สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบแม่พิมพ์ที่มีหลายโพรงแบบสำหรับการอัดแบบชนิดฉีด

นาย ชัชวาล โลหิตวิเศษ รหัส 39054211
นาย อนุรัตน์ บัวอุไร รหัส 39054258

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 37651
วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2543

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design of Multi-Cavity Mold for Injection Molding

Mr. Chatchawan Lohitvisas

Mr. Anurut Buaurai

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การออกแบบแม่พิมพ์ที่มีหลายโพรงแบบสำหรับการอัดแบบชนิดฉีด

นักศึกษา นาย ชัชวาล โลหิตวิเศษ รหัส 39054211

นาย อนุรัตน์ บัวอุไร รหัส 39054258

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

_____ หัวหน้าภาควิชาเคมี

(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ

_____ ประธานกรรมการ

(ดร.อิทธิพล แจ้งชัด)

_____ กรรมการ

(ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์)

_____ กรรมการ

(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ : การออกแบบแม่พิมพ์ที่มีหลายโพรงแบบสำหรับการอัดแบบชนิดฉีด
นักศึกษา : นาย ชัชวาล โลหิตวิเศษ รหัส 39054211
: นาย อนุรัตน์ บัวอุไร รหัส 39054258
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย
ภาควิชา : เคมี
ปีการศึกษา : 2542

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์ที่มีหลายโพรงแบบสำหรับการอัดแบบชนิดฉีด ด้วยวัสดุพอลิสไตรีน โดยทำการออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรมการออกแบบทางคอมพิวเตอร์และโปรเอนจิเนียร์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยโปรแกรมการคำนวณโมลโฟว์ เพื่อหาลักษณะของชิ้นงานและสภาวะของกระบวนการอัดแบบชนิดฉีดที่เหมาะสมก่อนทำการจัดสร้างแม่พิมพ์และนำไปฉีดขึ้นรูป เพื่อเปรียบค่าสภาวะที่เหมาะสมในการฉีดจริงกับค่าสภาวะที่ได้จากการคำนวณโดยอาศัยโปรแกรมแล้วจึงศึกษาผลของชิ้นงานที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากผลการทดลองพบว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์และโปรแกรมโมลโฟว์ที่ใช้เหมาะสมและให้ค่าสภาวะที่ได้ถูกต้อง เมื่อเปรียบเทียบค่าสภาวะที่ได้กับการฉีดจริงที่ให้ค่าความแตกต่างดังนี้ ปริมาตรรวมเท่ากับ 0.96 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 4.0 เปอร์เซ็นต์ ความดันในการฉีดเท่ากับ 37.318 เปอร์เซ็นต์ และแรงในการปิดแม่พิมพ์เท่ากับ 75.86 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้โปรแกรม Moldflow ยังสามารถคำนวณตำแหน่งของการเกิด รอยเชื่อม จุดที่เกิดการกักตัวของอากาศ ทิศทางการจัดเรียงตัว และการทำสมดุลของรูวิ่งได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title : Design of Multi-cavity for Injection Molding

Name : Mr. Chatchawan Lohitwisas

: Mr. Anurut Buaurai

Sprcial Project Advisor: Asst. Prof. Somsak Woramongkolchai

Department : Chemistry

Academic Year : 1999

Abstract

This special project aims to study the multi-cavity for injection molding by using polystyrene as material .The product was designed by computer-aided design ,Pro Engineer and analyze part with computer aided engineering ,Moldflow was used for characterize part and optimum injection molding condition before made and injection for comparison the real injection condition with the one from calculation with computer program and studied the effect of part from designing with computer software

The result showed that each computer software operated in an appropriate and good condition . Moldflow program was accurate except the different values in total volume 0.97%,melt temperature 4.0%,injection pressure 12.60%,claming force 314.25%.In addition, Moldflow can calculate the weld line position ,air traps ,orientation and runner balance in an accuracy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร. อิทธิพล แจ้งชัด และ ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์ อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ ที่กรุณาช่วยตรวจทาน และแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณสิทธิพร จิตรดา ไพโรจน์ จิตรธรรม คุณสมบูรณ์ อัศวพิชญโชติ คุณ เมธี กุลวิทย์และเจ้าหน้าที่ของศูนย์เทคโนโลยีวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่คอยให้ความช่วยเหลือทำให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้

นอกเหนือจากนี้หากยังมีบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำไม่ได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นาย ชัชวาล โลหิตวิเศษ
นาย อนุรัตน์ บัวอุไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่1	1
บทนำ	1
ที่มาของโครงงานพิเศษ	2
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตการวิจัย	3
ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน	3
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2	5
ทฤษฎีและหลักการ	5
Injection molding (การฉีดขึ้นรูป)	5
ระบบเครื่องจักร	7
ชนิดของแม่พิมพ์	11
โปรแกรม CAD และ CAM	15
จุดประสงค์ของการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบ	15
กระบวนการออกแบบด้วย CAD	16
การออกแบบรูปทรงเรขาคณิต	16
การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม	17
มาตราฐานการเปลี่ยนข้อมูล	18
ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับ Finite elements analysis	19
ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต	20
โปรแกรม Pro Engineer	20
การออกแบบและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Moldflow	21
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการออกแบบและการวิเคราะห์	21
หลักของการออกแบบการไหลเพื่อให้เกิดการไหลที่ง่ายที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้	22
สภาวะของกระบวนการ	27
การประมาณเส้นทางการไหลหลัก	28
การประมาณหาจุดสุดท้ายที่เกิดการเติม	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	การสร้างเส้นทางการไหลหลักแบบ 2 มิติ	29
	การออกแบบรูวิ่งที่เหมาะสม	30
	รูปแบบการเติมเต็มที่เหมาะสม	39
	วัสดุ	44
บทที่ 3		49
	วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	49
	อุปกรณ์	49
	ขั้นตอนการดำเนินงาน	49
	การทดสอบและการเปรียบเทียบ	49
บทที่ 4		52
	การออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม Pro Engineer	52
	การส่งผ่านแบบชิ้นงานเข้าสู่โปรแกรม Moldflow	53
	ผลการวิเคราะห์โพรงแบบของแต่ละชิ้นงานในส่วนของการเติมเต็ม	54
	ผลการเปรียบเทียบการสมดุลการไหลด้วยการสมดุลระบบรูวิ่งของแม่พิมพ์	69
	ผลการเปรียบเทียบชนิดของวัสดุที่คุณสมบัติเหมาะสมกับการออกแบบแม่พิมพ์	73
	ผลการวิเคราะห์การอัดตัวภายในโพรงแบบ	77
	ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมกับวัสดุที่เลือกทำการฉีดขึ้นรูป	80
	ผลของการออกแบบและการจัดสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	82
	ผลการเปรียบเทียบสภาวะที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปจริง	83
บทที่5		
	สรุปผล	85
	ข้อเสนอแนะ	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก 5
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนของขบวนการฉีดพลาสติก 6
รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการฉีดของเครื่องจักรแบบลูกสูบขั้นตอนเดียว 7
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงหน่วยลูกสูบแบบสองขั้นตอน 8
รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงหน่วยของการตอบสนองด้วยสกรู 10
รูปที่ 2.6 ระบบของหน่วยยึดแม่พิมพ์ 11
รูปที่ 2.7 แม่พิมพ์ที่มีระบบรูวิ่งแบบเย็น 13
รูปที่ 2.8 แม่พิมพ์ที่ระบบรูวิ่ง 14
รูปที่ 2.9 แม่พิมพ์แบบเลียงซ้อน 15
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเขียนรูป 2 มติ 17
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการเขียนรูป 3 มติ 17
รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์แบบ (Finite Elements Analysis) 18
รูปที่ 2.13 การแลกเปลี่ยนข้อมูลระบบ CAD โดยมาตราฐาน IGES 19
รูปที่ 2.14 การแบ่ง Finite Elements ของชิ้นงาน 19
รูปที่ 2.15 แสดงเส้นทางเดินของ tool ในโปรแกรม smart cam 20
รูปที่ 2.16 สมดุดการไหล 23
รูปที่ 2.17 อัตราส่วนรูวิ่งต่อโพรงแบบ 23
รูปที่ 2.18 ทิศทางการไหลไปในทิศทางเดียวกัน 24
รูปที่ 2.19 การลดลงของความดัน 24
รูปที่ 2.20 ความเค้นเฉือน 25
รูปที่ 2.21 เส้นเชื่อม/เส้นการหลอม 25
รูปที่ 2.22 ความไม่แน่นอน 26
รูปที่ 2.23 การไหลย้อนกลับ 26
รูปที่ 2.24 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทาน 27
รูปที่ 2.25 การปิดตัว 27
รูปที่ 2.26 Molding Window 28
รูปที่ 2.27 การหาสภาวะที่เหมาะสม 28
รูปที่ 2.28 แสดงตัวอย่างการไหลที่ไม่เหมาะสม 29
รูปที่ 2.29 แสดงการหาชิ้นงานที่มีขนาดเท่ากัน 31
รูปที่ 2.30 รูปจำนวนที่ปรากฏ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.31 แสดงตัวอย่างการไหลที่ไม่สมดุล 36
รูปที่ 2.32 แสดงช่วงเวลาในการฉีด 40
รูปที่ 2.33 แสดงการอัดตัว 41
รูปที่ 2.34 การสลายความดันของพอลิเมอร์ 41
รูปที่ 2.35 แสดงเวลาในการคงตัว 43
รูปที่ 2.36 แผนผังกระบวนการ Mass polymerization 45
รูปที่ 2.37 แผนผังกระบวนการ Solution polymerization 46
รูปที่ 4.1 แสดงแบบที่ได้จากการทดลอง 52
รูปที่ 4.2 แสดงรูปของแบบชิ้นงานที่ผ่านการ IGES 53
รูปที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความดันภายในโพรงแบบ 55
รูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของพลาสติกภายในโพรงแบบ 56
รูปที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของพลาสติกภายในโพรงแบบ 58
รูปที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการเติมภายในโพรงแบบ 59
รูปที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการเย็นตัว 61
รูปที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิภายในโพรงแบบหลังการเติมเต็ม 62
รูปที่ 4.9 แสดงเส้นเชื่อมที่เกิดขึ้นภายในโพรงแบบ 64
รูปที่ 4.10 แสดงการกักตัวของอากาศภายในโพรงแบบ 65
รูปที่ 4.11 แสดงค่าอัตราการเฉือนภายในโพรงแบบ 67
รูปที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ความเค้นเฉือนภายในโพรงแบบ 68
รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบการเติมของโพรงแบบ 70
รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบความดันของโพรงแบบ 72
รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของความดันภายในโพรงแบบ 74
รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเติม 76
รูปที่ 4.17 แสดงค่าความดันที่ใช้ในการอัดตัว 77
รูปที่ 4.18 แสดงเวลาที่ใช้ในการเติม 78
รูปที่ 4.19 แสดงเวลาที่คงอยู่ 79
รูปที่ 4.20 แสดงเวลาที่ใช้ในการเย็นตัว 80
รูปที่ 4.21 แสดงส่วนของแม่พิมพ์ที่จัดสร้างขึ้น 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของพอลิสไตรีนเกรด
MFR 2.8 และพอลิสไตรีน เกรด MFR 24.976 73
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าตัวแปรและสภาวะในการฉีดขึ้นรูป
ที่ได้จากการวิเคราะห์ 81
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่คำนวณ ค่าที่ได้จากการทดสอบจริง
และเปอร์เซ็นความแตกต่าง 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

ปัจจุบันการขึ้นรูปพลาสติกด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ได้นำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีขั้นตอนที่ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน และสามารถผลิตได้ในปริมาณที่มากเพราะมีการทำงานของเครื่องเป็นรอบการทำงาน (Cycle time) แต่ลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการฉีดขึ้นรูปซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญสองประการคือ สภาวะในการฉีดขึ้นรูป และการออกแบบแม่พิมพ์ในการฉีดขึ้นรูป เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุและวิธีการในการแก้ไขปรับปรุงการฉีดพลาสติกพบว่าการแก้ไขและปรับปรุงที่เหมาะสมที่สุดควรทำตั้งแต่ก่อนการจัดสร้างแม่พิมพ์

กระบวนการและขั้นตอนในการออกแบบแม่พิมพ์ที่สำคัญแบ่งออกเป็นขั้นตอนคือ การออกแบบผลิตภัณฑ์หรือชิ้นงานพลาสติก และการออกแบบแม่พิมพ์ โดยต้องทราบข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำมาประกอบร่วมในการออกแบบแม่พิมพ์ที่ดี เช่น การหดตัว (Shrinkage) การบิดงอ (Warpage) ความเค้นภายในชิ้นงาน (Internal stress) เป็นต้น ดังนั้นการทำฐานข้อมูลและการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมและให้ค่าที่ถูกต้องแน่นอน รวมทั้งช่วยในการออกแบบให้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยลักษณะของโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ประกอบด้วย CAD(Computer Aided Design) CAM (Computer Aided Manufacturing) และ CAE (Computer Aided Engineering) ซึ่งสามารถช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ที่ถูกต้องและมีคุณภาพที่ดี นอกจากนี้ยังสามารถหาสภาวะของกระบวนการที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง ได้แก่ความดันในการฉีด เวลาในการฉีด และความเร็วในการฉีด เป็นต้น โดยสามารถทำการจำลอง (Simulation) สภาวะของการฉีดจริง และลักษณะของชิ้นงานที่ได้

