อิทธิพลของตัวแปรในการออกแบบ Fan gate ที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหลของโลหะเหลว ในกระบวนการหล่อความดันสูง

เอกชัย กิคิแก้วทวีเสริฐ[1] พงษ์กร รักการ[1] สุรศักดิ์ สุรนันทชัย[2*]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
และ พงษ์ศักดิ์ ดุลยประพันธ์[3]
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

ในกระบวนการหล่อความดันสูง (High Pressure Die Casting Process, HPDC) ปัญหาข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ (Gas Porosity Defects) และข้อบกพร่องประเภทที่เกิดขึ้นที่ผิวชิ้นงาน (Surface Defects) เป็นลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นอย่างแพร่หลาย เส้นทางการไหลของโลหะเหลว (Flow Path) เป็นปัจจัยหลักอันหนึ่งที่มีผลโดยตรงต่อการเกิดข้อบกพร่องทั้งสองประเภท เพื่อป้องกันปัญหาข้อบกพร่องดังกล่าว เมื่อทำการออกแบบระบบทางเดินโลหะเหลว (Gating System) วิศวกรจะต้องออกแบบให้เส้นทางการไหลของโลหะเหลวมีลักษณะการไหลที่เป็นระนาบ (Distributed Flow) จาก Ingate ไปยัง Overflow โดยทั่วไปแล้วเส้นทางการไหลของโลหะเหลวจะถูกควบคุมโดยตำแหน่งของ Ingate และชนิดของ Gate ที่ใช้

Fan Gate เป็น Gate ที่นิยมใช้กับแม่พิมพ์ในกระบวนการหล่อความดันสูง โดยยึดหลักมวลการไหลคงที่ (Mass Flow Rate Conservation) ตัวแปรในการออกแบบ Fan Gate ประกอบไปด้วย มุมการไหลและอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด Runner ต่อพื้นที่หน้าตัด Ingate งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่กล่าวข้างต้นของ Fan Gate ที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหลของโลหะเหลว โดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อ (Casting Process Simulation) ความเข้าใจถึงอิทธิพลของตัวแปรเหล่านี้จะนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ Gating System ที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานในอุตสาหกรรม เพื่อช่วยลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการออกแบบ Gating System โดยใช้หลักการออกแบบที่ถูกต้องยังช่วยทำให้น้ำหนักของชิ้นงานหล่อเทียบกับน้ำหนักของ Shot Weight มีค่าสูงขึ้น (Casting Yield) ส่งผลให้ลดการใช้วัตถุดิบและพลังงานในการผลิตลง ทำให้มีต้นทุนในการผลิตที่ลดต่ำลง

คำสำคัญ : กระบวนการหล่อความดันสูง / Fan Gate / Distributed Flow / Gating System Design

---

* *Corresponding author : E-mail : isurchai@kmutt.ac.th*

1 *นักศึกษาบัณฑิตศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์*

2 *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์*

3 *ผู้อำนวยการหน่วยวิจัย หน่วยวิจัยด้านประสิทธิผลการใช้งานวัสดุ*

Effects of Fan Gates' Design Parameters on Flow Behavior in a High Pressure Die Casting Process

Ekkachai Kittikhewtraweeserd[1], Pongsakorn Rakkarn[1], Surasak Suranuntchai[2*],
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bang Mod, Thung Khru, Bangkok 10140
and Pongsak Dulyapraphant[3]
National Metal and Materials Technology Center, 114 Thailand Science Park,
Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120

Abstract

Gas porosity and surface defects are common problems found in High Pressure Die Casting Processes (HPDC). Flow pattern of liquid metal is one the main factors contributing to those problems. To prevent such problems, distributed flow pattern from ingate to overflow is required. Mainly, ingate position and gate design are factors controlling the flow pattern.

Gating system design for HPDC processes is based on the mass flow rate conservation law. There are 2 main variables in fan gate design, including flow angle and the ratio of runner's cross section area to the ingate's cross section area. In this research, the effects of these factors to the liquid metal flow behaviors are investigate using casting process simulation software. Results from the study are used to design gating system for the part's production. Beside the defect reduction problem, the study also shows that by applying the gating design principle, a better casting yield can be achieved. This results in lower material and melting energy cost.

Keywords : High Pressure Die Casting / Fan Gate / Distributed Flow / Gating System Design

* *Corresponding author : E-mail : isurchai@kmutt.ac.th*
1 *Graduate Student, Department of Tool and Materials Engineering.*
2 *Associate Professor, Department of Tool and Materials Engineering.*
3 *Research Unit Director, Materials Reliability Research Unit.*

