

## บทที่ 4

### การออกแบบและวิเคราะห์

#### 4.1 การออกแบบแม่พิมพ์

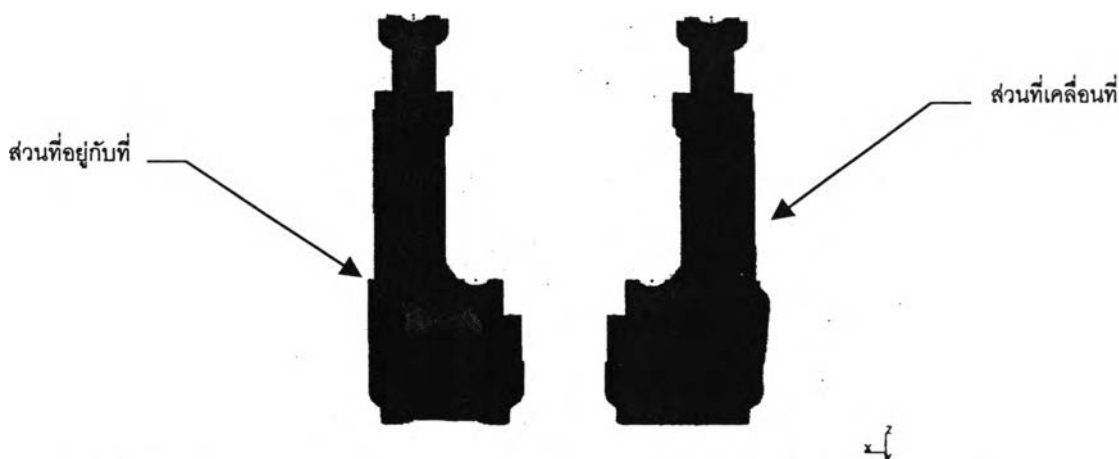
การหล่อแบบอลูมิเนียมไดแคสติงเป็นวิธีการที่ทำให้ชิ้นงานมีความถูกต้องแม่นยำ และผลิตได้เป็นจำนวนมากในเวลาอันสั้น โดยที่ไม่จำเป็นต้องทำลายแม่พิมพ์เพื่อปลดชิ้นงานออก ดังนั้นองค์ประกอบที่สำคัญของขบวนการนี้ก็คือ แม่พิมพ์

การที่จะได้มาซึ่งแม่พิมพ์ที่ดีนั้นจะต้องมีการออกแบบที่ดีด้วย การออกแบบแม่พิมพ์ที่whateverไปจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายปัจจัย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ก่อนหน้านั้น แต่ในที่นี้จะเริ่มพิจารณาจากการกำหนดเส้นแนวแบ่งแยก (parting line) เป็นอันดับแรก แล้วพิจารณาการออกแบบไส้แบบ (cores) จากนั้นจึงเริ่มพิจารณาระบบการไหล (gating system) ระบบระบายความร้อน (thermal system) และระบบนำปลดชิ้นงาน (ejection system)

##### 4.1.1 การกำหนดเส้นแนวแบ่งแยก (parting line)

เป็นแนวในการแบ่งแม่พิมพ์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (fixed die) และส่วนที่เคลื่อนที่ (movable die) ในการพิจารณาว่าส่วนใดของชิ้นงานจะอยู่ในส่วนที่อยู่กับที่ หรือ ส่วนที่เคลื่อนที่ ส่วนใหญ่จะทำการพิจารณาจากส่วนของชิ้นงานที่ต้องการแสดงให้เห็นผิวที่สวยงามส่วนนั้นจะอยู่ในส่วนที่อยู่กับที่

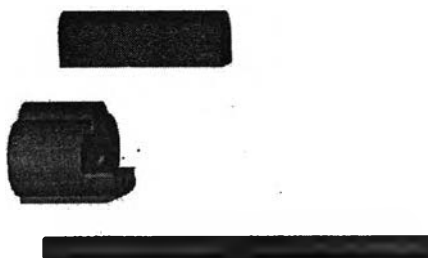
การกำหนดแนวแบ่งแยก ว่าส่วนใดควรอยู่ในส่วนที่เคลื่อนที่และส่วนใดควรอยู่ในส่วนที่อยู่กับที่ ของชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปแสดงแนวแบ่งแยก และ ส่วนที่อยู่กับแม่พิมพ์ที่เคลื่อนที่และอยู่กับที่

#### 4.1.2 การออกแบบไส้แบบ (core)

การพิจารณาว่าชิ้นงานใดควรมีไส้แบบจำนวนเท่าไรและควรมีรูปร่างอย่างไร ดูจาก อันเดอร์คัท (undercut) ที่เกิดขึ้นหลังจากกำหนดแนวแบ่งแยกแล้ว โดยชิ้นงานตัวอย่างมีไส้แบบ อยู่ 3 จุดด้วยกัน และมีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปแสดงลักษณะของไส้แบบที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานตัวอย่าง

#### 4.1.3 ระบบทางเข้า (gating system)

เริ่มแรกในการออกแบบระบบทางเข้าก็คือ การกำหนดเส้นทางการไหลของน้ำโลหะ เหลวในโพรงแบบ แล้วจึงทำการคำนวณหามิติต่างๆ ของทางเข้าและทางวิ่งเข้า (gate runner) ว่า ควรมีขนาดเท่าใด โดยระบบทางเข้าที่ออกแบบไว้จะต้องสอดคล้องกับกำลังของเครื่องจักรที่มีอยู่

ในการออกแบบระบบทางเข้านั้นจะทำการออกแบบตามหลักการของ NADCA (North American Die Casting Association) ซึ่งมี 7 ขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดเส้นทางการไหลของน้ำโลหะผ่านโพรงแม่พิมพ์(cavity)
2. คำนวณเวลาในการเติม(filling time)
3. กำหนดความเร็วของทางเข้า
4. คำนวณและกำหนดค่าความลึกของทางเข้า (gate depth) ต่ำสุดและค่าสูงสุด
5. พิจารณานขนาดของทางเข้าและขนาดของเข็มแทง (plunger) ที่สอดคล้องกับความต้องการกำลังของระบบทางเข้าและกำลังของเครื่องจักรที่ทำการฉีด
6. กำหนดขนาดและความเร็วของเข็มแทง
7. คำนวณหามิติของทางเข้าและทางวิ่ง

### ขั้นตอนที่ 1 กำหนดเส้นทางการไหลของน้ำโลหะผ่านโพรงแม่พิมพ์(cavity)

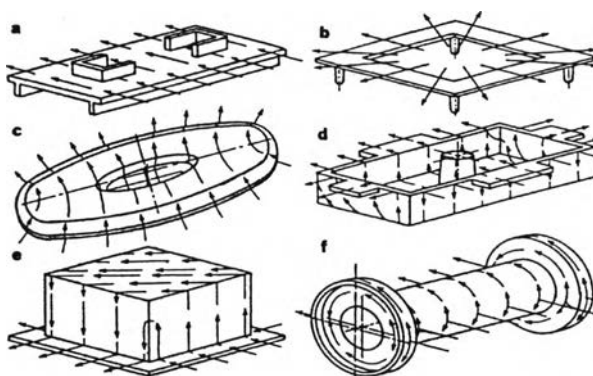
แนวทางในการกำหนดรูปแบบเส้นทางการไหลนั้นไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอนตายตัว แต่ก็พอจะมีแนวทางเพื่อช่วยในการกำหนดรูปแบบเส้นทางการไหลได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมดังนี้คือ

แนวทางที่ 1 เส้นทางการไหลในโพรงแบบจะต้องมีระยะทางที่สั้นที่สุด(ตั้งฉากกับแนวทางเข้า)

แนวทางที่ 2 เส้นทางการไหลจะต้องขนานกันไป

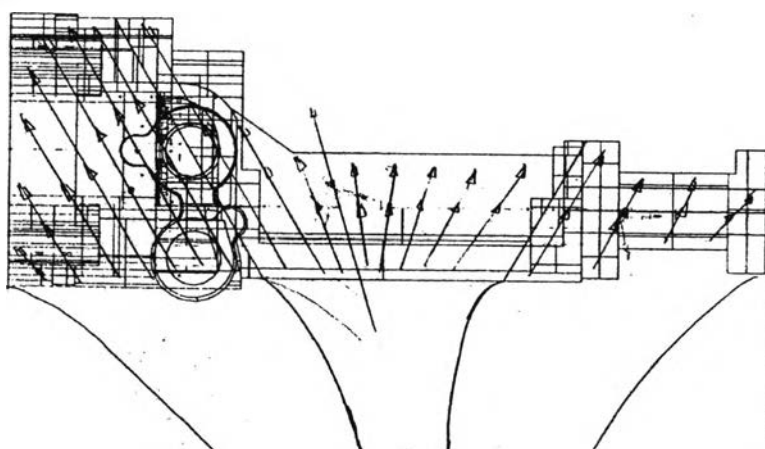
แนวทางที่ 3 ทุกส่วนในโพรงแบบควรได้รับการเติมในเวลาพร้อมๆกัน

ตัวอย่างของเส้นทางการไหลกับชิ้นงานรูปร่างต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.3



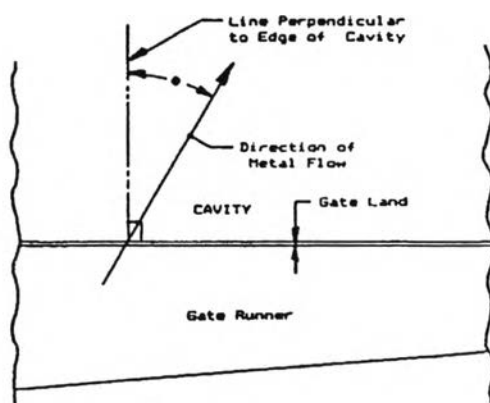
รูปที่ 4.3 รูปแสดงเส้นทางการไหลกับชิ้นงานรูปร่างต่างๆ (Gating Die Casting Die,1996:10)

จากแนวทางข้างต้นสามารถนำมากำหนดเส้นทางการไหลให้กับชิ้นงานตัวอย่างได้ดังรูปที่ 4.4 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 รูปแสดงเส้นทางการไหลของน้ำโลหะเหลวผ่านชิ้นงานตัวอย่าง

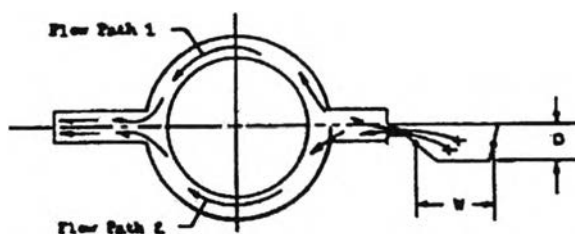
ระยะทางที่สั้นที่สุดควรจะต้องฉากกับแนวทางเข้า แต่ถ้าทำแบบนั้นแล้วจะต้องใช้ความยาวของทางเข้า (gate length) เท่ากับความยาวของชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้เหลือเศษวัสดุ (scrap) จำนวนมาก ดังนั้นจะต้องทำมุมเอียงโดยมุมเอียงจะวัดเทียบกับเส้นตั้งฉากกับแนวทางเข้าดูจากรูปที่ 4.5 จากรูปที่ 4.4 มุมเอียงส่วนใหญ่กำหนดไว้ที่ 30 องศา โดยปลายทั้งสองข้างของชิ้นงานจะมีมุมเอียง 30 องศา แต่ส่วนตรงกลางจะกำหนดไว้ที่มุมเฉลี่ย 15 องศา



รูปที่ 4.5 รูปแสดงมุมการไหลของน้ำโลหะเหลววัดเทียบกับเส้นตั้งฉากกับแนวทางเข้า  
(Gating Die Casting Die, 1996:12)

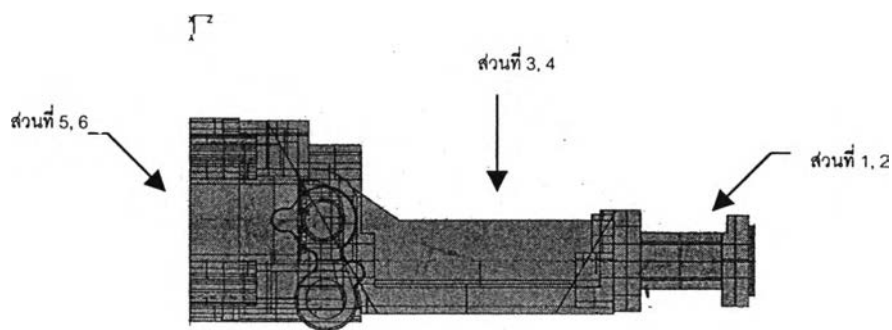
#### แบ่งชิ้นงานออกเป็นส่วยย่อย

จากการกำหนดเส้นทางการไหลสามารถแบ่งชิ้นงานออกเป็น 3 ส่วน แต่เนื่องจากชิ้นงานตัวอย่างรูปร่างคล้ายกับทรงกระบอกทำให้เมื่อเส้นทางการไหลเข้าไปจะแยกออกเป็น 2 ทาง ดังรูปที่ 4.6

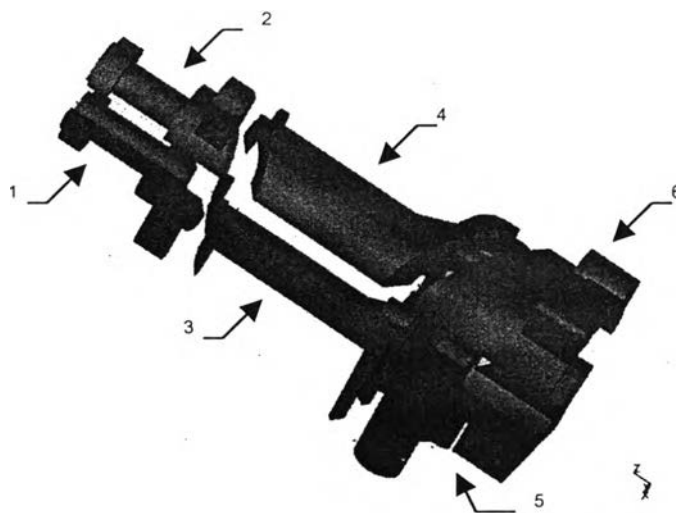


รูปที่ 4.6 รูปแสดงเส้นทางการไหลถูกแยกออกเป็น 2 เส้นทางเมื่อไหลผ่านชิ้นงานรูปทรงกระบอก  
(Gating Die Casting Die, 1996:17)

ดังนั้นชิ้นงานตัวอย่างจึงถูกแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ตามเส้นทางการไหล ดังรูปที่ 4.7 ก. และรูปที่ 4.7 ข.



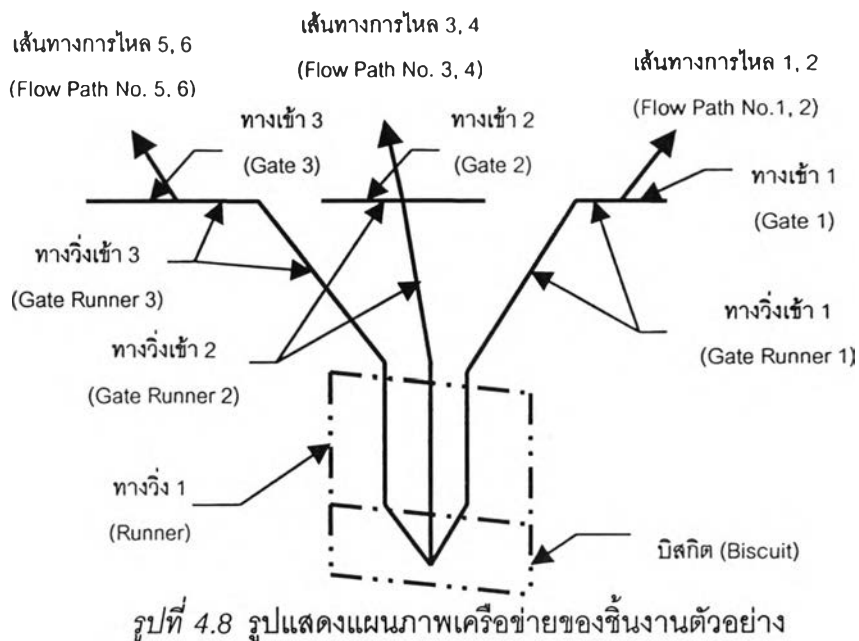
รูปที่ 4.7 ก รูปแสดงการแบ่งชิ้นงานตัวอย่างตามเส้นทางการไหลในแบบไวร์เฟรม



รูปที่ 4.7 ข รูปแสดงการแบ่งชิ้นงานตัวอย่างตามเส้นทางการไหลในแบบของแข็ง

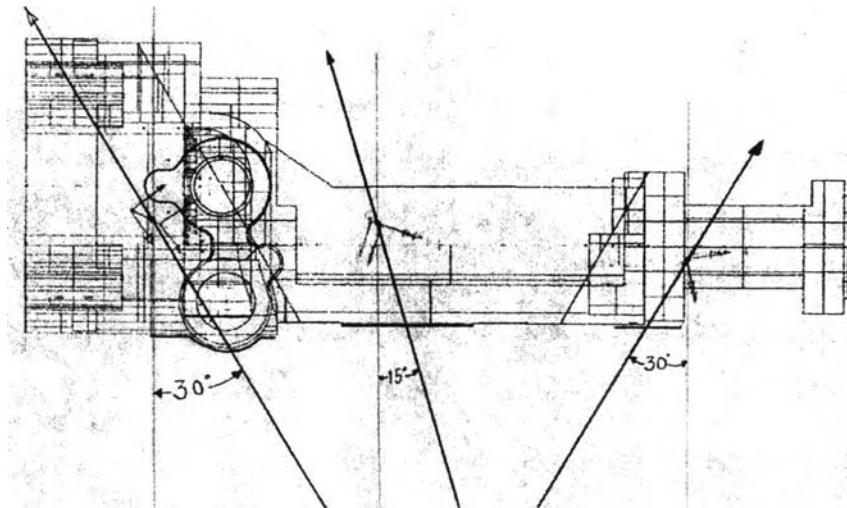
#### แผนภาพเครือข่าย (network diagram)

เป็นการเขียนแผนภาพเพื่อระบุชื่อของทางเข้า ทางวิ่งเข้า (gate runner) ทางวิ่ง (runner) และ บิสกิต (biscuit) ในแต่ละเส้นทางการไหล (flow path) โดยทุกส่วนจะต้องถูกระบุชื่อลงไป แผนภาพเครือข่ายจะมีความสำคัญในการคำนวณสำหรับรูปร่างชิ้นงานที่ซับซ้อน แผนภาพเครือข่ายของชิ้นงานตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 4.8



#### การกำหนดตำแหน่งของทางเข้าและชนิดของทางวิ่งเข้า

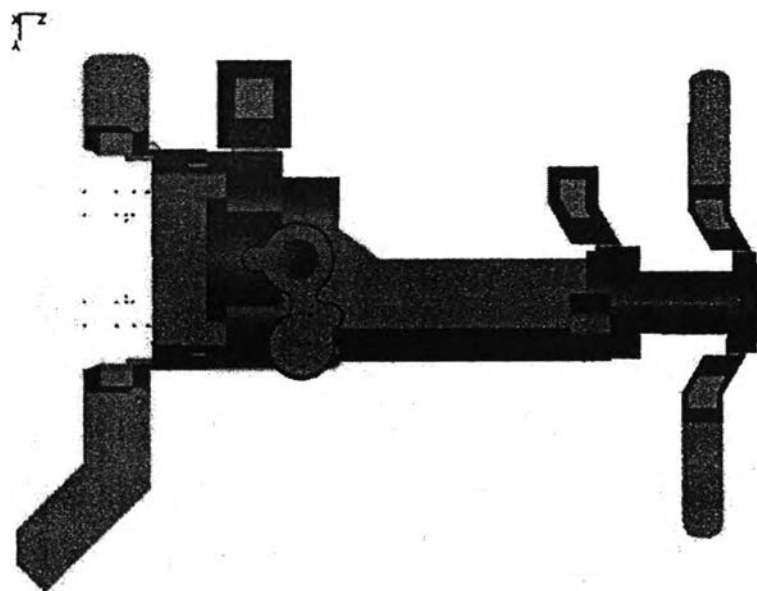
จากแผนภาพเครือข่าย ทางเข้าที่ 1 และ 3 จะมีลักษณะเหมือนกันและเส้นทางกรไหลที่ไหลออกจากทางเข้านี้จะมีลักษณะคงที่ตลอดคือ 30 องศา ซึ่งตรงกับลักษณะทางวิ่งเข้าแบบสัมผัส ดังนั้นที่ทางเข้าที่ 1 และ 3 จะใช้ทางวิ่งเข้าแบบสัมผัส ส่วนทางเข้าที่ 2 นั้นเส้นทางกรไหลที่ไหลออกจากทางเข้านี้จะมีลักษณะไม่คงที่ ซึ่งตรงกับลักษณะของทางวิ่งเข้ารูปพัด และเนื่องจากเส้นทางกรไหลที่ 1 และ 2 ใช้ทางเข้าที่ 1 ร่วมกัน และเลือกใช้ทางวิ่งเข้าแบบสัมผัส การกำหนดตำแหน่งทางเข้าที่จะดูจากจุดศูนย์กลางมวล (C.G.) ของทั้งสองส่วน ทำการลากเส้นเอียงขนานกับเส้นทางกรไหลในส่วนนั้นๆ (ซึ่งในที่นี้ทำมุมเอียง 30 องศา กับเส้นตั้งฉากในแนวทางเข้าในทิศตามเข็มนาฬิกา) ผ่านจุด C.G. ตำแหน่งที่เส้นเอียงตัดกับแนวเข้าจุดไหนจุดนั้นจะเป็นจุดกึ่งกลางของความยาวของทางเข้าที่ 1 สำหรับตำแหน่งของทางเข้าที่ 3 ก็ทำในลักษณะเดียวกัน เนื่องจากเส้นทางกรไหลที่ 5 และ 6 ใช้ทางเข้าร่วมกัน ใช้ทางวิ่งเข้าแบบสัมผัสเหมือนกันและมีมุมการไหลเท่ากัน แต่อยู่ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนเส้นทางกรไหลที่ 3 และ 4 ที่ใช้ทางเข้าร่วมกันและใช้ทางวิ่งเข้ารูปพัดนั้น จุด C.G. ของทั้งสองส่วนนี้จะค่อนข้างไปทางตอนท้ายของชิ้นงานทำให้เส้นกึ่งกลางของทางวิ่งเข้ารูปพัดเอียงในที่นี้ทำมุมเอียง 15 องศา กับเส้นตั้งฉากกับแนวทางเข้าลากเส้นเอียงขนานกับเส้นกึ่งกลางทางวิ่งเข้ารูปพัดเข้า ผ่านจุด C.G. ตัดกับเส้นทางเข้าจุดไหนจุดนั้นจะเป็นจุดกึ่งกลางของทางเข้า ซึ่งรูปที่ 4.9 แสดงภาพร่างโดยสังเขปของตำแหน่งและความยาวของทางเข้า



รูปที่ 4.9 รูปแสดงภาพร่างโดยสังเขปของตำแหน่งและความยาวของทางเข้า

#### รูปล้น และ ทางหนีอากาศ

ตำแหน่งของรูปล้นและทางหนีอากาศนั้นจะเป็นตำแหน่งที่ให้น้ำโลหะไหลออกมาจากโพรงแบบ หน้าที่หลักของรูปล้นและทางหนีอากาศนั้นก็เพื่อเป็นตัวควบคุมความร้อนและโครงสร้างทางโลหะ (โพรงอากาศ การหดตัว ฯลฯ) จากชิ้นงานตัวอย่าง รูปล้นและทางหนีอากาศถูกกำหนดดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 รูปแสดงตำแหน่งและขนาดของรูปล้นและทางหนีอากาศในชิ้นงานตัวอย่าง

ขนาดของรูล้นั้น ถ้ามีขนาดใหญ่จะส่งผลให้การควบคุมความร้อนและโครงสร้างทางโลหะดี แต่ก็ทำให้เกิดเศษโลหะจำนวนมากและความต้องการของกำลังเครื่องจักรก็จะเพิ่มขึ้นซึ่งไม่เป็นผลดีในแง่ของต้นทุนการผลิต ขนาดของรูล้นั้นขึ้นอยู่กับเวลาในการเติมเต็ม ขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน ตลอดจนประสบการณ์ของผู้ออกแบบ สำหรับชิ้นงานตัวอย่างนั้นจะใช้ขนาดประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรของชิ้นงานในแต่ละส่วนของเส้นทางการไหล

หลังจากได้ค่าจากการกำหนดและคำนวณจากขั้นตอนต่างๆ ข้างต้นก็นำมาบันทึกลงใน ตารางคำนวณ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.11

Reference	Step 1												
Column No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Item	Flow Path No.	No. Of Segments for Die	Volume Through Gate			Flow Angle (Deg)	Gate		Gate Runner		Branch Runner I.D.	Runner I.D.	Main Runner I.D.
			Cavity (cu. mm.)	Overflow (cu. mm.)	Total (cu. mm.)		I.D.	Length (mm)	I.D.	Type F or T			
	1	X	22196.1	2219.6	24415.7	30	1	20.00	1	T	X	X	1
	2		22195.9	2219.6	24415.5	30	1	17.35	1	T	X	X	1
	3		40958.1	4095.8	45053.9	15	2	30.00	2	F	X	X	1
	4		44980.4	4498.0	49478.4	15	2	33.58	2	F	X	X	1
	5		30713.8	3071.4	33785.2	30	3	30.00	3	T	X	X	1
	6		51479.0	5147.9	56626.9	30	3	32.11	3	T	X	X	1
	7		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
	8		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
	9		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
	10		~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
Total for Segment		X	212523.3	21252.3	233775.6							X	1
Total for Die		1	212523.3	21252.3	233775.6								X
													Biscuit I.D.
													B

รูปที่ 4.11 รูปแสดงข้อมูลต่างๆของชิ้นงานตัวอย่างที่ถูกบันทึกลงใน ตารางคำนวณ

#### ขั้นตอนที่ 2 คำนวณเวลาในการเติม (filling time)

เวลาในการเติมเต็ม คือ เวลาเมื่อน้ำโลหะเหลวมาถึงทางเข้าแล้วไหลเข้าสู่โพรงแบบและรู ล้น จนเต็ม ซึ่งมีสมการในการคำนวณดังนี้



$$t = k \left( \frac{T_i - T_f + SZ}{T_f - T_d} \right) T \quad (4.1)$$

โดยที่

$t$  = เวลาเติมเต็มในอุดมคติ (วินาที)

$k$  = Empirically Derived Constant (วินาที/มม.)