จากเหตุผล และวิธีการดังที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า การใช้คอมพิวเตอร์ร่วมในการออกแบบและจัดสร้างแบบแม่พิมพ์เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมต่อการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการออกแบบที่ถูกต้องตามทฤษฎีและหลักการ พร้อมทั้งทำการจัดสร้างแม่พิมพ์ตามที่ทำการออกแบบไว้ และเปรียบเทียบสภาวะในการฉีดตามที่คำนวณได้กับสภาวะในขณะทำการฉีดจริง เพื่อศึกษาถึงค่าความถูกต้องที่ได้จากการคำนวณ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง ในระดับอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ที่มาของโครงงานพิเศษ

ตลอดเวลาที่ผ่านมาได้มีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูป แก้ปัญหาในผลิตภัณฑ์ และการออกแบบแม่พิมพ์ที่ให้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสูง โดยมีการพัฒนาเริ่มจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะของกระบวนการ และคุณภาพของชิ้นงานเป็นเวลาที่นาน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมีความซับซ้อนของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรในกระบวนการและคุณภาพของการฉีดพลาสติกจึงเป็นสิ่งที่ยากในการกำหนดค่าสภาวะ สำหรับการศึกษาด้านการฉีดพลาสติกด้วยการศึกษาจากการทดสอบในการปฏิบัติการจริงในระหว่างช่วงปี 1960s-1970s ของ Robin I.I. [4] ได้ศึกษาหลักการต่าง ๆ ในการฉีดพลาสติกเป็นจำนวนมากกว่า 100 หัวข้อ โดยเพิ่มความรู้พื้นฐานที่สัมพันธ์เกี่ยวกับกระบวนการฉีด และคุณภาพของชิ้นงานเข้าไว้ด้วยกัน

แม้ว่ามีความพยายามกำหนดวิธีการเพื่อทำการปรับปรุงการออกแบบชิ้นงานพลาสติกด้วยทฤษฎีของเสียงพื้นฐานซึ่งขัดกับลักษณะทางธรรมชาติของพอลิเมอร์ที่เป็นนันนิวโตเนียน และการถ่ายเทความร้อนของการฉีดพลาสติก เนื่องจากมีความต้องการที่เพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์การฉีดที่มีคุณภาพที่ดีในช่วงปี 1970s จึงได้มีการเพิ่มความสนใจในการออกแบบจำลองคณิตศาสตร์ของกระบวนการขึ้นรูปในระหว่างนั้นได้มีผู้ริเริ่มศึกษาและตีพิมพ์หนังสือเป็นจำนวนมาก เช่น Barri I.T.[4],Brayer E.G.[4],Stevenson J.F.[4],Kamal M.R.[4] เป็นต้น โดยส่วนมากเน้นที่รูปร่างพื้นฐาน และเรื่องที่มีคนสนใจ เพื่อเสนอแนะให้คำปรึกษาไปยังวิศวกร

ในปี1974 บริษัท Moldflow® จำกัดได้เสนอโปรแกรมทางการค้าบนระบบคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมดังกล่าวใช้เพื่อศึกษา สภาวะในกระบวนการฉีดขึ้นรูป (อุณหภูมิของการหลอมเหลว อุณหภูมิของแม่พิมพ์ และ เวลาในการฉีด) และทำการสมดุลการไหลในชิ้นงานและระบบรูวิ่งถึง แม่ว่าจะเป็นที่ยอมรับแต่โปรแกรมดังกล่าวใช้งานได้ค่อนข้างยากเนื่องจากชิ้นงานต้องออกแบบให้มีรูปร่างแบนมาก (Low flat)

ต่อมามีการพิจารณาถึงความรู้เบื้องต้นของการใช้วิธีทางไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite element method) โดย Shen และ Hieber [4]หากว่ามีข้อดีที่เหมาะสมกับเทคนิคการวิเคราะห์การเติมเต็มในกระบวนการฉีดขึ้นรูปในปี 1983 Moldflow®จึงได้นำโปรแกรมการวิเคราะห์การไหลโดยใช้ไฟไนต์อิลิเมนต์ แบบรูปทรงระบบ 3 มิติ เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ได้สมบูรณ์จัดเป็นโปรแกรมแรกที่ให้การยอมรับและได้รับการพัฒนามาจนถึงปัจจุบันโดยผู้ออกแบบสามารถสร้างแบบจำลองของชิ้นงานที่ต้องการและแสดงการจำลองผลของแบบจำลองที่ได้โดยการประมาณขั้นตอนการเติมเพื่อหาค่าการหดตัวและการบิดงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการออกแบบผลิตภัณฑ์ และแบบแม่พิมพ์พลาสติกให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่ต้องการ โดยให้ได้รูปร่างที่เหมาะสมโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้าน CAD (Computer Aided Design) ในที่นี้ใช้ Pro Engineer®
2. เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของแม่พิมพ์ที่มีหลายโพรงต่อชิ้นงาน โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAE (Computer Aided Engineer) ในที่นี้ใช้ Moldflow® ทำการวิเคราะห์
3. เพื่อศึกษากระบวนการและการจัดสร้าง แบบแม่พิมพ์ในกระบวนการอุตสาหกรรม รวมทั้งอาศัยเทคนิคต่าง ๆ ด้วยเครื่อง CNC (Computer Numerical Control)
4. เพื่อทำการเปรียบเทียบสภาวะที่ใช้ในการทดลองจริงกับสภาวะที่ได้จากซอฟท์แวร์ทางคอมพิวเตอร์ และสภาวะที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี

1.3 . ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์และแม่พิมพ์พร้อมทั้งทำการออกแบบจริง
2. ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้านการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ และแม่พิมพ์พร้อมทั้งทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการ และการแก้ไขข้อบกพร่องให้ผลิตภัณฑ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น
3. ทำการจัดสร้างแม่พิมพ์ชนิดฉีดพลาสติก ตามกระบวนการขั้นตอนทางอุตสาหกรรมด้วยเครื่อง CNC (Computer Numerical Control)
4. ทำการทดลองฉีดแม่พิมพ์ที่จัดสร้างขึ้น เพื่อหาสภาวะที่ได้เปรียบเทียบความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Moldflow®

1.4. ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินการ

1.ศึกษาการใช้โปรแกรมด้าน CAD และทำการออกแบบจริง

1.1. ทำการศึกษาคู่มือการใช้โปรแกรมร่วมกับการทำแบบฝึกหัดในโปรแกรมเพื่อให้เกิดความชำนาญ

1.2. ทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ ช้อน และส้อม โดยได้รับการสนับสนุน และการปรึกษาจากสถาบันวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

1.3. ทำการแก้ไขแบบที่ได้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

1.4.ทำการวางชิ้นงาน และกำหนดตำแหน่งชิ้นงาน บนแบบขั้นพื้นฐานจำลอง (Simulated mold base)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.ทำการออกแบบแม่พิมพ์โดยประมาณเพื่อให้สามารถกำหนดขนาดของแบบขั้นพื้นฐานที่ต้องการ (Mold base)

2. ศึกษาการใช้โปรแกรมด้าน CAE และทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์จริง

2.1. ทำการศึกษาคู่มือการใช้โปรแกรมร่วมกับการทำแบบฝึกหัดในโปรแกรมเพื่อให้เกิดความชำนาญ

2.2. ทำการ IGES (Initial Graphic Exchange Specification) แบบที่สร้างไว้จากโปรแกรม CAD เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์

2.3. ทำการหาค่าสภาวะที่เหมาะสมของชิ้นงาน

2.4. ทำรูวิ่งให้สมดุล (Balance runner) เพื่อนำไปรวมกับชิ้นงานตามที่กำหนด

2.5. ทำการหาค่าสภาวะที่เหมาะสมของชิ้นงาน และรูวิ่งเพื่อนำมารวมกันและแก้ไขค่าให้ถูกต้อง

3. การจัดสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

3.1. นำแบบที่ออกแบบ และวิเคราะห์อย่างสมบูรณ์แล้วมากำหนดค่า G-CODE ให้แก่เครื่อง CNC

3.2. ทำการกัดชิ้นงานตามที่กำหนด เจาะช่องระบายน้ำ และประกอบส่วนประกอบต่าง ๆ ตามที่กำหนด

3.3. ทำการขัดตกแต่งแม่พิมพ์ให้ได้ตามต้องการ

4. การศึกษาเปรียบเทียบสภาวะของกระบวนการที่ได้จริงกับค่าที่ได้จากการวิคราะห์

4.1 ทำการหาค่าสภาวะของกระบวนการที่เหมาะสม (อุณหภูมิของการหลอมเหลว อุณหภูมิของแม่พิมพ์ และเวลาในการฉีด

4.2 ทำการเปรียบเทียบค่าทั้งสองและศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้ค่าที่ได้เบี่ยงเบน พร้อมทั้งสรุปถึงหลักการที่อธิบายได้ เพื่อนำไปวิจัยถึงอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีต่อการฉีดพลาสติก

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงหลักเกณฑ์ และการเขียนแบบด้วยโปรแกรม CAD ที่ถูกต้องในทางอุตสาหกรรม

2. ทราบถึงหลักการของการของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CAE (Moldflow®) และการนำค่าไปแก้ไข

3. ทราบถึงลำดับขั้นตอน และวิธีการจัดสร้างแบบการฉีดพลาสติกในระดับอุตสาหกรรม

4.ทราบถึงค่าการเปรียบเทียบและความแม่นยำ ความถูกต้องของค่าสภาวะของกระบวนการที่ได้จริงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

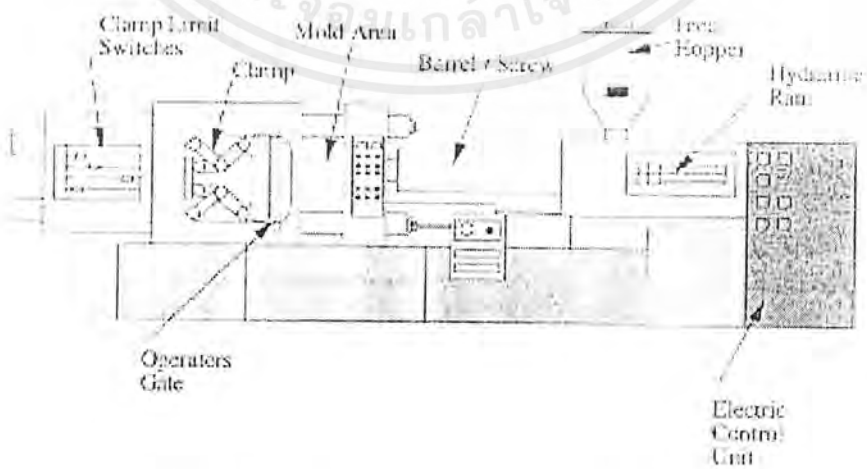
ทฤษฎีและหลักการ

1.Injection molding (การฉีดขึ้นรูป)

การฉีดขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกวัสดุหลอมเหลวจะถูกบังคับเข้าสู่แบบซึ่งถูกทำให้เย็นและแข็งตัวแม้ว่ากระบวนการฉีดขึ้นรูปจะดูง่ายแต่มีลำดับขั้นตอนที่ซับซ้อนระหว่างสภาวะของกระบวนการ รูปทรงของแบบ และสมบัติของวัสดุ การรวมกันของตัวแปรเหล่านี้อย่างเหมาะสมสามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

1.1 รอบการทำงานของการฉีดพลาสติก

ในทางปฏิบัติเม็ดพลาสติกจะถูกนำไปใส่ในฮอปเปอร์เมื่อสกรูหมุน เม็ดพลาสติกที่สัมผัสกับผนังของบาร์เรล จะหลอมเหลวเนื่องจากความร้อนจากส่วนให้ความร้อน และความร้อนจากแรงเสียดทานโดยสกรู เมื่อวัสดุหลอมเหลววัสดุจะถูกลำเลียงไปยังส่วนหน้าของสกรู ระหว่างนี้สกรูจะถอยกลับเพื่อสะสมของเหลวที่ปลายของบาร์เรล จากนั้น การฉีดจะเกิดขึ้นเมื่อสกรูหมุนไปข้างหน้า เช่นเดียวกับการดัน และการผลักของเหลวไปยังแบบ ความดันที่ต้องการจากการฉีดพลาสติกอาจสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ พื้นที่ของแบบที่สัมผัสกันของหลอมเหลวและการพยายามที่จะดันให้แบบเปิดโดยมี หน่วยที่จับ พยายามทำให้แบบปิดระหว่างการฉีดด้วยการคงแรงตรงกันข้ามแก่แบบ (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 การทำงานของการฉีดพลาสติก[4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