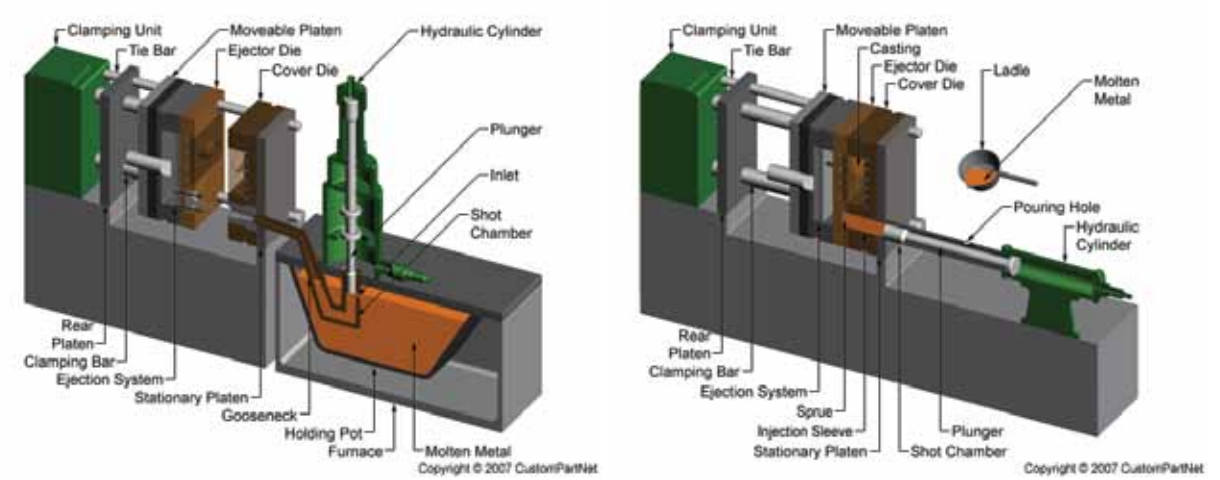
1. บทนำ

อุตสาหกรรมการหล่อความดันสูง (High Pressure Die Casting) เป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพสูงในเชิงการตลาดและเชิงเทคโนโลยี โดยตลาดหลักของอุตสาหกรรมการหล่อความดันสูงคืออุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ อุตสาหกรรมเหล่านี้เป็นอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศ มีผลผลิตโดยรวมสูง มีการจ้างงานมาก และมีมูลค่าการส่งออกสูง หากอุตสาหกรรมการหล่อความดันสูงไม่เข้มแข็งประเทศไทยก็จะไม่ได้รับประโยชน์จากการดำเนินการและการเติบโตของอุตสาหกรรมดังกล่าวมากเท่าที่ควร แต่หากอุตสาหกรรมการหล่อความดันสูงของประเทศมีขีดความสามารถสูงก็จะมีส่วนช่วยสนับสนุนให้กลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ ดังกล่าวสามารถจัดหาชิ้นส่วนได้ในประเทศมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นการประหยัดเงินตราต่างประเทศและช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้กับอุตสาหกรรมเหล่านี้ได้ส่วนหนึ่งด้วย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการหล่อความดันสูงเป็นกระบวนการที่ใช้ความดันสูงฉีดโลหะเหลวเข้าสู่โพรงแม่พิมพ์จนเต็มและใช้ความดันสูงช่วยอัดโลหะเหลวที่กำลังการแข็งตัวภายในแม่พิมพ์ให้เนื้อมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น โดยกระบวนการหล่อความดันสูงแบ่งออกเป็น 2 ชนิด [1] คือ การหล่อแบบ Hot chamber จะนิยมใช้กับโลหะผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เช่น สังกะสี (Zamak) โดย Zamak เป็นชื่อทางการค้าของโลหะสังกะสีผสมกับอะลูมิเนียม ทองแดง และแมกนีเซียม มีอุณหภูมิในการหลอมเหลวที่ 420 ˚C และการหล่อแบบ Cold chamber ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กับโลหะผสมที่มีจุดหลอมเหลวสูง เช่น อะลูมิเนียมผสม เป็นต้น โดยเครื่องหล่อฉีดแบบ hot chamber จะมีที่ฉีด (ที่สำหรับน้ำโลหะเข้าไปในแม่พิมพ์โดยใช้แรงอัด) นอนอยู่ในน้ำโลหะ ลักษณะเด่นสุดของเครื่อง hot chamber คืออุณหภูมิของน้ำโลหะจะสูญเสียไปน้อยที่สุด ข้อดีอีกประการหนึ่งคือไม่ต้องคอยเติมน้ำโลหะส่งเข้าที่ฉีด ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่จำเป็นของเครื่องแบบ cold chamber ทำให้ย่นระยะเวลาในการหล่อลงและเพิ่มผลผลิตสูงขึ้น แต่เครื่องแบบ cold chamber จะมีแรงที่ใช้อัดโลหะเหลวเข้าสู่โพรงของแม่พิมพ์มากกว่า

ข้อดีของกระบวนการหล่อความดันสูงคือ ขนาดของชิ้นงานที่ได้มีความเที่ยงตรงสูง ผิวของชิ้นงานมีความเรียบดี (1-2.5 μm (40-100 μin) rms.) สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความบางได้เมื่อเทียบกับการหล่อโดยใช้แบบทราย (ประมาณ 0.75 mm (0.003 in)) ลดขั้นตอนในการปรับแต่งชิ้นงาน สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง และสมบัติด้านการทนต่อแรงดึงค่อนข้างสูง [2-4] ข้อเสียของกระบวนการหล่อความดันสูงคือ น้ำหนักของชิ้นงานที่ผลิตได้จะต้องอยู่ระหว่าง 30 กรัม (1 oz) ถึง 10 กิโลกรัม (20 lb) ใช้เงินลงทุนในตอนเริ่มการผลิตสูง ไม่สามารถใช้กับโลหะที่มีความหนืดสูงได้ มีโพรงอากาศขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วชิ้นงานจึงไม่สามารถทำการอบชุบได้ และการผลิตโดยใช้กระบวนการหล่อความดันสูงต้องผลิตแบบ mass production เท่านั้น

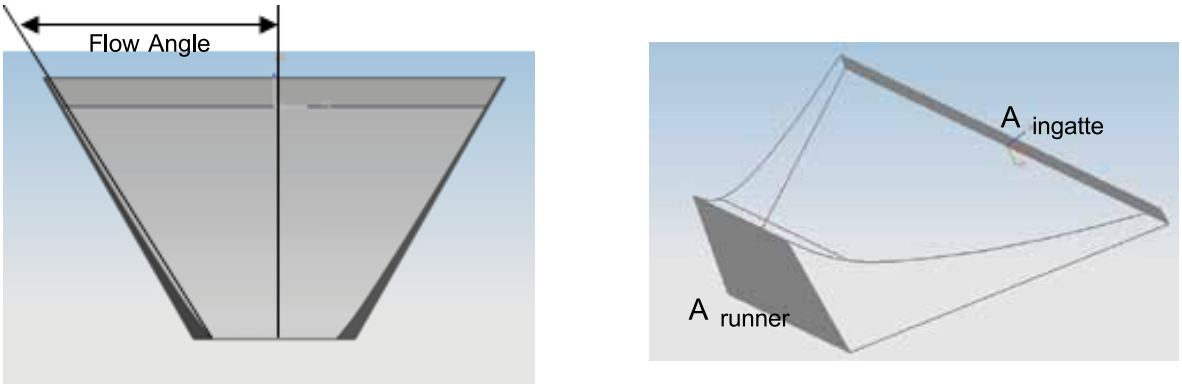


(a) (b)

รูปที่ 1 (a) เครื่องแบบ Hot chamber (b) เครื่องแบบ Cold chamber

ในกระบวนการหล่อไดคาสนั้น ปัญหาข้อบกพร่องที่มักเกิดขึ้นอย่างแพร่หลาย คือ [2-7] ปัญหาข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศและข้อบกพร่องประเภทที่เกิดขึ้นที่ผิวชิ้นงาน โดยปัจจัยหลักอันหนึ่งที่มีผลโดยตรงต่อการเกิดข้อบกพร่องทั้งสองประเภท คือเส้นทางการไหลของโลหะเหลว (Flow Path) เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาดังกล่าว ในการออกแบบระบบทางเดินโลหะเหลว (Gating System) วิศวกรจะต้องออกแบบให้เส้นทางการไหลของโลหะเหลวมีลักษณะการไหลที่เป็นระนาบ (Distributed Flow) จาก Ingate ไปยัง Overflow ซึ่งโดยทั่วไปแล้วตำแหน่งของ Ingate และชนิดของ Gate ที่ใช้จะเป็นตัวควบคุมเส้นทางการไหลของโลหะเหลว

Gate ที่นิยมใช้กับแม่พิมพ์ในกระบวนการหล่อความดันสูงคือ Fan Gate โดยในการออกแบบนั้นจะยึดหลักมวลการไหลคงที่ (Mass Flow Rate Conservation) ตัวแปรในการออกแบบ Fan Gate ประกอบไปด้วย 2 ตัวแปรคือ มุมการไหล และอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด Runner ต่อพื้นที่หน้าตัด Ingate งานวิจัยนี้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่กล่าวข้างต้นของ Fan Gate ที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหลของโลหะเหลว โดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อ (Casting Process Simulation) ความเข้าใจถึงอิทธิพลของตัวแปรเหล่านี้จะนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ Gating System ที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานในอุตสาหกรรม เพื่อช่วยลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและลดเวลาในการออกแบบลง



(a) (b)

รูปที่ 2 ตัวแปรในการออกแบบ Fan Gate (a) มุมการไหล (b) อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด Runner ต่อพื้นที่หน้าตัด Ingate