$T_i$  = อุณหภูมิของน้ำโลหะในขณะฉีดเข้าสู่โพรงแบบ (องศาเซลเซียส)

$T_f$  = อุณหภูมิการไหลของน้ำโลหะต่ำสุด (องศาเซลเซียส)

$T_d$  = อุณหภูมิของพื้นผิวหน้าแม่พิมพ์ก่อนฉีดน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบ (องศาเซลเซียส)

$S$  = เปอร์เซ็นต์ของของแข็งที่อนุญาตให้อยู่ในโพรงแบบได้ในขณะที่ถูกเติมเต็ม (%)

$Z$  = Units Conversion Factor (องศาเซลเซียส/%)

$T$  = ความหนาของชิ้นงาน (มม.)

ค่าของ  $k$ ,  $T_i$ ,  $T_f$ ,  $T_d$  และ  $Z$  ดูจากตารางที่ 1 และ 2 ในภาคผนวก ก.

- อุณหภูมิฉีด (metal injection temperature;  $T_i$ ) คือ อุณหภูมิของน้ำโลหะเมื่อไปถึงทางเข้า

- อุณหภูมิต่ำสุดของโลหะที่สามารถไหลได้ (minimum flow temperature;  $T_f$ ) คือ อุณหภูมิที่อยู่ระหว่างอุณหภูมิที่เป็นของเหลวโดยสมบูรณ์ (liquidus) กับ อุณหภูมิที่เป็นของแข็งโดยสมบูรณ์ (solidus) ของโลหะ

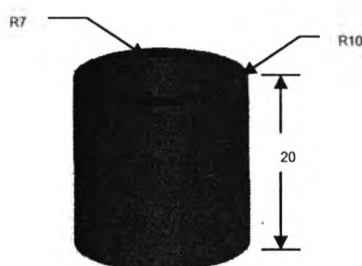
- เปอร์เซ็นต์ของของแข็งที่อนุญาตให้อยู่ในโพรงแบบได้ในขณะที่ถูกเติมเต็ม (percent Solid Allowable;  $S$ ) ค่านี้ถ้าน้อย (10-15%) จะทำให้ชิ้นงานออกมาเรียบสวย แต่ถ้าค่านี้มาก (50% ขึ้นไป) ก็จะทำให้ Shrinkage Porosity น้อย

- Units Conversion Factor;  $Z$  เป็นค่าที่ได้จากคุณสมบัติทางความร้อนของโลหะ

- อุณหภูมิแม่พิมพ์ (die temperature;  $T_d$ ) คือ อุณหภูมิของพื้นผิวหน้าแม่พิมพ์ก่อนฉีดน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบ

- Empirically Derived Constant;  $k$  ค่านี้จะเปลี่ยนตามวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์

- ความหนาของชิ้นงาน (thickness;  $T$ ) เนื่องจากชิ้นงานส่วนใหญ่มีความหนาไม่เท่ากันตลอดชิ้นงาน ความหนาที่เหมาะสมเพื่อแทนลงในสมการ 4.1 คือ ความหนาเฉลี่ย โดยในที่นี้ชิ้นงานตัวอย่างมีลักษณะคล้ายรูปทรงกระบอกเจาะรู ดังรูปที่ 4.12



๕.

รูปที่ 4.12 รูปแสดงทรงกระบอกเจาะรูซึ่งมีลักษณะคล้ายชิ้นงานตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.12 มีปริมาตรเท่ากับ 9236.28 ลบ.มม. มีพื้นที่ผิวทั้งหมดเท่ากับ 3562.56 ตร.มม. ความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานนี้สามารถหาได้โดยประมาณ เหมือนกับนำชิ้นงานรูป 4.12 มาตัดแล้วคลี่ออกกลายเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม นำพื้นที่ผิวทั้งหมดลบออกจากผิวด้านข้างแล้วนำมาหารด้วย 2 แล้วจึงนำไปหารกับปริมาตร ก็จะออกมาเป็นความหนาเฉลี่ย แต่กรณีที่ชิ้นงานมีรูปร่างซับซ้อน จะไม่สามารถหาค่าพื้นที่ผิวข้างได้ ดังนั้นค่าพื้นที่ผิวที่ใช้จะใช้เป็นพื้นที่ผิวทั้งหมด ซึ่งจากคำอธิบายข้างต้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$T = \frac{V}{S/2} \quad (4.2)$$

โดยที่  $T$  = ความหนาเฉลี่ยของชิ้นงาน (มม.)

$V$  = ปริมาตรของชิ้นงาน (ลบ.มม.)

$S$  = พื้นที่ผิวทั้งหมดของชิ้นงาน (ตร.มม.)

หาเวลาในการเติมเต็มของชิ้นงานตัวอย่างได้จากการกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

$T_1$  = 650 องศาเซลเซียส [ข้อมูลจากโรงงาน]

$T_0$  = 140 องศาเซลเซียส [ข้อมูลจาก โฆษิต สุขก้องวารี, 2540]

$T$  = 5.857 มม.

$S$  = 10 %

$T_1$  = 570 องศาเซลเซียส

$Z$  = 3.8 องศาเซลเซียส/%

$K = 0.0346$  วินาที/มม.

จากสมการ 4.1 ได้เวลาในการเติมเต็มเป็น

$$t = \frac{0.0346 (650 - 570 + 10 \times 3.8)(5.8577)}{(570 - 140)}$$

$$= 0.056 \text{ วินาที}$$

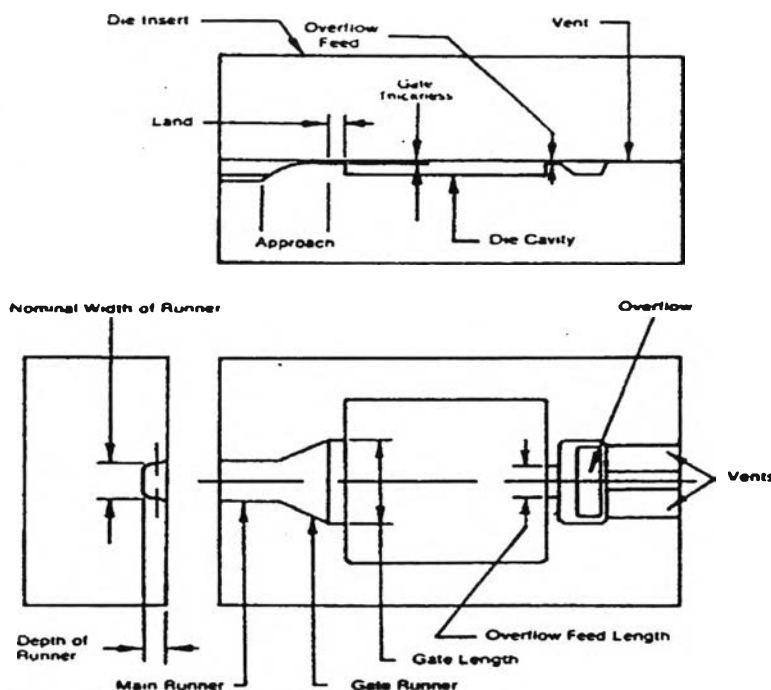
นำค่าที่ได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 14 ของตารางคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.14

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดความเร็วของทางเข้า

ความเร็วทางเข้า (gate velocity) คือ ความเร็วของน้ำโลหะที่ไหลผ่านทางเข้า สำหรับค่าความเร็วทางเข้าที่เหมาะสมในงานต่างๆ สามารถเปิดหาค่าจากตารางที่ 2 ในภาคผนวก ก. ซึ่งในที่นี้เป็นงานฉีดอลูมิเนียมจึงใช้ความเร็วที่ทางเข้าเท่ากับ 38.7 ม./วินาที และทำการเลือกความเร็วที่ใช้สำหรับชิ้นงานตัวอย่างนี้เท่ากับ 38.7 ม./วินาที นำค่าที่ได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 15 และ 16 ของตารางคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.14

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณและกำหนดค่าความลึกของทางเข้า (gate depth) ต่ำสุดและค่าสูงสุด

ความลึกของทางเข้าวัดในแนวตั้งฉากของพื้นผิวที่แบ่ง (parting surface) ดูจากรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 รูปแสดงส่วนต่างๆ ของระบบทางเข้า (Gating Die Casting Die, 1996:2)

### ความลึกต่ำสุด

เป็นค่าที่ใช้พิจารณาเพื่อไม่ให้ค่าความลึกที่ออกแบบไว้ต่ำกว่าค่านี้ ซึ่งมีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับความเร็วที่ทางเข้า ดังสมการที่ 4.3

$$M_{sg} \times G_t \times G_v^{1.71} = j \quad (4.3)$$

โดยที่

$M_{sg}$  = ความหนาแน่นของโลหะที่ฉีด (กรัม/ลบ.ซม.)

$G_t$  = ความลึกของทางเข้า (มม.)

$G_v$  = ความเร็วทางเข้า (ม./วินาที)

$J$  = ค่าคงที่สำหรับโลหะ ((กรัม-มม./ลบ.ซม.)(ม./วินาที)<sup>1.71</sup>)

(ดูค่าจากตารางที่ 2 ในภาคผนวก ก.)

หาค่าความลึกต่ำสุดของทางเข้าได้จากสมการที่ 4.3 โดยการกำหนดค่าต่างๆดังนี้

$M_{sg} = 2.76$  กรัม/ลบ.ซม.

$G_v = 38.7$  ม./วินาที

$J = 525$  (กรัม-มม./ลบ.ซม.)(ม./วินาที)<sup>1.71</sup>

$$\begin{aligned} G_t &= \frac{525}{(2.76)(38.7)^{1.71}} \\ &= 0.367 \text{ มม.} \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 17 ของตารางคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4.14

### ความลึกสูงสุดของทางเข้า

เป็นค่าที่ใช้พิจารณาเพื่อไม่ให้ค่าความลึกที่ออกแบบไว้สูงกว่าค่านี้ โดยส่วนใหญ่ค่านี้จะมีค่าประมาณ 80% ของความหนาชิ้นงานในแต่ละส่วน นำค่าความลึกสูงสุดที่คำนวณได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 18 ของตารางคำนวณ ดังแสดงดังรูปที่ 4.14

การที่ค่าความลึกต่ำสุดมีค่าเดียวกันก็เนื่องมาจากว่าเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับค่าความเร็วทางเข้า ซึ่งเป็นค่าที่ถูกกำหนดเพียงค่าเดียวในระบบทางเข้าหนึ่งๆ เช่นเดียวกับเวลาในการเติมเต็ม



$$Q_i = \frac{V_i}{t} \quad (4.4)$$

โดยที่

$Q_i$  = อัตราการไหลในแต่ละเส้นทางการไหล (ลบ.ชม./วินาที)

$V_i$  = ปริมาตรที่ไหลผ่านทางเข้าในแต่ละเส้นทางการไหล (ลบ.ชม.)

$t$  = เวลาในการเติมเต็ม (วินาที)

นำค่าที่ได้จากสมการที่ 5 ในตารางคำนวณหารค่าที่ได้จากสมการที่ 14 หลังจากนั้นนำมาใส่ในสมการที่ 19 ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.15

ความเร็วของเข็มแทงเทียบเท่า (equivalent plunger velocity)

อัตราการไหลเป็นส่วนหนึ่งของพลังที่ต้องการ (power required) ซึ่งจำเป็นที่จะต้องแปลงให้อยู่ในรูปแบบของความเร็วของเข็มแทง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.5 ดังนี้

$$P_{vm} = \frac{Q}{\pi \left( \frac{P_o}{2} \right)^2} \quad (4.5)$$

โดยที่

$P_{vm}$  = ความเร็วของเข็มแทง (ม./วินาที)

$Q$  = อัตราการไหลทั้งหมด (ลบ.ชม./วินาที)

$P_o$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มแทง (มม.)

$\pi$  = 3.1416

นำค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มแทง ใส่ลงในสมการที่ 20 ของ ตารางคำนวณ ในรูปที่ 4.14 ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 70 มม.(จากตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติของเครื่องจักร) คำนวณหาค่า จากสมการที่ 4.5 โดยใช้อัตราการไหลทั้งหมดซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 4174.56 ลบ.ชม./วินาที ดังนั้น  $P_{vm}$  ของเครื่องจักรที่ใช้ในการฉีดขึ้นงานตัวอย่างมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} P_{vm} &= \frac{4174.56}{3.1416 \times \left( \frac{70}{2} \right)^2} \\ &= 1.08 \text{ ม./วินาที (42.52 นิ้ว/วินาที)} \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกลงในสมการที่ 22 ของ ตารางคำนวณ ในรูปที่ 4.15

พื้นที่ทางเข้าขัดแย้ง (apparent gate area)

คือ พื้นที่ที่เกิดจากเส้นทางการไหลของน้ำโลหะเหลวไหลตั้งฉากกับแนวทางเข้า หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความเร็วทางเข้าดังแสดงดังสมการ 4.6 ดังนี้

$$G_{at} = \frac{Q_i}{G_v} \quad (4.6)$$

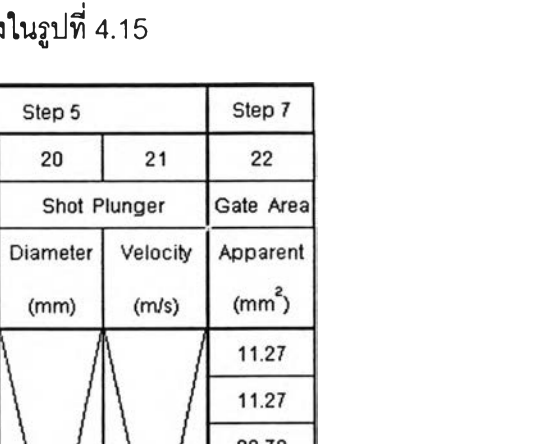
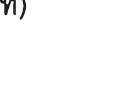

โดยที่

$G_{at}$  = พื้นที่ทางเข้าขัดแย้ง (ตร.มม.)

$Q_i$  = อัตราการไหลในแต่ละเส้นทางการไหล (ลบ.ซม./วินาที)

$G_v$  = ความเร็วทางเข้า (ม./วินาที)

จากชิ้นงานตัวอย่างคำนวณหาค่า  $G_{at}$  จากสมการที่ 4.6 แล้วนำค่าที่ได้บันทึกลงใน สดมภ์ที่ 22 ของ ตารางคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4.15

Step 5			Step 7	
19	20	21	22	
Flow rate (cm <sup>3</sup> /sec)	Shot Plunger		Gate Area	
	Diameter (mm)	Velocity (m/s)	Apparent (mm <sup>2</sup> )	
435.99		1.08	11.27	
435.99			11.27	
804.53			20.79	
883.54			22.83	
603.31			15.59	
1011.19			26.13	
				
				
4174.56				107.87
4174.56			70	1.08

รูปที่ 4.15 รูปแสดงข้อมูลต่างๆของระบบทางเข้าที่ถูกบันทึกลงใน ตารางคำนวณ

ความดันโลหะ (metal pressure)

เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งของพลังที่ต้องการจากระบบทางเข้า ซึ่งหมายถึง ความดันของการเคลื่อนมวลน้ำโลหะเหลวที่ไหลเข้าไปในโพรงแบบขณะเต็ม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.7 ดังนี้

$$P_m = \frac{M_{sg}}{2g} \left( \frac{G_v}{C_d} \right)^2 \quad (4.7)$$

โดยที่

$P_m$  = ความดันโลหะ (ปอนด์/ตร.นิ้ว; psi)

$M_{sg}$  = ความหนาแน่นของโลหะ (ปอนด์/ลบ.นิ้ว)

$g$  = ความโน้มถ่วงของโลก (384 นิ้ว/วินาที<sup>2</sup>)

$G_v$  = ความเร็วทางเข้า (นิ้ว/วินาที)

$C_d$  = ค่าความเฉื่อย (มีค่าอยู่ในช่วง 0.6-0.8)

โดย 0.6 เป็นค่าความเฉื่อยเมื่อมองโลกในแง่ร้าย

0.8 เป็นค่าความเฉื่อยเมื่อมองโลกในแง่ดี

(แต่ส่วนมากนิยมที่ค่า 0.65 และ 0.75 สำหรับค่าความเฉื่อยเมื่อมองโลกในแง่ร้ายและแง่ดีตามลำดับ)

สำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในการฉีดขึ้นงานตัวอย่าง ค่า  $P_m$  มาจากสมการ 4.7 โดยมีค่าต่างๆดังนี้

$M_{sg} = 0.096$  ปอนด์/ลบ.นิ้ว

$g = 384$  นิ้ว/วินาที<sup>2</sup>

$G_v = 1524$  นิ้ว/วินาที

$C_d = 0.65$

$$\begin{aligned} P_m &= \frac{0.096}{2 \times 386} \times \left( \frac{1524}{0.65} \right)^2 \\ &= 684 \text{ ปอนด์/ตร.นิ้ว} \end{aligned}$$

ความดันไฮดรอลิกเทียบเท่า (equivalent hydraulic pressure)

ทำการแปลงความดันโลหะเป็นความดันไฮดรอลิกเทียบเท่าได้จากสมการ 4.8 ดังนี้



$$P_{hd} = P_m \left( \frac{P_o}{C_o} \right)^2 \quad (4.8)$$

โดยที่

$P_{hd}$  = ความดันกระบอกไฮดรอลิกขณะที่เติมน้ำโลหะในโพรงแบบ (ปอนด์/ตร.นิ้ว)

$P_m$  = ความดันโลหะ (ปอนด์/ตร.นิ้ว; psi)

$P_o$  = เส้นผ่านศูนย์กลางเข็มแทง (มม.)

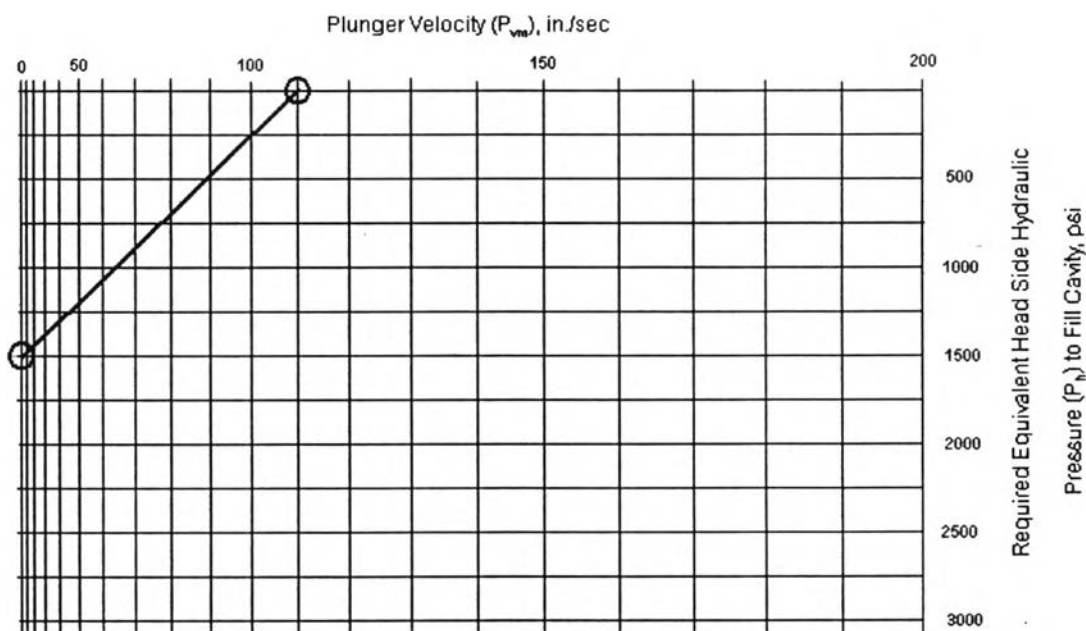
$C_o$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของ Shot Cylinder (มม.)