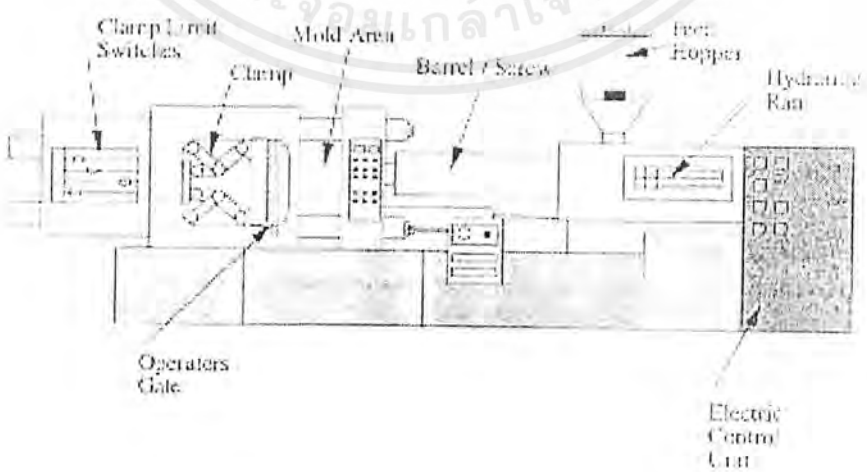
ทฤษฎีและหลักการ

1.Injection molding (การฉีดขึ้นรูป)

การฉีดขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกวัสดุหลอมเหลวจะถูกบังคับเข้าสู่แบบซึ่งถูกทำให้เย็นและแข็งตัวแม้ว่ากระบวนการฉีดขึ้นรูปจะดูง่ายแต่มีลำดับขั้นตอนที่ซับซ้อนระหว่างสภาวะของกระบวนการ รูปทรงของแบบ และสมบัติของวัสดุ การรวมกันของตัวแปรเหล่านี้อย่างเหมาะสมสามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

1.1 รอบการทำงานของการฉีดพลาสติก

ในทางปฏิบัติเม็ดพลาสติกจะถูกนำไปใส่ในฮอปเปอร์เมื่อสกรูหมุน เม็ดพลาสติกที่สัมผัสกับผนังของบาร์เรล จะหลอมเหลวเนื่องจากความร้อนจากส่วนให้ความร้อน และความร้อนจากแรงเสียดทานโดยสกรู เมื่อวัสดุหลอมเหลววัสดุจะถูกลำเลียงไปยังส่วนหน้าของสกรู ระหว่างนี้สกรูจะถอยกลับเพื่อสะสมของเหลวที่ปลายของบาร์เรล จากนั้น การฉีดจะเกิดขึ้นเมื่อสกรูหมุนไปข้างหน้า เช่นเดียวกับการดัน และการผลักของเหลวไปยังแบบ ความดันที่ต้องการจากการฉีดพลาสติกอาจสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ พื้นที่ของแบบที่สัมผัสกันของหลอมเหลวและการพยายามที่จะดันให้แบบเปิดโดยมี หน่วยที่จับ พยายามทำให้แบบปิดระหว่างการฉีดด้วยการคงแรงตรงกันข้ามแก่แบบ (รูปที่ 2.1)

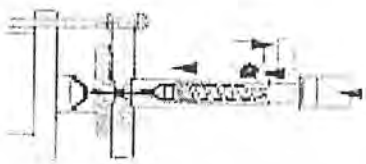


รูปที่ 2.1 การทำงานของการฉีดพลาสติก[4]

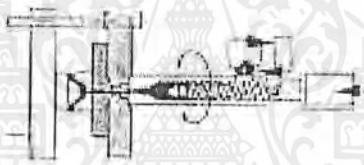
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบการฉีดเกิดขึ้นผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 2.2

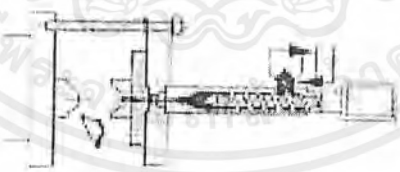
1. พลาสติกหลอมถูกฉีดเข้าแม่พิมพ์



2. คงความดันและป้อนพลาสติกเข้ากระบอกส่งพลาสติกหลอมเข้าเต็มแม่พิมพ์และชิ้นงานถูกหล่อเย็น



3. ปลดชิ้นงาน



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนของขบวนการฉีดพลาสติก[4]

ระบบการอัดแบบชนิดฉีดแบ่งออกเป็น 3 ระบบคือ 1) ระบบเครื่องจักร ซึ่งได้แก่หน่วยสร้างสภาพพลาสติก (Plasticating unit) หน่วยยึดแม่พิมพ์ (Clamping unit) และหน่วยควบคุม (Control unit) 2) แม่พิมพ์ และ 3) อุปกรณ์ช่วย ได้แก่ หุ่นยนต์ สายพาน เครื่องอบแห้ง ส่วนป้อนวัสดุ ตัวควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ เครื่องหล่อเย็น และระบบการจัดลำเลียงวัตถุดิบ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

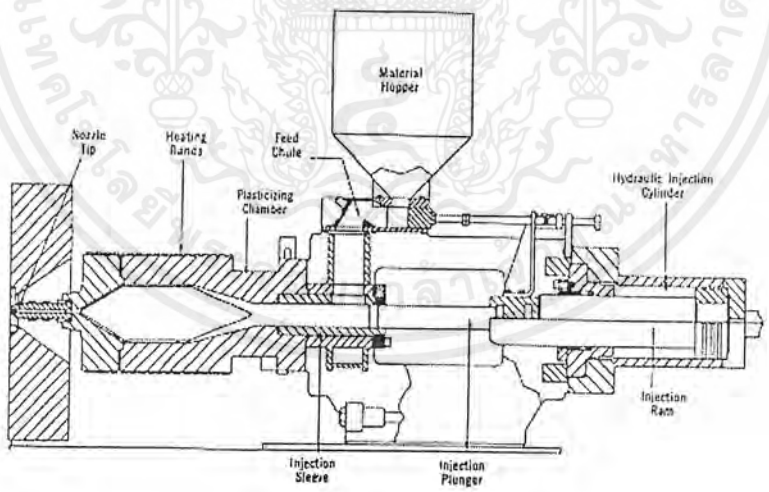
1.1 ระบบเครื่องจักร

1.1.1 หน่วยสร้างสภาพพลาสติก

ในหน่วยนี้จะทำหน้าที่ในการหลอมวัสดุพลาสติก นำพาวัสดุ ผสมวัสดุ และฉีดขึ้นรูป โดย จัดขั้นตอนของการหลอม การนำพา และ การผสมเป็นขั้นตอนที่ 1 และการฉีดขึ้นรูปเป็นขั้นตอน ที่ 2 หน่วยสร้างสภาพพลาสติกมีอยู่ด้วยกันหลายแบบคือแบบลูกสูบขั้นตอนเดียว (Single-stage plunger) แบบลูกสูบสองขั้นตอน (Two-stage plunger) แบบการตอบสนองด้วยสกรู (Reciprocating screw) และแบบผสมสองขั้นตอนระหว่างลูกสูบกับสกรู (Two-stage screw plunger) [1]

1.1.1.1 แบบลูกสูบขั้นตอนเดียว

หน่วยสร้างสภาพพลาสติกชนิดนี้ไม่มีการผสมเกิดขึ้น การหลอมเหลวเกิดจากการนำความร้อนที่มีอยู่ที่ผนังกระบอกใส่สกรู อุณหภูมิไม่สม่ำเสมอและใช้ระยะเวลานาน (รูปที่ 2.3) โดยมีหลักการดังนี้คือ วัสดุจะถูกป้อนและไหลไปตามทางเพื่อไปยังตอนหน้าของกระบอกสูบ จากนั้นกระบอกสูบสำหรับฉีดจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและบังคับให้วัสดุที่เย็นเข้าไปอยู่ในห้องสร้างสภาพพลาสติกซึ่งอยู่เหนือทอร์ปิโด (Torpedo) และผ่านไปยังปลายหัวฉีด (Nozzle tip) เข้าไปยังแม่พิมพ์ โดยอาศัยความร้อนที่ได้จากเครื่องทำความร้อนรอบนอกของกระบอกใส่ และนำความร้อนจากแถบความร้อนผ่านไปยังผนังทรงกระบอกไปยังตัวพลาสติก

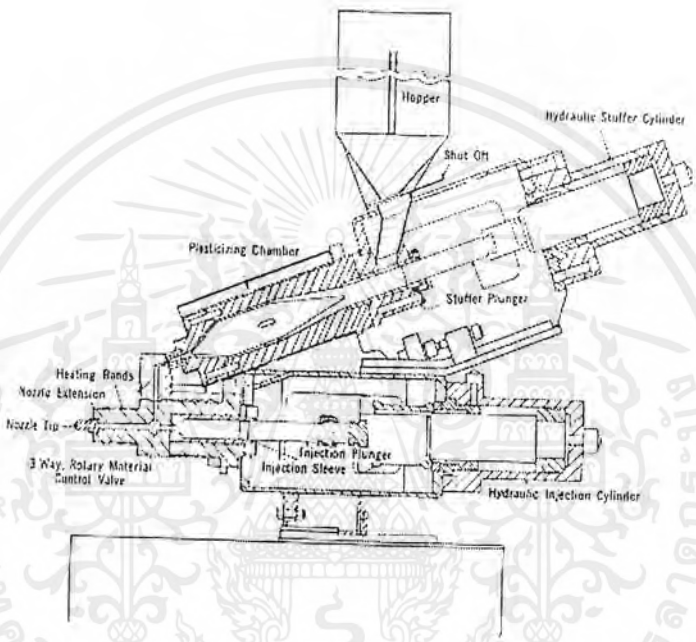


รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการฉีดของเครื่องจักรแบบลูกสูบขั้นตอนเดียว [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.1.2 แบบลูกสูบสองขั้นตอน

หน่วยสร้างสภาพพลาสติกแบบนี้จะใช้กระบอกสูบหนึ่งในการสร้างสภาพพลาสติกและกระบอกสูบอีกอันหนึ่งใช้ในการฉีด (รูปที่ 2.4 และ 2.5) หลักการของหน่วยสร้างสภาพพลาสติกนี้จะใช้กระบอกสูบหนึ่งซึ่งอยู่ทางส่วนบนของกระบอกสูบอีกอันหนึ่งโดยทำหน้าที่ที่แตกต่างกัน กระบอกสูบด้านบนจะสร้างสภาพพลาสติกและถูกผลักไปด้านหน้าของลูกสูบที่อยู่ในทรงกระบอกที่สองแล้วบังคับให้กลับไปในระยะทางที่กำหนดโดยสอดคล้องกับปริมาณของวัสดุหลอมเหลวร้อนที่จะฉีดครั้งต่อไป จากนั้นทรงกระบอกที่สองจะฉีดวัสดุเข้าไปยังแม่พิมพ์



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงหน่วยลูกสูบแบบสองขั้นตอน [1]

1.1.1.3 แบบการตอบสนองด้วยสกรู

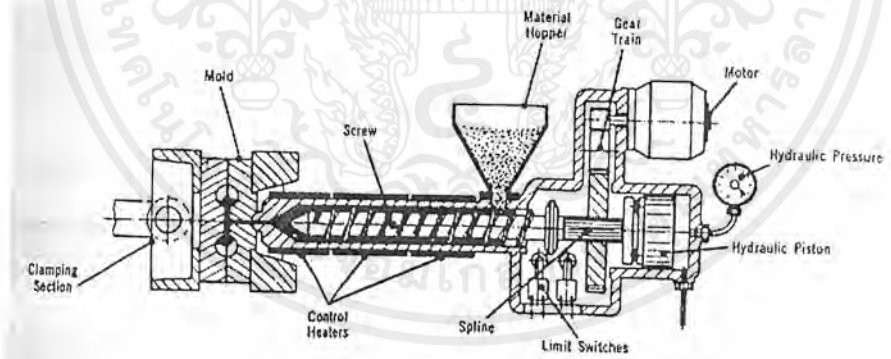
ในขณะที่สกรูหมุน (โดยมากจะอาศัยมอเตอร์ไฮดรอลิกช่วยในการหมุนมากกว่าที่จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบเกียร์) จะพาวัสดุจากหน่วยป้อนสารไป เมื่อผ่านสกรูเรซินจะถูกอัดตัว ไล่อากาศ หลอม และ ปั๊มผ่านวาล์วที่ไม่ให้เกิดการไหลย้อนกลับ (Non-return flow valve) ซึ่งติดอยู่ทางปลายของสกรู เมื่อวัสดุถูกปั๊มไปข้างหน้าของสกรู ส่วนของสกรูมอเตอร์ไฮดรอลิกและระบบขับเคลื่อนสกรูจะกลับทิศทาง นอกจากนี้พบว่าวาล์วนี้ยังทำให้ลูกสูบและแท่งกระบอกสูบไฮดรอลิกเคลื่อนที่ไปในการฉีดได้ด้วย โดยอาศัยการไหลของน้ำมันทางด้านหลังของกระบอกสูบเข้าไปยังแท้งค์ผ่านวาล์วต้านทานชนิดต่าง ๆ (Variable resistance valve) ที่เรียกว่า วาล์วความดันกลับ (Back pressure valve) การเพิ่มความต้านทานนี้จะต้องอาศัยความดันสูงจากปั๊ม ทำให้เกิดการผสมที่ดีแต่รอบการทำงานช้าลงและมีการใช้พลังงานมากขึ้น ในขณะที่สกรูหมุนมาจนกระทั่งถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่กำหนดไว้จะหยุดหมุนและฉีดวัสดุที่หลอมเหลวที่อยู่ข้างหน้าสกรูเข้าไปยังแม่พิมพ์ภายในช่วงเวลาที่เหมาะสมโดยใช้กระบอกฉีดแบบไฮดรอลิก โดยที่อนุภาคแรกของวัสดุที่ใช้จะผ่านเข้าเต็มเฟืองสกรูเมื่อสกรูเคลื่อนที่ต่อไปอนุภาคจะเคลื่อนที่ผ่านความยาวของสกรูที่กำลังลดลง ลักษณะของสกรูแบบการตอบสนองนี้จะช่วยจำกัดปริมาณของวัสดุที่สามารถสร้างสภาพพลาสติกได้ (รูปที่ 2.4)