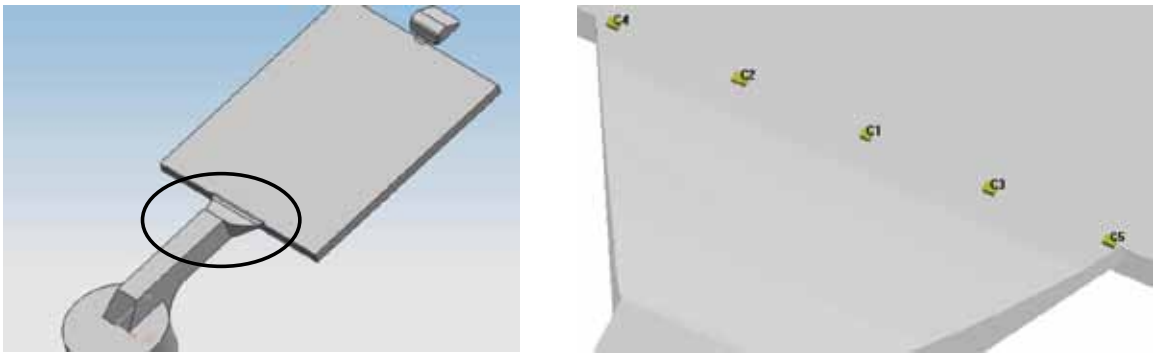
3. ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ได้แบ่งขั้นตอนในการทดลองออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1.) ศึกษาความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะการไหลของน้ำโลหะที่ออกจาก fan gate ว่ามีรูปแบบการไหล (Flow Pattern) เป็นอย่างไร โดยกำหนดให้ ingate มีความกว้าง 1.5 มม. มีความยาว 30 มม. มุมการไหล (flow angle) 30 องศา และกำหนดความเร็วของน้ำโลหะที่ไหลออกจาก ingate มี 3 ความเร็วคือ 25 ม./วินาที, 35 ม./วินาที และ 60 ม./วินาที เนื่องจากเป็นความเร็วที่ช่วง 25-60 ม./วินาที เป็นช่วงความเร็วที่พบโดยทั่วไปในกระบวนการหล่อความดันสูง นอกจากนี้ยังใส่จุดวัดความเร็วของโลหะเหลวที่ ingate จำนวน 5 จุด

(a) (b)

รูปที่ 3 แบบชิ้นงานและ Gating System ที่ใช้ในการทดลอง (a) ด้านหน้า (b) ด้านข้าง



(a) (b)

รูปที่ 4 แสดง (a) บริเวณที่ใส่จุดวัดความเร็ว (b) จุดวัดความเร็วของโลหะเหลวที่ ingate

2.) ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนมุมการไหล ที่มีผลต่อลักษณะการไหล โดยการเปลี่ยนมุมการไหลตั้งแต่ 10 ถึง 60 องศา โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 องศา เนื่องจากถ้ามุมการไหลที่มากกว่า 60 องศาจะทำให้ความยาวของ gate สั้นมาก การควบคุมลักษณะการไหลของโลหะเหลวทำได้ลำบาก แต่ถ้ามุมการไหลที่น้อยกว่า 10 องศาจะทำให้ gate ยาวมาก ซึ่งทำให้แม่พิมพ์มีขนาดใหญ่เกินไป ความเร็วของน้ำโลหะที่ไหลออกจาก ingate มี 3 ความเร็วคือ 25 ม./วินาที, 35 ม./วินาที และ 60 ม./วินาที และอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด runner ต่อพื้นที่หน้าตัด ingate อยู่ที่ 2.5 เท่า

ตารางที่ 1 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนมุมการไหล

Version	flow angle (degree)	V ingate (m/s)
1	10	25
2	10	35
3	10	60
4	20	25
5	20	35
6	20	60
7	30	25
8	30	35
9	30	60
10	40	25
11	40	35
12	40	60
13	50	25
14	50	35
15	50	60
16	60	25
17	60	35
18	60	60

3.) ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด Runner ต่อ อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด ingate (R:I Ratio) ที่มีผลต่อลักษณะการไหล โดยหาสภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลองก่อนหน้านี้มาเปลี่ยนค่า R:I ratio ตั้งแต่ 1.4 ถึง 3.5 โดยจากผลการทดลองที่ 2 พบว่าที่ flow angle 10-30 องศา ให้ลักษณะการไหลที่ดีโดยความเร็วในแต่ละจุดค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ที่ flow angle 30 องศามีการกักอากาศน้อยกว่า และ yield ที่ได้น้อยกว่า 10 และ 20 องศา จึงนำ flow angle 30 องศามาเปลี่ยนค่า R:I Ratio ตั้งแต่ 1.4-3.5 โดยถ้าอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด Runner ต่อ อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด ingate น้อยจะทำให้ yield มีค่าสูงขึ้น และจากทฤษฎีของ Buhler แนะนำช่วง R:I Ratio ไว้ที่ 1.8-2.5

ตารางที่ 2 สภาวะที่ใช้ในศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด Runner ต่อ อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด Ingate

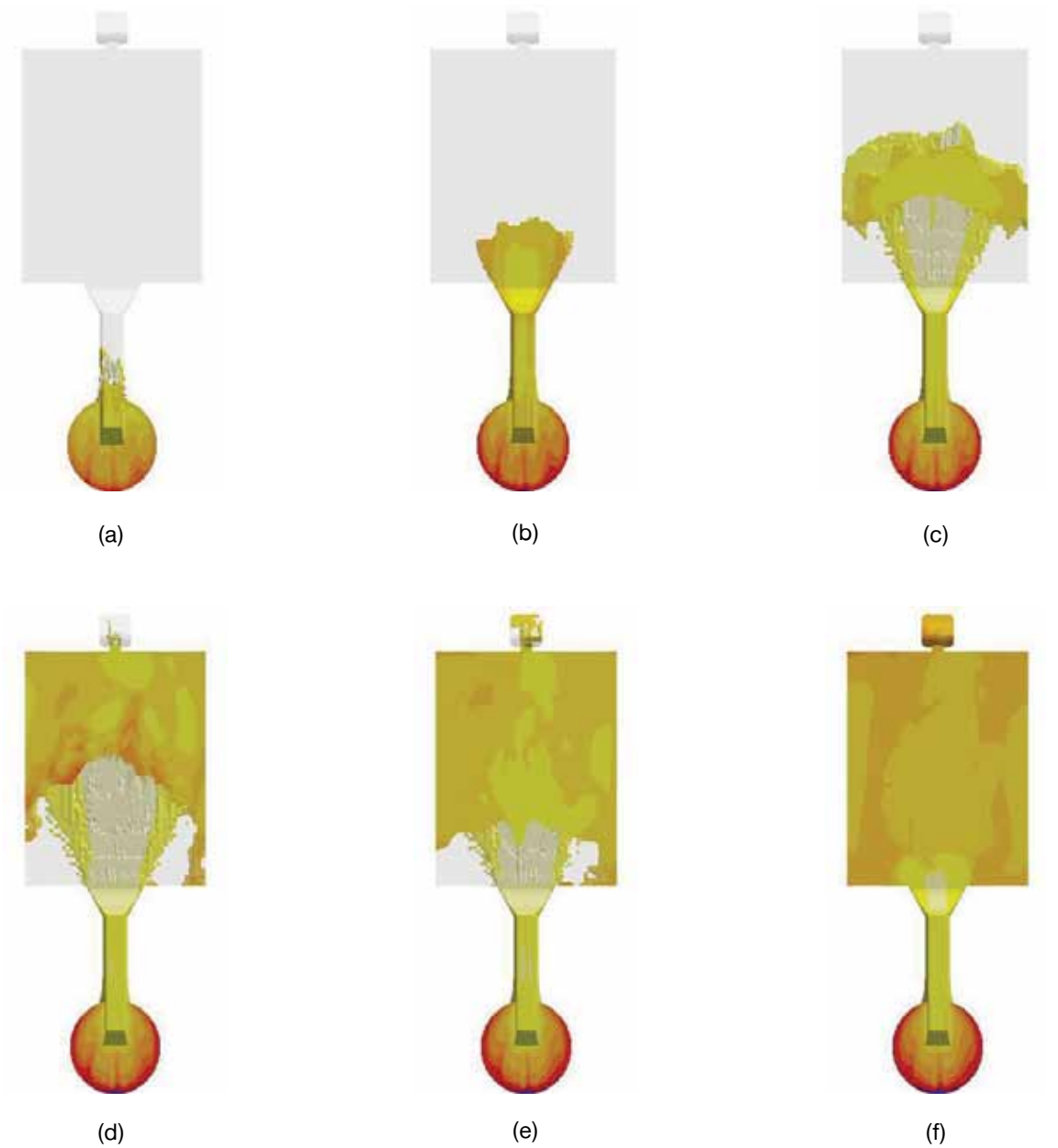
Version	V ingate (m/s)	R:I ratio
19	25	1.4
20	35	1.4
21	60	1.4
22	25	1.8
23	35	1.8
24	60	1.8
25	25	3.5
26	35	3.5
27	60	3.5