สำหรับเครื่องจักรที่ใช้ฉีดขึ้นงานตัวอย่างมีค่า  $P_o = 70$  มม. ค่า  $C_o = 125$  มม. (จากตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของเครื่องจักร) และค่า  $P_m = 684$  ปอนด์/ตร.นิ้ว ดังนั้น

$$\begin{aligned} P_{hd} &= 684 \left( \frac{70}{125} \right)^2 \\ &= 214.5 \text{ ปอนด์/ตร.นิ้ว} \end{aligned}$$

แผนภาพ  $PV^2$  (The  $PV^2$  diagram)

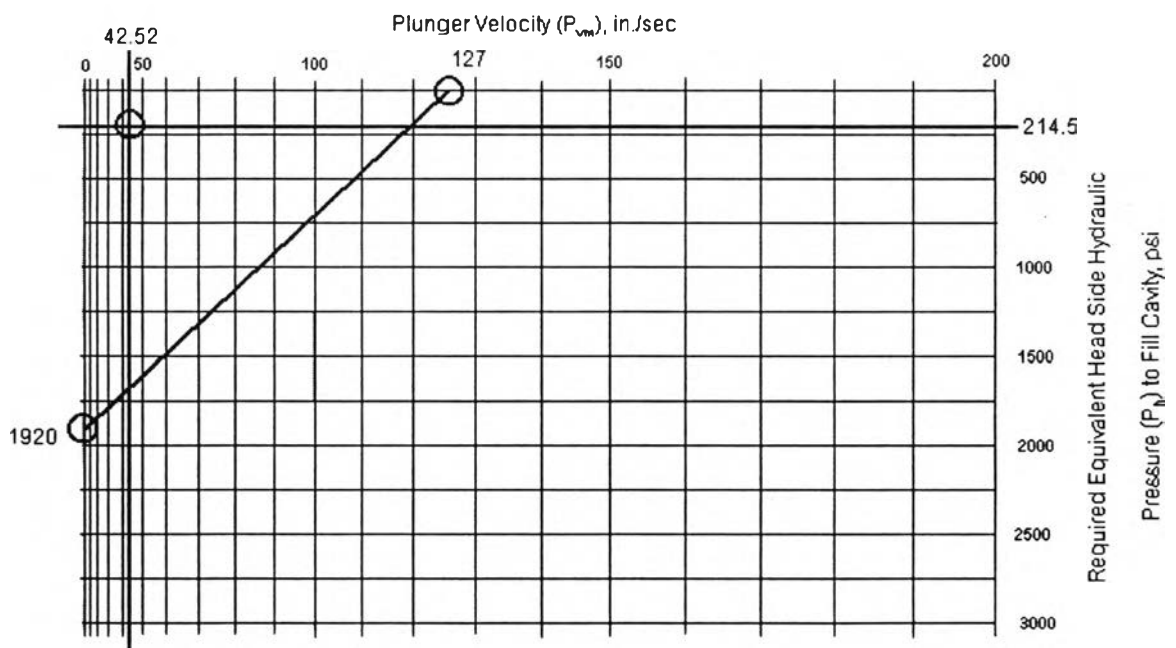
คือเครื่องมือที่ใช้ทำการเปรียบเทียบกำลังของเครื่องจักรกับกำลังที่ต้องการของระบบทางเข้า แผนภาพ  $PV^2$  แสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 รูปแสดงแผนภาพ  $PV^2$

หลังจากนั้นนำค่าความเร็วสูงสุดของเข็มแทง ขณะที่ไม่ มีน้ำโลหะ (maximum dry shot) ของเครื่องจักรที่ใช้ มาพล็อตบนแนวนอนด้านบน ซึ่งในที่นี้มีค่า 127 นิ้ว/วินาที (5 ม./วินาที) และประสิทธิภาพความดันไฮดรอลิกสูงสุด (maximum accumulator operation pressure) ของเครื่องจักรที่ใช้ มาพล็อตในแนวตั้งทางซ้ายมือ ซึ่งในที่นี้มีค่า 1920 ปอนด์/ตร.นิ้ว (135 กก./ตร.ซม.) ซึ่งค่าทั้งสองได้มาจากตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของเครื่องจักรที่ใช้ทำการฉีดขึ้นงาน

เมื่อได้จุดทั้งสองแล้วลากเส้นทแยงมุมเชื่อม ซึ่งเส้นนี้จะกลายเป็นเส้นแสดงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (แผนภาพ  $PV^2$  ใช้หน่วยในรูปแบบของ U.S.A.) นำค่าความเร็วเข็มแทง เทียบเท่าและความดันไฮดรอลิกเทียบเท่าที่คำนวณได้มาพล็อตลงในแผนภาพ  $PV^2$  แล้วลากเส้นตรงในแนวตั้งผ่านค่าความเร็วเข็มแทง เทียบเท่าและลากเส้นตรงในแนวนอนผ่านค่าความดันไฮดรอลิกเทียบเท่า รูปที่ 4.17 ประกอบดังนี้



รูปที่ 4.17 รูปแสดงการหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของระบบทางเข้ากับเครื่องจักรที่ใช้

พิจารณาจุดตัดที่เกิดขึ้นซึ่งอยู่ภายในมุมซ้ายบน แสดงว่ากำลังของเครื่องจักรมีความสามารถสำหรับระบบทางเข้าที่ออกแบบไว้ ถ้าอยู่นอกจะต้องทำการแก้ไขระบบทางเข้าใหม่ เช่น การลดความเร็วที่ทางเข้า ฯลฯ

### ขั้นตอนที่ 6 การตัดสินใจเลือกขนาดและความเร็วของเข็มแทง

เครื่องฉีดแบบวางเย็นโดยทั่วไปจะมีขนาดของเข็มแทงให้เลือกหลายขนาด ในกรณีของเครื่องจักรที่ใช้มีให้เลือกด้วยกันสามขนาด ได้แสดงดังตารางที่ 3.6 และได้ทำการเลือกที่ขนาด 70 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐาน โดยทั่วไปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มแทง ขนาดใหญ่จะส่งผลกระทบต่อดังนี้

- 1) ลดการสึกกร่อนของเครื่องจักร
- 2) เพิ่มการสึกกร่อนให้แก่ตัวเข็มแทงเองและกระบอกฉีด (shot sleeve)
- 3) ต้องควบคุมความถูกต้องของความเร็วในการฉีดช้า (slow shot velocity)
- 4) เพิ่มโอกาสในการเกิดรูพรุนให้แก่ชิ้นงาน
- 5) ไม่จำเป็นต้องทำการพรีคูลลิ่ง (pre-cooling) ให้กับน้ำโลหะ
- 6) ลดความดันที่ใช้ป้อนขณะหด

เมื่อทำการเลือกขนาดของเข็มแทงได้แล้วก็จะทำการกำหนดความเร็วในการฉีดช้า ซึ่งถ้ามีขนาดเร็วหรือช้าเกินไปจะทำให้ น้ำโลหะเหลวในกระบอกฉีดเกิดการสั่นได้ ดังนั้นความเร็วในการฉีดช้า ในอุดมคติสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.9) ดังนี้

$$V_{ss} = C_{ss} \left( \frac{100\% - F_i}{100\%} \right) (P_0)^{0.5} \quad (4.9)$$

โดยที่

- $V_{ss}$  คือ ความเร็วในการฉีดช้า (เมตร/วินาที)
- $F_i$  คือ ส่วนของปริมาตรของน้ำโลหะเหลวเทียบกับกระบอกฉีด (%)
- $P_0$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มแทง (มิลลิเมตร/1000)
- $C_{ss}$  คือ ค่าคงที่ในการฟิตเคอร์ฟ (curve fitted) มีค่าเท่ากับ 0.579 ม./วินาที

โดยที่  $F_i$  สามารถหาได้จากสมการ (4.10)

$$F_i = \frac{\text{Total Shot Volume}}{3.1415(P_0/2)^2 L} \times 100\% \quad (4.10)$$

โดยที่

- $L$  คือ ความยาวของกระบอกฉีดระหว่างผิวหน้าของเข็มแทงกับผิวหน้าของแม่พิมพ์ (มิลลิเมตร) ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 480 มม. ดูจากตารางที่ 3.3

เนื่องจากสมการที่ 4.10 นั้นตัวแปรสำคัญที่ยังไม่ทราบค่าในตอนนี้เป็นคือ ปริมาตรในการฉีดทั้งหมด (total shot volume) ซึ่งค่านี้จะทราบก็ต่อเมื่อทำการออกแบบระบบทางเข้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นค่าความเร็วในการฉีดซ้ำจะทำการคำนวณอีกครั้งหลังจากทำการออกแบบระบบทางเข้า และทำการวาดรูปแบบสามมิติเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ขั้นตอนที่ 7 การคำนวณหาขนาดมิติทางเข้าและทางวิ่ง (calculating gate and runner dimensions)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบระบบทางเข้า ขั้นตอนนี้จะทำการคำนวณหาขนาดมิติทั้งหมดของระบบทางเข้า โดยเริ่มจากการหาพื้นที่ทางเข้าที่แท้จริง (actual gate area) นำมาใส่ในสมการที่ 25 การเลือกความลึกของทางเข้า นำมาใส่ในสมการของที่ 24 การกำหนดลักษณะของทางวิ่งเข้าแบบต่างๆ ลงในสมการที่ 25-27 ส่วนพื้นที่หน้าตัดและมิติของทางวิ่งเข้าแบบต่างๆใส่ลงในสมการที่ 28-63 โดยจะต้องระบุวิธีในการออกแบบไว้ในแถวสุดท้ายของสมการที่ 28-59 และลักษณะของทางวิ่งจะบันทึกลงในสมการที่ 64-67

พื้นที่ทางเข้าที่แท้จริง (actual gate)

เป็นพื้นที่จริงที่จะกำหนดลงในระบบทางเข้าโดยมากจะมีขนาดมากกว่าพื้นที่ขีดจำกัดที่มากที่สุดนี้มีสาเหตุจากเส้นทางการไหลที่เฉียง การคำนวณพื้นที่ทางเข้าที่แท้จริงจะต้องคำนวณแยกในแต่ละเส้นทางการไหล ถึงแม้ว่าเส้นทางการไหลนั้นจะมีทางเข้าร่วมกัน การคำนวณพื้นที่ทางเข้าที่แท้จริงจะแยกคำนวณตามประเภทของทางวิ่งเข้าดังนี้

- ทางวิ่งเข้าแบบสัมผัส มุมการไหลของน้ำโลหะที่ผ่านทางวิ่งเข้าแบบสัมผัสจะเหมือนกับที่ไหลผ่านทางเข้าในรูปที่ 4.5 ดังนั้นถ้ามุมการไหลตั้งฉากกับทางเข้า พื้นที่ที่แท้จริงจะมีค่าเท่ากับพื้นที่ที่ขีดจำกัด ดังนั้นพื้นที่ที่แท้จริงจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ขีดจำกัดและมุมของเส้นทางการไหลที่ทำมุมกับเส้นตั้งฉากของแนวทางเข้า ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ดังสมการที่ 4.11

$$G_{ai} = \frac{G_{aai}}{\cos\theta} \quad (4.11)$$

โดยที่  $G_{ai}$  = พื้นที่ทางเข้าจริงของแต่ละเส้นทางการไหล (มม.<sup>2</sup>)

$G_{aai}$  = พื้นที่ทางเข้าขีดจำกัดของแต่ละเส้นทางการไหล (มม.<sup>2</sup>)

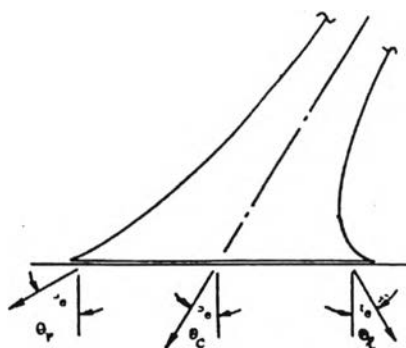
$\theta$  = มุมการไหลที่แสดงดังรูปที่ 4.5 (องศา)

ทำการคำนวณหาพื้นที่ทางเข้าที่แท้จริงของทางเข้าที่ 1, 2 และ 3 ตามสูตรข้างต้นสำหรับชิ้นงานตัวอย่าง นำค่าที่คำนวณได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 23 ของตารางคำนวณ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.19

- ทางวิ่งเข้ารูปพืด จะเหมือนกับการคำนวณที่แสดงในสมการที่ 4.11 แต่ต่างกันตรงมุม  $\theta$  เนื่องจากว่ามุมการไหลที่ไหลออกจากทางวิ่งเข้ารูปพืดจะไม่คงที่ จึงต้องนำเอาครึ่งหนึ่งของมุมการไหลที่มากที่สุดจากปลายทั้งสองมาหาค่าเฉลี่ย หลังจากนั้นนำมารวมกับมุมเอียงที่เกิดจากเส้นกึ่งกลางของทางวิ่งเข้ารูปพืดทำกับเส้นตั้งฉากกับทางเข้า โดยรูปที่ 4.18 แสดงถึงมุมต่างๆ ของทางวิ่งเข้ารูปพืด โดยการคำนวณมุม  $\theta$  เพื่อนำไปใช้ในสมการที่ 4.11 แสดงได้ดังสมการที่ 4.12

$$\theta = \left( \frac{\theta_r + \theta_l}{4} \right) + \theta_c \quad (4.12)$$

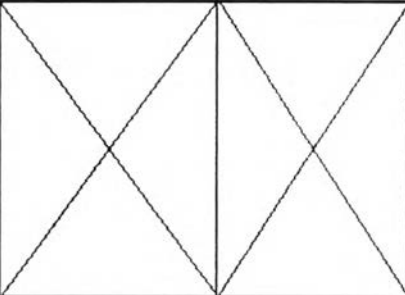
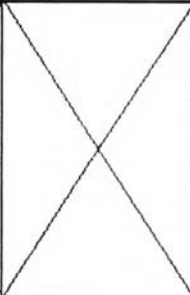
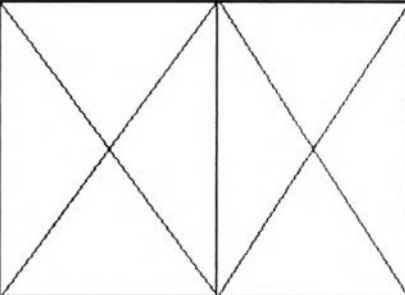
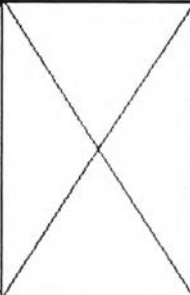
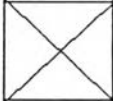
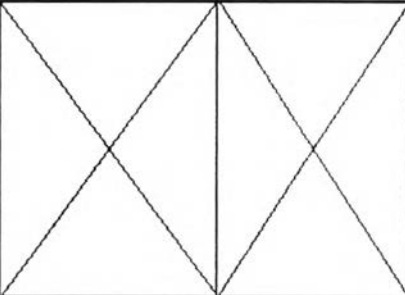
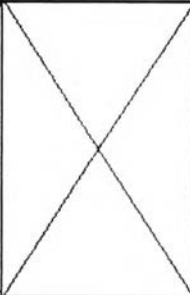
โดยสัญลักษณ์ต่างๆ ดูได้จากรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 รูปแสดงลักษณะของมุมของทางวิ่งเข้ารูปพืด (Gating Die Casting Die, 1996:52)

นำค่าที่คำนวณได้มาบันทึกในสดมภ์ที่ 23 ของตารางคำนวณดังแสดงดังรูปที่

4.19

Step 7										
22	23		24	25	26	27				
Gate Area			Selected	Comb Gate		Approach				
Apparent (mm <sup>2</sup> )	Actual (mm <sup>2</sup> )		Gate Depth (mm)	Number of Openings	Length of Opening (mm)	Angle Deg.				
11.27	13.01	26.02	1.3009			45				
11.27	13.01		1.5							
20.79	24.01	50.37	1.6789							
22.83	26.36		1.5							
15.59	18.00	48.17	1.6057							45
26.13	30.17		1.5							
~	~	~	~	~	~					~
~	~	~	~	~	~					~
~	~	~	~	~	~	~				
~	~	~	~	~	~	~				
107.87										
107.87										

รูปที่ 4.19 รูปแสดงข้อมูลต่างๆของระบบทางเข้าที่ถูกบันทึกลงใน ตารางคำนวณ

การเลือกความลึกของทางเข้า (selected gate depth)

ถูกพิจารณาจากการนำพื้นที่ที่แท้จริงหารด้วยความยาวของทางเข้า(ในสดมภ์ที่ 8 ของตารางคำนวณ) ซึ่งแสดงสมการได้ดังนี้

$$G_t = \frac{G_a}{G_l} \quad (4.13)$$

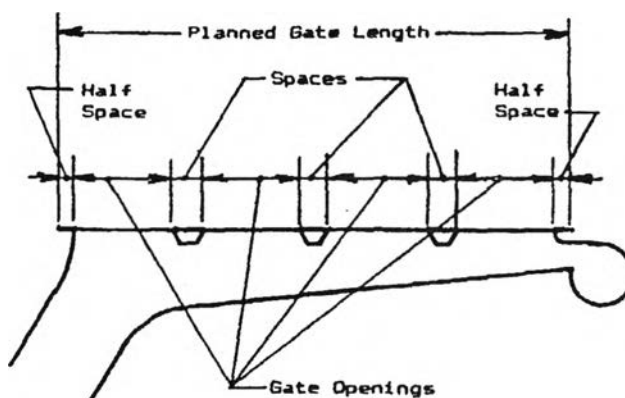
โดยที่  $G_t$  = ความลึกของทางเข้า (มม.)

$G_a$  = พื้นที่ทางเข้าที่แท้จริง(มม.<sup>2</sup>)

$G_l$  = ความยาวของทางเข้า (มม.)

ในกรณีเส้นทางการไหลมีการใช้ทางเข้าร่วมกัน ค่าพื้นที่แท้จริง ( $G_a$ ) จะต้องนำมารวมกันทั้งหมด หลังจากนั้นนำค่าที่คำนวณบันทึกลงในสดมภ์ที่ 24 ในตารางคำนวณ ซึ่งแสดงดังรูปที่

4.19 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.3009, 1.6789 และ 1.6057 ตามลำดับ ซึ่งค่าได้ขึ้นอยู่กับค่าความลึกสูงสุดและต่ำสุดของทางเข้า ในกรณีที่ค่าความลึกที่ได้ต่ำกว่าค่าความลึกต่ำสุดจะต้องทำทางวิ่งเข้าแบบสัมผัสเป็นแบบหวี ดังแสดงดังรูป 4.20 หรือไม่ก็ลดความยาวของทางเข้าลง



รูปที่ 4.20 รูปแสดงทางวิ่งเข้าแบบสัมผัสแบบหวี (Gating Die Casting Die, 1996:54)

แต่ถ้าค่าที่ได้สูงกว่าค่าความลึกสูงสุดจะต้องทำการเพิ่มความยาวของทางเข้า หรือไม่ก็ลดความเร็วที่ทางเข้าลง

เพื่อสะดวกในการวาดภาพสามมิติของทางเข้า จะทำการกำหนดค่าความลึกของทางเข้าให้คงที่ที่ 1.5 มม. เท่ากันหมดทุกทางเข้า ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้และในทางปฏิบัติก็เป็นค่าที่นิยมใช้ ดังนั้นจะมีผลทำให้ความยาวของแต่ละทางเข้าเปลี่ยนไป โดยค่าเปลี่ยนไปได้จากการคำนวณย้อนกลับสมการที่ 4.13 นำค่าที่ได้ใหม่บันทึกลงในสดมภ์ที่ 8 ของตารางคำนวณ และเนื่องจากว่าทางวิ่งเข้าที่ออกแบบไว้ไม่มีการใช้ทางวิ่งเข้าแบบสัมผัสเป็นแบบหวี สดมภ์ที่ 24 และ 25 ของตารางคำนวณจึงต้องทำเครื่องหมายกากบาทไว้

#### มุมเอียง (approach angle)

เป็นลักษณะเฉพาะของทางวิ่งเข้าแบบสัมผัสดังได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.6.2.3 ในขั้นตอนนี้จะทำการเลือกมุมเอียงให้เหมาะสมกับรูปร่างชิ้นงานตัวอย่าง โดยมุมเอียงที่นิยมอยู่ระหว่าง 30-45 องศา แต่สำหรับชิ้นงานตัวอย่างในที่นี้เลือกมุมเอียงที่ 45 องศา การที่เลือกค่าสูง เพื่อหลบส่วนของชิ้นงานที่เป็นรูปทรงกระบอกยื่นออกมาบริเวณทางเข้าที่ 3 ส่วนทางเข้าที่ 1 นั้นบริเวณทางเข้าเป็นแนวตัดตรง จึงต้องใช้มุมเอียง 45 องศาเพื่อหลบพื้นผิวส่วนนี้ นำค่านีใส่ในสดมภ์ที่ 27 ในตารางคำนวณซึ่งแสดงในรูปที่ 4.19

### ขนาดมิติของทางวิ่งเข้าแบบสัมผัส

ในหัวข้อนี้จะทำการคำนวณหาขนาดของค่า  $S_g$ ,  $D$ ,  $W$  และ  $C$  ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้ได้ อธิบายและแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.6.2.3 ซึ่งทางวิ่งเข้าแบบสัมผัสถูกกำหนดด้วยหน้าตัด 9 หน้าตัดด้วยกัน ในการหาค่าต่างๆข้างต้นจะต้องหาขนาดของพื้นที่หน้าตัดในแต่ละหน้าตัดก่อน ซึ่ง การคำนวณหาขนาดพื้นที่ในแต่ละหน้าตัดนั้นจะแสดงได้ดังต่อไปนี้เป็นลำดับขั้น

- พื้นที่หน้าตัดที่ 5 เป็นพื้นที่หน้าตัดแรกที่จะทำการคำนวณ ซึ่งหาได้จาก

$$\text{Area of SEC.5} = \frac{\text{Actual Gate Area}}{\tan \theta} \quad (4.14)$$

โดยที่  $\theta$  = มุมการไหล

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่ 5 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 1 ได้ ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดที่ 5 ของทางเข้าที่ 1} &= \frac{26.02}{\tan 30^\circ} \\ &= 45.06 \text{ มม.}^2 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกในสมุดที่ 40 ของตารางคำนวณในรูปที่ 4.21ก ในส่วนของ ทางเข้าที่ 3 ทำในทำนองเดียวกัน

- พื้นที่หน้าตัดที่ 9 เป็นหน้าตัดที่สองที่ทำการพิจารณาหา ซึ่งหาได้จากสมการที่ 4.15 ดังนี้

$$\text{พื้นที่หน้าตัดที่ 9} = \text{พ.ท.หน้าตัดที่ 5} - \text{พ.ท.ที่แท้จริง} \quad (4.15)$$

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่ 9 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 1 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดที่ 9 ของทางเข้าที่ 1} &= 45.07 - 26.02 \\ &= 19.05 \text{ มม.}^2 \end{aligned}$$



นำค่าที่ได้บันทึกในสดมภ์ที่ 56 ของตารางคำนวณในรูปที่ 4.21x ในส่วนของทางเข้าที่ 3 ทำในทำนองเดียวกัน

- พื้นที่หน้าตัดที่ 7 เป็นพื้นที่ที่อยู่ระหว่างหน้าตัดที่ 5 และ 9 ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดคือพื้นที่เฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดที่ 5 และ 9 ซึ่งหาได้จากสมการที่ 4.16 ดังนี้

$$\text{Area of SEC.7} = \frac{\text{Area of SEC.5} + \text{Area of SEC.9}}{2} \quad (4.16)$$

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่ 7 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 1 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดที่ 7 ของทางเข้าที่ 1} &= \frac{45.06 + 19.05}{2} \\ &= 32.06 \text{ มม.}^2 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกในสดมภ์ที่ 48 ในตารางคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4.21x ในส่วนของทางเข้าที่ 3 ทำในทำนองเดียวกัน

- พื้นที่หน้าตัดที่ 8 เป็นพื้นที่หน้าตัดที่อยู่ตรงกลางระหว่าง พื้นที่หน้าตัดที่ 7 กับ 9 ดังนั้นขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 8 คือค่าเฉลี่ยระหว่าง พื้นที่หน้าตัดที่ 7 และ 9 สามารถคำนวณได้ดังสมการ 4.17 ดังนี้

$$\text{Area of SEC.8} = \frac{\text{Area of SEC.7} + \text{Area of SEC.9}}{2} \quad (4.17)$$

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่ 8 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 1 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดที่ 8 ของทางเข้าที่ 1} &= \frac{32.06 + 19.05}{2} \\ &= 25.55 \text{ มม.}^2 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกในสดมภ์ที่ 52 ในตารางคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.21x ในส่วนของทางเข้าที่ 3 ทำในทำนองเดียวกัน

- พื้นที่หน้าตัดที่ 6 เป็นพื้นที่หน้าตัดที่อยู่ตรงกลางระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่ 5 กับ 7 ดังนั้นขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 6 คือค่าเฉลี่ยระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่ 5 และ 7 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.18 ดังนี้

$$\text{Area of SEC.6} = \frac{\text{Area of SEC.5} + \text{Area of SEC.7}}{2} \quad (4.18)$$

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่ 6 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 1 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดที่ 6 ของทางเข้าที่ 1} &= \frac{45.07 + 32.06}{2} \\ &= 38.56 \text{ มม.}^2 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกในสมมติที่ 44 ในตารางคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.21x ในส่วนของทางเข้าที่ 3 ทำในทำนองเดียวกัน

- พื้นที่หน้าตัดที่ 1 เป็นปากทางเข้าของทางวิ่งเข้า ขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 1 จะขึ้นอยู่กับวิธีในการออกแบบ ซึ่งมีความสำคัญมาก โดยวิธีการออกแบบทางวิ่งเข้ามีอยู่ 3 แบบด้วยกัน