1.1.1.4 แบบผสมสองขั้นตอนระหว่างลูกสูบกับสกรู

หน่วยสร้างสภาพพลาสติกแบบนี้แสดงในรูปที่ 2.4 วัสดุจะไหลผ่านตลอดความยาวของสกรูผ่านวาล์วหมุน (Rotary valve) เข้าไปห้องฉีดหรือห้องยิง ลูกสูบแบบฉีดจะถูกบังคับกลับมาที่จุดกำหนดซึ่งเป็นเวลาที่สกรูหยุดหมุน จากนั้นวาล์วปิดแบบหมุน (Rotary shut Koff valve) จะหมุนเพื่อให้วัสดุถูกฉีดเข้าไปยังแม่พิมพ์ เมื่อกระบอกสูบแบบฉีดขึ้นหน้า โดยประโยชน์หลักของแบบผสมสองขั้นตอนนี้เพื่อให้วัสดุไหลผ่านตลอดความยาวของสกรูและมีเวลาผสมเพิ่มขึ้นในขณะที่ผ่านวาล์วหมุน นอกจากนี้ยังผลักวัสดุให้เข้าไปยังลูกสูบโดยตรงมากกว่าจะใช้วาล์วตรวจสอบ (Check valve) ที่อยู่ตรงปลายของสกรูทำให้เกิดการควบคุมการฉีดได้ดี แบบผสมสองขั้นตอนนี้แบ่งออกเป็นแบบสกรูกับลูกสูบคงที่ซึ่งนิยมใช้ในการผลิตชิ้นงานขนาดใหญ่และแบบการตอบสนองด้วย สกรูกับลูกสูบ



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงหน่วยของการตอบสนองด้วยสกรู [1]

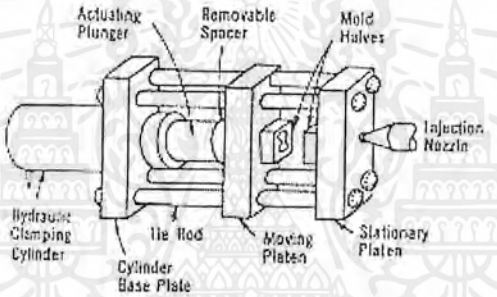
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2 หน่วยยึดแม่พิมพ์

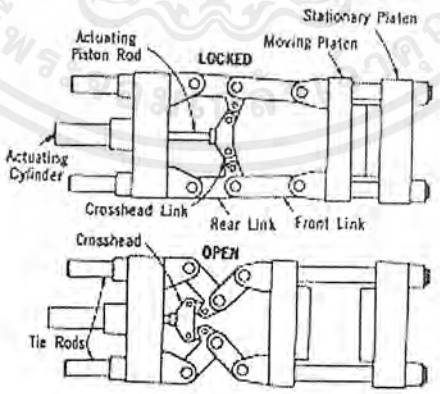
ในหน่วยนี้จะทำหน้าที่เปิดและปิดแม่พิมพ์ ช่วยพยุงตัวแม่พิมพ์ ช่วยกระตุ้นระบบการปลดชิ้นงานของแม่พิมพ์ ช่วยให้แม่พิมพ์ปิดในระหว่างที่มีการฉีดและช่วยตระเตรียมระบบป้องกันเมื่อแม่พิมพ์ปิดเพราะแม่พิมพ์อาจจะเกิดความเสียหายได้ในระหว่างที่มีการปิดแม่พิมพ์

1.1.2.1 ชนิดของหน่วยยึดแม่พิมพ์

หน่วยยึดแม่พิมพ์มีอยู่ 3 ชนิดได้แก่ ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic system) ระบบข้อศอก (Toggle system) และระบบผสมระหว่างไฮดรอลิก และระบบข้อศอก ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ในระบบแบบผสมจะใช้กลไกของระบบข้อศอกเพื่อปิดแม่พิมพ์ด้วยความดันต่ำและใช้ระบบไฮดรอลิก เพื่อให้ลูกสูบเคลื่อนที่ได้เร็วด้วยจังหวะที่สั้น (Short stroke) เพื่อควบคุมความดันสุดท้ายของแรงที่ใช้ในการยึดแม่พิมพ์เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายโดยเฉพาะสำหรับแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่



ก. ระบบไฮดรอลิก



ข. ระบบข้อศอก

รูปที่ 2.6 ระบบของหน่วยยึดแม่พิมพ์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.3 หน่วยควบคุม

1.1.3.1 ประโยชน์ของหน่วยควบคุม

การที่ต้องมีหน่วยควบคุมก็เพื่อปรับปรุงขนาดที่ได้จากการฉีดในแต่ละครั้ง กำจัดข้อบกพร่องที่เกิดจากการนำวัสดุบริสุทธิ์หรือวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ ควบคุมน้ำหนักและความหนาแน่นให้อยู่ในช่วงขีดจำกัด (Tolerance) เพิ่มความสามารถของเครื่องจักรโดยลดรอบเวลาการทำงาน (Cycle time) เพิ่มกำลังความสามารถในการพิจารณาวัสดุที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (Off specification material) ช่วยลดการตั้งเวลาเมื่อใช้แม่พิมพ์ใหม่ ช่วยลดเวลาในการทำให้เครื่องจักรเกิดความเสถียร ในช่วงเริ่มต้นช่วยลดเศษวัสดุและวัสดุที่ไม่ยอมรับ ช่วยลดงานของผู้ปฏิบัติในเรื่องการปรับเปลี่ยนวัสดุหรือสภาวะการทำงาน สามารถตรวจสอบความผิดปกติของวาล์วต้านทานการไหล (Anti-back flow valve) ความผิดปกติของโพรงแบบหรือทางเข้าที่มีส่วนอุดตันอยู่ สามารถใช้ระบบเก็บข้อมูลและการควบคุมทางสถิติ (Data acquisition and statistical process control) สามารถควบคุมตรวจสอบผลิตผลที่ได้มาและสามารถจัดแยกชิ้นงานได้โดยอัตโนมัติ

1.2 ชนิดของแม่พิมพ์

แม่พิมพ์แบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ในที่นี่ขอแยกออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ แม่พิมพ์ที่มีระบบรูวิ่งแบบเย็น (Cold runner molds) แม่พิมพ์ที่ไม่มีระบบรูวิ่ง (Runnerless molds) และแม่พิมพ์แบบเรียงซ้อน (Stacked molds)

1.2.1 แม่พิมพ์ที่มีระบบรูวิ่งแบบเย็น

แม่พิมพ์ชนิดนี้แบ่งออกเป็นแม่พิมพ์แบบแผ่นโลหะสองแผ่น (Two-plate mold) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ก. และแม่พิมพ์แบบแผ่นโลหะสามแผ่น (Three-plate mold) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ข.

แม่พิมพ์แบบแผ่นโลหะสองแผ่น นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากกว่าแบบแผ่นโลหะสามแผ่น โดยมีลักษณะดังนี้คือ 1) การแยกส่วนของรูวิ่งออกจากชิ้นงานทำได้โดยทางกายภาพ 2) มีเศษพลาสติกเหลือ (มาจากรูวิ่ง) และ 3) สามารถควบคุมกระบวนการทำแบบได้ดีที่สุดทั้งนี้โดยอาศัยการวิเคราะห์การไหลโดยการใช้โปรแกรม โมลด์โฟว์ (Moldflow®) ส่วนลักษณะที่เด่นของ**แม่พิมพ์แบบแผ่นโลหะสามแผ่น** คือ 1) รูวิ่งและชิ้นงานที่ได้สามารถแยกออกจากกันได้โดยอัตโนมัติ แต่ว่า 2) มีขีดจำกัดในเรื่องของวัสดุที่นำมาใช้ และการออกแบบลักษณะของชิ้นงาน นอกจากนี้แผ่นโลหะแผ่นที่สามหรือบางครั้งเรียกว่า แผ่นลอย (Floating plate) จะอยู่ระหว่างแผ่นโลหะยึดตอนบนสุดและแผ่นโลหะพุงโพรงแบบ โดยวัสดุจะไหลจากส่วนของหัวฉีดผ่านไปยังทางฉีดหลัก (Primary sprue) เข้าไปยังระบบรูวิ่ง (Runner system) ผ่านทางฉีดรอง (Secondary sprue) และเข้าโพรงแบบ (Cavity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

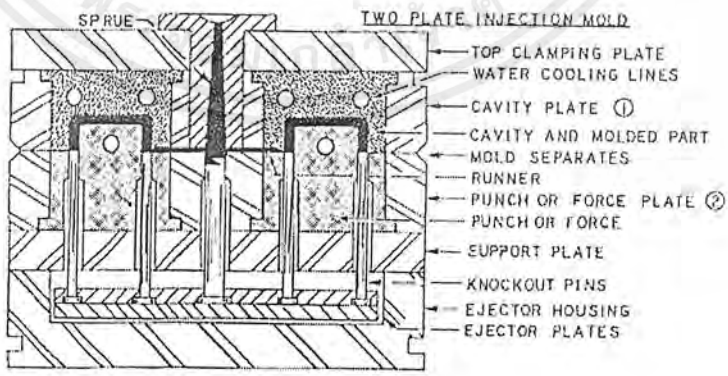
1.2.2 แม่พิมพ์ที่ไม่มีระบบรูวิ่ง

แม่พิมพ์ชนิดนี้แบ่งออกเป็นแบบรูวิ่งร้อน (Hot runner) รูวิ่งฉนวน (Insulated runner) และรูวิ่งฉนวนที่ได้ปรับปรุงแล้ว (Modified insulated runner หรือ Hot manifold runner)

แม่พิมพ์แบบรูวิ่งร้อน เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ วัสดุหลอมเหลวสามารถเติมเข้าโพรงแบบได้อย่างสม่ำเสมอและรวดเร็วโดยอาศัยส่วนของบล็อครูวิ่งร้อน (Hot runner block) ที่ตั้งอยู่ใกล้ส่วนป้อนทางฉีดเข้าโพรงแบบและมีส่วนของหมุด (Pin) อยู่ทางตอนปลายของรูวิ่งร้อนทำมุมประมาณ 30 องศา เพื่อทำให้เกิดการเบี่ยงเบนทางการไหลของวัสดุเข้าไปยังทางฉีด แม่พิมพ์แบบรูวิ่งร้อนนี้มีประโยชน์ตรงที่ไม่มีเศษวัสดุเหลืออยู่ และไม่ต้องมีการตกแต่งเพิ่มเติม แต่มีขีดจำกัดในเรื่องที่แม่พิมพ์มีราคาแพง ชิ้นงานที่ได้ในแต่ละโพรงแบบอาจมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ ทำได้ยาก มีขีดจำกัดในเรื่องวัสดุที่ใช้และทำให้รอบการทำงานต่ำลง (รูปที่ 2.8 ก.)

แม่พิมพ์แบบรูวิ่งฉนวน มีผิวของวัสดุอยู่ด้านนอกรูวิ่งทำหน้าที่เหมือนเป็นฉนวนให้วัสดุหลอมเหลวไหลผ่าน ใช้พลังงานน้อยไม่ต้องอาศัยความร้อนหลายต่อ (Heated manifold) สามารถเปลี่ยนวัสดุได้ง่าย แต่จะทำได้ยากมากถ้าไม่มีเครื่องตรวจวัดความร้อน (Heater probes) เมื่อเริ่มรอบการทำงานทำให้หยุดได้ยาก และ มีขีดจำกัดในเรื่องของวัสดุที่จะใช้ คือจะต้องเป็นวัสดุที่ไม่ว่องไวต่อความร้อน (รูปที่ 2.8 ข)

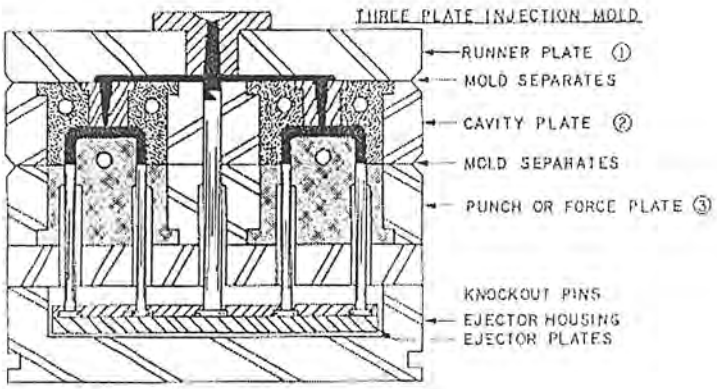
แม่พิมพ์แบบรูวิ่งฉนวนที่ได้ปรับปรุงแล้ว จากขีดจำกัดในเรื่องของการตรวจวัดความร้อนของแม่พิมพ์แบบรูวิ่งฉนวน จึงมีการดัดแปลงมาใช้ความร้อนหลายต่อและมีเครื่องตรวจวัดความร้อน (รูปที่ 2.8 ค.) โดยทำส่วนของแมนิโฟล์ดายน์ร้อน (Hot manifold die) ส่วนของรูวิ่งและส่วนที่ไม่ใช่แผ่นโลหะของรูวิ่งให้ร้อนขึ้น โดยใช้เครื่องตรวจแบบกระแสไฟฟ้าสอดอยู่ในส่วนของทางฉีด รูวิ่ง และ ทางเข้า



