่อกำจัดข้อบกพร่องต่างๆ ให้หมดไปและยังสามารถช่วยลดเวลาในการทดลองฉีดชิ้นงานและตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นงาน (Trial and Error) ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาในการผลิตแม่พิมพ์สั้นลงและมีค่าใช้จ่ายในการทดลองฉีดชิ้นงานที่น้อยลงด้วย รวมทั้งยังเป็นการช่วยยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ในประเทศไทย

รายการอ้างอิง

- [1] สุภา สุวรรณประสิทธิ์. เทคโนโลยีการหล่ออัดฉีดสังกะสี. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ, กรุงเทพฯ, 2531.
- [2] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2537.
- [3] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของไหล. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2545.
- [4] Bonollo, F. and Odorizzi, S. Numerical Simulation of Foundry Processes.
- [5] Chivers, A.R.L. Zinc Diecasting (Engineering Design Guides). Design Council, Oxford University Press, 1981.
- [6] Magma User Manual.