- คือ
- 1) พื้นที่หน้าตัดลดลง
  - 2) พื้นที่หน้าตัดคงที่
  - 3) น้ำหนักในการฉีดย่น้อยที่สุด

และเมื่อทำการเลือกวิธีการออกแบบแล้ว จะต้องทำการบันทึกลงบรรทัดสุดท้ายของตารางคำนวณตั้งแต่สมมติที่ 28 ถึง 59 โดยรายละเอียดของการออกแบบในแต่ละวิธีมีดังนี้คือ

1. วิธีการออกแบบพื้นที่หน้าตัดลดลง จะใช้กำลังของเครื่องจักรน้อยที่สุด แต่ทางวิ่งเข้าที่ได้จะมีขนาดใหญ่ ซึ่งถ้าทางเลือกการออกแบบวิธีนี้ขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 1 จะมีขนาดเป็น 1.10 เท่าของพื้นที่หน้าตัดที่ 5 ซึ่งค่าคงที่ 1.1 เกิดจากความเร็วของน้ำโลหะจะเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อไหลออกจากพื้นที่หน้าตัดที่ 1 ผ่านสู่หน้าตัดที่ 2, 3 และ 4 ไปสู่หน้าตัดที่ 5 นอกจากจะใช้ค่า 1.1 แล้วยังใช้ค่าที่อยู่ระหว่างค่า 1.05 ถึง 1.15 แต่ผู้เชี่ยวชาญในด้านนี้กล่าวไว้ว่าการออกแบบทางวิ่งเข้าแบบนี้ไม่ใช่เพียงแค่ลดกำลังของเครื่องจักรแต่เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของโพรงแบบและก๊าซเข้าสู่โลหะเหลว

2. วิธีการออกแบบแบบพื้นที่หน้าตัดคงที่ จะใช้กำลังของเครื่องจักรน้อยและขนาดของทางวิ่งจะมีขนาดเล็กกว่าแบบแรก ซึ่งถ้าเลือกการออกแบบวิธีนี้ ขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 1 มีขนาดเท่ากับพื้นที่หน้าตัดที่ 5 ซึ่งจะทำให้ความเร็วของน้ำไหลจะมีขนาดคงที่ตลอดพื้นที่หน้าตัดที่ 1 ถึง 5
3. วิธีการออกแบบแบบน้ำหนกในการขุดน้อยที่สุด จำเป็นที่จะต้องใช้กำลังของเครื่องจักรมาก แต่ขนาดของทางวิ่งเข้าน้อยที่สุดทำให้ใช้น้ำอะลูมิเนียมเหนียวน้อยที่สุดถ้าเลือกใช้การออกแบบวิธีนี้ ขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 1 จะมีขนาดเท่ากับพื้นที่ขุดแฉ่ง จึงมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่หน้าตัดที่ 5 ดังนั้นน้ำไหลจะมีความเร็วเพิ่มขึ้น เมื่อผ่านหน้าตัดที่ 1 และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อผ่านหน้าตัดที่ 2, 3 และ 4 จนถึงหน้าตัดที่ 5 และความเร็วจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อผ่านทางเข้า การเร่งความเร็วขึ้นสองครั้ง จากความเร็วที่ช้ากว่า จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรที่มีกำลังสูงกว่า แต่จะทำให้ประหยัดน้ำอะลูมิเนียมในการขุด

ขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 1 จะทำการบันทึกใส่ในตารางคำนวณที่สดมภ์ที่ 28 ซึ่งในชั้นงานตัวอย่างจะใช้วิธีการออกแบบใช้น้ำหนกในการขุดน้อยที่สุด เนื่องจากว่าเครื่องจักรที่ทำการขุดมีกำลังสูงเพียงพอ ดังนั้นค่าพื้นที่หน้าตัดที่ 1 ในที่นี้จะมีค่าเท่ากับพื้นที่ขุดแฉ่งซึ่งเท่ากับ 22.53 มม.<sup>2</sup>

- พื้นที่หน้าตัดที่ 3 เป็นพื้นที่หน้าตัดที่อยู่ตรงกลางระหว่างหน้าตัดที่ 1 กับ 5 ดังนั้นขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 3 คือค่าเฉลี่ยระหว่างหน้าตัดที่ 1 และ 5 สามารถคำนวณได้ดังสมการ 4.19

$$\text{Area of SEC.3} = \frac{\text{Area of SEC.1} + \text{Area of SEC.5}}{2} \quad (4.19)$$

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่ 3 ของระบบทางเข้าของชั้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 1 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดที่ 3 ของทางเข้าที่ 1} &= \frac{22.53 + 45.07}{2} \\ &= 33.80 \text{ มม.}^2 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกในสดมภ์ที่ 34 ในตารางคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.21ก ในส่วนของทางเข้าที่ 3 ทำในทำนองเดียวกัน

- พื้นที่หน้าตัดที่ 4 เป็นพื้นที่หน้าตัดที่อยู่ตรงกลางระหว่างหน้าตัดที่ 3 กับ 5 ดังนั้นขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 4 คือค่าเฉลี่ยระหว่างหน้าตัดที่ 3 และ 5 สามารถคำนวณได้ดังสมการ 4.20

$$\text{Area of SEC.4} = \frac{\text{Area of SEC.3} + \text{Area of SEC.5}}{2} \quad (4.20)$$

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่ 4 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 1 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดที่ 4 ของทางเข้าที่ 1} &= \frac{33.80 + 45.07}{2} \\ &= 39.43 \quad \text{มม.}^2 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกในสมุดบันทึกที่ 37 ในตารางคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.21ก ในส่วนของทางเข้าที่ 3 ทำในทำนองเดียวกัน

- พื้นที่หน้าตัดที่ 2 เป็นพื้นที่หน้าตัดที่อยู่ตรงกลางระหว่างหน้าตัดที่ 1 กับ 3 ดังนั้นขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 2 คือค่าเฉลี่ยระหว่างหน้าตัดที่ 1 และ 3 สามารถคำนวณได้ดังสมการ 4.21

$$\text{Area of SEC.2} = \frac{\text{Area of SEC.1} + \text{Area of SEC.3}}{2} \quad (4.21)$$

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดที่ 2 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 1 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่หน้าตัดที่ 2 ของทางเข้าที่ 1} &= \frac{22.53 + 33.80}{2} \\ &= 28.16 \quad \text{มม.}^2 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกในสมุดบันทึกที่ 31 ในตารางคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.21ก ในส่วนของทางเข้าที่ 3 ทำในทำนองเดียวกัน

ความลึกของหน้าตัด (section depth; D)

แสดงดังรูปที่ 2.4 สามารถหาได้จากปัจจัย 2 ปัจจัยด้วยกันคือ หนึ่ง พิจารณาจากอัตราส่วนของ W/D ซึ่งค่านี้ก็คือค่า r ถ้าค่าความกว้างเท่ากับค่าความลึก (r=1) น้ำไหลจะสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด เมื่อไหลผ่านทางวงแหวน แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าเพิ่มขึ้น น้ำไหลจะสูญเสียความร้อนมากเมื่อไหลผ่าน อัตราการสูญเสียความร้อนสามารถหาได้จากสัดส่วนดังนี้

$\left( \frac{2(W + D)}{W \times D} \right)$  สอง พิจารณาเวลาในการแข็งตัว ทางวิ่งที่มีความหนามากจะใช้เวลาในการแข็งตัวนาน ดังนั้นทำให้อัตราการผลิตลดลง ซึ่งพิจารณาข้อนี้จะขัดแย้งกับข้อแรก การคำนวณหาความลึกของแต่ละหน้าตัดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.21 ซึ่งปัจจัยที่สำคัญคือ ค่า  $r$  ดังนั้นการเลือกค่า  $r$  จึงต้องเลือกอย่างเหมาะสม

$$D = \left[ \frac{(\text{area of section})}{r} \right]^{0.5} \quad (4.21)$$

การเลือกค่า  $r$  สำหรับชิ้นงานตัวอย่างนั้นจะเลือกให้มีค่าเท่ากับ 1 พอดี เนื่องจากการออกแบบทางวิ่งเข้าแบบใช้น้ำหนักในการฉีดน้อยที่สุด ทำให้พื้นที่หน้าตัดในแต่ละส่วนน้อยอยู่แล้ว ซึ่งถ้าเลือกอัตราส่วนมากกว่า 1 อาจทำให้น้ำโลหะเหลวแข็งตัวก่อนวิ่งเข้าชิ้นงาน แต่ความลึกของหน้าตัดจะต้องมีขนาดไม่เกิน 8 มม.

ตัวอย่างในการหาความลึกของหน้าตัดที่ 1 ทางเข้าที่ 1 สามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} D &= \left[ \frac{22.53}{1} \right]^{0.5} \\ &= 4.75 \text{ มม.} \end{aligned}$$

ค่าที่ได้ไม่เกิน 8 มม. นำค่าจากการคำนวณของหน้าตัดที่ 1 จนถึง 9 ที่คำนวณได้บันทึกในสมุดที่ 30, 33, 36, 39, 43, 51, 55 และ 59 ในตารางคำนวณ ดังรูปที่ 4.21ก และ 4.21ข ตามลำดับ โดยค่าที่บันทึกจะต้องไม่เกินค่าความลึกสูงสุดในส่วนของทางเข้าที่ 3 ทำในทำนองเดียวกัน

ความกว้างของหน้าตัด (*widths section; W*) เป็นค่าความกว้างที่วัดจากกึ่งกลางของความลึกของหน้าตัดที่แสดงดังรูปที่ 2.4 ความกว้างของหน้าตัดสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.22

$$W = \frac{\text{Area}}{D} \quad (4.22)$$

การหาความกว้างของหน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่างหน้าตัดที่ 1 ของทางเข้าที่ 1 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} W &= \frac{22.53}{4.75} \\ &= 4.75 \text{ มม.} \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้จากการคำนวณของหน้าตัดที่ 1 จนถึง 9 ที่คำนวณได้ บันทึกในสดมภ์ที่ 29, 32, 35, 38, 42, 46, 50, 54 และ 58 ในตารางคำนวณดังรูปที่ 4.21ก และ 4.21ข ตามลำดับ ในส่วนของทางเข้าที่ 3 ทำในทำนองเดียวกัน

ระยะห่างจากโพรงแบบ (*distance from cavity; C*) การกำหนดตำแหน่งของทางวิ่งเข้าจะกำหนดตามความยาวของโพรงแบบ ดังนั้นเมื่อสร้างทางเข้า Gate land จะต้องการความกว้าง ค่าความยาวของ C คือค่าความกว้างที่วัดจากปลายความกว้างของหน้าตัดจนถึง Gate land โดยตรง ตำแหน่งกึ่งกลางของความลึกดังแสดงในรูปที่ 2.4 ค่านี้จะมีเฉพาะหน้าตัดที่ 5 ถึง 9 เท่านั้น และสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.23

$$C = W + \frac{D}{(2 \times \tan A_a)} + Land - \frac{G_i}{\tan A_a} \quad (4.23)$$

โดยที่ C, W และ D แสดงดังรูปที่ 2.4 และ  $A_a$  คือค่ามุมเอียง (approach angle) และ  $G_i$  คือความลึกของทางเข้า (gate depth) ค่า C ที่คำนวณได้จากหน้าตัดที่ 5 ถึง 9 นำมาบันทึกลงในสดมภ์ที่ 45, 49, 53 และ 57 ของตารางคำนวณ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.21ก และ 4.21ข

โพรงกันกระแทก (*shock absorber; S<sub>a</sub>*) จะอยู่ที่ส่วนปลายสุดของทางวิ่งเข้าแบบสัมผัส จะมีลักษณะเป็นรูปวงกลมในระนาบดังแสดงในรูปที่ 2.4 หน้าที่ของโพรงกันกระแทกคือเพื่อจัดการปะทะอย่างทันทีทันใดของน้ำไหลที่เหลือที่พุ่งชนด้วยความเร็ว เมื่อไหลผ่านปลายทางของทางเข้า ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปกติที่เกิดขึ้นที่ปลายของทางวิ่งเข้า ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดกร่อนของแม่พิมพ์ และนอกจากจะเป็นตัวลดแรงกระแทกแล้วยังเป็นที่ดักจับอากาศที่เกิดจากการหมุนวนได้อีก เส้นผ่านศูนย์กลางของโพรงกันกระแทกสามารถหาได้จากสมการที่ 4.24 ดังนี้

$$S_a = (1.273 \times Area \text{ of } SEC.5)^{0.5} \quad (4.24)$$

ความลึกของโพรงกันกระแทกไม่ควรต่ำกว่า 1 มม. แต่ไม่ควรเกิน 2.5 มม. โดยส่วนใหญ่จะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความลึกของหน้าตัดที่ 9

ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของโพรงกันกระแทกของทางเข้าที่ 1 สำหรับชิ้นงานตัวอย่างสามารถหาได้ดังนี้

$$S_d = (1.273 \times 45.07)^{0.5}$$

$$= 7.57 \text{ มม.}$$

สำหรับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของโพรงกันกระแทกของทางเข้าที่ 3 สำหรับชิ้นงานตัวอย่างคือ

$$S_d = (1.273 \times 83.44)^{0.5}$$

$$= 10.31 \text{ มม.}$$

ส่วนความลึกของโพรงกันกระแทกของทางเข้าทั้งสองกำหนดค่าที่ 2.0 มม.

#### ขนาดมิติของทางวิ่งเข้ารูปพืด

ทางวิ่งเข้ารูปพืดถูกกำหนดด้วยหน้าตัด 6 หน้าตัดด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 2.5ก และ 2.5ข (โดยที่ทางเข้าก็คือหน้าตัดที่ 6) โดยแต่ละหน้าตัดประกอบด้วยค่าความลึก (D) และค่าความกว้าง (W) หน้าตัดที่ 1 จะอยู่ตอนแรกติดกับทางวิ่ง และทางเข้าจะอยู่ส่วนปลาย หน้าตัดที่ 2, 3 และ 4 จะอยู่ห่างเป็นระยะเท่าๆกัน ส่วนหน้าตัดที่ 5 เป็นหน้าตัดที่อยู่กึ่งกลางระหว่างหน้าตัดที่ 4 กับทางเข้า ซึ่งรายละเอียดของการหาขนาดมิติของหน้าตัดต่างๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้

Gate Runner Dimensions															
28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Section 1			Section 2			Section 3			Section 4			Section 5			
Area	W	D	Area	W	D	Area	W	D	Area	W	D	Area	C	W	D
(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)	(mm)
22.53	4.75	4.75	28.16	5.31	5.31	33.80	5.81	5.81	39.43	6.28	6.28	45.06	10.07	6.71	6.71
43.62	6.60	6.60	45.31	8.50	5.33	46.99	11.60	4.05	48.68	17.54	2.78	49.52	X	23.16	2.14
41.72	6.46	6.46	52.15	7.22	7.22	62.58	7.91	7.91	73.01	9.13	8.00	83.44	14.43	10.43	8.00
<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)	)
Design Strategy <input type="checkbox"/> Decreasing Area <input type="checkbox"/> Constant Area <input checked="" type="checkbox"/> Min. Shot Weight															

รูปที่ 4.21ก รูปแสดงข้อมูลต่างๆของระบบทางเข้าหน้าตัดที่ 1 ถึง 5 ถูกบันทึกลงใน ตารางคำนวณ





- พื้นที่หน้าตัดที่ 2 คือค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดที่ 1 กับ 3 ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.26 ดังนี้

$$\text{Area of SEC.2} = \frac{(\text{Area of SEC.1} + \text{Area of SEC.3})}{2} \quad (4.26)$$

คำนวณหาขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 2 ของระบบทางเข้าของชั้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 2 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Area of SEC.2} &= \frac{(43.62 + 46.99)}{2} \\ &= 45.31 \text{ มม}^2 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 31 ของตารางคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.21ก

- พื้นที่หน้าตัดที่ 4 คือค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดที่ 3 กับพื้นที่ทางเข้าที่แท้จริง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.27 ดังนี้

$$\text{Area of SEC.4} = \frac{(\text{Area of SEC.3} + \text{Actual Gate Area})}{2} \quad (4.27)$$

คำนวณหาขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 4 ของระบบทางเข้าของชั้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 2 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Area of SEC.4} &= \frac{(46.99 + 50.37)}{2} \\ &= 48.68 \text{ มม}^2 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 37 ของตารางคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.21ก

- พื้นที่หน้าตัดที่ 5 คือค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดที่ 4 กับพื้นที่ทางเข้าที่แท้จริง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.28 ดังนี้

$$\text{Area of SEC.5} = \frac{(\text{Area of SEC.4} + \text{Actual Gate Area})}{2} \quad (4.28)$$

คำนวณหาขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 5 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 2 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Area of SEC.5} &= \frac{(48.68 + 50.37)}{2} \\ &= 49.52 \text{ มม}^2 \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 40 ของตารางคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4.21ก

- ค่าความลึกของหน้าตัดที่ 1 พิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความกว้างต่อความลึก โดยเขียนแทนด้วยค่า  $r$  ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.29 ดังนี้

$$D = \left[ \frac{\text{Area of SEC}}{r} \right]^{0.5} \quad (4.29)$$

คำนวณหาขนาดความลึกของหน้าตัดที่ 1 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 2 โดยมีค่า  $r=1$  ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} D &= \left[ \frac{43.62}{1} \right]^{0.5} \\ D &= 6.6 \text{ มม.} \end{aligned}$$

ค่าความลึกที่คำนวณได้จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าความลึกสูงสุดที่อนุญาตให้มีได้ซึ่งค่า 8 มม. ถ้าค่าที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าค่าความลึกสูงสุดให้ใช้ค่านั้นได้ นำค่าที่ได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 30 ของตารางคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4.21ก

- ค่าความลึกของหน้าตัดที่ 3 คือค่าความลึกเฉลี่ยของหน้าตัดที่ 1 กับ ทางเข้า ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.30

$$D_3 = \frac{(D_1 + G_1)}{2} \quad (4.30)$$

คำนวณหาขนาดความลึกของหน้าตัดที่ 3 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 2 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} D_3 &= \frac{(6.6 + 1.5)}{2} \\ &= 4.05 \text{ มม.} \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 36 ของตารางคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4.21ก

- ค่าความลึกของหน้าตัดที่ 2 คือค่าความลึกเฉลี่ยของหน้าตัดที่ 1 กับ หน้าตัดที่ 3 ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.31

$$D_2 = \frac{(D_1 + D_3)}{2} \quad (4.31)$$

คำนวณหาขนาดความลึกของหน้าตัดที่ 2 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 2 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} D_2 &= \frac{(6.60 + 4.05)}{2} \\ &= 5.33 \text{ มม.} \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 33 ของตารางคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4.21ก

- ค่าความลึกของหน้าตัดที่ 4 คือค่าความลึกเฉลี่ยของหน้าตัดที่ 3 กับ ทางเข้า ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.32

$$D_4 = \frac{(D_3 + G_1)}{2} \quad (4.32)$$

คำนวณหาขนาดความลึกของหน้าตัดที่ 4 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 2 ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} D_4 &= \frac{(5.33 + 1.50)}{2} \\ &= 2.78 \text{ มม.} \end{aligned}$$

นำค่าที่ได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 39 ของตารางคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4.21ก

- ค่าความลึกของหน้าตัดที่ 5 คือค่าความลึกเฉลี่ยของหน้าตัดที่ 4 กับ ทางเข้า ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.33

$$D_5 = \frac{(D_4 + G_1)}{2} \quad (4.33)$$

คำนวณหาขนาดความลึกของหน้าตัดที่ 5 ของระบบทางเข้าของชิ้นงานตัวอย่างของทางเข้าที่ 2 ได้ดังต่อไปนี้

$$D_5 = \frac{(2.78 + 1.50)}{2}$$

$$= 2.14 \text{ มม.}$$

นำค่าที่ได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 36 ของตารางคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4.21ก

- ความกว้างของหน้าตัดทุกหน้าตัด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.34

$$W = \frac{Area}{D} \quad (4.34)$$

คำนวณหาความกว้างของหน้าตัดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 จากสมการข้างต้น หลังจากนั้นก็บันทึกค่าที่ได้บันทึกลงในสดมภ์ที่ 29, 32, 35, 38 และ 42 ของตารางคำนวณตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.21ก

#### ทางวิ่ง (runner)




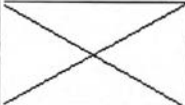
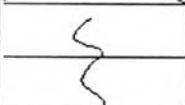
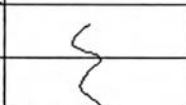
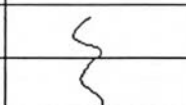
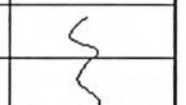
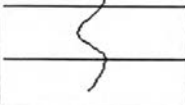

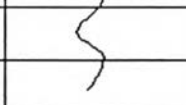
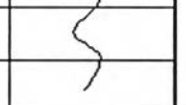
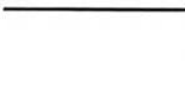

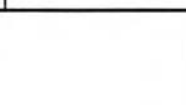
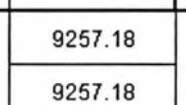
ทางวิ่งเป็นช่องว่างที่นำน้ำโลหะเหลวจากบิสกิตสู่ทางวิ่งเข้า ทางวิ่งถูกกำหนดในแผนภาพเครื่องช่ายดังแสดงในรูปที่ 4.8 ข้อมูลของทางวิ่งจะแสดงในสดมภ์ที่ 64, 65 และ 66 ของตารางคำนวณ ส่วนรูปร่างของพื้นที่หน้าตัดทางวิ่งที่ใช้คือรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal)

สดมภ์ที่ 64 สำหรับบันทึกลำดับของทางวิ่ง(ในกรณีที่มีทางวิ่งหลายทาง) ในกรณีศึกษานี้มีหนึ่งทางวิ่ง ดังนั้นจึงบันทึกเลข 1 ในแนวนอนแถวเดียว ดังแสดงในรูปที่ 4.22

ในสดมภ์ที่ 65 จะบันทึกข้อมูลด้านพื้นที่หน้าตัดของทางวิ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบดังต่อไปนี้ ในกรณีใช้การออกแบบแบบพื้นที่หน้าตัดคงที่ และ น้ำหนักที่ใช้ในการฉีดน้อยที่สุด ขนาดของพื้นที่หน้าตัดทางวิ่งหาได้จากการนำเอาขนาดของพื้นที่หน้าตัดที่ 1 ของทุกทางวิ่งเข้าที่ใช้ทางวิ่งร่วมกันมารวมกัน ซึ่งในกรณีศึกษาใช้วิธีการออกแบบแบบน้ำหนักที่ใช้ในการฉีดน้อยที่สุด นำตัวเลขจากสดมภ์ที่ 28 มารวมกันได้ 107.87 ตารางมิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.22 แต่ถ้าใช้การออกแบบแบบพื้นที่หน้าตัดลดลงขนาดพื้นที่หน้าตัดของทางวิ่งจะมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่หน้าตัดที่ 1 รวมกัน โดยส่วนปลายของทางวิ่งที่ติดกับทางวิ่งเข้า (outlet end) จะมีขนาดเท่ากับผลรวมของพื้นที่หน้าตัดที่ 1 แต่ในส่วนปลาย (inlet end) จะมีขนาดเท่ากับ 1.1 เท่าของผลรวมของพื้นที่หน้าตัดที่ 1 ดังนั้นขนาดพื้นที่หน้าตัดที่จะบันทึกลงในสดมภ์ที่ 65 จะใช้ค่าเฉลี่ยคือ 1.05 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.22