ก.แบบแผ่นโลหะสองแผ่น

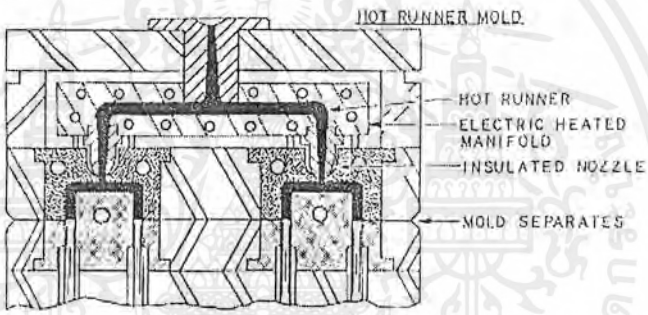
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

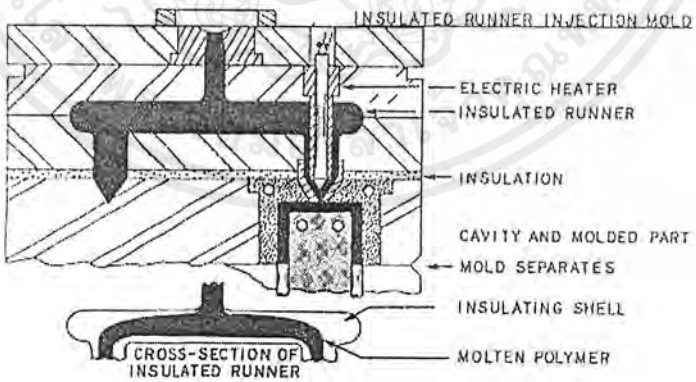


ข. แบบแผ่นโลหะสามแผ่น

รูปที่ 2.7 แม่พิมพ์ที่ระบบที่มีระบบรูวิ่งแบบเย็น[2,3]

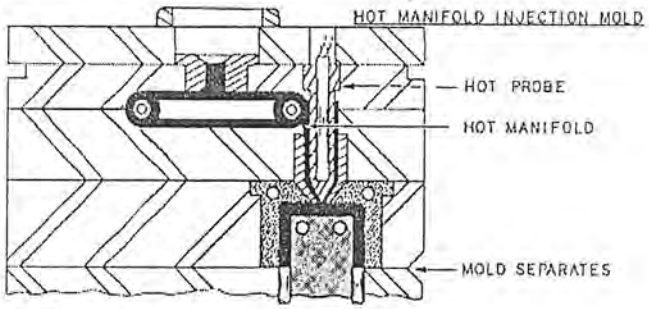


ก.แม่พิมพ์แบบรูวิ่งร้อน



ข. แม่พิมพ์ทางแบบวิ่งฉนวน

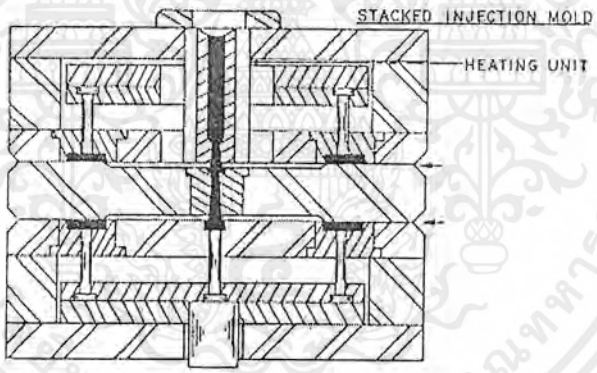
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค. แม่พิมพ์แบบรูวิ่งฉนวนที่ได้ปรับปรุงแล้ว

รูปที่ 2.8 แม่พิมพ์ที่ไม่มีระบบรูวิ่ง [2, 3]

1.2.3 แม่พิมพ์แบบเรียงซ้อน จัดเป็นแม่พิมพ์ที่มีแผ่นโลหะวางซ้อนทับกันหลาย ๆ ชั้น (รูปที่2.9) ซึ่งอาจใช้ได้กับแม่พิมพ์แบบแผ่นโลหะสามแผ่น แบบรูวิ่งร้อนและแบบรูวิ่งฉนวน การวางซ้อนแม่พิมพ์เป็นแบบ 2 ชั้นทำให้ผลิตผลที่ได้เป็นสองเท่าโดยใช้แรงยึดแม่พิมพ์ (Clamping force) เท่าเดิม ด้วยเหตุนี้จึงมีผู้นิยมวางซ้อนแม่พิมพ์มากกว่า 2 ชั้นขึ้นไป



รูปที่ 2.9 แม่พิมพ์แบบเรียงซ้อน [2,3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โปรแกรม CAD และ CAM

ในปัจจุบันได้นำคอมพิวเตอร์มาช่วยเพิ่มผลผลิต เช่นการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบ (Computer aided design) หรือ CAD และการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการผลิต (Computer aided manufacturing) หรือ CAM

องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ (CAD) ประกอบด้วย

1. ข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบ (Design tool)
2. การสร้างรูปทรงเรขาคณิต (Geometric modeling)
3. เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ (Computer graphics)

องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการผลิต (CAM) ประกอบด้วย

1. คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD)
2. ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต (Manufacturing tools)
3. การเชื่อมต่อระบบเครือข่าย (Network)

การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบ (CAD) นั้นได้เข้ามามีบทบาทแทนการเขียนแบบด้วยมือทั้งนี้เนื่องจากสามารถแก้ไขข้อบกพร่องอันเกิดจากการเขียนแบบด้วยมือได้หลายประการ เช่นลดเวลาในการออกแบบ เขียนแบบ การแก้ไขหรือการดัดแปลงทำได้ง่าย สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการผลิต ตลอดจนช่วยในการคำนวณหรือการวิเคราะห์ต่าง ๆ ทำได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำสูง

2.1.จุดมุ่งหมายของการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบ

1.เพื่อเพิ่มผลผลิต โดยลดขั้นตอนการทำงานให้กับผู้ออกแบบซึ่งการออกแบบระบบเดิมนั้นจะเริ่มจากการคิดหรือจินตนาการต้นแบบการทดลองออกแบบการวิเคราะห์แบบจนกระทั่งเขียนแบบสั่งงานซึ่งแต่ละขั้นตอนนั้นต้องใช้เวลามาก การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยจะช่วยลดเวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอนลง

2.การเพิ่มคุณภาพของงาน การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบนั้นเราสามารถที่จะวิเคราะห์แบบหรือคำนวณ ทำให้การออกแบบมีความถูกต้องและแม่นยำ

3.ลดปัญหาและข้อผิดพลาด เนื่องจากการใช้คอมพิวเตอร์นั้นเราสามารถมองเห็นภาพที่ชัดเจน เช่น ขนาด รูปลักษณะ ขณะที่ออกแบบสามารถแก้ไขหรือจัดมุมมองภาพในลักษณะต่าง ๆ ได้

4.ใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับงานอุตสาหกรรม ข้อมูลหรือแบบงานที่ออกแบบด้วยระบบ CAD นั้นสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนการผลิต และใช้เป็นฐานข้อมูลในการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยผลิต (CAM) การส่งข้อมูลจากกระบวนการของ CAD ไป CAM ก็สามารถทำได้ง่ายโดยไม่ต้องสร้างฐานข้อมูลใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.กระบวนการออกแบบด้วย CAD (CAD Process)

CAD นอกจากจะเป็นการใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบแล้ว CAD ยังรวมถึงการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการดัดแปลง การวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุด ซอฟต์แวร์ CAD จะเป็นโปรแกรมสำหรับการสร้างภาพรวมและช่วยสนับสนุนอื่น ๆ เช่น การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง (FEA) การสร้างภาพโดยระบบ CAD จะอาศัยการสร้างภาพจากรูปทรงเรขาคณิต เช่น เส้นตรง วงกลม และอื่น ๆ เป็นต้น

การนำระบบ CAD มาใช้สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

1.การออกแบบรูปทรงเรขาคณิต (Geometric modeling)

2.การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม (Engineering analysis)

3.การตรวจและประเมินผล (Design review & evaluation)

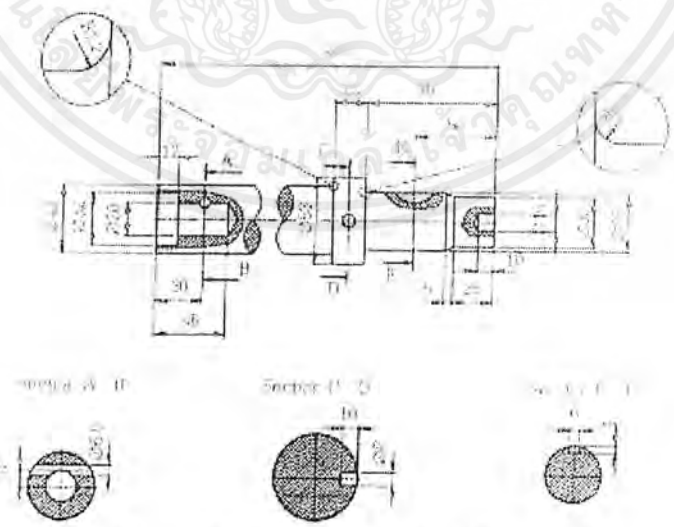
4.การเขียนแบบโดยอัตโนมัติ (Automated drafting)

2.2.1 การออกแบบรูปทรงเรขาคณิต

การออกแบบรูปทรงเรขาคณิต โดยทั่วไปแล้วจะเป็นการจัดการเกี่ยวกับสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้แทนรูปทรงนั้น ๆ โดยชุดคำสั่งของโปรแกรม CAD จะมีอยู่ 3 ลักษณะคือ

1. ชุดคำสั่งเกี่ยวกับการสร้างรูปทรงเรขาคณิต เช่น เส้นตรง วงกลม และอื่น ๆ เป็นต้น
2. ชุดคำสั่งเกี่ยวกับการจัดรูปทรง เช่น การหมุน การปรับขนาด การเปลี่ยนตำแหน่ง
3. ชุดคำสั่งการเชื่อมโยงส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

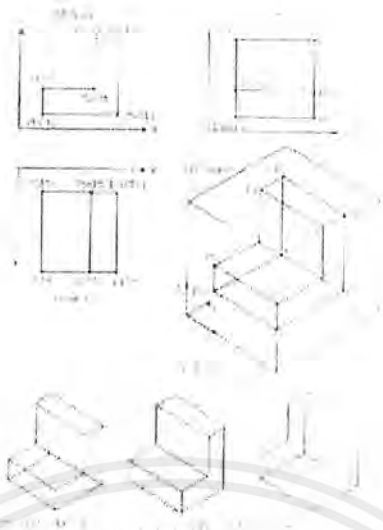
การสร้างรูปทรงเรขาคณิตในโปรแกรม CAD แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ การเขียนภาพ 2 มิติ (รูปที่ 2.10) และการเขียนภาพ 3 มิติ (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเขียนรูป 2 มิติ[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

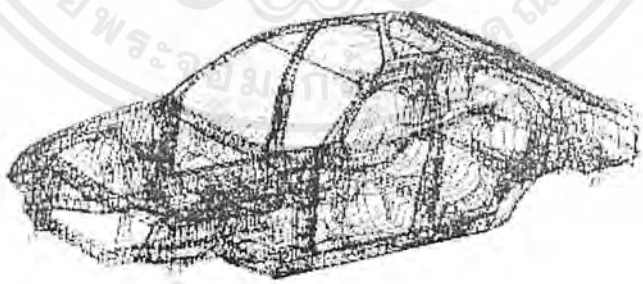
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการเขียนรูป 3 มิติ[10]

2.2.2 การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

ในการออกแบบทางวิศวกรรมต้องมีบางส่วนที่ต้องมีการวิเคราะห์อย่างละเอียด เช่น การคำนวณหาความเค้น ความเครียดและ การคำนวณเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน ซึ่งงานเหล่านี้คอมพิวเตอร์สามารถช่วยได้ โดยการวิเคราะห์ส่วนมากทำได้ใน 2 ลักษณะคือ การวิเคราะห์ทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุ เช่น พื้นที่ ปริมาตร น้ำหนัก และการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุเมื่อมีแรงหรือความร้อนมากระทำซึ่งเป็นเทคนิคที่เรียกว่า Finite Elements Analysis (FEA) ซึ่งทำได้โดยการแบ่งส่วนของวัสดุที่ต้องการที่จะศึกษาออกเป็นส่วนย่อย ๆ จากนั้นจึงวิเคราะห์จุดย่อย ๆ เหล่านั้นโดยอาจพิจารณาแรงที่มากระทำแล้วดูผลที่เกิดขึ้น (Stress-Strain) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์แบบ Finite Elements Analysis (FEA) ของรถยนต์[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
37651

2.2.3 การตรวจและประเมินผล

เป็นขั้นตอนตรวจความถูกต้องของแบบ เช่นขนาด หน่วยการวัดโดยในโปรแกรม CAD นั้น สามารถจำลองการทำงานหรือจำลองการประกอบกันของชิ้นส่วนเพื่อให้มองเห็นภาพพจน์ได้ดียิ่งขึ้น