4.) นำความรู้พื้นฐานที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบชิ้นงานจริงในอุตสาหกรรม โดยเมื่อรู้ความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรแล้ว สามารถนำไปแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานได้

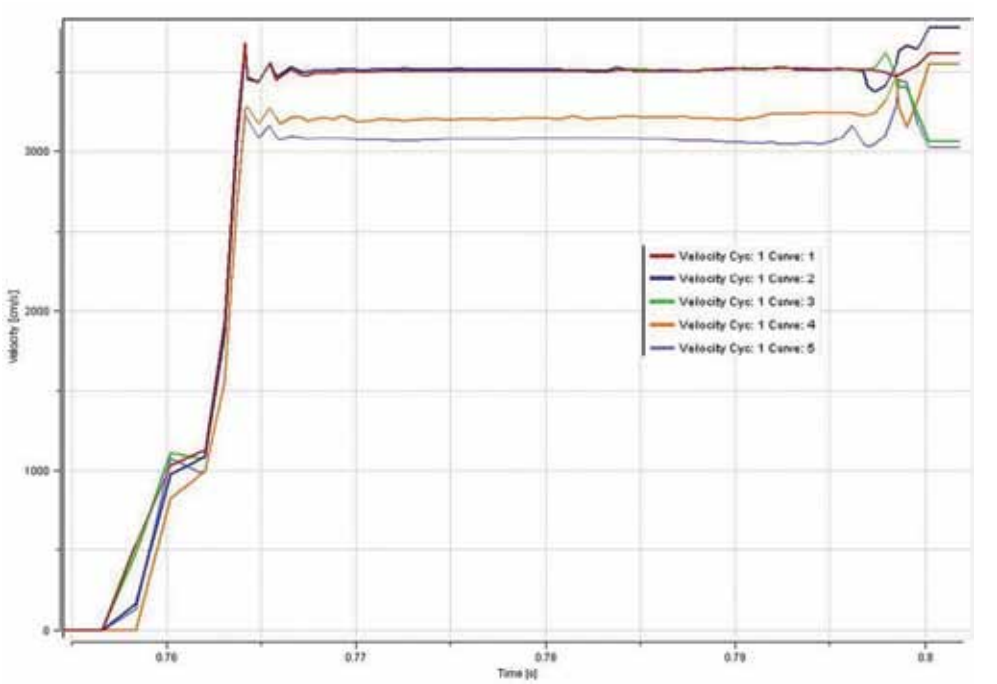
4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 Flow pattern ของโลหะเหลวที่ออกจาก Fan gate ที่มุม flow angle 30 องศา

รูปแบบการไหลของโลหะเหลวที่ความเร็ว 35 ม./วินาที พบว่าลักษณะการไหลของโลหะเหลวเป็นรูปโค้ง โดยโลหะเหลวที่กลาง ingate จะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 แสดงให้เห็นได้ว่าโลหะเหลวที่ไหลผ่านจุดที่ 4 และ 5 จะมีความเร็วน้อยกว่าจุดที่ 1, 2 และ 3 และเมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของโลหะเหลวที่ความเร็ว 25 ม./วินาที, 35 ม./วินาที และ 60 ม./วินาที จะเห็นได้ว่ามีลักษณะการไหลของโลหะเหลวคล้ายกัน ดังรูปที่ 7



รูปที่ 5 รูปแบบการไหลของโลหะเหลวที่ความเร็ว ingate 35 ม./วินาที



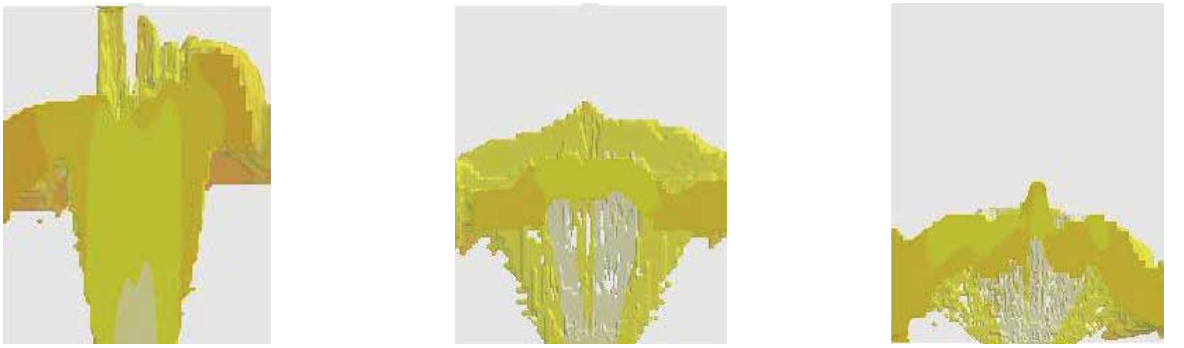
รูปที่ 6 กราฟแสดงความเร็วของโลหะเหลวที่ไหลผ่านจุดวัดความเร็ว 1-5 ซึ่งมีความเร็วสม่ำเสมอ

(a) (b) (c)

รูปที่ 7 เปรียบเทียบลักษณะการไหลของโลหะเหลวที่ความเร็ว ingate ต่างกัน
โดย (a) Vingate 25 ม./วินาที (b) Vingate 35 ม./วินาที และ (c) Vingate 60 ม./วินาที