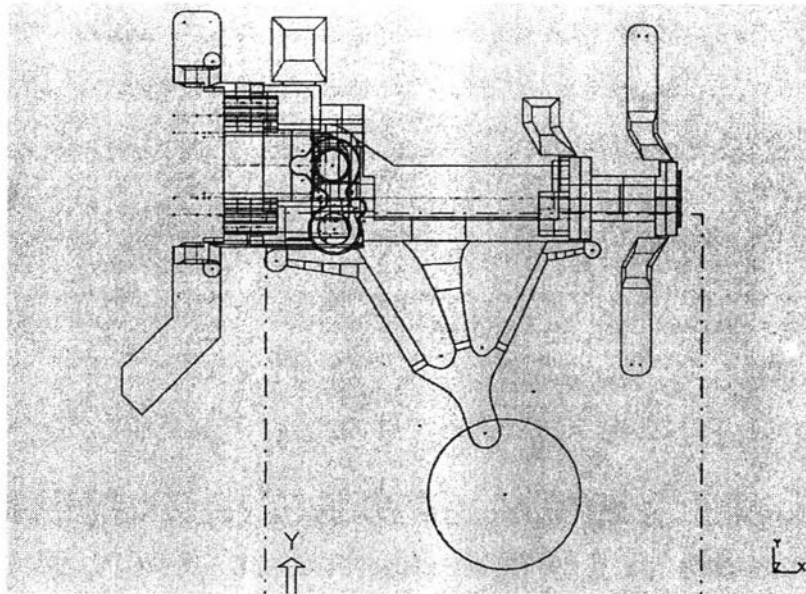
ความยาวของทางวิ่งเข้าจะถูกบันทึกลงในสดมภ์ที่ 66 ซึ่งได้จากการร่างแบบอย่างคร่าวๆ ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 37.5 มม. ดังแสดงในรูปที่ 4.22

ในสดมภ์ที่ 67 เป็นการบันทึกปริมาตรของทางวิ่ง ในที่นี้ได้จากรูปแบบ 3 มิติที่วาดไว้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7266.04 มม<sup>3</sup>. ดังแสดงในรูปที่ 4.22

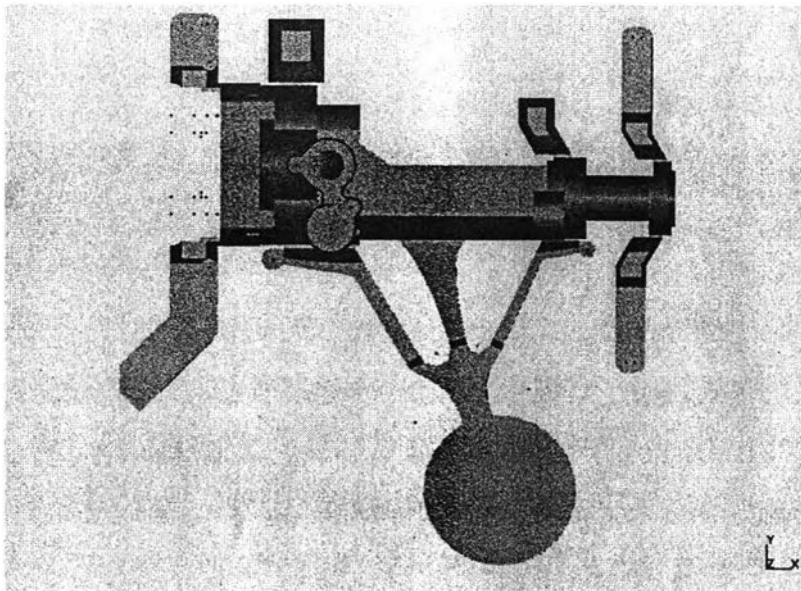
60	61	62	63	64	65	66	67
Fangate Runner Length (mm)	Tangential Gate Runner Length		Gate Runner Volume (mm <sup>3</sup> )	Runners			
	Section 1 - 4 (mm)	Section 5 - 9 (mm)		I.D.	Area (mm <sup>2</sup> )	Length (mm)	Volume (mm <sup>3</sup> )
	51	17.35	1870.77	1	3151.55	37.5	7266.04
51			2423.1				
	51	32.11	4963.31				
							
							
							
			9257.18				
			9257.18				

รูปที่ 4.22 รูปแสดงข้อมูลของทางวิ่งที่บันทึกลงในตารางคำนวณ

นำข้อมูลที่ได้จากหัวข้อที่ 4.1 และ ตารางคำนวณทั้งหมดมาวาดในรูปแบบของสามมิติดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23ก รูปแสดงภาพวาดสามมิติแบบไวร์เฟรม  
ของระบบทางวิ่งเข้ากับชิ้นงานที่ได้จากออกแบบข้างต้น



รูปที่ 4.23ข รูปแสดงภาพวาดสามมิติแบบรูปร่างของแข็ง  
ของระบบทางวิ่งเข้ากับชิ้นงานที่ได้จากออกแบบข้างต้น

ข้อมูลของชิ้นงานและระบบทางเข้าที่ได้จากโปรแกรม CAD แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงข้อมูลของชิ้นงานที่ได้จากรูปแบบสามมิติ

รายการ	พื้นที่ผิว(มม. <sup>2</sup> )	ปริมาตร (มม. <sup>3</sup> )
ชิ้นงานและระบบทางวิ่งเข้า	108,681	327,265.5
ชิ้นงาน	76,920.6	212,521.5
ระบบทางวิ่งเข้า	21,337.4	93,492
รูล้น	15,408	21,252

จุดวิกฤตของความเร็วฉีดสูง (fast shot critical point)

ความเร็วในการฉีดสูงนั้นดูได้จากสมการที่ 21 ของตารางคำนวณ โดยปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่จะทำให้ได้ความเร็วในการฉีดสูงนั้นขึ้นอยู่กับระยะห่างของตำแหน่งเข็มแทงกับปลายบิสกิต เรียกว่าระยะวิกฤต ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 4.35 ดังนี้

$$Critical\ Point = \left[ \frac{1.273 \left( Shot\ Volume \right)}{P_A} \right] - B_i \quad (4.35)$$

โดยที่  $P_A$  = พื้นที่หน้าตัดของเข็มแทง (มม.<sup>2</sup>)

$B_i$  = ความหนาของบิสกิต (มม.)

จากกรณีศึกษาที่ ระยะวิกฤตมีค่าเท่ากับ

$$Critical\ Point = \left[ \frac{1.273(327,265.5)}{3.1416 \left( \frac{70}{2} \right)^2} \right] - 20$$

$$= 88.25 \text{ มม.}$$

ความเร็วในการฉีดช้า (slow shot speed)

การคำนวณหาความเร็วในการฉีดช้าได้กล่าวมาแล้วในสมการที่ 4.9 และ 4.10 แต่ยังไม่สามารถที่จะคำนวณได้ในตอนนั้นเนื่องจากว่าไม่ทราบปริมาตรที่ใช้ในการฉีด แต่เมื่อทำการ

คำนวณหาขนาดมิติของระบบทางเข้าแล้ว นำมาวาดรูปแบบ 3 มิติ ก็จะทำให้ทราบปริมาตรรวมทั้งหมดของชิ้นงานและระบบทางเข้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 327,265.5 ลบ.มม. (จากตารางที่ 4.1) แต่ก่อนอื่นต้องหาส่วนของปริมาตรของกระบอกฉีดเทียบกับน้ำโลหะเหลว ( $F_i$ ) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 4.10 ดังนี้

$$F_i = \frac{327,265.5}{3.1415(70/2)^2 480} \times 100\% \\ = 17.72 \%$$

นำไปแทนลงในสมการที่ 4.10 จะได้ค่าความเร็วในการฉีดซ้ำ ดังนี้

$$V_{ss} = 0.579 \left( \frac{100\% - 17.72\%}{100\%} \right) (0.07)^{0.5} \\ = 0.13 \text{ ม./วินาที}$$

#### 4.1.4 ระบบระบายความร้อน

วัตถุประสงค์ของการออกแบบระบบนี้ คือเพื่อหาขนาดและตำแหน่งของท่อน้ำระบายความร้อน ว่าควรมีขนาดเท่าไรและควรอยู่ตำแหน่งใดของส่วนประกอบของแม่พิมพ์

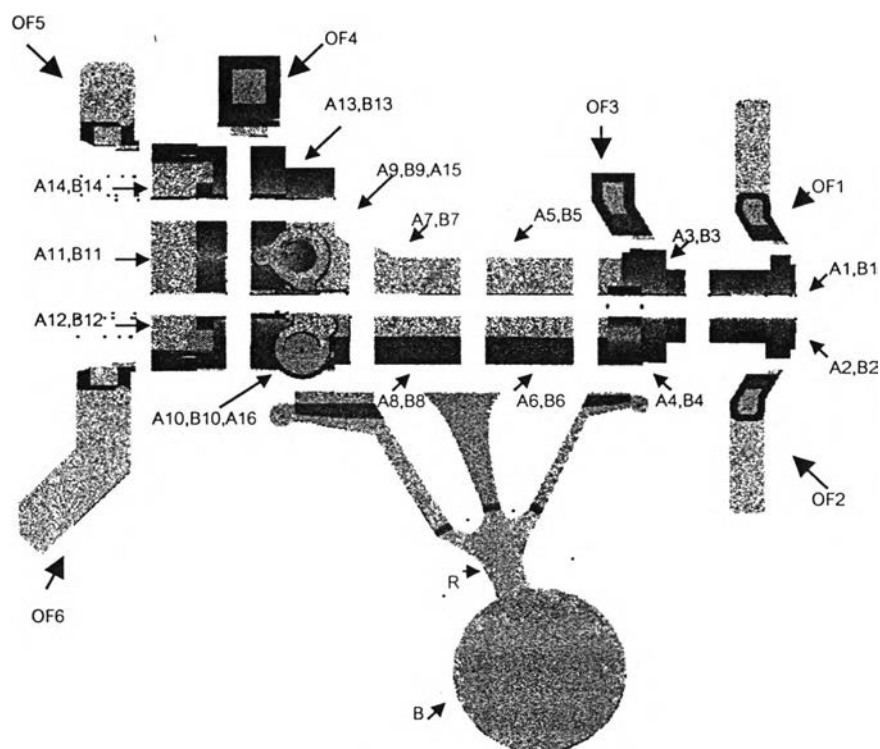
ในการออกแบบระบบระบายความร้อนนั้นจะทำการออกแบบตามหลักของ SDCE (Society of Die Casting Engineer) ซึ่งมี 7 ขั้นตอนดังนี้

1. แบ่งชิ้นงาน(รวมระบบทางเข้า) เป็นส่วนๆซึ่งเรียกว่า ชิ้นส่วนความร้อน (thermal section)
2. พิจารณาพื้นฐานด้านความจุความร้อน (basic heat content)
3. คำนวณหาค่าการได้รับและสูญเสียความร้อน (heat gain and heat loss) ของแต่ละชิ้นส่วนความร้อนระหว่างการไหลผ่าน
4. พิจารณาค่าความร้อนสุดท้ายในแต่ละชิ้นส่วนความร้อน ที่อยู่ในตำแหน่งขององค์ประกอบของแม่พิมพ์
5. พิจารณาการดูดซับความร้อนจากการพ่นน้ำ (water spray) บนผิวแม่พิมพ์
6. อัตราค่าความร้อนสุดท้ายที่จะถูกนำออกจากลักษณะภายในของแม่พิมพ์
7. พิจารณาตำแหน่งและขนาดของท่อน้ำ (water line)

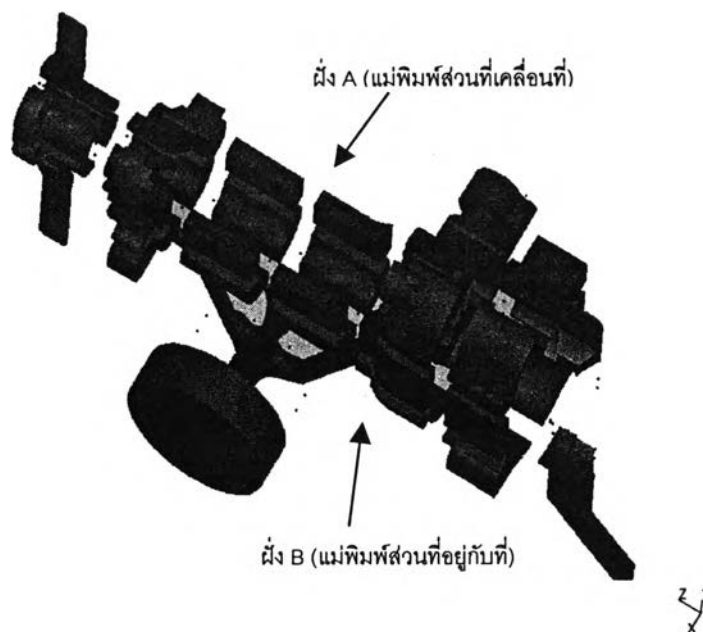


### ขั้นตอนที่ 1 แบ่งชิ้นงานออกเป็นส่วนของความร้อน

ทำการแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ ซึ่งแต่ละส่วนเรียกว่า ชิ้นส่วนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.24ก และ 4.24 ข



รูปที่ 4.24ก รูปแสดงชิ้นส่วนความร้อนของชิ้นงานตัวอย่าง



รูปที่ 4.24ข รูปแสดงชิ้นส่วนความร้อนของชิ้นงานตัวอย่าง

หลังจากนั้นทำการจัดสรรว่าส่วนของความร้อนนั้นมีปริมาตรและพื้นที่ผิวอยู่ในส่วนประกอบของแม่พิมพ์ส่วนใด โดยในกรณีที่ส่วนของความร้อนมีพื้นที่ผิวบางส่วนสัมผัสกับไส้แบบ ในการหาปริมาตรจะเทียบอัตราส่วนโดยนำพื้นที่ผิวในส่วนที่สัมผัสกับไส้แบบหารด้วยพื้นที่ผิวทั้งหมด หลังจากนั้นจึงนำมาคูณด้วยปริมาตรทั้งหมด ก็จะกลายเป็นปริมาตรที่อยู่ในส่วนของไส้แบบ ยกตัวอย่างเช่น ชิ้นส่วน A14 มีพื้นที่ผิวทั้งหมด 3,857.44 ตร.มม. มีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับไส้แบบเท่ากับ 1,422.34 ตร.มม. และมีปริมาตรเท่ากับ 7,841.17 ลบ.มม. ดังนั้นในการจัดสรรปริมาตรของส่วนของความร้อน A14 ก็คือ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรที่จัดสรรให้กับไส้แบบ} &= \frac{\text{พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับไส้แบบ}}{\text{พื้นที่ผิวทั้งหมด}} \times \text{ปริมาตรทั้งหมด} \\ &= \frac{1422.34}{3857.44} \times 7841.17 \\ &= 2,780.67 \text{ ลบ.มม.} \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาตรที่เหลือจะอยู่ในส่วนของแม่พิมพ์ที่เคลื่อนที่ ในกรณีของชิ้นส่วน A1-A4 และ B1-B4 มีส่วนที่สัมผัสกันไส้แบบทรงกระบอกยาว แต่เนื่องจากไส้แบบดังกล่าวมีขนาดเล็กไม่สามารถใส่ท่อระบายความร้อนได้ ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าความร้อนทั้งหมดส่งถ่ายไปยังส่วนของแม่พิมพ์ที่เคลื่อนที่และอยู่กับที่ตามลำดับ โดยค่าปริมาตรและพื้นที่ผิวของส่วนความร้อนต่างๆ ที่อยู่ในส่วนประกอบของแม่พิมพ์ได้แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าปริมาตรและพื้นที่ผิวของชิ้นส่วนความร้อนต่างๆ ที่อยู่ในส่วนประกอบของแม่พิมพ์

Thermal Segment	Die Component										Total Volume (V) (cu.cm)	Total Surface (A) (sq.cm)
	Fixed Die		Movable Die		Insert Core		Biscuit		Plunger			
	Vol.	Area	Vol.	Area	Vol.	Area	Vol.	Area	Vol.	Area		
Biscuit	22,561.34	3,545.35	-	-	-	-	29,917.40	4,701.30	24,490.16	3,848.45	76,969.00	12,095.00
Runner	3,457.98	2,374.22	11,736.95	6,565.68	-	-	1,328.06	303.10	-	-	16,523.00	9,243.00
A1	-	-	3,327.90	1,835.20	-	-	-	-	-	-	3,327.90	1,835.20
A2	-	-	3,449.10	1,852.20	-	-	-	-	-	-	3,449.10	1,852.20
A3	-	-	6,612.60	2,892.30	-	-	-	-	-	-	6,612.60	2,892.30
A4	-	-	11,495.80	3,702.30	-	-	-	-	-	-	11,495.80	3,702.30
A5	-	-	4,220.00	1,850.00	-	-	-	-	-	-	4,220.00	1,850.00
A6	-	-	7,855.60	2,716.50	-	-	-	-	-	-	7,855.60	2,716.50
A7	-	-	4,384.30	1,951.70	-	-	-	-	-	-	4,384.30	1,951.70
A8	-	-	7,845.60	2,716.50	-	-	-	-	-	-	7,845.60	2,716.50
A9	-	-	10,290.58	4,578.21	5,944.32	2,644.59	-	-	-	-	16,234.90	7,222.80

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

Thermal Segment	Die Component										Total Volume (V) (cu.cm)	Total Surface (A) (sq.cm)
	Fixed Die		Movable Die		Insert Core		Biscuit		Plunger			
	Vol.	Area	Vol.	Area	Vol.	Area	Vol.	Area	Vol.	Area		
A10	-	-	10,734.25	4,506.38	5,506.55	2,311.72	-	-	-	-	16,240.80	6,818.10
A11	-	-	3,673.90	1,888.57	2,290.50	1,177.43	-	-	-	-	5,964.40	3,066.00
A12	-	-	4,433.98	2,417.29	2,505.82	1,366.11	-	-	-	-	6,939.80	3,783.40
A13	-	-	2,747.17	1,635.48	1,662.63	989.82	-	-	-	-	4,409.80	2,625.30
A14	-	-	4,760.53	2,435.06	2,780.67	1,422.34	-	-	-	-	7,541.20	3,857.40
A15	-	-	4,331.60	2,368.05	990.60	541.55	-	-	-	-	5,322.20	2,909.60
A16	-	-	5,367.22	2,850.23	1,305.48	693.27	-	-	-	-	6,672.70	3,543.50
B1	3,327.90	1,835.20	-	-	-	-	-	-	-	-	3,327.90	1,835.20
B2	3,449.10	1,852.20	-	-	-	-	-	-	-	-	3,449.10	1,852.20
B3	6,612.60	2,892.30	-	-	-	-	-	-	-	-	6,612.60	2,892.30
B4	11,495.80	3,702.30	-	-	-	-	-	-	-	-	11,495.80	3,702.30
B5	4,210.00	1,850.00	-	-	-	-	-	-	-	-	4,210.00	1,850.00
B6	7,845.60	2,716.50	-	-	-	-	-	-	-	-	7,845.60	2,716.50
B7	4,384.30	1,951.70	-	-	-	-	-	-	-	-	4,384.30	1,951.70
B8	7,845.60	2,716.50	-	-	-	-	-	-	-	-	7,845.60	2,716.50
B9	7,385.46	3,684.98	-	-	3,905.84	1,948.82	-	-	-	-	11,291.30	5,633.80
B10	6,491.01	3,261.05	-	-	2,778.59	1,395.95	-	-	-	-	9,269.60	4,657.00
B11	2,525.60	1,446.09	-	-	1,594.40	912.91	-	-	-	-	4,120.00	2,359.00
B12	4,596.14	2,429.78	-	-	2,508.66	1,326.22	-	-	-	-	7,104.80	3,756.00
B13	3,360.15	1,983.94	-	-	1,945.45	1,148.66	-	-	-	-	5,305.60	3,132.60
B14	4,886.81	2,406.61	-	-	2,855.79	1,406.39	-	-	-	-	7,742.60	3,813.00
OF1	455.24	471.78	1,635.76	1,577.32	-	-	-	-	-	-	2,091.00	2,049.10
OF2	455.24	471.78	1,635.76	1,577.32	-	-	-	-	-	-	2,091.00	2,049.10
OF3	463.48	224.46	2,472.02	1,197.14	-	-	-	-	-	-	2,935.50	1,421.60
OF4	881.51	351.92	4,736.89	1,891.08	-	-	-	-	-	-	5,618.40	2,243.00
OF5	1,670.05	1,209.11	2,047.05	1,482.06	-	-	-	-	-	-	3,717.10	2,691.20
OF6	2,210.50	2,282.21	2,588.03	2,671.98	-	-	-	-	-	-	4,799.00	4,954.20
Total	110,571.41	45,659.98	122,382.59	59,158.55	38,575.30	19,285.78	31,245.46	5,004.40	24,490.16	3,848.45	327,265.50	132,957.10

## ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาพื้นฐานด้านความจุความร้อน

จะทำการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ในส่วนของความร้อนแต่ละส่วน ซึ่งค่าปริมาณความร้อนนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาตรและอุณหภูมิโดยตรง โดยหลักการที่จะทำให้ชิ้นงานแข็งตัวได้นั้น ชิ้นงานจะถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ไปสู่แม่พิมพ์ ดังนั้นการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของส่วนของความร้อนไปสู่แม่พิมพ์จึงเป็นสิ่งที่ควรรู้ ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการที่ 4.36 ดังนี้

$$Q'_j = RV_j [(T_i - T_e)C_p + \lambda] \quad (4.36)$$

โดยที่

$Q'_j$  = อัตราการถ่ายเทความร้อนจากส่วนความร้อนในแต่ละส่วน  $j$  สู่แม่พิมพ์ (Watts)

$V_j$  = ปริมาตรในแต่ละส่วนความร้อน  $j$  ( $\text{mm}^3$ )

$T_i$  = อุณหภูมิในการฉีด ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_e$  = อุณหภูมิของชิ้นงานขณะนำปลด ( $^{\circ}\text{C}$ )

$C_p$  = ค่าความร้อนจำเพาะของอะลูมิเนียมที่ใช้ฉีด ( $\text{J}/\text{mm}^3\text{-}^{\circ}\text{C}$ )

$\lambda$  = Latent Heat of Fusion of the Alloy Being Cast ( $\text{J}/\text{mm}^3$ )

$R$  = อัตราการผลิต (รอบ/วินาที)

จากสมการที่ 4.36 ข้างต้นเมื่อนำเอาคุณสมบัติของอะลูมิเนียมอัลลอยด์ที่ใช้ฉีด ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

$$T_i = 650^{\circ}\text{C} , \quad T_e = 340^{\circ}\text{C} , \quad C_p = 0.0029 \text{ J}/\text{mm}^3\text{-}^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda = 1.096 \text{ J}/\text{mm}^3 , \quad R = 1 / 40 \text{ รอบ/วินาที}$$

นำค่าต่างๆข้างต้นไปแทนในสมการที่ 4.36 จะลดรูปลงเหลือ

$$Q'_j = 0.0499V_j \quad (4.37)$$

นำปริมาตรในแต่ละส่วนความร้อนไปแทนในสมการที่ 4.37 จะได้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากชิ้นงานสู่แม่พิมพ์ดังแสดงในตารางที่

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าความร้อนสะสมในส่วนของความร้อน