2.2.4 การเขียนแบบโดยอัตโนมัติ

ในขั้นตอนการเขียนแบบสั่งงานนั้นประกอบด้วย

1.แบบแยกชิ้นและประกอบภาพ

2.รายละเอียดของแบบสั่งงาน เช่น ขนาด พิกัดความเผื่อ หรือมาตราฐานต่าง ๆ

3.รายละเอียดเกี่ยงกับชื่อชิ้นส่วนของวัสดุ

2.3 ชนิดของโปรแกรม CAD-CAM

สามารถแบ่งชนิดของโปรแกรม CAD-CAM ออกเป็น 3 กลุ่มคือ

1.ฐานข้อมูล (Application data) ใช้เป็นที่เก็บข้อมูล เช่นภาพของต้นแบบ

2.โปรแกรมด้านกราฟิก (Graphics system) ทำหน้าที่สร้างภาพต้นแบบและเชื่อมโยงระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรมประยุกต์ใช้งาน

3.โปรแกรมประยุกต์ใช้งาน (Application program) ทำหน้าที่เก็บหรือดึงข้อมูลออกมาใช้งาน

2.4 มาตราฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูล (Data Exchange Standard)

การที่จะทำให้ระบบ CAD/CAM สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโปรแกรมแต่ละระบบ การแลกเปลี่ยนข้อมูลในระบบ CAD โดยใช้มาตราฐาน IGES (Initial Graphics Exchange Specification) นั้นจะแบ่งชั้นข้อมูลออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

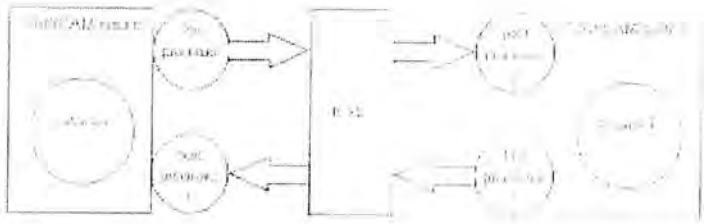
1.ข้อมูลเกี่ยวกับรูปทรงเรขาคณิต เช่นจุด เส้นตรง เส้นโค้งและ FEA nodes เป็นต้น

2.ข้อมูลเกี่ยวกับการอธิบายประกอบ (Annotation) เช่น ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง และหัวลูกศร เป็นต้น

3.ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง (Structure) เช่น กลุ่มของรูปทรงเรขาคณิต เป็นต้น

สำหรับขั้นตอนการเปลี่ยนข้อมูลนั้นจะเริ่มจากการส่งข้อมูลจาก CAD ระบบที่ 1 มาที่ IGES เพื่อสร้างหรือเตรียมข้อมูลในรูปของข้อมูลกลาง (Neutral data) ซึ่งเรียกส่วนนี้ว่า Preprocessor หลังจากที่สร้างข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว (IGES-File) จากนั้นส่งข้อมูล (IGES-File) ไปยัง CAD อีกระบบหนึ่ง เพื่อทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลให้เป็นไปตามที่กำหนดของระบบ CAD นั้น ๆ โดยเรียกส่วนนี้ว่า Postprocessor ดังแสดงในรูปที่ 2.13

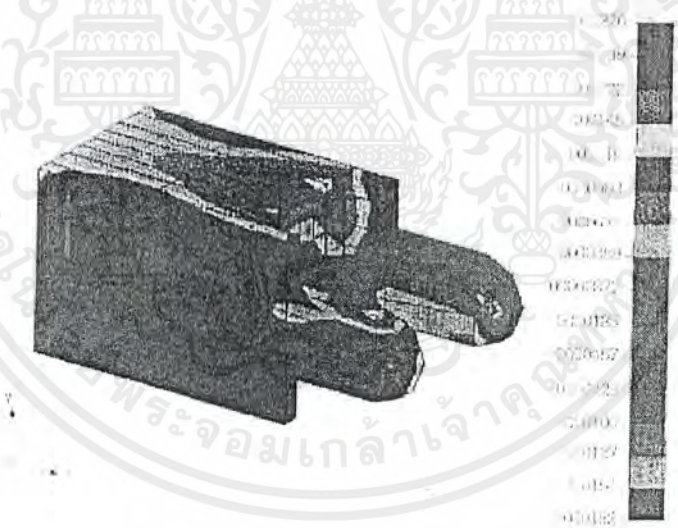
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การแลกเปลี่ยนข้อมูลระบบ CAD โดยมาตราฐาน IGES[10]

2.5.ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับ Finite elements analysis (FEA)

การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธี FEA จะใช้วิธีแบ่งชิ้นงานออกเป็นส่วนย่อย ๆ เรียกว่า Node ซึ่งแต่ละ Node จะมีเส้นเชื่องโยงซึ่งกันและกันเป็น Element แบบต่าง ๆ (Typical element) และในแต่ละ element จะเชื่อมโยงกันและกันจนกระทั่งเป็นโครงสร้างของชิ้นงาน (Element mesh) ดังแสดงในรูปที่ 2.14



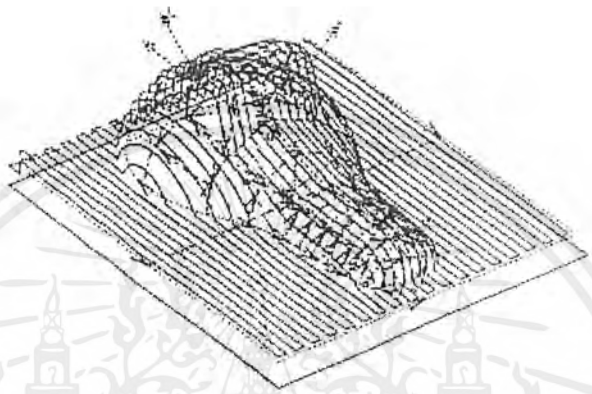
รูปที่ 2.14 การแบ่ง Finite element ของชิ้นงาน[10]

เทคนิคของ FEA เป็นที่ทราบกันมาอย่างช้านาน แต่ก็ไม่ได้มีการนำมาใช้เนื่องจากมีความยุ่งยากในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ จนกระทั่งได้มีการพัฒนาขีดความสามารถของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์มาใช้สำหรับงาน CAD/CAM จึงได้มีการนำเทคนิค FEA มาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่นการวิเคราะห์ต้นแบบของรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM)

คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) เป็นเครื่องมือทางวิศวกรรมที่ใช้สำหรับสร้างทางเดินของเครื่องมือตัดที่ควบคุมด้วยเครื่องจักร CNC (Computer Numerical Control) โดยการสร้างโปรแกรม NC (Numerical Control) นั้นจะอาศัยรูปทรงเรขาคณิตจากโปรแกรมช่วยออกแบบ (CAD) ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงทางเดินของ Tool ในโปรแกรม Smart CAM[10]

ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังนี้

1. โปรแกรม NC (NC program) เป็นการสร้างตำแหน่งของเครื่องมือตัด (Tool path) ในการเดินตัดบนเครื่องจักร CNC โดยสามารถตรวจสอบทางเดินของเครื่องมือตัดว่าถูกต้องหรือไม่
2. Postprocessor ทำหน้าที่เปลี่ยนแฟ้มภาษา APT ไปเป็นภาษาเฉพาะเครื่อง CNC
3. Reverse Engineering เป็นวิธีการใช้เครื่องมือวัดจุดโคออร์ดิเนตแล้วส่งข้อมูลไปยัง CAD เพื่อสร้างพื้นผิวของชิ้นงาน

2.7 โปรแกรม Pro Engineer เป็นโปรแกรมด้าน Computer Aided Design (CAD) ที่พัฒนาขึ้นมาจากการเขียนแบบด้วยโปรแกรม C^{++} แทนการใช้โปรแกรม FORTAN ทำให้ความเร็วและการพัฒนาโปรแกรมสามารถทำได้ง่ายและสะดวกกว่า อีกทั้งการใช้งานสามารถใช้ได้ง่ายโดยโปรแกรม Pro Engineer ลักษณะเด่นที่สำคัญกว่าโปรแกรมอื่น 5 ประการ คือ

1.ทำงาน บนพื้นฐานงานทางวิศวกรรม คือ งานเจาะ งานกลึง งานตะไบ งานขัด งานเจียร และงานไส โดยทำการพัฒนาจากโปรแกรม C^{++} (Object orented)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ทำงานในลักษณะของการประกอบชิ้นงานขนาดใหญ่ คือ เมื่อมีการนำชิ้นงานมารวมกัน จะมีขนาดของไฟล์ที่เล็กลงกว่าค่าของขนาดไฟล์ทั้งหมดที่นำมาประกอบ

3.ทำงานในลักษณะที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเพียงค่าเดียว มีการเชื่อมโยงข้อมูลแบบเป็นวงรอบ(Cycle) ไม่ใช่แบบ Pararell มีการใช้ข้อมูลร่วมกัน

4.ใช้เทคโนโลยี พาราเมกเนติก คือมีการนำค่าตัวแปร (Parameter) มาควบคุมขนาดของชิ้นงาน ทำให้สามารถเปลี่ยนขนาดชิ้นงานได้ตามต้องการ

5.มีการใช้งานที่ง่าย (Easy to Use)

3.การออกแบบและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Moldflow® การวิเคราะห์โพรงแบบ (Cavity) และองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดสร้างแม่พิมพ์ (Mold) การขึ้นรูปด้วยการฉีด (Injection molding) สามารถวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมด้าน CAE ในงานวิจัยได้ใช้ โปรแกรม Moldflow®ซึ่งเป็นโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ใช้ในการทำนายการไหลของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกภายในแบบพิมพ์ (Mold) โดยมีลักษณะดังนี้

1 . การออกแบบ (Molding) การแปลข้อมูล (Translation) การแก้ไข (Editing) และการเมชชิ่ง (Meshing) เป็นแบบสามมิติ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเติม (Filling analysis)

2 . จัดเป็นสภาวะของการขึ้นรูป สำหรับวัตถุแต่ละชนิด

3 . สามารถทำนายการวิเคราะห์การเติม

4 . สามารถทำนายการวิเคราะห์การอัดตัว

5 . สามารถทำรูวิ่งให้สมดุลได้โดยอัตโนมัติ

3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการออกแบบและการวิเคราะห์

1. การสร้างแบบ 3 มิติ เนื่องจากการวิเคราะห์การไหลเป็นการวิเคราะห์ชนิด Surface mesh แบบ 3 มิติสามารถถูกถ่ายโอนจาก โปรแกรมด้าน CAD (Computer Aided Design) หรือจากการออกแบบโดยใช้ MFVIEW ที่อยู่ในโปรแกรม

2. การหาค่าสภาวะการขึ้นรูปสามารถทำนายการวิเคราะห์ในเบื้องต้น ของสภาวะการขึ้นรูป (อุณหภูมิของแม่พิมพ์ อุณหภูมิของการหลอมเหลว และเวลาในการฉีดหรืออัตราการไหล) ซึ่งสามารถหาได้จากการวิเคราะห์รูวิ่ง

3. การไหลที่สมดุลของโพรงแบบ:โพรงแบบมีการไหลที่สมดุลเมื่อเส้นทางการไหลที่เวลาเดียวกันมีค่าความดันที่เท่ากัน (ความดันสูงสุดที่ใช้และการสมดุลของรูวิ่งที่เป็นไปได้)

4. ระบบการไหลที่สมดุลของรูวิ่ง การทำให้โพรงแบบเหมือนกันทั้งหมดด้วยการทำสมดุลความดันเฉพาะ (ความดันที่สมดุลโดยทั่วไปกำหนดให้มีค่าสูงกว่าความดันสูงสุดของโพรงแบบ ดังนั้นปริมาณของรูวิ่งควรจะลดเพื่อให้เสียวัสดุน้อยที่สุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การพิจารณารูวิ่งโดยรวมและการสมดุลรูวิ่งโดยอัตโนมัติพิจารณาได้จากความหนาของรูวิ่งโดยนิยมเปลี่ยนแปลงเป็นค่าทศนิยม

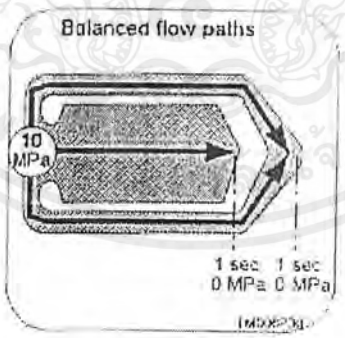
6. ตรวจสอบสมดุลการไหลซ้ำหลังจากการพิจารณารูวิ่งโดยรวมการและวิเคราะห์การเติมจะทำการตรวจสอบการวางรูวิ่งซึ่งจะไม่มีผลต่อสมดุลการไหล

7. การจำลองการไหล (Flow simulation) การวิเคราะห์การไหลต้องการผิวของแบบที่ถูกทำให้กลายเป็นเมช (Mesh) โดยที่เมชประกอบด้วย Element ที่เป็น 3 เหลี่ยม แต่ละ Element มี 3 Node การจำลองการไหลอาศัยการคำนวณจากแต่ละ Node และการมีจำนวน Element เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องสูงแต่ต้องใช้เวลาในการคิดคำนวณนาน

8. ปริมาตรควบคุม (Control Volume) ปริมาตรควบคุมคือผลรวมของปริมาตรที่จุดกึ่งกลางของ element ที่ติดกัน โดยผลรวมของปริมาตรควบคุมคือปริมาตรของแบบจำลอง (Model) และเวลาในการเติมปริมาตรควบคุมขึ้นอยู่กับค่าการต้านทานการไหล (ความหนาของ Element และอัตราการไหล)