4.2 ผลกระทบของ Flow angle ที่มีผลต่อ Flow pattern

เมื่อ Flow angle มากขึ้น พบว่าการกักอากาศบริเวณด้านล่างของชิ้นงานลดน้อยลงเนื่องจากเมื่อ Flow angle มากขึ้น โลหะเหลวจะไหลออกไปทางด้านข้างได้มากขึ้น ดังรูปที่ 8 ที่ความเร็ว 60 ม./วินาที จะมีการกักอากาศที่ด้านล่างของชิ้นงานน้อยกว่าที่ความเร็ว 25 ม./วินาที และ 35 ม./วินาที เนื่องจากที่ความเร็วมากกว่าน้ำโลหะจะเข้าไปเร็วกว่า ได้คุณภาพที่ผิวดีกว่า แต่จะมีโพรงอากาศภายในชิ้นงานมากกว่า เพราะโลหะเหลวไหลแบบปั่นป่วนมากกว่า ดังรูปที่ 9 เมื่อ Flow angle มากกว่า 40 องศาน้ำโลหะจะเกิดการแตกขึ้นคือโลหะเหลวที่ไหลผ่านจุดวัดความเร็วที่ ingate จะมีค่าไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 10 และที่ความเร็ว plungers (V2) เดียวกัน เมื่อ Flow angle มากขึ้นความเร็วที่ ingate มากขึ้น ดังรูปที่ 11 นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อกำหนดให้พื้นที่ ingate และพื้นที่ runner มีค่าที่เท่ากันแล้ว เมื่อเปลี่ยนมุมการไหลตั้งแต่ 10 องศาถึง 60 องศา Straight Fan gate จะมีความยาวและความชันของ gate ที่ต่างกันดังรูปที่ 12 โดยมุมการไหลที่ต่ำเกินไปส่งผลให้ gate มีความยาวมากซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนของโลหะเหลวขณะไหลผ่าน gate มาก และขนาดของหน้าแม่พิมพ์จะใหญ่มากขึ้น แต่มุมการไหลที่สูงเกินไปจะทำให้รูปร่างของ Straight Fan gate มีลักษณะคล้ายกับ chisel gate และเกิดการแตกของโลหะเหลวขึ้นเนื่องจากโลหะเหลวจะไหลไปทางด้านข้างมากกว่า

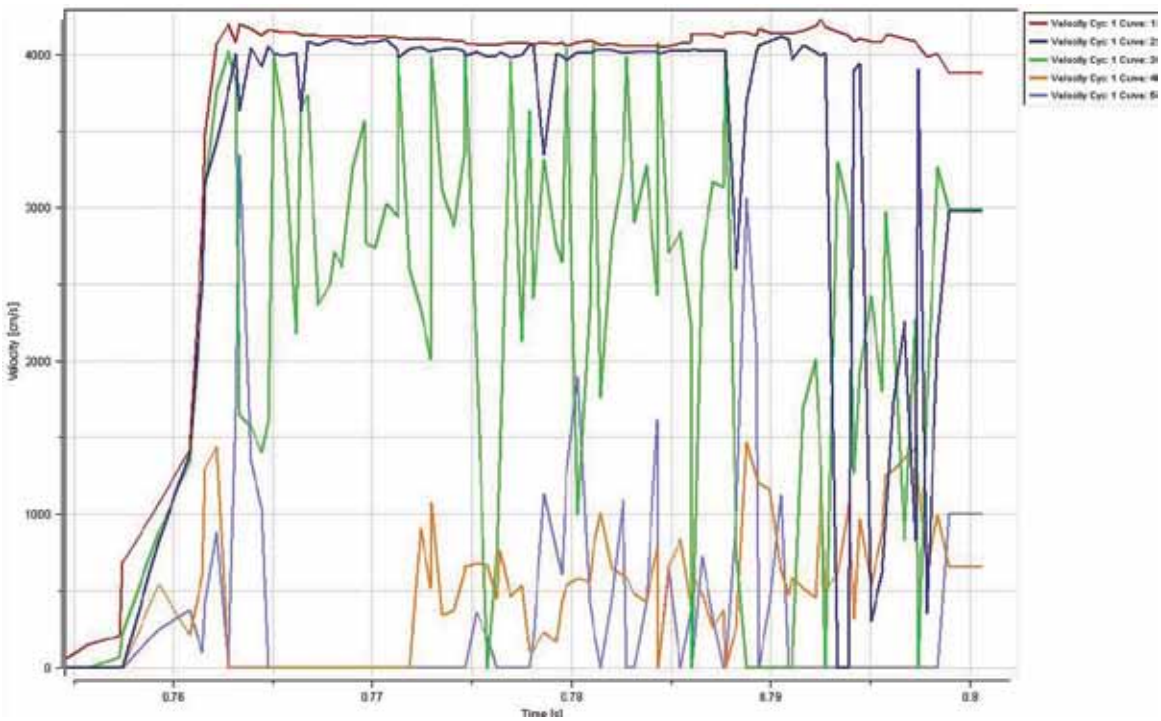


(a) (b) (c)

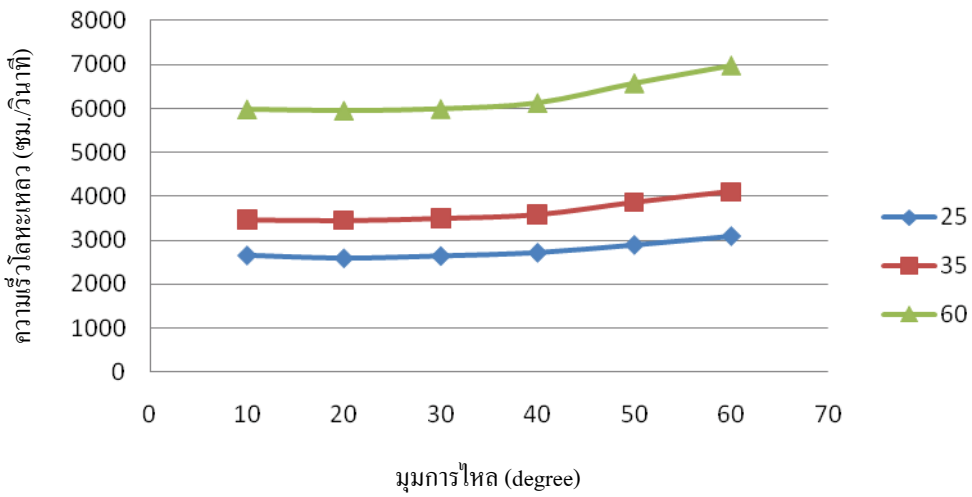
รูปที่ 8 การกักอากาศที่บริเวณด้านล่างของชิ้นงานที่ความเร็ว ingate 25 ม./วินาที เมื่อใช้ flow angle ต่างกัน โดย (a) flow angle 10 องศา (b) flow angle 30 องศา และ (c) flow angle 60 องศา

(a) (b) (c)

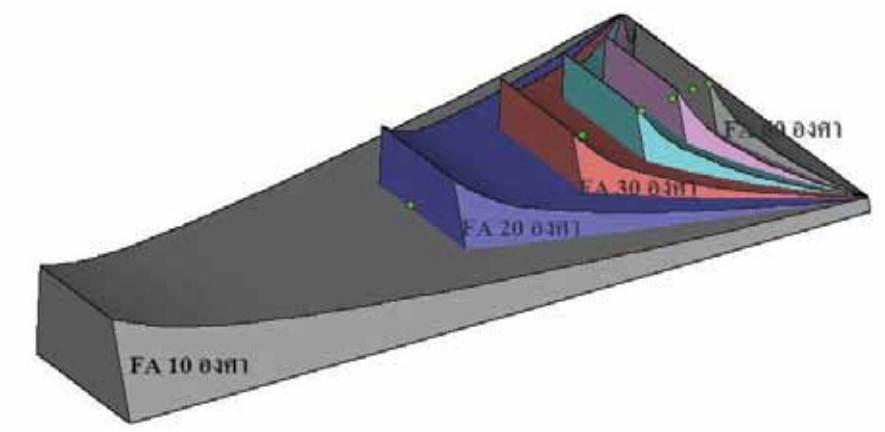
รูปที่ 9 การกักอากาศที่บริเวณด้านล่างของชิ้นงานเมื่อใช้ flow angle 20 องศา และใช้ Vingate ต่างกัน (a) Vingate 25 ม./วินาที (b) Vingate 35 ม./วินาที และ (c) Vingate 60 ม./วินาที