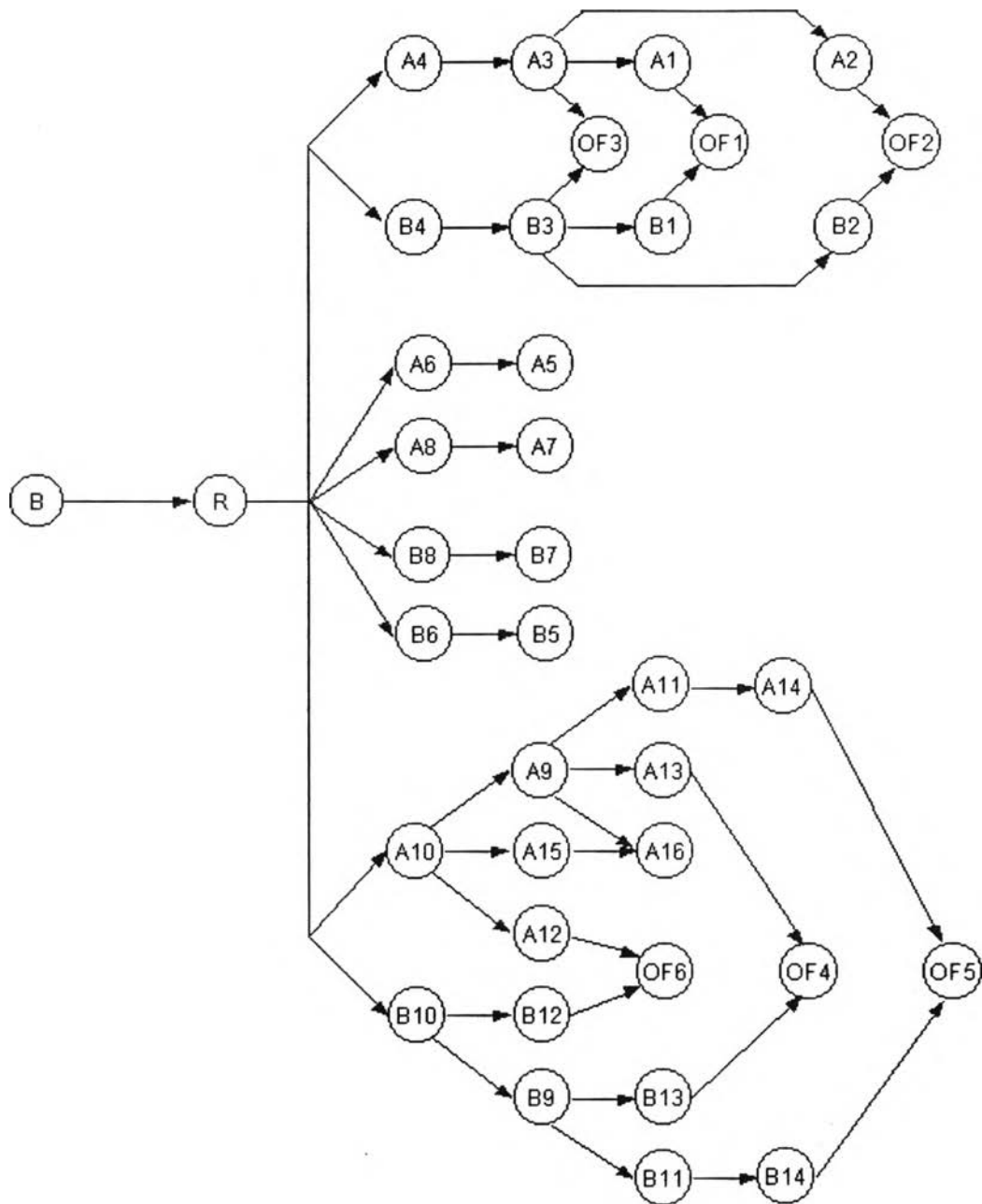
Thermal Segment	Segment Volume(V) (cu.cm)	Basic Heat Content(Q') (Watt)	Thermal Segment	Segment Volume(V) (cu.cm)	Basic Heat Content(Q') (Watt)
Biscuit	76,969.00	3,840.75	B1	3,327.90	166.06
Runner	16,523.00	824.50	B2	3,449.10	172.11
A1	3,327.90	166.06	B3	6,612.60	329.97
A2	3,449.10	172.11	B4	11,495.80	573.64
A3	6,612.60	329.97	B5	4,210.00	210.08
A4	11,495.80	573.64	B6	7,845.60	391.50
A5	4,220.00	210.58	B7	4,384.30	218.78
A6	7,855.60	391.99	B8	7,845.60	391.50

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

Thermal Segment	Segment Volume(V) (cu.cm)	Basic Heat Content(Q') (Watt)	Thermal Segment	Segment Volume(V) (cu.cm)	Basic Heat Content(Q') (Watt)
A7	4,384.30	218.78	B9	11,291.30	563.44
A8	7,845.60	391.50	B10	9,269.60	462.55
A9	16,234.90	810.12	B11	4,120.00	205.59
A10	16,240.80	810.42	B12	7,104.80	354.53
A11	5,964.40	297.62	B13	5,305.60	264.75
A12	6,939.80	346.30	B14	7,742.60	386.36
A13	4,409.80	220.05	OF1	2,091.00	104.34
A14	7,541.20	376.31	OF2	2,091.00	104.34
A15	5,322.20	265.58	OF3	2,935.50	146.48
A16	6,672.70	332.97	OF4	5,618.40	280.36
			OF5	3,717.10	185.48
			OF6	4,799.00	239.47

### ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาค่าการได้รับและสูญเสียความร้อนของแต่ละชิ้นส่วนความร้อนระหว่างการไหลผ่าน

ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับเงื่อนไขในการเติมน้ำโลหะในแม่พิมพ์ก่อนคือการเติมน้ำโลหะเหลวในอุดมคติก็คือ จะต้องเติมทุกส่วนของชิ้นงานพร้อมๆ กันในทันทีทันใด แต่ในความเป็นจริงน้ำโลหะจะต้องผ่านที่ละส่วนตั้งแต่บิสกิต ทางวิ่ง เข้าไปในโพรงแบบ สู้รูลัน ถึงแม้จะใช้เวลาไม่มากก็ตาม ซึ่งในการวิ่งผ่านส่วนต่างๆ ก็จะต้องมีการสูญเสียปริมาณความร้อนขึ้น ซึ่งลำดับในการวิ่งของน้ำโลหะเหลวผ่านส่วนความร้อนในแต่ละส่วนนั้นแสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 รูปแสดงลำดับในการวิ่งของน้ำโลหะเหลวผ่านส่วนความร้อนในแต่ละส่วน

โดยการถ่ายเทปริมาณความร้อนในแต่ละส่วนความร้อน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่

4.38

$$q_j = \left( \frac{X_j}{N_j} \right) RV_j \left[ \left( T_i - \left( T_i - \left( \frac{T_i - T_s}{4} \right) \right) \right) C_p + \frac{\lambda}{4} \right] \quad (4.38)$$

โดยที่

$q_j$  = ค่าปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากส่วนความร้อน  $j$  ที่มีปริมาณความร้อน  $Q'_j$  บรรจุกอยู่ (Watts)

$X_j$  = ตำแหน่งของส่วนความร้อน  $j$  ในทิศทางการไหล

$N_j$  = จำนวนของส่วนความร้อนที่น้ำโลหะวิ่งไหลผ่าน

$R$  = อัตราการผลิต (รอบ/วินาที)

$V_j$  = ปริมาตรในแต่ละส่วนความร้อน  $j$  ( $\text{mm}^3$ )

$T_i$  = อุณหภูมิในการฉีด ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_l$  = อุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นของเหลวอย่างสมบูรณ์ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_s$  = อุณหภูมิสูงสุดที่เป็นของแข็งอย่างสมบูรณ์ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$C_p$  = ค่าความร้อนจำเพาะของอะลูมิเนียมที่ใช้ฉีด ( $\text{J}/\text{mm}^3\text{-}^{\circ}\text{C}$ )

$\lambda$  = Latent Heat of Fusion of the Alloy Being Cast ( $\text{J}/\text{mm}^3$ )

โดยหลักการของการถ่ายเทความร้อนจะเริ่มถูกถ่ายเทจากปลายสุดของชิ้นงานไปสู่ส่วนต่างๆ ในบริเวณใกล้เคียงถัดมา ซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณความร้อนให้แก่ส่วนความร้อนนั้นๆ

การคำนวณค่าการสูญเสียความร้อนในแต่ละส่วนความร้อนนั้น เมื่อนำเอาคุณสมบัติของอะลูมิเนียมอัลลอยด์ที่ฉีด ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

$$R = 1 / 40 \text{ รอบ/วินาที}, \quad T_i = 650 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad T_s = 538 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad T_l = 593 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$C_p = 0.0029 \text{ J}/\text{mm}^3\text{-}^{\circ}\text{C}, \quad \lambda = 1.096 \text{ J}/\text{mm}^3$$

นำค่าต่างๆข้างต้นไปแทนในสมการที่ 4.38 จะลดรูปเหลือ

$$q_j = 0.012 V_j \left( \frac{X_j}{N_j} \right) \quad (4.39)$$

นำค่าปริมาตรในแต่ละส่วนความร้อนและสัดส่วนระหว่างตำแหน่งต่อจำนวนของส่วนความร้อนไปแทนในสมการที่ 4.39 จะได้ค่าการสูญเสียความร้อนในแต่ละส่วนความร้อนดังแสดงในตารางที่ 4.4





ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาค่าความร้อนสุดท้ายในแต่ละชิ้นส่วนความร้อนที่อยู่ในตำแหน่งขององค์ประกอบของแม่พิมพ์

หลังจากนำค่าปริมาณความร้อนในแต่ละชิ้นส่วนความร้อนมาบวกกับค่าการได้รับและสูญเสียความร้อนจะได้ค่าความร้อนที่จะแพร่เข้าไปในแม่พิมพ์ในแต่ละส่วนซึ่งเรียกค่าความร้อนนี้ว่า ค่าความร้อนสุดท้าย (final thermal work;  $Q^*$ ) การหาความร้อนสุดท้ายว่าจะซึมซาบเข้าไปในส่วนประกอบของแม่พิมพ์แต่ละส่วนนั้นจะหาได้จากสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวของชิ้นส่วนความร้อนนั้นๆ ที่สัมผัสกับส่วนประกอบของแม่พิมพ์ โดยค่าดังกล่าวจะได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าความร้อนสุดท้ายที่เข้าไปในส่วนประกอบของแม่พิมพ์แต่ละส่วน

Thermal Segment	Thermal Work $Q_j^*$	Thermal Work by Die Component (Watt)				
		Fixed Die	Movable Die	Insert Core	Biscuit	Plunger
Biscuit	4,440.9	1,301.7			1,726.2	1,413.0
Runner	1,311.4	253.7	931.5		126.1	
A1	139.7		139.7			
A2	144.7		144.7			
A3	306.5		306.5			
A4	551.6		551.6			
A5	181.6		181.6			
A6	361.2		361.2			
A7	188.7		188.7			
A8	361.2		361.2			
A9	753.2		477.4	275.8		
A10	858.7		567.6	291.1		
A11	265.7		163.7	102.0		
A12	303.9		194.2	109.7		
A13	188.0		117.1	70.9		
A14	302.5		191.0	111.5		
A15	236.2		192.2	44.0		
A16	275.8		221.8	54.0		
B1	139.7	139.7				
B2	144.7	144.7				
B3	306.6	306.6				
B4	551.6	551.6				
B5	181.2	181.2				
B6	360.8	360.8				
B7	188.7	188.7				
B8	361.2	361.2				

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

Thermal Segment	Thermal Work Q <sub>j</sub> *	Thermal Work by Die Component (Watt)				
		Fixed Die	Movable Die	Insert Core	Biscuit	Plunger
B9	531.6	347.7		183.9		
B10	491.5	344.2		147.3		
B11	189.9	116.4		73.5		
B12	327.2	211.7		115.5		
B13	225.1	142.6		82.5		
B14	310.4	195.9		114.5		
OF1	82.8	19.1	63.7			
OF2	82.8	19.1	63.7			
OF3	121.3	19.2	102.1			
OF4	222.6	34.9	187.7			
OF5	140.9	63.3	77.6			
OF6	198.3	91.3	107.0			
Total	16,330.4	5,395.3	5,893.5	1,776.3	1,852.3	1,413.0

#### ขั้นตอนที่ 5 พิจารณาการดูดซับความร้อนจากการพ่นน้ำบนผิวแม่พิมพ์

ที่บริเวณผิวหน้าของแม่พิมพ์จะต้องมีการเตรียมผิวก่อนที่จะทำการฉีดงานครั้งใหม่ ส่วนใหญ่จะใช้น้ำฉีดพ่นน้ำ (water spray) ลงบนผิวหน้าแม่พิมพ์ ซึ่งทำให้ความร้อนออกจากแม่พิมพ์ ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่จะพ่นลงบนผิวหน้าแม่พิมพ์ จากข้อมูลของ SDCE ได้ระบุว่า ปริมาณน้ำ 1.5 ลิตร (0.4 แกลลอน) ของน้ำที่ฉีดพ่นลงบนแม่พิมพ์ (350 ตัน) สำหรับงานฉีดอะลูมิเนียมจะนำความร้อนออกจากแม่พิมพ์ได้ 4.3 J/mm<sup>2</sup>-shot ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ออกจากแม่พิมพ์เมื่อมีการฉีดพ่นน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.40

$$Q_{wj} = RA_j q_w \quad (4.40)$$

$Q_{wj}$  = อัตราของความร้อนที่ถูกเอาออก

$R$  = อัตราการผลิต (รอบ/วินาที)

$A_j$  = พื้นที่ผิวของชิ้นส่วนความร้อน  $j$  (mm<sup>2</sup>)

$q_w$  = ค่าความร้อนที่ถูกเอาออกโดยน้ำที่ฉีดต่อครั้ง (J/shot-mm<sup>2</sup>)

ดังนั้นค่าความร้อนที่ยังคงตกค้างอยู่ในแม่พิมพ์ในแต่ละชิ้นส่วนความร้อน ( $Q$ ) หาได้จากสมการที่ 4.41

$$Q_j = Q_j' - Q_{wj} \quad (4.41)$$

โดยค่าความร้อนที่ถูกเอาออกโดยน้ำที่ฉีดบนผิวหน้าแม่พิมพ์ในแต่ละชั้นส่วนความร้อน ( $Q_{wj}$ ) และค่าความร้อนที่ตกค้างอยู่ในส่วนของแม่พิมพ์ในแต่ละชั้นส่วนความร้อน ( $Q_j$ ) แสดงได้ดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าความร้อนที่ถูกเอาออกโดยน้ำที่ฉีดบนผิวหน้าแม่พิมพ์ในแต่ละชั้นส่วน

ความร้อน

Thermal Segment	Heat Absorbed by Water Spray on Die Component										Surface Area (sq.mm)	Total Heat Removed (Watts)
	Fixed Die		Movable Die		Insert Core		Biscuit		Plunger			
	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)		
Biscuit	3,545.35	381.13					4,701.30	505.39	3,848.45	413.71	12,095.10	1,300.22
Runner	3,457.98	371.73	6,565.68	705.81			303.10	32.58			10,326.76	1,110.13
A1			1,835.20	197.28							1,835.20	197.28
A2			1,852.20	199.11							1,852.20	199.11
A3			2,892.30	310.92							2,892.30	310.92
A4			3,702.30	398.00							3,702.30	398.00
A5			1,850.00	198.88							1,850.00	198.88
A6			2,716.50	292.02							2,716.50	292.02
A7			1,951.70	209.81							1,951.70	209.81
A8			2,716.50	292.02							2,716.50	292.02
A9			4,578.21	492.16	2,644.59	284.29					7,222.80	776.45
A10			4,506.38	484.44	2,311.72	248.51					6,818.10	732.95
A11			1,888.57	203.02	1,177.43	126.57					3,066.00	329.60
A12			2,417.29	259.86	1,366.11	146.86					3,783.40	406.72
A13			1,635.48	175.81	989.82	106.41					2,625.30	282.22
A14			2,435.06	261.77	1,422.34	152.90					3,857.40	414.67
A15			2,368.05	254.57	541.55	58.22					2,909.60	312.78
A16			2,850.23	306.40	693.27	74.53					3,543.50	380.93
B1	1,835.20	197.28									1,835.20	197.28
B2	1,852.20	199.11									1,852.20	199.11
B3	2,892.30	310.92									2,892.30	310.92
B4	3,702.30	398.00									3,702.30	398.00
B5	1,850.00	198.88									1,850.00	198.88
B6	2,716.50	292.02									2,716.50	292.02
B7	1,951.70	209.81									1,951.70	209.81

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

Thermal Segment	Heat Absorbed by Water Spray on Die Component										Surface Area (sq.mm)	Total Heat Removed (Watts)
	Fixed Die		Movable Die		Insert Core		Biscuit		Plunger			
	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)		
B8	2,716.50	292.02									2,716.50	292.02
B9	3,684.98	396.14			1,948.82	209.50					5,633.80	605.63
B10	3,261.05	350.56			1,395.95	150.06					4,657.00	500.63
B11	1,446.09	155.45			912.91	98.14					2,359.00	253.59
B12	2,429.78	261.20			1,326.22	142.57					3,756.00	403.77
B13	1,983.94	213.27			1,148.66	123.48					3,132.60	336.75
B14	2,406.61	258.71			1,406.39	151.19					3,813.00	409.90
OF1	471.78	50.72	1,577.32	169.56							2,049.10	220.28
OF2	471.78	50.72	1,577.32	169.56							2,049.10	220.28
OF3	224.46	24.13	1,197.14	128.69							1,421.60	152.82
OF4	351.92	37.83	1,891.08	203.29							2,243.00	241.12
OF5	1,209.11	129.98	1,482.06	159.32							2,691.17	289.30
OF6	2,282.21	245.34	2,671.98	287.24							4,954.19	532.58
Total	46,743.74	5,024.95	59,158.55	6,359.54	19,285.78	2,073.22	5,004.40	537.97	3,848.45	413.71	134,040.92	14,409.40

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าความร้อนที่ตกค้างอยู่ในส่วนของแม่พิมพ์ในแต่ละชิ้นส่วนความร้อน

Thermal Segment	Heat to be Processed through Die, Qj (Watt)	Heat Qj to be Transferred through each Die Components (Watt)				
		Fixed Die	Movable Die	Insert Core	Biscuit	Plunger
Biscuit	3,140.7	920.6			1,220.8	999.3
Runner	201.3	38.9	143.0		19.4	
A1	-	57.6	-	57.6		
A2	-	54.4	-	54.4		
A3	-	4.4	-	4.4		
A4		153.6		153.6		
A5	-	17.3	-	17.3		
A6		69.2		69.2		
A7	-	21.1	-	21.1		
A8		69.2		69.2		
A9	-	23.3	-	14.7	8.5	
A10		125.8		83.1	42.6	
A11	-	63.9	-	39.4	24.5	
A12	-	102.8	-	65.7	37.1	
A13	-	94.2	-	58.7	35.5	

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

Thermal Segment	Heat to be Processed through Die, Qj (Watt)	Heat Qj to be Transferred through each Die Components (Watt)				
		Fixed Die	Movable Die	Insert Core	Biscuit	Plunger
A14	- 112.2		- 70.8	- 41.4		
A15	- 76.6		- 62.3	- 14.3		
A16	- 105.1		- 84.6	- 20.6		
B1	- 57.6	- 57.6				
B2	- 54.4	- 54.4				
B3	- 4.3	- 4.3				
B4	153.6	153.6				
B5	- 17.7	- 17.7				
B6	68.8	68.8				
B7	- 21.1	- 21.1				
B8	69.2	69.2				
B9	- 74.0	- 48.4		- 25.6		
B10	- 9.1	- 6.4		- 2.7		
B11	- 63.7	- 39.0		- 24.6		
B12	- 76.6	- 49.5		- 27.0		
B13	- 111.7	- 70.7		- 40.9		
B14	- 99.5	- 62.8		- 36.7		
OF1	- 137.5	- 31.7	- 105.8			
OF2	- 137.5	- 31.7	- 105.8			
OF3	- 31.5	- 5.0	- 26.5			
OF4	- 18.5	- 2.9	- 15.6			
OF5	- 148.4	- 66.7	- 81.7			
OF6	- 334.3	- 154.0	- 180.3			
Total	1,921.0	527.3	- 548.8	- 296.9	1,240.1	999.3

จากตารางที่ 4.7 จะพบว่าค่าความร้อนที่แม่พิมพ์ได้รับจากชิ้นงานน้อยกว่าปริมาณความร้อนที่การพ่นน้ำเอาออก โดยดูจากค่าลบที่เกิดขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นสิ่งที่นักออกแบบแม่พิมพ์ไม่พึงปรารถนาเพราะเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดโคลด์ชัทและโฟวล์ไลน์ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแต่งค่าใหม่เพราะในทางปฏิบัติการฉีดพ่นน้ำจะกระทำเป็นจุดๆ โดยที่บริเวณใดมีความร้อนสะสมมากก็จะพ่นมาก ( $q_w = 8.18 \text{ J/Shot-mm}^2$  สำหรับน้ำ 3.028 ลิตร) ได้แก่บริเวณ บิสกิต ส่วนใดมีปริมาณความร้อนสะสมปานกลางก็จะพ่นปานกลาง ( $q_w = 4.3 \text{ J/Shot-mm}^2$  สำหรับน้ำ 1.5 ลิตร) ได้แก่บริเวณ ทางวิ่ง, A4, A6, A8, A10, B4, B6 และ B8 ส่วนบริเวณใดมีปริมาณความร้อนสะสมน้อยก็จะพ่นน้อย ( $q_w = 0.82 \text{ J/Shot-mm}^2$  สำหรับน้ำ 0.3 ลิตร) ได้แก่ส่วนที่เหลือ การพิจารณาว่า

บริเวณใดควรพ่นมากพ่นน้อยนั้นดูจากตารางที่ 4.7 เป็นเกณฑ์ แล้วทำการปรับเปลี่ยนการพ่นน้ำใหม่ซึ่งค่าความร้อนที่ถูกเอาออกโดยน้ำที่ฉีดบนผิวหน้าแม่พิมพ์ในแต่ละชิ้นส่วนความร้อนและค่าความร้อนที่ตกค้างอยู่ในส่วนของแม่พิมพ์ในแต่ละชิ้นส่วนใหม่ แสดงดังตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าความร้อนที่ถูกเอาออกโดยน้ำที่ฉีดบนผิวหน้าแม่พิมพ์ในแต่ละชิ้นส่วนที่ทำการปรับเปลี่ยนการพ่นน้ำใหม่

Thermal Segment	Heat Absorbed by Water Spray on Die Component										Surface Area (sq.mm)	Total Heat Removed (Watts)
	Fixed Die		Movable Die		Insert Core		Biscuit		Plunger			
	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)		
Biscuit	3,545.35	725.02					4,701.30	961.42	3,848.45	787.01	12,095.10	2,473.45
Runner	3,457.98	371.73	6,565.68	705.81			303.10	32.58			10,326.76	1,110.13
A1			1,835.20	37.62							1,835.20	37.62
A2			1,852.20	37.97							1,852.20	37.97
A3			2,892.30	59.29							2,892.30	59.29
A4			3,702.30	398.00							3,702.30	398.00
A5			1,850.00	37.93							1,850.00	37.93
A6			2,716.50	292.02							2,716.50	292.02
A7			1,951.70	40.01							1,951.70	40.01
A8			2,716.50	292.02							2,716.50	292.02
A9			4,578.21	246.08	2,644.59	142.15					7,222.80	388.23
A10			4,506.38	484.44	2,311.72	248.51					6,818.10	732.95
A11			1,888.57	38.72	1,177.43	24.14					3,066.00	62.85
A12			2,417.29	49.55	1,366.11	28.01					3,783.40	77.56
A13			1,635.48	33.53	989.82	20.29					2,625.30	53.82
A14			2,435.06	49.92	1,422.34	29.16					3,857.40	79.08
A15			2,368.05	48.55	541.55	11.10					2,909.60	59.65
A16			2,850.23	58.43	693.27	14.21					3,543.50	72.64
B1	1,835.20	37.62									1,835.20	37.62
B2	1,852.20	37.97									1,852.20	37.97
B3	2,892.30	59.29									2,892.30	59.29
B4	3,702.30	398.00									3,702.30	398.00
B5	1,850.00	37.93									1,850.00	37.93
B6	2,716.50	292.02									2,716.50	292.02
B7	1,951.70	40.01									1,951.70	40.01
B8	2,716.50	55.69									2,716.50	55.69
B9	3,684.98	198.07			1,948.82	104.75					5,633.80	302.82
B10	3,261.05	175.28			1,395.95	75.03					4,657.00	250.31
B11	1,446.09	29.64			912.91	18.71					2,359.00	48.36
B12	2,429.78	49.81			1,326.22	27.19					3,756.00	77.00
B13	1,983.94	40.67			1,148.66	23.55					3,132.60	64.22
B14	2,406.61	49.34			1,406.39	28.83					3,813.00	78.17
OF1	471.78	9.67	1,577.32	32.34							2,049.10	42.01
OF2	471.78	9.67	1,577.32	32.34							2,049.10	42.01