3.2 หลักของการออกแบบการไหลเพื่อให้เกิดการไหลที่ง่ายที่สุดเท่าที่เป็นไปได้สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

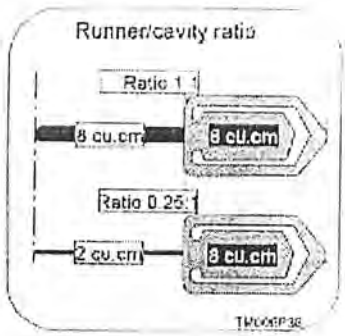
1. สมดุลการไหล (Flow balance) และทิศทางการไหลทั้งหมดควรอยู่ในสมดุลนั่นคือเกิดการเติมที่เวลาเดียวกันและความดันที่เท่ากัน โดยสามารถทำการแก้ไขด้วยการเปลี่ยนตำแหน่งทางเข้า (Gate) ความหนาของทิศทางการไหล และหรือทั้งสองอย่างดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 สมดุลการไหล[6]

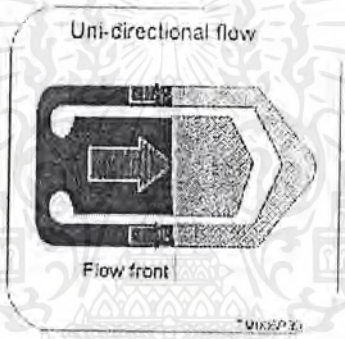
2. อัตราส่วนรูวิ่งต่อโพรงแบบ (Runner/Cavity ratio) การออกแบบเพื่อให้เกิดการลดความดันมาก ๆ ควรมีปริมาตรวัสดุของรูวิ่งต่ำที่สุดซึ่งทำได้โดยให้มีปริมาตรและอัตราส่วนของปริมาตรรูวิ่งต่อชิ้นงานต่ำลงด้วยดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



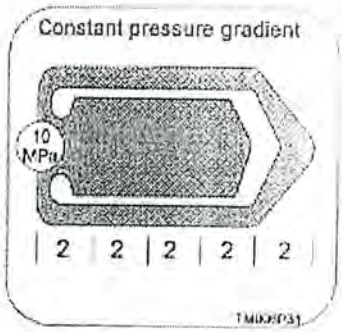
รูปที่ 2.17 อัตราส่วนรูวิ่งต่อโพรงแบบ[6]

3. ทิศทางการไหลไปในทิศทางเดียวกัน : Uni-directional flow พลาสติกที่หลอมเหลวควรไหลไปในทิศทางเดียวกันด้วยหน้าตัดการไหลที่ตรง สามารถปรับปรุงโดยการปรับตำแหน่งทางเข้า ซึ่งอาจจะมีผลต่อสมดุลและเส้นทางการไหลดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ทิศทางการไหลไปในทิศทางเดียวกัน[6]

4. การลดลงของความดัน (Pressure gradient) รูปแบบการเติมส่วนมากเมื่อเกิดการกระจายตัว (ความดันลดต่อความยาว) คงที่ตลอดเส้นทางการไหล จึงควรให้มีปริมาตรที่ต่ำที่สุดที่ทำให้ความดันลดลง การลดลงของความดันที่คงที่จะเกิดเฉพาะในกรณีเส้นทางการไหลมีความยาวและความหนาเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.19



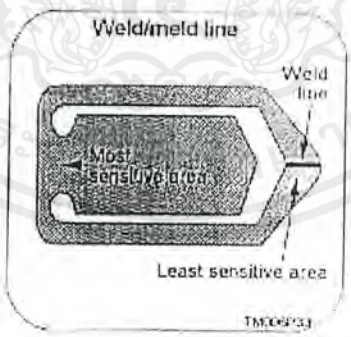
รูปที่ 2.19 การลดลงของความดัน[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความเค้นเฉือน (Shear stress) ความเค้นเฉือนระหว่างการเติมควรน้อยกว่าค่าวิกฤตเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดในบริเวณวิกฤตซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเค้นสูงสุดเมื่อนำไปใช้งาน ความเค้นอาจลดลงโดยใช้อุณหภูมิที่สูง หรือความดันต่ำดังแสดงในรูปที่ 2.20

รูปที่ 2.20 ความเค้นเฉือน[6]

6. เส้นเชื่อม/เส้นต่อ (weld/meld line) เกิดขึ้นเมื่อการไหล 2 ทิศทางมาชนกันเกิดในผลิตภัณฑ์ที่มีหลายทางเข้าซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ตำแหน่งของเส้นเชื่อมและเส้นการหลอมควรอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ว่องไวและในตำแหน่งที่ยอมรับได้สามารถย้าย ตำแหน่งได้โดยเปลี่ยนตำแหน่งของทางเข้า หรือโดยสมดุลการไหลดังแสดงในรูปที่ 2.21

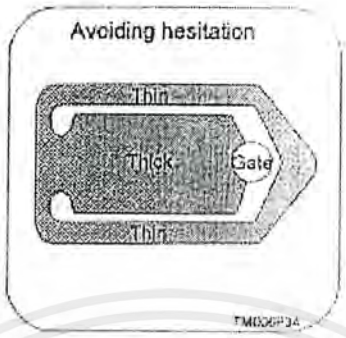


รูปที่ 2.21 เส้นเชื่อม/เส้นการหลอม[6]

7. ความไม่แน่นอน (Hesitation) ของตำแหน่งของทางเข้าห่างจากจุดที่การไหลแยกเข้าสู่บริเวณการเคลื่อนที่หนาและบาง สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการไหลหยุดชั่วคราวในบริเวณที่บางทำ

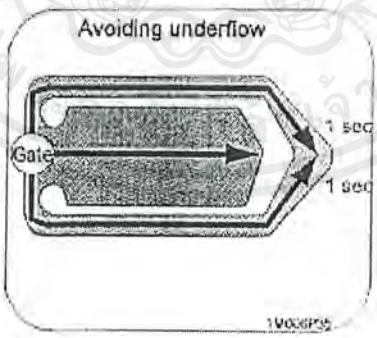
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดการสูญเสียความร้อนในขณะที่ส่วนที่หนากว่าต้องการเพียงความดันในการเติมเท่านั้น ความไม่แน่นอนของพลาสติก อาจจะแข็งตัวโดยยังไม่เกิดการเติมเต็มในบางส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ความไม่แน่นอน[6]

8. การไหลย้อนกลับ (Underflow) เกิดขึ้นก่อนจบการเติมเต็มเมื่อการไหลพบกันและเกิดการไหลย้อนกลับด้วยตัวของมันเอง ก่อนการไหลย้อนกลับการไหลจะหยุดและสูญเสียความร้อน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่ดีโดยจะเกิดรอยที่ผิวและมีโครงสร้างไม่แข็งแรง การหลีกเลี่ยงการเกิดการไหลย้อนกลับ (Under flow) ทำได้โดยการเปลี่ยนตำแหน่งทางเข้าให้ภาคตัดการไหลพบกันที่เวลาเดียวกันที่จุดสิ้นสุดการเติมดังแสดงในรูปที่ 2.23

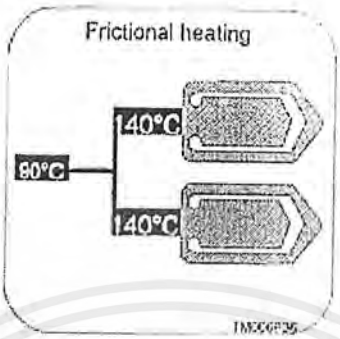


รูปที่ 2.23 การไหลย้อนกลับ[6]

9 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทาน (Frictional heating) การออกแบบรูวิ่งเพื่อเพิ่มอุณหภูมิในการหลอมเหลวที่ทางเข้าโดยทำการควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทาน ส่งผลต่อการลดลงของความเค้นในผลิตภัณฑ์โดยปราศจากการเสียสภาพ เนื่องจากเกิดการขยายตัวที่

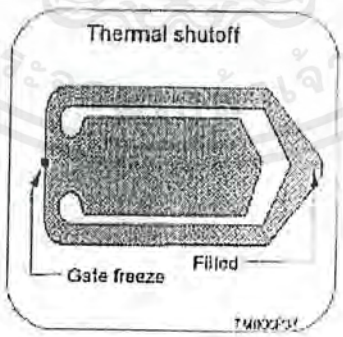
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูง ความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นและปริมาตรลดลงเมื่ออยู่ในรูวิ่งที่บางดัง แสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทาน[6]

10 การปิดตัวทางความร้อน (Thermal shutoff) การออกแบบรูวิ่งสำหรับการแข็งตัว เมื่อชิ้นงานถูกเติมและอัดตัวพอดี เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด การอัดตัวมากเกินไป (Over pack) ซึ่งเป็นสาเหตุของการบิดงอหรือการไหลย้อนกลับหลังจากชิ้นงานถูกเติมเต็ม ซึ่งสาเหตุทั้งสองอย่างทำให้เกิดความเค้นในผลิตภัณฑ์ การออกแบบรูวิ่งเพื่อใช้ควบคุมการไหลเนื่องจากมีผลมากกว่าทางเข้า และ มีความว่องไวน้อยในการเกิด ความไม่แน่นอนและผลของความร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.25

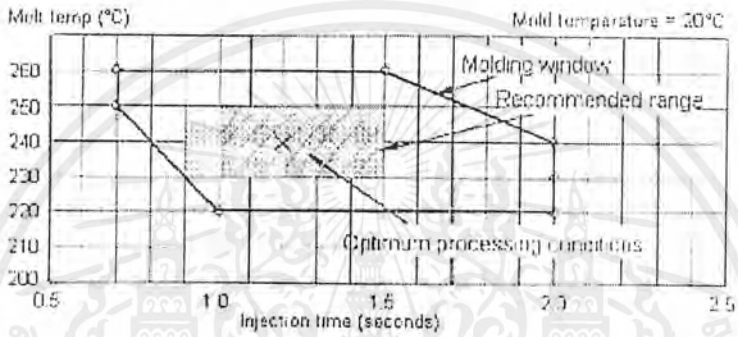


รูปที่ 2.25 การปิดตัวทางความร้อน[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

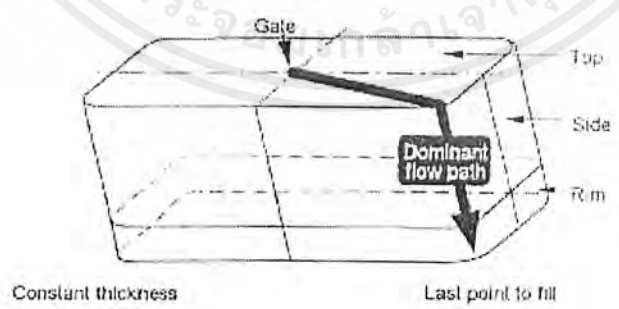
3.3 สภาวะของกระบวนการ (Processing condition)

สภาวะของกระบวนการคือช่วง (Window) ของเวลาและอุณหภูมิในการฉีด โดยที่ใน window ผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้ควรทำในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลง รวมถึงวัสดุและการกำหนดเครื่องจักรMolding window เป็นเวลาในการฉีด 2 ช่วงหรือมากกว่าสำหรับอุณหภูมิของแบบพิมพ์และอุณหภูมิในการหลอมเหลวซึ่งเป็นผลในช่วงสภาวะที่ยอมรับได้ สภาวะนี้รวมไปถึง อุณหภูมิ ความเค้น และความดันโดยสภาวะของกระบวนการที่เหมาะสมจะอยู่ในค่าประมาณกลางของ Window ดังแสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 Molding Window[6]

-การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบเป็นดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 การหาสภาวะที่เหมาะสม[6]

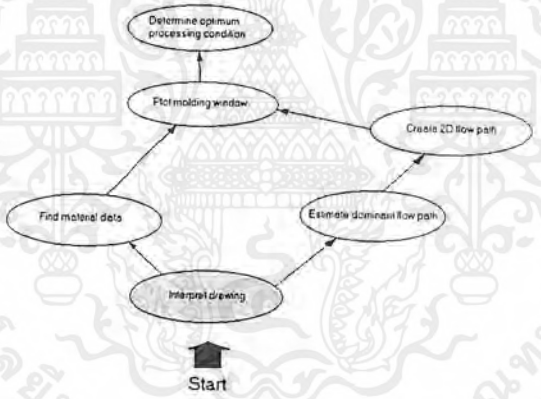
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การประมาณเส้นทางการไหลหลัก (Estimate dominant flow path)

ระยะการไหลหลักคือเส้นทางการไหลระหว่าง ทางเข้า (Gate) และจุดสุดท้ายที่เกิดการเติม (Last point to fill) โดยเส้นทางนี้เป็นค่าหลักของสภาวะของกระบวนการและสามารถกำหนดได้จากการวิเคราะห์การไหลที่ใช้ความดันต่ำที่สุดส่วนค่าของความดันที่ต้องการของเส้นทางการไหลหลักหาได้จากความดันสูงสุดซึ่งสามารถใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องจักร โดยมีเส้นทางการไหลเป็นพื้นฐานของการหาสภาวะของกระบวนการซึ่งทิศทางการไหลหลักคือ การไหลที่ง่ายที่สุด (มีค่าการต้านทานต่ำที่สุด) สำหรับการไหลจากทางเข้าไปยังจุดสุดท้ายที่เกิดการเติม