รูปที่ 10 กราฟแสดงลักษณะการไหลของโลหะเหลวที่ไม่สม่ำเสมอที่มุมการไหล 60 องศา และความเร็วที่ ingate 35 ม./วินาที



รูปที่ 11 กราฟแสดงความเร็วของโลหะเหลวที่ไหลผ่านกลาง ingate (cc point 1)

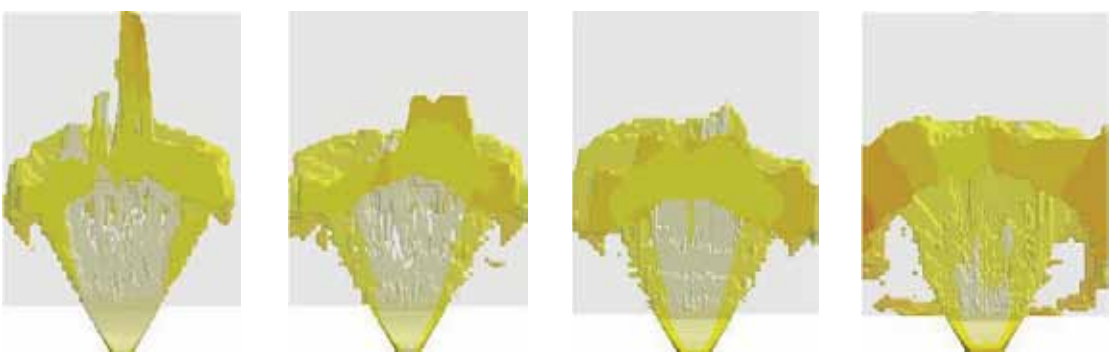


รูปที่ 12 ความยาวและความชันของ Straight Fan gate ที่ต่างกันเมื่อเปลี่ยนมุมการไหลตั้งแต่ 10 องศาถึง 60 องศา โดยกำหนดให้พื้นที่ ingate และพื้นที่ runner มีค่าเท่ากัน

4.3 ผลกระทบของการเปลี่ยนอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด Runner ต่อ อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด ingate (R:I Ratio) ที่มีผลต่อ Flow Pattern

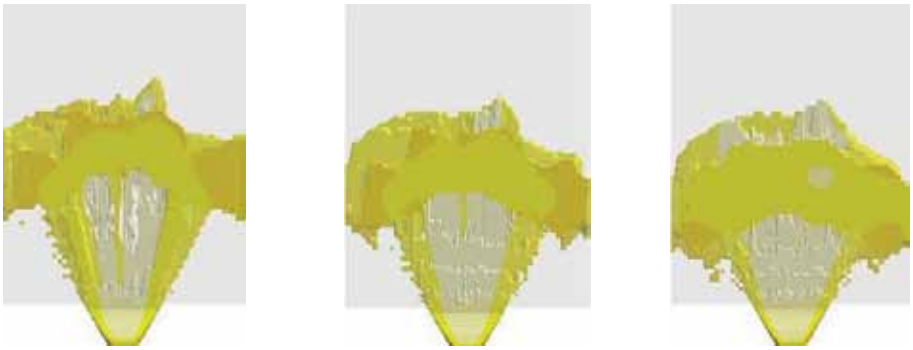
ค่า R:I Ratio ที่ 1.4 ถึง 2.5 โลหะเหลวไหลผ่าน ingate ค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ที่ R:I Ratio = 3.5 โลหะเหลวมีความเร็วไม่สม่ำเสมอ และ R:I Ratio น้อย ทำให้โลหะเหลวไหลพุ่งขึ้นไป ทำให้เกิดการกักอากาศในชิ้นงานมาก เมื่อ R:I Ratio มากขึ้น การกักอากาศลดน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 13 นอกจากนี้แล้วยังพบว่าที่ R:I Ratio เท่ากัน แต่ Vingate มากกว่าจะเกิดการกักอากาศด้านล่างน้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 14

เมื่อ R:I Ratio มากขึ้น ความเร็วของโลหะเหลวที่ไหลผ่าน ingate มีค่าลดลง เนื่องจากที่ความเร็วของ plunger เท่ากัน Gating system มีปริมาตรมากขึ้น เวลาที่โลหะเหลวอยู่ใน Runner นานขึ้น แต่ระยะทางเท่าเดิม V จึงลดลงดังรูปที่ 15



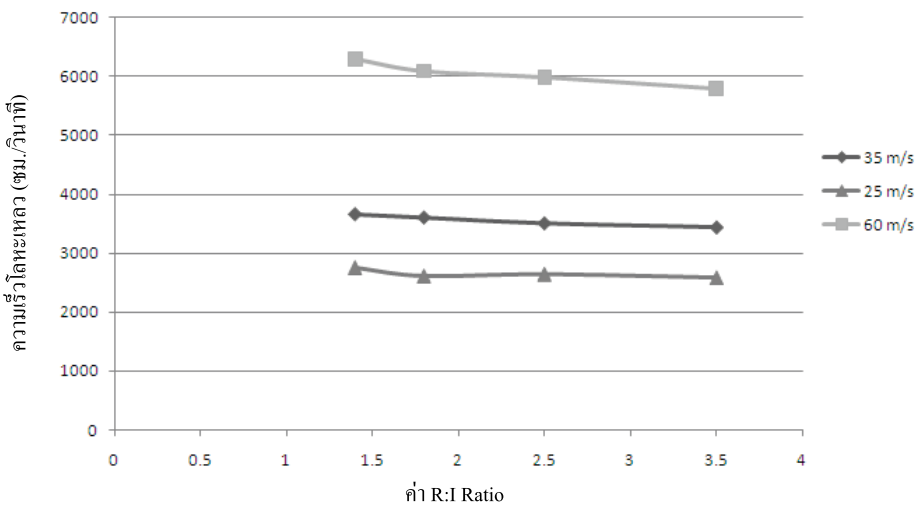
(a) (b) (c) (d)

รูปที่ 13 Flow pattern ที่แตกต่างกันที่ V = 35 ม./วินาที เมื่อ (a) R:I Ratio = 1.4 (b) R:I Ratio = 1.8 (c) R:I Ratio = 2.5 และ (d) R:I Ratio = 3.5



(a) (b) (c)

รูปที่ 14 Flow pattern ที่แตกต่างกันที่ R:I Ratio ที่ 2.5 เท่า เมื่อความเร็ว ingate ต่างกัน (a) 25 ม./วินาที (b) 35 ม./วินาที และ (c) 60 ม./วินาที

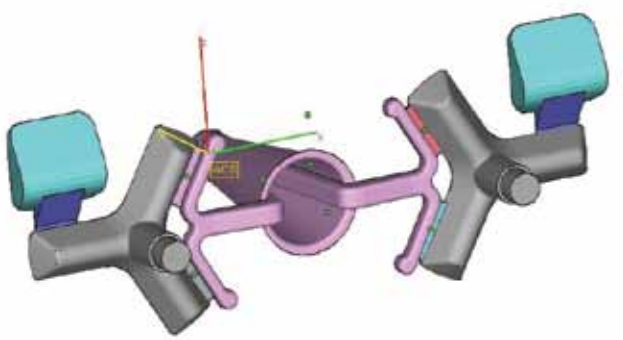


รูปที่ 15 กราฟความเร็วของโลหะเหลวที่ไหลผ่านกลาง ingate (cc point 1)