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

Thermal Segment	Heat Absorbed by Water Spray on Die Component										Surface Area (sq mm)	Total Heat Removed (Watts)
	Fixed Die		Movable Die		Insert Core		Biscuit		Plunger			
	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)	(sq mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)	(sq.mm)	(Watts)		
OF3	224.46	4.60	1,197.14	24.54							1,421.60	29.14
OF4	351.92	7.21	1,891.08	38.77							2,243.00	45.98
OF5	1,209.11	24.79	1,482.06	30.38							2,691.17	55.17
OF6	2,282.21	46.79	2,671.98	54.78							4,954.19	101.56
Total	46,743.74	2,700.83	59,158.55	3,123.02	19,285.78	795.62	5,004.40	994.00	3,848.45	787.01	134,040.92	8,400.47

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงค่าความร้อนที่ตกค้างอยู่ในส่วนของแม่พิมพ์ในแต่ละชิ้นส่วนใหม่

Thermal Segment	Heat to be Processed through Die, Qj (Watt)	Heat Qj to be Transferred through each Die Components (Watt)				
		Fixed Die	Movable Die	Insert Core	Biscuit	Plunger
Biscuit	1,967.5	576.7			764.7	626.0
Runner	201.3	38.9	143.0		19.4	
A1	102.1		102.1			
A2	106.7		106.7			
A3	247.2		247.2			
A4	153.6		153.6			
A5	143.7		143.7			
A6	69.2		69.2			
A7	148.7		148.7			
A8	69.2		69.2			
A9	365.0		231.3	133.6		
A10	125.8		83.1	42.6		
A11	202.8		124.9	77.9		
A12	226.3		144.6	81.7		
A13	134.2		83.6	50.6		
A14	223.4		141.0	82.4		
A15	176.6		143.7	32.9		
A16	203.2		163.4	39.7		
B1	102.1	102.1				
B2	106.7	106.7				
B3	247.3	247.3				
B4	153.6	153.6				
B5	143.3	143.3				
B6	68.8	68.8				
B7	148.7	148.7				

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

Thermal Segment	Heat to be Processed through Die, Q <sub>j</sub> (Watt)	Heat Q <sub>j</sub> to be Transferred through each Die Components (Watt)				
		Fixed Die	Movable Die	Insert Core	Biscuit	Plunger
B8	305.5	305.5				
B9	228.8	149.6		79.1		
B10	241.2	168.9		72.3		
B11	141.5	86.8		54.8		
B12	250.2	161.9		88.3		
B13	160.9	101.9		59.0		
B14	232.2	146.6		85.7		
OF1	40.8	9.4	31.4			
OF2	40.8	9.4	31.4			
OF3	92.2	14.6	77.6			
OF4	176.6	27.7	148.9			
OF5	85.7	38.5	47.2			
OF6	96.7	44.6	52.2			
Total	7,929.9	2,851.4	2,687.8	980.7	784.1	626.0

จากข้อมูลในตารางที่ 4.9 จะใช้ในการออกแบบระบบควบคุมความร้อนภายในแม่พิมพ์ ซึ่งผู้ออกแบบจะต้องนำไปพิจารณาตำแหน่ง ขนาด (เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาว) และจำนวนของท่อระบายความร้อน ซึ่งบางครั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนั้นอาจใช้อัตราการไหลผ่านของน้ำเป็นตัวกำหนดแทนได้

#### ขั้นตอนที่ 6 อัตราค่าความร้อนสุดท้ายที่จะถูกนำออกจากลักษณะภายในของแม่พิมพ์

การนำความร้อนจะเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 จุด คือ จากจุดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าในที่นี้คือบริเวณผิวหน้าของแม่พิมพ์ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในที่นี้คือบริเวณภายในแม่พิมพ์ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในแม่พิมพ์ ( $T_d$ ) อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวหน้าแม่พิมพ์ ( $T_s$ ) และระยะห่างระหว่างผิวทั้งสอง ( $d$ ) ดังแสดงในสมการที่ 4.42

$$\frac{(T_s - T_d)}{d'} = \frac{Q_j}{KA} \quad (4.42)$$



โดยที่

$T_s$  = อุณหภูมิบริเวณผิวหน้าแม่พิมพ์เฉลี่ย ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_d$  = อุณหภูมิภายในแม่พิมพ์ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$d'$  = ระยะทางระหว่างผิวหน้าแม่พิมพ์ถึง  $T_d$  (cm)

$Q_j$  = อัตราความร้อนของชิ้นส่วนความร้อน  $j$  ที่จะต้องไหลผ่านเข้าไปในแม่พิมพ์  
(Watts)

$K$  = ค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ ( $\text{W/cm-}^{\circ}\text{C}$ )

$A_j$  = พื้นที่ผิวของชิ้นส่วนความร้อน  $j$  ( $\text{cm}^2$ )

สมการที่ 4.42 ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นสมการที่เหมาะสมกับชิ้นงานที่เรียบและใหญ่เพราะสมการนี้พิจารณาสำหรับปัญหาการถ่ายเทความร้อนใน 1 มิติ แต่ถึงอย่างไรก็ตามผลที่ได้จะเป็นค่าโดยประมาณที่สามารถปรับแต่งเข้ากับชิ้นงานที่มีพื้นผิวโค้งได้

มีตัวอย่างที่แสดงให้เห็นถึงการถ่ายเทความร้อนจากผิวหน้าแม่พิมพ์ในรูปแบบขยายแผ่กว้างออกไปอย่างสม่ำเสมอซึ่งรูปแบบดังกล่าวเรียกว่า การแพร่ความร้อนแบบลู่ออก (diverging heat flow) แต่ในทางตรงกันข้ามความร้อนที่ไหลออกจากผิวหน้าแม่พิมพ์เข้ามารวมกันหนาแน่นบริเวณใดบริเวณหนึ่ง จะเรียกรูปแบบดังกล่าวว่า การแพร่ความร้อนแบบลู่ออก (converging heat flow) ซึ่งอัตราการกระจายความร้อนเข้าสู่แม่พิมพ์แบบลู่ออกและลู่ออกจะสัมพันธ์กับรัศมีของโพรงแบบ ดังนั้นถ้าการกระจายความร้อนอยู่ในรูปแบบลู่ออก ค่า  $d'$  ในสมการที่ 4.22 จะต้องถูกปรับให้มีระยะห่างเพิ่มขึ้น ดังนั้นท่อน้ำระบายความร้อนจะต้องเคลื่อนให้ห่างจากตำแหน่งของ  $d'$  ถ้าเป็นการกระจายความร้อนแบบลู่ออกค่า  $d'$  ในสมการที่ 4.22 จะต้องถูกปรับให้มีระยะลดลง และท่อน้ำระบายความร้อนจะต้องเคลื่อนให้ใกล้จากตำแหน่งของ  $d'$  ดังนั้นระยะห่างที่แท้จริง ( $d$ ) ระหว่างผิวหน้าของโพรงแบบกับท่อน้ำระบายความร้อนสำหรับการกระจายความร้อนอยู่ในรูปแบบลู่ออกแสดงได้ดังสมการที่ 4.43

$$d = \frac{2Rd'}{(2R - d')} \quad (4.43)$$

ส่วนการกระจายความร้อนอยู่ในรูปแบบลู่ออกแสดงดังสมการที่ 4.44

$$d = \frac{2Rd'}{(2R + d')} \quad (4.44)$$

โดยที่

$d$  = ระยะทางที่แท้จริงระหว่างท่อ นำระบายความร้อนกับผิวหน้าของโพรงแบบ (cm)

$d'$  = ระยะทางระหว่างท่อ นำระบายความร้อนกับผิวหน้าของโพรงแบบที่ได้จากสมการที่ 4.42 (cm)

$R$  = รัศมีของโพรงแบบ (cm)

ขั้นตอนที่ 7 พิจารณาตำแหน่งและขนาดของท่อ นำ

ขนาดของรูที่เจาะสำหรับทำท่อ นำระบายความร้อนที่นิยมใช้คือ 7/16 นิ้ว (11 มม.) การหาค่าการดูดซับความร้อนของท่อ นำระบายความร้อนภายในแม่พิมพ์หาได้จากสมการที่ 4.45 ดังนี้

$$Q_j = h_c \pi D L (T_d - T_w) \quad (4.45)$$

โดยที่

$Q_j$  = ค่าความร้อนที่ต้องไหลผ่านแม่พิมพ์ในบริเวณ  $j$  (Watts)

$h_c$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Watts/cm<sup>2</sup>-°C)

$D$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ นำ (cm)

$L$  = ความยาวของท่อ นำ (cm)

$T_d$  = อุณหภูมิของแม่พิมพ์บริเวณรอบท่อ นำ (°C)

$T_w$  = อุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านท่อ นำ (°C)

ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ( $h_c$ ) ในมาตรฐานของอังกฤษสามารถหาได้จากสมการที่ 4.46 ดังนี้

$$h_c = 0.023 \left( \frac{k_{T_c}}{D_H} \right) \left[ \frac{V D_H \rho_{T_c}}{\mu_{T_c}} \right]^{0.8} \left[ \frac{\mu_{T_c} C_p}{k_{T_c}} \right]^{0.4} \quad (4.46)$$

โดยที่

$h_c$  = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของท่อ นำกับน้ำที่ไหลผ่าน (Btu/hr-ft<sup>2</sup>-°F)

$k_{T_c}$  = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของน้ำที่ไหลผ่านแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิเฉลี่ย  $T_c$  (Btu/hr-ft-°F)

$D_H$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำ (ft)

$V$  = ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านท่อน้ำ (ft/hr)

$\rho_{T_c}$  = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเฉลี่ย  $T_c$  ( $\text{lb}_m/\text{ft}^3$ )

$\mu_{T_c}$  = ค่าความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำที่อุณหภูมิเฉลี่ย  $T_c$  ( $\text{lb}_m/\text{ft-hr}$ )

$C_p$  = อัตราเทียบความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิเฉลี่ย  $T_c$  ( $\text{Btu}/\text{lb}_m\text{-}^\circ\text{F}$ )

โดยข้อมูลที่ได้อ้างอิงอยู่บนพื้นฐานของการทดลองนำน้ำไหลผ่านท่อน้ำระบายความร้อนในแม่พิมพ์ที่อัตรา 7.57 ลิตร/นาที (ในท่อน้ำขนาด 7/16 นิ้ว) และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทางน้ำเข้าและออกประมาณ  $7.8^\circ\text{C}$  ในกรณีของชิ้นงานตัวอย่างนี้ กำหนดให้ค่า  $T_c = 104^\circ\text{F}$  ( $40^\circ\text{C}$ ) และสามารถปรับแต่งค่าอัตราการไหลของน้ำได้เล็กน้อย

$$\begin{aligned} \text{ที่ } T_c = 104^\circ\text{F}, \quad K_{T_c} &= 0.363 \text{ Btu/hr-ft-}^\circ\text{F}, \quad \rho_{T_c} = 62.09 \text{ lb}_m/\text{ft}^3 \\ \mu_{T_c} &= 1.5794 \text{ lb}_m/\text{ft-hr}, \quad C_p = 0998 \text{ Btu}/\text{lb}_m\text{-}^\circ\text{F} \end{aligned}$$

แทนลงในสมการที่ 4.46 ได้ค่า

$$h_c = 0.283364 \left( \frac{V^{0.8}}{D_H^{0.2}} \right) \quad (4.47)$$

ในกรณีตัวอย่างได้ใช้ค่า

$$D_H = 7/16 \text{ นิ้ว}, \quad V = 4.253 \times 3600 \text{ ft/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad h_c &= 1224.57 \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F} \\ &= 1224.57 \times 5.6785 \times 10^{-4} = 0.6954 \text{ W/cm}^2\text{-}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

ทำการแทนค่า  $h_c = 0.6954 \text{ W/cm}^2\text{-}^\circ\text{C}$ ,  $T_d = 150^\circ\text{C}$ ,  $T_w = 40^\circ\text{C}$ ,  $D = 1.11 \text{ cm}$  ลงในสมการที่ 4.45 จะได้เป็น

$$Q_j = 2.6675L \quad (4.48)$$

ทำการจัดกลุ่มชิ้นส่วนความร้อนตามส่วนประกอบของแม่พิมพ์ที่แต่ละชิ้นส่วนความร้อนสัมผัส การหาตำแหน่ง ขนาด และความยาว จะใช้สมการที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งผลจากการจัดกลุ่มและการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงตำแหน่งและความยาวของท่อน้ำระบายความร้อนที่มีขนาด 7/16 นิ้ว

Thermal Segment, j	Die Component	Qi (Watts)	Surface Area sq.cm	d' cm	R cm	d cm	Waterline	
							Area (sq.cm)	Length (cm)
	Insert core	980.7	192.86	11.83	2.30	3.31	12.82	3.68
Biscuit	Biscuit	1390.7	85.49	3.70	3.50	2.42	18.18	5.21
Runner	Biscuit	19.4	3.03	9.40	4.47	4.58	0.25	0.07
B1,B3,B5,B7	Fixed Die	641.4	85.29	8.00	1.90	7.24	8.38	2.40
B2,B4,B6,B8	Fixed Die	634.6	109.88	10.42	1.90	5.98	8.30	2.38
A1,A3,A5,A7	Movable Die	641.7	85.29	8.00	1.90	7.24	8.39	2.41
A2,A4,A6,A8	Movable Die	398.7	109.88	16.59	1.90	4.93	5.21	1.49
B9,B13,B14,B11	Fixed Die	484.9	95.21	11.82	3.00	12.19	6.34	1.82
B,R,B10,B12	Fixed Die	946.4	126.94	8.07	3.00	23.38	12.37	3.55
A9,A13,A15,A14,A11	Movable Die	724.5	129.05	10.72	4.00	31.54	9.47	2.72
R,A10,A,16,A12	Movable Die	534.1	163.39	18.41	4.00	14.15	6.98	2.00

จากตารางที่ 4.10 นำค่า d ที่อยู่ในแต่ละส่วนของแม่พิมพ์มาหาค่าเฉลี่ยดังนี้

ไส้แบบ                      มีค่า d เฉลี่ย = 3.31 ซม.

บิสกิต                      มีค่า d เฉลี่ย =  $\frac{2.70 + 4.85}{2} = 3.78$  ซม.

แม่พิมพ์ส่วนที่อยู่กับที่      มีค่า d เฉลี่ย =  $\frac{7.24 + 5.98 + 12.19 + 23.36}{4} = 12.20$  ซม.

แม่พิมพ์ส่วนที่เคลื่อนที่      มีค่า d เฉลี่ย =  $\frac{7.24 + 4.93 + 31.54 + 14.15}{4} = 14.47$  ซม.

โดยระยะห่างเฉลี่ยที่ได้จะห่างจากรัดมีความโค้งเฉลี่ยในแต่ละส่วนประกอบของแม่พิมพ์ดัง

เช่น

ไส้แบบ                      มีค่า R เฉลี่ย = 2.30 ซม.

บิสกิต                      มีค่า R เฉลี่ย =  $\frac{3.50 + 4.47}{2} = 3.99$  ซม.

แม่พิมพ์ส่วนที่อยู่กับที่      มีค่า R เฉลี่ย =  $\frac{1.90 + 1.90 + 3.00 + 3.00}{4} = 2.45$  ซม.

แม่พิมพ์ส่วนที่เคลื่อนที่      มีค่า R เฉลี่ย =  $\frac{1.90 + 1.90 + 4.00 + 4.00}{4} = 2.95$  ซม.

สุดท้ายนำค่าความยาวของท่อน้ำที่อยู่ในแต่ละส่วนประกอบของแม่พิมพ์มารวมกันดังนี้

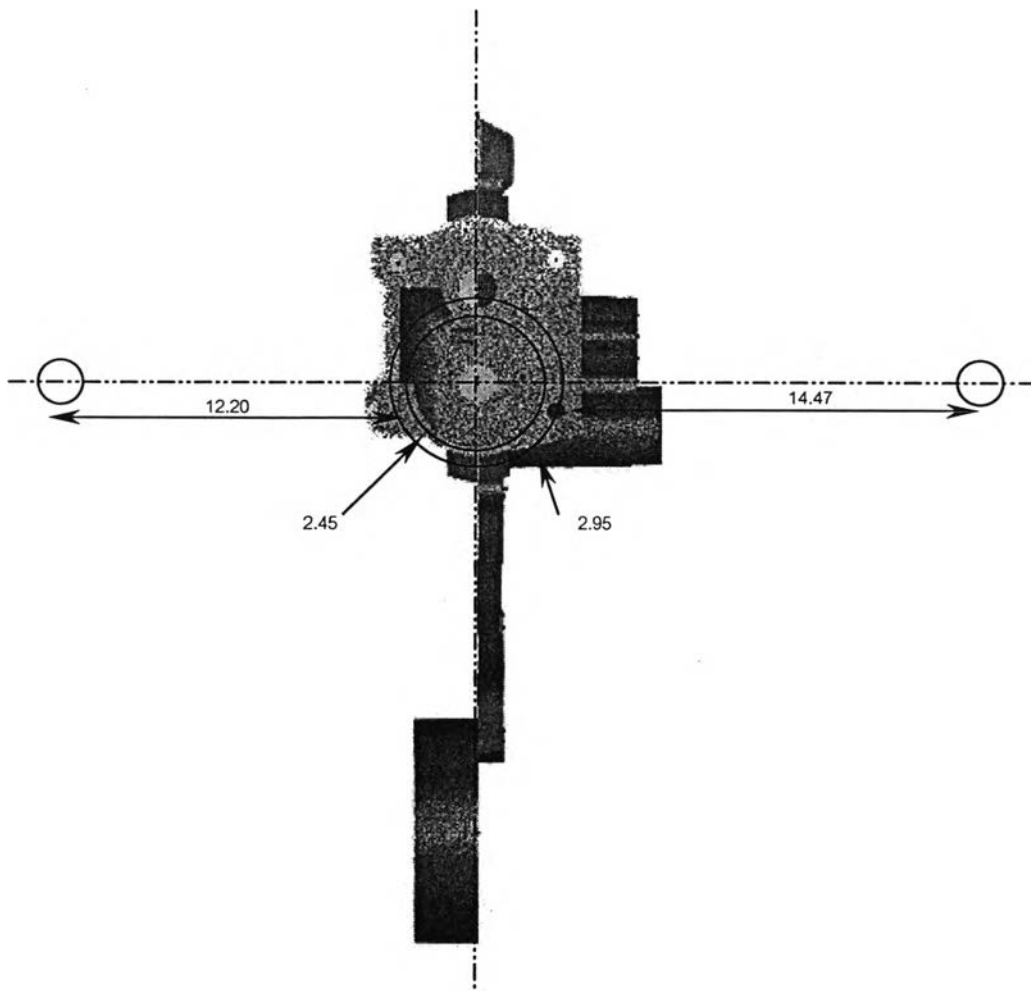
$$\text{ไส้แบบ} = 3.68 \text{ ซม.}$$

$$\text{บิสกิต} = 5.21 + 0.07 = 5.28 \text{ ซม.}$$

$$\text{แม่พิมพ์ส่วนที่อยู่กับที่} = 2.40 + 2.38 + 1.82 + 3.55 = 10.15 \text{ ซม.}$$

$$\text{แม่พิมพ์ส่วนที่เคลื่อนที่} = 2.41 + 1.49 + 2.72 + 2.00 = 8.62 \text{ ซม.}$$

จากค่าข้างต้นนำมาวาดตำแหน่งของท่อน้ำระบายความร้อนได้ดังรูปที่ 4.26 (ในกรณีของท่อน้ำระบายความร้อนของบิสกิตและไส้แบบนั้นไม่สามารถที่เจาะทะลุได้จึงใช้ท่อน้ำระบายความร้อนแบบไปกลับในทิศทางเดียวกัน ; baffles)



รูปที่ 4.26 รูปแสดงตำแหน่งของท่อน้ำระบายความร้อนในชิ้นงานตัวอย่ง

#### 4.1.5 ระบบนำปลดชิ้นงาน

จะทำการพิจารณาหา ขนาด จำนวน และการวางตำแหน่งของเข็มแทงเพื่อผลักดันชิ้นงานให้หลุดออกมาจากแม่พิมพ์โดยไม่เกิดการหมุน ซึ่งจะใช้หลักการของการหาผลรวมของโมเมนต์ (moment) ในแกน X และ Y ให้เท่ากับศูนย์

ในการผลักดันชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ส่วนที่เคลื่อนที่นั้นหมุดแทงจะต้องสัมผัสกับผิวชิ้นงานในแนวตั้งฉากพร้อมๆกันทุกจุด และด้วยแรงที่เท่ากัน เมื่อหมุดแทงสัมผัสกับชิ้นงานในเงื่อนไขที่กล่าวมาจะทำให้เกิดโมเมนต์ในแกน X และ Y รอบจุดหมุน (จุด C.G.) โดยโมเมนต์ในแกน X สามารถหาได้ดังสมการที่ 4.49 ดังนี้

$$M_x = F \times X_j \quad (4.49)$$

โดยที่

$M_x$	=	โมเมนต์ในแกน X (นิวตัน-เมตร)
$F$	=	แรงในการผลักดันชิ้นงาน (นิวตัน)
$X_j$	=	ระยะห่างในแกน X ของตำแหน่งหมุดแทง j กับจุดหมุน (เมตร)

และ โมเมนต์ในแกน Y สามารถหาได้จากสมการที่ 4.50 ดังนี้

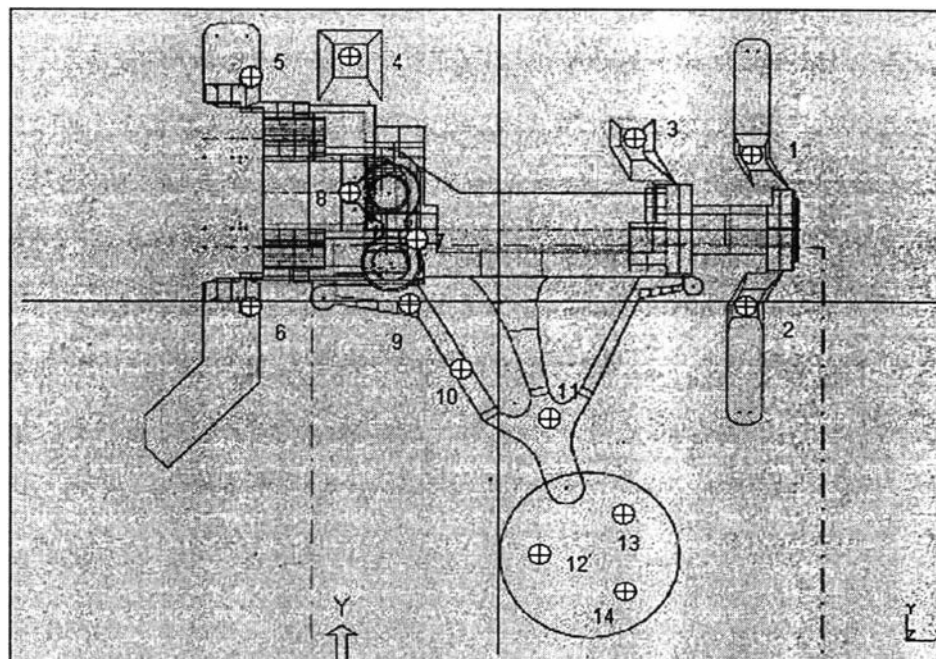
$$M_y = F \times Y_j \quad (4.50)$$

โดยที่

$M_y$	=	โมเมนต์ในแกน Y (นิวตัน-เมตร)
$Y_j$	=	ระยะห่างในแกน Y ของตำแหน่งหมุดแทง j กับจุดหมุน (เมตร)

จากสมการข้างต้นถ้าต้องการให้ชิ้นงานถูกผลักออกด้วยแรง F โดยไม่เกิดการหมุนจะต้องทำให้ผลรวมของโมเมนต์ในแกน X และ Y รอบจุด C.G. มีค่าเท่ากับศูนย์ ( $\sum M_x = 0$  และ  $\sum M_y = 0$ ) นั่นก็คือจะต้องทำให้ผลรวมของระยะทางในแกน X และ Y ระหว่างตำแหน่งของหมุดแทงที่ตำแหน่ง j กับจุด C.G. มีค่าเท่ากับศูนย์ ( $\sum X_j = 0$  และ  $\sum Y_j = 0$ )