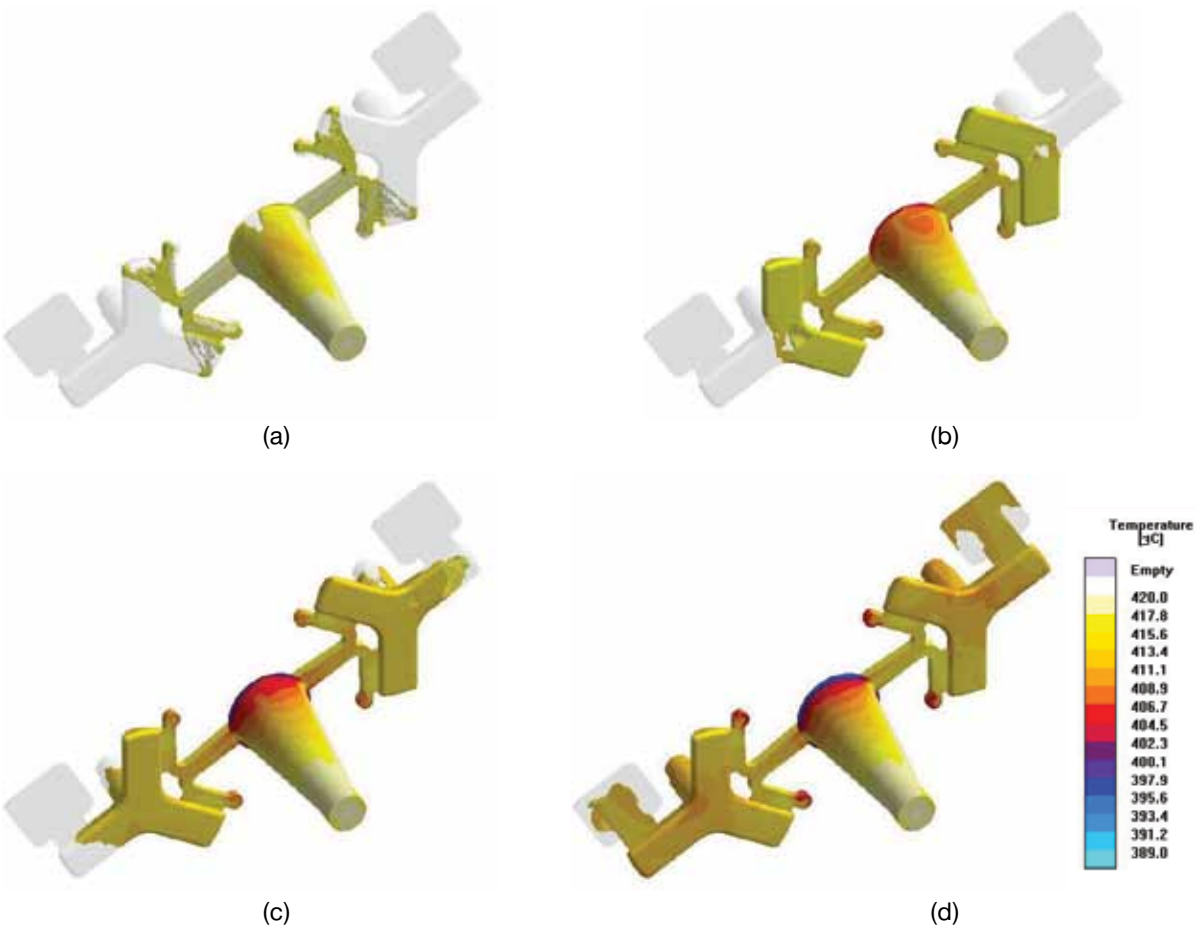
4.4 การนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับชิ้นงานจริง

รูปที่ 16 ชิ้นงาน STT31185

ชิ้นงานนี้เป็นหัวก๊อกน้ำที่ทำจากสังกะสีผสม (Zamak) หลังจากการฉีดขึ้นรูปด้วยกระบวนการ hot chamber แล้วจะนำไป buff แล้ว plating ด้วยโครเมียม ปัญหาที่พบของชิ้นงานนี้คือ เกิดข้อพกพร่องประเภทโพรงอากาศและมี flow line หลังจากฉีดขึ้นรูป ซึ่งทำให้ลูกค้า reject ชิ้นงาน ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการไหลของโลหะเหลวที่ไม่เหมาะสม (Flow pattern ไม่ดี)



รูปที่ 17 Gating system ของ STT31185 ที่ออกแบบเดิม

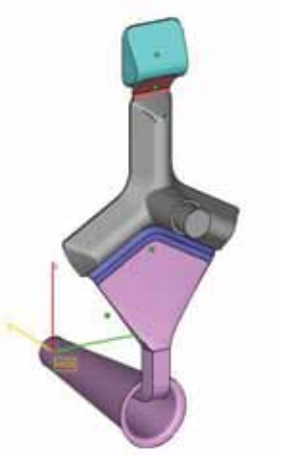


รูปที่ 18 Flow pattern ของ STT31185 ที่ออกแบบเดิม

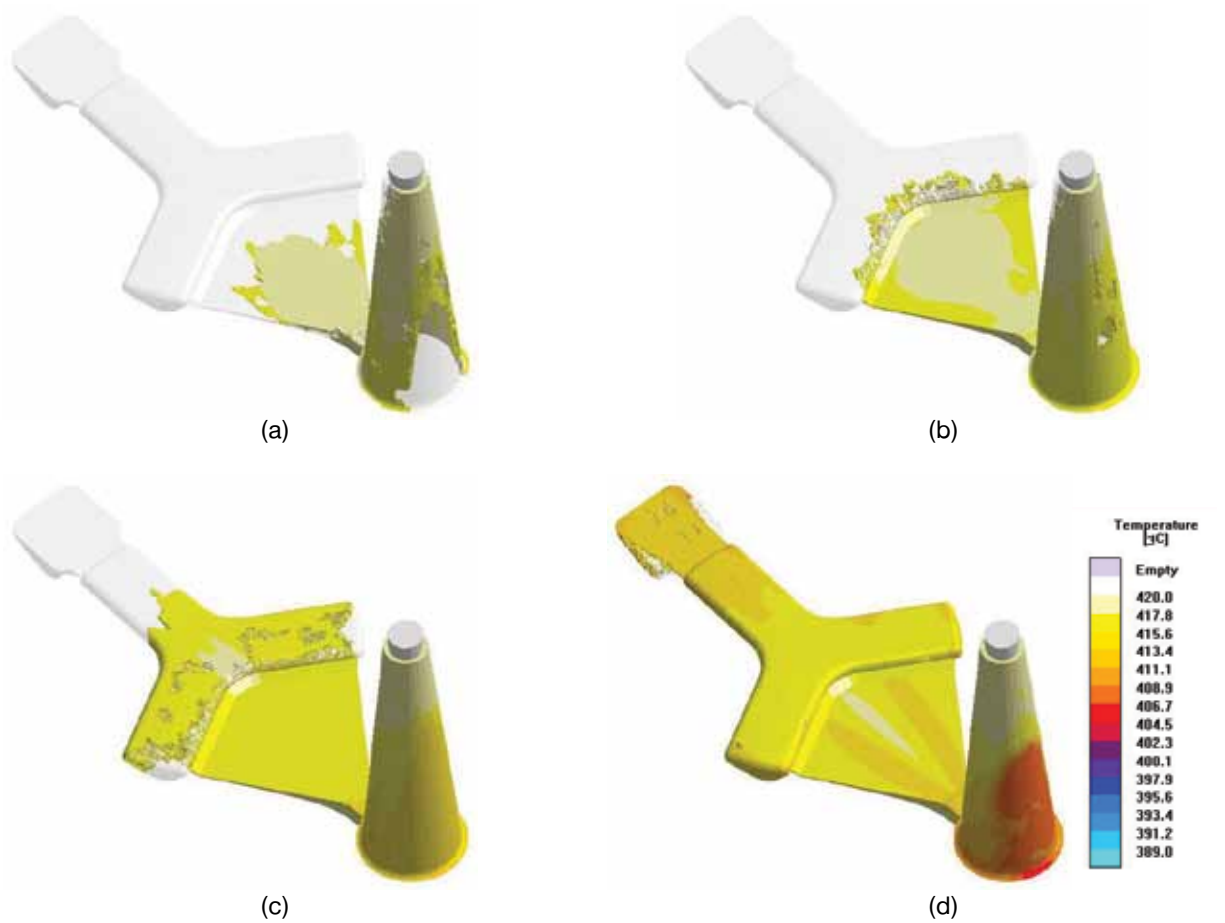
เมื่อวิเคราะห์ผลจากการ simulation พบว่า

- มีการไหลของโลหะเหลวสองสายมาปะทะกัน ทำให้บริเวณดังกล่าวเกิดการกักของอากาศ
- โลหะเหลวไหลในโพรงแม่พิมพ์แบบหมุนวน เกิดการกักของอากาศ

ดังนั้นจึงออกแบบ gating system ใหม่โดยปรับ runner ให้โลหะเหลวไหลได้สมดุลกันทั้งสองข้าง และเปลี่ยน gate เป็น fan gate เพื่อควบคุม flow pattern ให้ไหลเป็นระนาบมากขึ้น และใช้ช่วงที่เหมาะสมจากการผลการทดลองที่ 4.1 – 4.3 มาใช้ในการออกแบบเพื่อลดเวลาในการออกแบบและ simulation



รูปที่ 19 Gating system ของ STT31185 ที่ออกแบบใหม่ โดยใช้มุมการไหลที่ 30 องศา ความเร็วของโลหะเหลวที่ ingate คือ 38.62 ม./วินาที และ R:I ratio ที่ 2.5 เท่า



รูปที่ 20 Flow pattern ของ STT31185 ที่ออกแบบใหม่

เมื่อวิเคราะห์ผลจากการ simulation ของ STT31185 ที่ออกแบบใหม่ พบว่า

- Fan gate ที่ออกแบบใหม่ควบคุมลักษณะการไหลของโลหะเหลวได้ดีกว่า คือ ไม่มีการปะทะกันของโลหะเหลวสองสายที่กลางชิ้นงาน และลักษณะการไหลของโลหะเหลวเป็นระนาบ
- ออกแบบ ingate ให้งอลงทำให้โลหะเหลวไหลไปยังผิวที่ต้องการควบคุมคุณภาพก่อน

และเมื่อคำนวณค่า yield ระหว่างชิ้นงาน STT31185 ที่ออกแบบเดิม กับชิ้นงาน STT31185 ที่ออกแบบใหม่ พบว่าค่า yield มีค่าสูงขึ้นดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่า casting yield ของ STT31185 ที่ออกแบบเดิมและที่ออกแบบใหม่

	STT31185 ที่ออกแบบเดิม	STT31185 ที่ออกแบบใหม่
ปริมาตรชิ้นงาน (casting), ลบ.มม.	28515.12	14257.56
ปริมาตร runner และ sprue, ลบ.มม.	15873.14	8630.91
ปริมาตร Overflow, ลบ.มม.	8769.88	1901.21
ปริมาตร Ingateoverflow, ลบ.มม.	836.59	173.53
ปริมาตร Ingate, ลบ.มม.	84.00	95.70
ปริมาตรรวม, ลบ.มม.	54078.73	25058.91
Yield, %	52.73	56.90

เมื่อนำไปผลิตจริงพบว่า ผิวที่ต้องการควบคุมคุณภาพไม่มีปัญหาข้อบกพร่องเกิดขึ้น

4. สรุปผลการทดลอง

1. มุมการไหล (flow angle) ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20 องศาถึง 40 องศา เนื่องจากมุมการไหลที่มากเกินไปทำให้โลหะเหลวแตก อากาศรวมตัวกับโลหะเหลวได้ง่าย เกิดโพรงอากาศที่ชิ้นงาน และถ้าใช้มุมการไหลน้อย (10 องศา) จะทำให้ fan gate ยาวขึ้น เกิดการสูญเสียความร้อนของโลหะเหลวขณะไหลผ่าน gate มาก และทำให้หน้าแม่พิมพ์มีขนาดใหญ่มากขึ้น

2. อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด Runner ต่อ อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด Ingate (R:I ratio) ที่เหมาะสมคือไม่ควรเกิน 2.5 เท่า เพราะจะทำให้โลหะเหลวไหลไม่สม่ำเสมอ และไม่ควรต่ำกว่า 1 เท่า เพราะจะทำให้โลหะเหลวไหลไม่เต็ม runner อาจเกิดการรวมตัวกับอากาศได้ง่าย

3. ในขั้นตอนการออกแบบ gating system สำหรับกระบวนการหล่อความดันสูงนั้น ต้องออกแบบให้เส้นทางการไหลของโลหะเหลว (flow pattern) เป็นระนาบมากที่สุดและหลีกเลี่ยงการปะทะกันของโลหะเหลวสองสายในโพรงแม่พิมพ์ ทำให้ลดปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนขอขอบคุณโครงการสร้างปัญญาวิทย์ผลิตนักเทคโน (Young Scientist and Technologist Programme; YSTP) ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ห้องปฏิบัติการขึ้นรูปโลหะใกล้ร่างสุดท้ายของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความรู้ เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

1. Suwanprasit, S., 1991, *Zinc Alloy Die Casting Manufacturing Technology*, Metal-Working and Machinery Industries Development Institute, Bangkok, pp. 1-91. (in Thai)

2. Walkington, B., 2001, *Seven Steps to Quality Gating Design*, North American Die Casting

Association, USA, pp. 44-53.

3. Dr. P.N. Rao, R. Thukral, and K.L. Rajpal, 2000, “Computer-Aided Design of Gating Systems for Die Casting Dies”, *No. G-T89-064*, *15th Die Casting Congress & Exposition*, 16-19 October 1989, St. Lotus, USA.

4. Ward, M., 2001, *Gating Manual*, North American Die Casting Association, USA, pp. 31-37.

5. Barton, H.K. and Barton, L.C., 1988, *Die Casting and Die Design*, Machinery Publishing Co. Ltd, pp. 1-158.

6. C. Kang, J. Cho, Y. Kim, C. Jeong and J. Park, 2007, “Thin-wall Aluminum Die-casting Technology for Development of Notebook Computer Housing.”, *111th Metalcasting Congress*, 15-18 May, Texas, pp. 1-5.

7. Young-Chan Kim, Chang-Seog Kang, Jae-Ik Cho, Chang-Yeol Jeong, Se-Weon Choi and Sung-Kil Hong, 2008, “Die Casting Mold Design of the Thin-walled Aluminum Case by Computational Solidification Simulation”, *J. Mater. Sci. Technol.*, Vol. 24, No. 3, pp. 383-388.