ในการหาตำแหน่งของเข็มแทงบนชิ้นงานจะใช้หลักการดังกล่าวมาทำการพิจารณา ซึ่งในกรณีศึกษา (เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์) สามารถหาตำแหน่งของเข็มแทงได้ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 รูปแสดงตำแหน่งของเข็มแทงบนชิ้นงานเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์

## 4.2 การวิเคราะห์แม่พิมพ์

ก่อนจะเริ่มทำการวิเคราะห์ระบบทางเข้าที่ออกแบบไว้ใหม่ จะต้องทำการทดสอบกับปัญหาพื้นฐานก่อนว่าการกำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) ต่างๆ มีความเหมาะสมมากน้อยขนาดไหน เมื่อทดสอบจนได้ค่าที่เหมาะสมแล้ว จึงนำค่าดังกล่าวมาใช้กับปัญหาจริงที่ต้องการจะทดสอบซึ่งก็คือ เครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ที่ทำการออกแบบระบบทางเข้าใหม่ โดยในการวิเคราะห์ จะทำการวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงาน หลังจากนั้นนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับระบบทางเข้าที่ทางโรงงานได้ออกแบบไว้

### 4.2.1 การทดสอบกับปัญหาพื้นฐาน

ในที่นี้จะทำการแยกวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ วิเคราะห์การไหล และ วิเคราะห์การถ่ายความร้อน

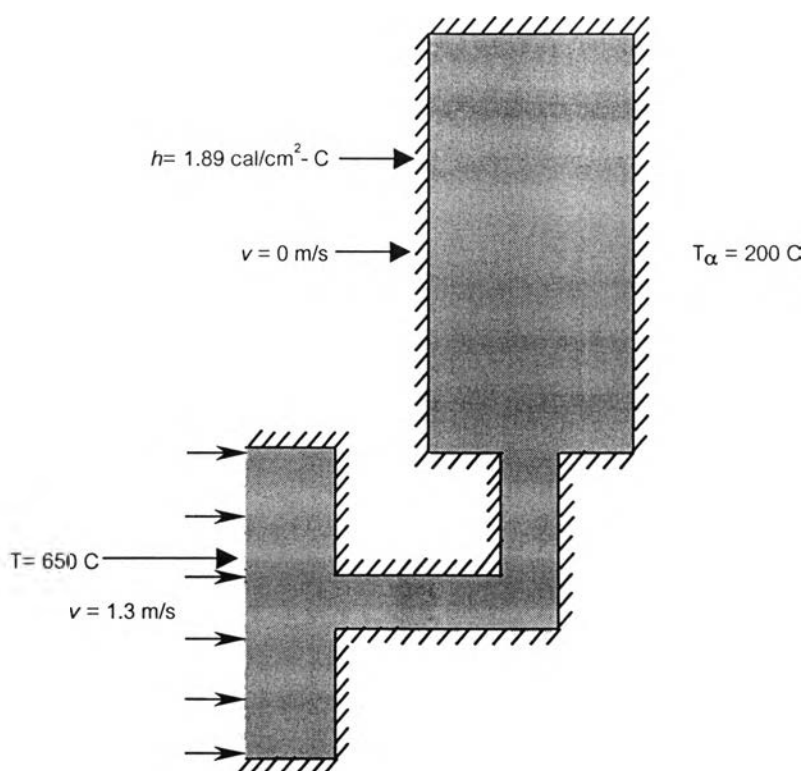
#### 4.2.1.1 การวิเคราะห์การไหล

จะนำทฤษฎีการไหลที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.7.2 มาทำการทดสอบโดยทำการสร้างรูปแบบจำลอง 3 มิติที่มีรูปร่างคล้ายกับที่ทฤษฎีกล่าวไว้ คือ เป็นรูปปริซึมฐานสี่เหลี่ยมที่มีปริมาตรและพื้นที่หน้าตัดใกล้เคียงกับเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ ที่ทางโรงงานออกแบบไว้ นำภาพวาดดังกล่าวมาทำการแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ (mesh) โดยใช้ฟังก์ชันการประมาณภายใน (interpolation function) เป็นแบบรูปทรงสามเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedral) โดยมีความยาวเอลิเมนต์

เฉลี่ยประมาณ 12 มม. ซึ่งจะพบว่ามีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมดเท่ากับ 4,063 เอลิเมนต์ และจำนวน โหนด (node) ทั้งหมดเท่ากับ 6,744 โหนด หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุที่กล่าวไว้ในบทก่อนหน้าแล้วจึงทำการกำหนดค่า เงื่อนไขขอบเขตต่างๆ ให้แก่ชิ้นงานดังนี้

- ค่าอุณหภูมิที่ปลายบิสกิตซึ่งมีค่าเท่ากับอุณหภูมิฉีด (650 °C)
- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอะลูมิเนียมอัลลอยด์ 380 กับเหล็กเกรด H-13 ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $1.89 \text{ cal/cm}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$  (S. Hong, 1979) ให้กับผิวรอบนอกทั้งหมดยกเว้นบริเวณปลายบิสกิต
- ค่าความเร็วในการฉีดในที่นี้จะใช้ความเร็วในการฉีดเร็วซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.3 เมตร/วินาทีที่ปลายบิสกิต
- ค่าความเร็วรอบผิวกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ยกเว้นบริเวณปลายบิสกิต

โดยการกำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตจะแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.28 ซึ่งขั้นตอนที่กล่าวมาทั้งหมดจะเป็นช่วงเตรียมก่อนการดำเนินการ (pre-process)



รูปที่ 4.28 รูปแสดงภาพของปัญหาพื้นฐานที่ทำการกำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตต่างๆ



ต่อไปก็จะขั้นตอนในการดำเนินการของโปรแกรม (process) โดยในขั้นตอนนี้จะใช้เวลา นานกว่าทุกขั้นตอน ซึ่งในที่นี้ใช้เวลาของเครื่องประมาณ 18,700 วินาที และเวลาดังกล่าวขึ้นอยู่กับรูปร่างของปัญหาที่ต้องการจะหาคำตอบ

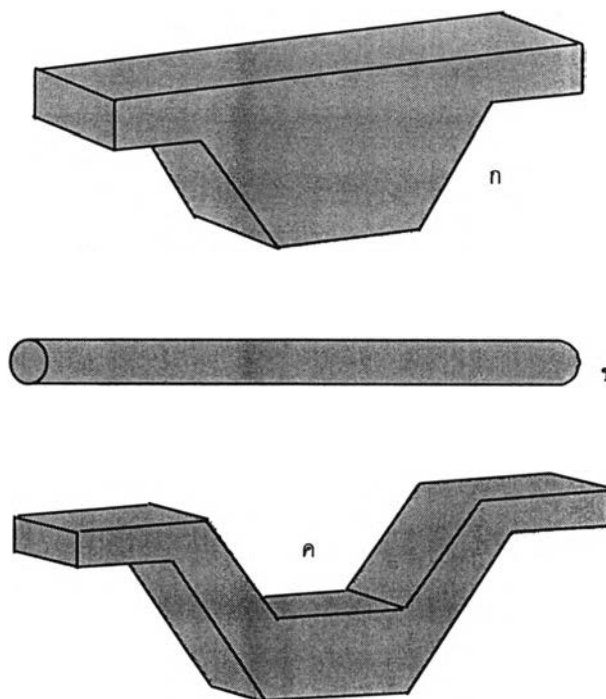
เมื่อดำเนินการเสร็จสิ้นก็จะทำการดูผลการทดลอง (post-process) ดังแสดงในภาคผนวก ข.

โดยผลการดำเนินการจะพบว่ารูปแบบการไหลมีลักษณะเหมือนกับทฤษฎีของ Koester และ Goehring คือ ลำน้ำโลหะจะพุ่งออกจากทางเข้าด้วยรูปร่างเหมือนกับพื้นที่หน้าตัดของทางเข้า ไปชนกับเพดานของแม่พิมพ์เกิดการหมุนวนก่อนที่จะไหลลงมา ซึ่งเรียกว่า ไฟร์รันเนอร์ส และมีน้ำโลหะบางส่วนเออลันมาจากด้านล่าง

จากผลการดำเนินการทำให้ทราบถึงเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ว่ามีความเหมาะสมสามารถนำไปประยุกต์กับปัญหาจริงได้ และยังเป็น การยืนยันผลการทดลองด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์กับผลการทดลองจริงว่ามีความใกล้เคียงกัน

#### 4.2.1.2 การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

จะนำเอาทฤษฎีที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.7.3 มาทำการทดสอบ โดยทำการสร้างรูปแบบจำลอง 3 มิติที่มีรูปร่างคล้ายกับทฤษฎีที่กล่าวไว้ ซึ่งมีด้วยกัน 3 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 รูปแสดงรูปร่างตัวอย่างที่จะมาทำการทดสอบปัญหาการถ่ายเทความร้อน

นำภาพวาดข้างต้นมาทำการแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ โดยใช้ฟังก์ชันการประมาณภายใน เป็นแบบรูปทรงสามเหลี่ยมสี่หน้า 4 โนด โดยมีความยาวเอลิเมนต์เฉลี่ยประมาณ 3 มม. ซึ่งจะพบว่ารูปที่ 4.29ก. มีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมดเท่ากับ 2,405 เอลิเมนต์ และจำนวนโนดทั้งหมดเท่ากับ 617 โนด รูปที่ 4.29ข. มีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมดเท่ากับ 686 เอลิเมนต์ และจำนวนโนด ทั้งหมดเท่ากับ 244 โนด และ รูปที่ 4.29ค. มีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมดเท่ากับ 3,240 เอลิเมนต์ และจำนวนโนด ทั้งหมดเท่ากับ 883 โนด หลังจากนั้นทำการกำหนดเงื่อนไขตามทฤษฎีที่กล่าวไว้ดังนี้

กรณีที่ 1 แสดงถึงรูปร่างหน้าตัดที่ไม่สม่ำเสมอส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน

จากรูปที่ 4.29ก. ในขั้นตอนของช่วงเตรียมก่อนดำเนินการได้กำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตเพียงอย่างเดียว คือ การถ่ายเทความร้อนให้เท่ากันทุกพื้นผิวซึ่งมีค่าเท่ากับ  $1.89 \text{ cal/cm}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$  ขั้นตอนต่อไปคือการดำเนินการแต่ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาของเครื่องน้อยคือประมาณ 35 วินาที เนื่องจากว่าแก้ไขเฉพาะปัญหาการถ่ายเทความร้อน ไม่ได้แก้ไขปัญหาการไหล และสุดท้ายคือดูผลการทดลองที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาคผนวก ข. ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมิที่บริเวณผิวจะเย็นตัวก่อนแล้วกระจายเข้าสู่ภายในที่มีความหนามากกว่า ทำให้แข็งตัวช้าที่สุด โดยรูปแบบการกระจายของอุณหภูมิจะเหมือนกับทฤษฎีที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.7.3.1

กรณีที่ 2 แสดงถึงชิ้นงานที่มีความหนาเท่ากันแต่มีพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่างกันส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน

จากรูปที่ 4.29ข. ในขั้นตอนของช่วงเตรียมก่อนดำเนินการได้กำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตด้านอุณหภูมิให้กับพื้นผิวของชิ้นงาน 2 ส่วน แบ่งครึ่งกัน โดยอุณหภูมิฝั่งซ้ายมีค่าเท่ากับ  $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และ ฝั่งขวามีค่าเท่ากับ  $350 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ทำการดำเนินการจนเสร็จสิ้น ซึ่งใช้เวลาของเครื่องประมาณ 35 วินาที จะได้ผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ข. ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมิของชิ้นงานด้านซ้ายจะแข็งตัวก่อนฝั่งขวา โดยจะเริ่มแข็งตัวจากผิวนอกเข้าสู่ใจกลางชิ้นงาน ซึ่งจะมีรูปร่างเหมือนกับรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ววางอยู่ภายในโดยมีปลายยอดอยู่ฝั่งซ้ายและฐานอยู่ฝั่งขวาของชิ้นงาน โดยรูปแบบการกระจายของอุณหภูมิจะเหมือนกับทฤษฎีที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.7.3.1

กรณีที่ 3 แสดงถึงชิ้นงานที่มีรูปร่างหน้าตัดที่สม่ำเสมอแต่รูปร่างมีขีดจำกัดด้านการถ่ายเทความร้อน

จากรูปที่ 4.29ค. ในขั้นตอนของช่วงเตรียมก่อนดำเนินการได้กำหนดค่าเงื่อนไขขอบเขตเพียงอย่างเดียว คือ การถ่ายเทความร้อนให้เท่ากันทุกพื้นผิวซึ่งมีค่าเท่ากับ  $1.89 \text{ cal/cm}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$  ขั้นตอนต่อไปคือการดำเนินการ ซึ่งใช้เวลาของเครื่องประมาณ 35 วินาที และสุดท้ายคือดูผลการ

ทดลองที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาคผนวก ข. ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมิที่บริเวณผิวจะเย็นตัวก่อนแล้วกระจายเข้าสู่ภายในที่มีความหนามากกว่า คล้ายกับกรณีที่ 1 แต่ต่างกันตรงบริเวณการแข็งตัวภายในส่วนกลางจะเลื่อนก่อนมาด้านบน เนื่องจากบริเวณผิวส่วนบนและด้านข้างเป็นส่วนโค้งทำให้การกระจายความร้อนจะไปรวมกันที่จุดๆหนึ่งๆ ทำให้บริเวณนี้ยังมีความร้อนสะสมมากกว่าปกติ โดยรูปแบบการกระจายของอุณหภูมิจะเหมือนกับทฤษฎีที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.7.3.1

การได้ทำการทดสอบกับปัญหาพื้นฐานทำให้เข้าใจถึงลักษณะทางกายภาพโดยรวมกับปัญหาได้ดีขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์กับปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้

#### 4.2.2 การทดสอบกับระบบทางเข้าที่ทางโรงงานออกแบบไว้

เมื่อได้ทำการทดสอบกับปัญหาพื้นฐาน ทำให้ทราบถึงเงื่อนไขขอบเขตต่างๆที่ควรจะกำหนดลงบนชิ้นงานว่าควรมีอะไรบ้างและมีค่าเท่าไร จึงนำค่าต่างๆเหล่านี้ไปประยุกต์กับปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนอย่างเช่นรูระบบทางเข้าที่ทางโรงงานออกแบบไว้ของชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งเป็นหลักการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ ทำการแก้สมการเชิงอนุพันธ์เดิม ด้วยเงื่อนไขขอบเขตเดิม แต่ต่างกันที่รูปร่าง ซึ่งเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมีค่าเหมือนกับการทดสอบปัญหาพื้นฐานด้านการไหล ดังนี้

- ค่าอุณหภูมิที่ปลายบิสกิตซึ่งมีค่าเท่ากับอุณหภูมิจืด ( $650^{\circ}\text{C}$ )
- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างอะลูมิเนียมอัลลอยด์ 380 กับเหล็กเกรด H-13 ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $1.89 \text{ cal/cm}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$  ให้กับผิวรอบนอก ทั้งหมดยกเว้นบริเวณปลายบิสกิต
- ค่าความเร็วในการจืดในที่นี้จะใช้ความเร็วในการจืดเร็วซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.3 เมตร/วินาทีที่ปลายบิสกิต
- ค่าความเร็วรอบผิวกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ยกเว้นบริเวณปลายบิสกิต

โดยก่อนหน้านี้นำรูปวาด 3 มิติ ของชิ้นงานที่มีระบบทางเข้าที่ทางโรงงานออกแบบไว้มาทำการแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ โดยใช้ฟังก์ชันการประมาณภายใน เป็นแบบรูปทรงสามเหลี่ยมสี่หน้า 4 โหนด โดยมีความยาวเอลิเมนต์เฉลี่ยประมาณ 3 มม. ยกเว้นบริเวณปากทางเข้าจะใช้ความยาวเอลิเมนต์เฉลี่ยประมาณ 0.5 มม. ซึ่งจะพบว่ามีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมดเท่ากับ 165,393 เอลิเมนต์ และจำนวนโหนด ทั้งหมดเท่ากับ 37,458 โหนด ทำการดำเนินการจนเสร็จสิ้นซึ่งใช้เวลาเครื่องในการดำเนินงานนานประมาณ 30,500 วินาที แล้วจึงดูผลที่เกิดขึ้นซึ่งได้แสดงดังภาคผนวก ข.

#### ผลการทดลอง

- ด้านการไหล

น้ำโลหะเหลวจะไหลเข้าสู่บิสกิตด้วยความเร็ว 1.3 เมตร/วินาที แล้วความเร็วจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำโลหะเข้าสู่ทางวิ่ง หลังจากนั้นจะแยกออกเป็นสองทางไปสู่ทางวิ่งเข้าที่ 1 (ขนาดเล็ก) และทางวิ่งเข้าที่ 2 (ขนาดใหญ่) ซึ่งมีความเร็วที่ปากทางเข้าโดยเฉลี่ย 69-76 เมตร/วินาที (เหลือง) และ 62-69 เมตร/วินาที (เขียวอ่อน) ตามลำดับ และเมื่อน้ำโลหะออกจากทางเข้าจะพุ่งเฉียงไปทางแม่พิมพ์ส่วนที่อยู่กับที่เนื่องจากก่อนถึงปากทางเข้าได้ทำทางวิ่งเข้าเฉียงไปด้านแม่พิมพ์ที่อยู่กับที่ จากนั้นจะพุ่งไปชนกับผนังด้านบนของแม่พิมพ์แล้วจึงไหลไปตามผนังของแม่พิมพ์และไหลย้อนกลับลงมา ซึ่งจะเติมส่วนกลางของเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์เต็มก่อน แล้วจึงเติมส่วนบนเต็มเป็นลำดับต่อมา ในบริเวณห้องเกียร์จะเป็นส่วนที่เติมเต็มหลังสุดพร้อมกับรูลัน

- ด้านการถ่ายเทความร้อน

บริเวณห้องเกียร์จะเป็นส่วนที่เริ่มเย็นตัวก่อน เนื่องจากเป็นส่วนที่บางที่สุดของชิ้นงาน และส่วนบนของชิ้นงานก็จะเริ่มแข็งตัวเข้าหาส่วนกลาง ซึ่งจะเป็นบริเวณที่แข็งตัวช้าที่สุด

- ความเร็วที่ทางเข้า

ทางเข้าที่ 1 (ขนาดเล็ก)      ความเร็วเฉลี่ย 69-79 เมตร/วินาที (เหลือง)

ทางเข้าที่ 2 (ขนาดใหญ่)      ความเร็วเฉลี่ย 62-69 เมตร/วินาที (เขียวอ่อน)

- เวลาในการเติมเต็ม

0.063 วินาที โดยดูจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในแกน Y และ เวลาในแกน X โดยดูจุดที่มีค่าความเร็วเท่ากับศูนย์

- เวลาในการแข็งตัว

21.94 วินาที

- ปริมาตรทั้งหมด

363,513 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

### บทวิเคราะห์

จากผลการทดลองจะพบว่าลำดับในการเติมเต็มไม่เหมาะสม เนื่องจากบริเวณห้องเกียร์มีลำดับในการเติมเต็มช้ากว่ารูลัน ซึ่งตามหลักการควรจะต้องเติมบริเวณชิ้นงานเต็มก่อนแล้วจึงไหลเข้าสู่รูลันเป็นลำดับสุดท้าย และลำดับในการแข็งตัวบริเวณห้องเกียร์ก็จะแข็งตัวก่อนเพราะเป็นบริเวณที่บาง ดังนั้นข้อบกพร่องที่น่าจะเกิดขึ้นคือ โฟลว์ไลน์ หรือ โคลด์ชัท บริเวณห้องเกียร์ ในกรณีที่คุณสมบัติของแม่พิมพ์สูงไม่พอจะทำให้มีโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องดังกล่าวสูง

#### 4.2.3 การทดสอบกับระบบทางเข้าที่ออกแบบไว้ใหม่

ทำแบบเดียวกับในหัวข้อที่ 4.2.2 แต่ต่างกันที่รูปร่าง โดยชิ้นงานมีจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมดเท่ากับ 196,647 เอลิเมนต์ และจำนวนโนดทั้งหมดเท่ากับ 45,378 โหนด โดยการเลือกฟังก์ชัน

ประมาณภายในและความยาวเอลิเมนต์เฉลี่ยจะเหมือนกับของชิ้นงานที่มีระบบทางเข้าที่ทางโรงงานออกแบบไว้ แต่จะใช้เวลาในการดำเนินงานนานกว่าเป็นเวลา 331,315 วินาที ซึ่งผลที่ได้จากการดำเนินการแสดงในภาคผนวก ข.

#### ผลการทดลอง

##### - ด้านการไหล

น้ำโลหะเหลวจะไหลเข้าสู่บิสกิตด้วยความเร็ว 1.08 เมตร/วินาที แล้วความเร็วจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำโลหะเข้าสู่ทางวิ่ง หลังจากนั้นจะแยกออกเป็นสามทางไปสู่ทางวิ่งเข้าที่ 1 ทางวิ่งเข้าที่ 2 และ ทางวิ่งเข้าที่ 3 ซึ่งมีความเร็วที่ปากทางเข้าโดยเฉลี่ย 32-40 เมตร/วินาที (น้ำเงิน) และ 65-73 เมตร/วินาที (เขียวอ่อน) และ 32-40 เมตร/วินาที (น้ำเงิน) ตามลำดับ และเมื่อน้ำโลหะออกจากทางเข้าจะพุ่งไปชนกับผนังด้านบนของแม่พิมพ์แล้วจึงไหลไปตามผนังของแม่พิมพ์และไหลย้อนกลับลงมา ซึ่งจะเติมส่วนกลางของเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์เต็มก่อน แล้วจึงเติมส่วนบนเต็มเป็นลำดับต่อมา และจะเติมบริเวณห้องเกียร์เต็มเป็นลำดับต่อมา สุดท้ายคือเติมเข้าไปในรูล้น

##### - ด้านการถ่ายเทความร้อน

บริเวณห้องเกียร์จะเป็นส่วนที่เริ่มเย็นตัวก่อน เนื่องจากเป็นส่วนที่บางที่สุดของชิ้นงาน และส่วนบนของชิ้นงานก็จะเริ่มแข็งตัวเข้าหาส่วนกลาง ซึ่งจะเป็นบริเวณที่แข็งตัวช้าที่สุด

##### - ความเร็วที่ทางเข้า

ทางเข้าที่ 1	ความเร็วเฉลี่ย 32-40 เมตร/วินาที (น้ำเงิน)
ทางเข้าที่ 2	ความเร็วเฉลี่ย 65-73 เมตร/วินาที (เขียวอ่อน)
ทางเข้าที่ 3	ความเร็วเฉลี่ย 32-40 เมตร/วินาที (น้ำเงิน)

##### - เวลาในการเติมเต็ม

0.090 วินาที โดยดูจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในแกน Y และ เวลาในแกน X โดยดูจุดที่มีค่าความเร็วเท่ากับศูนย์

##### - เวลาในการแข็งตัว

22.01 วินาที

##### - ปริมาตรทั้งหมด

327,265.5 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

#### บทวิเคราะห์

จากผลการทดลองจะพบว่าลำดับในการเติมเต็มเหมาะสม เนื่องจากเติมบริเวณชิ้นงานเต็มก่อนจึงเติมในส่วนที่เป็นรูล้น ซึ่งทำให้โอกาสในการเกิดข้อบกพร่องเกี่ยวกับการไหลมีน้อยลง

4.2.4 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการออกแบบระบบทางเข้าเก่าและใหม่  
นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ดังนี้

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการออกแบบระบบทางเข้าเก่าและใหม่

รายการ	เก่า	ใหม่
ปริมาตร	363,513	327,265.5
ความเร็วทางเข้า		
ที่ 1	69-76	32-40
ที่ 2	62-69	65-73
ที่ 3		32-40
เวลาในการเติมเต็ม	0.063	0.090
เวลาในการเป็นของแข็งสมบูรณ์	21.94	22.01
จุดบกพร่องที่น่าจะเกิดขึ้น	โคลด์ชัทหรือไฟลิวไลน์ บริเวณห้องเกียร์	-