3.5 การประมาณหาจุดสุดท้ายที่เกิดการเติม (Estimate last point to fill)

ถ้าพื้นผิวทั้งหมดที่พบมีความหนาเท่ากัน จุดสุดท้ายที่เกิดการเติมคือจุดที่ห่างจากทางเข้ามาที่จุดและถ้าความหนาของผิวแตกต่างกันจุดสุดท้ายที่เกิดการเติมจากทางเข้าอาจเป็นจุดที่แสดงระยะทางที่มีความต้านทานสูงสุดในการไหล (มีผนังบางและระยะทางมาก) ดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 แสดงตัวอย่างการไหลอย่างไม่สมดุล[6]

3.6 การสร้างเส้นทางการไหลหลักแบบ 2 มิติ

การวิเคราะห์แบบ 2 มิติเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบควรกำหนดให้มีเส้นทางการไหลหลักน้อยที่สุด โดยให้สภาวะของกระบวนการที่ใช้ในการเติมควรเต็มก่อนระยะทางอื่น ๆ การวิเคราะห์แบบ 2 มิติคือจัดเป็นอนุกรมของจุดที่ต่อเนื่องโดยทำให้ผิวเกิดเป็นรูปทรงของผิวหน้าตัดโดยที่ผลของการวิเคราะห์ที่แน่นอนหาได้จากจำนวนผิวตลอดความยาวของการไหล และพื้นที่หน้าตัดที่แน่นอนโดยไม่มีผลเนื่องจากความกว้างของเส้นทางการไหลและทิศทางเข้ามาเกี่ยวข้อง แบบจำลองสองมิติที่ได้สามารถอธิบายได้ทั้งเส้นทางการไหลในการออกแบบผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภัณฑ์หรือระยะทางการไหลเพียงทางเดียวซึ่งแสดงทิศทางการไหลหลัก ขั้นตอนการสร้างแบบ 2 มิติสำหรับเส้นทางการไหลหลักมีดังนี้

1 . พิจารณาเส้นทางการไหลหลักใน 2 มิติ

2 . สร้างจุดคงที่ซึ่งเชื่อมโยงเป็นเส้นทางการไหลหลัก

3 . สร้างพื้นผิวระหว่างแต่ละคู่ของจุด

4 . ออกแบบรูปร่างพื้นที่หน้าตัดของแต่ละผิว

3.6.1 ข้อบังคับของการสร้างแบบจำลองเส้นทางการไหลหลัก

1. ควรมีพื้นผิวอย่างน้อย 6 พื้นผิวตลอดเส้นทางการไหล

2. ความยาวสูงสุดของพื้นผิวควรเป็น 20 mm (วัสดุที่ว่องไวต่อความร้อนมากควรมีความยาวน้อย)

3. พื้นที่ผิวทั้งหมดควรมีความยาวเท่ากัน (โดยทั่วไปจะเป็น 10 mm)

4. รูปทรงของพื้นที่หน้าตัดที่ได้สำหรับรายละเอียดของโพรงแบบเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมและแนวรัศมี

5. กำหนดให้รูปทรงกลมและรูปวงแหวนเป็นระบบของรูวิ่ง

3.6.2 การตรวจสอบฐานข้อมูลของวัสดุ

ข้อมูลพื้นฐานของ Mold flow สามารถเข้าไปยัง โปรแกรมคำสั่งการค้นหาที่เรียกว่า MADRAS หรือ จากการตรวจสอบค้นหาวัสดุ (MATSEL:Material Selection) MADRAS คือการตรวจสอบวัสดุในฐานข้อมูล โดยสามารถช่วยดังนี้

1. ให้ข้อมูลของวัสดุใน ASC II (แอสกี้:รหัสของคอมพิวเตอร์)
2. อ่าน ASC II ไปยังฐานข้อมูลส่วนบุคคล
3. แก้ไขข้อมูลของวัสดุ

3.7 การออกแบบรูวิ่งที่เหมาะสม

ผลลัพธ์ที่ต้องการออกแบบรูวิ่งที่เหมาะสมควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ระบบรูวิ่งควรทำให้การไหลสมดุลและทำให้ได้สภาวะของกระบวนการที่เหมาะสมภายในแต่ละชิ้นงาน

2. การรวมกันของตำแหน่งทางเข้าและขนาดของรูวิ่งใช้ในการควบคุมการเติมให้เต็มในแต่ละชิ้นงานและเหตุผลที่ต้องการการออกแบบรูวิ่งที่เหมาะสม

1. โพรงแบบที่อยู่ใกล้รูฉีด (Sprue) อาจจะเติมเต็มก่อน

2. น้ำหนักของการขึ้นรูปที่ไม่สมดุลซึ่งแสดงได้จากโพรงแบบที่อยู่ภายในจะมีน้ำหนักมากกว่าโพรงแบบที่อยู่ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เนื้อวัสดุจะถูกบังคับให้ออกจากแม่พิมพ์ตรงส่วนที่ถูกกำหนดโดยส่วนที่มีความดันมากเกินไป

4. การนำชิ้นงานออกจากแบบอาจเกิดปัญหาเนื่องจากเกิดอัดตัวมากเกินไป (Over Pack) ของวัสดุที่จะนำไปสู่การยึดตัวของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์

5. ชิ้นงานภายในจะถูกทำให้มีขนาดใหญ่มากเกินไปโดยการขยายตัวของวัสดุภายหลังนำชิ้นงานออกจากแบบ

6. จำนวนชิ้นที่แข็งตัว องศาการจัดเรียงตัว ปริมาตรของการหดตัว และสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สำหรับในแต่ละชนิดจะต่างกัน

7. การสมดุลรูวิ่งต้องเหมาะสมกับความเป็นไปได้ที่มากที่สุดของหน้าต่าง (Window) ในการนำไปใช้งาน

ในกรณีที่โพรงแบบมีหลายรูวิ่งควรมีระบบดังนี้

1. ลดความดันที่ต้องการสำหรับการเติมที่ต้องใช้ความดันสูง

2. กำหนดให้ตำแหน่งของรอยเชื่อมอยู่ในบริเวณที่รับได้

3. ควบคุมรูปแบบการเติมเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการอัดตัวมากเกินไป (Over Pack) และการบิดเบี้ยวที่เกิดขึ้นได้

3.7.1 ระบบรูวิ่ง

ระบบรูวิ่งประกอบด้วยรูฉีด รูวิ่งและทางเข้า ในส่วนของระบบรูวิ่งควรทำการสมดุลและออกแบบให้เกิดการไหลอย่างสมดุล โดยการเปลี่ยนขนาดภาคตัดขวางรูวิ่ง ตลอดเส้นทางการไหล และสำหรับการวิเคราะห์ระบบโพรงแบบไม่ควรเต็มโพรงแบบจนเต็มแบบจำลองที่สร้าง ควรทำการวิเคราะห์แบบที่สร้างและทำการวิเคราะห์เวลา ในแต่ละชิ้นงานซึ่งสามารถกำหนดโดยรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่เท่ากัน และมีปริมาตรเท่ากับชิ้นงาน

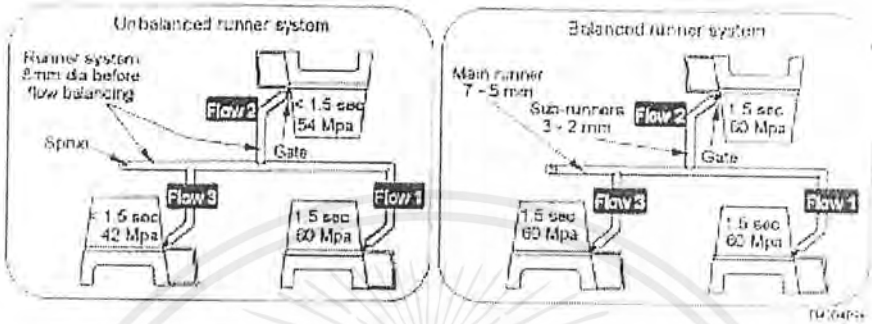
3.7.2 การทำสมดุล

จุดมุ่งหมายของการทำสมดุลคือเติมเต็มโพรงแบบทุกโพรงแบบที่ความดันและเวลาเดียวกันด้วยการใช้ระบบรูวิ่งที่ทำการควบคุมการไหลเนื่องจากระบบรูวิ่งอาจทำการเปลี่ยนสภาวะของกระบวนการที่แท้จริงในขณะที่วัตถุเข้าไปในโพรงแบบได้นอกจากนี้ความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทานอาจมีผลต่ออุณหภูมิของการหลอมเหลวที่เหมาะสมและความยาวของระบบรูวิ่งก็มีผลเช่นเดียวกับเวลาที่ใช้ในการฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.3 การวิเคราะห์โพรงแบบใน 3 มิติ

การสมดุลรูวิ่งที่ไปสู่โพรงแบบควรให้เป็นรูปแบบเส้นทางการไหลของช่องรูฉีด รูวิ่งและทางเข้าของโพรงแบบเป็นไปอย่างเหมาะสมรวมทั้งรูวิ่งอื่น ๆ ควรปรับแต่งให้มีสภาวะเดียวกับโพรงแบบที่ต้องการ



รูปที่ 2.29 แสดงการหาชิ้นงานที่มีขนาดเท่ากัน[6]

การคำนวณโพรงแบบที่มีขนาดเท่ากัน ต้องการค่าดังต่อไปนี้

1. สภาวะของกระบวนการที่เหมาะสม (อุณหภูมิของแบบ อุณหภูมิของการหลอมเหลว และเวลาในการฉีด) ถูกกำหนดด้วยแบบ 2 มิติ

2. ปริมาตรรวมของแบบชิ้นงาน 3 มิติ ถูกทำการเมช หรือทำการคำนวณอื่น ๆ

3. ฐานข้อมูลของวัสดุ (ผู้ผลิตและรหัสสินค้า) ใช้ในการหาสภาวะของกระบวนการที่เหมาะสม

4. จุดที่ทำการฉีด (Injection point)

5. สภาวะของกระบวนการที่ถูกใช้สำหรับโพรงแบบและโพรงแบบที่มีขนาดเท่ากัน มีค่าเท่ากัน

6. โพรงแบบที่มีขนาดเท่ากันควรมีปริมาตรเท่ากันและความดันลดเท่ากัน

7. ถ้าสภาวะของกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงโพรงแบบที่มีขนาดเท่ากันจะมีค่าไม่เท่ากัน

3.7.4 การสร้างแบบ 2 มิติสำหรับระบบรูวิ่งที่มีชิ้นงานธรรมดา

รูปแบบการไหล (Flow type) ของระบบรูวิ่งสามารถอธิบายได้เป็น 3 รูปแบบคือ

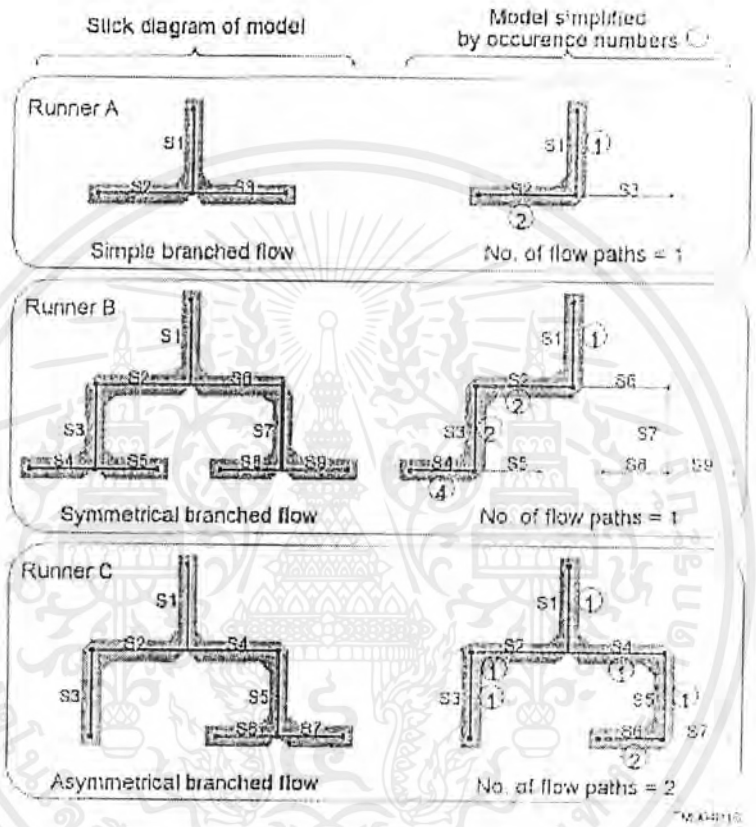
-Round อธิบายด้วยเส้นผ่านศูนย์กลาง ใช้ในภาคตัดขวางของวงกลมของรูวิ่งร้อน และเย็น

-Annular อธิบายด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของภาคตัดขวางของวงแหวนที่ทำให้ร้อนทั้งภายนอกหรือภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Rectangular (สำหรับอธิบายโพรงแบบที่มีขนาดเท่ากัน) ใช้อธิบายโดยความหนาและความกว้าง

ตัวแปรของจำนวนที่ปรากฏหมายถึง จำนวนที่กำหนด (รูปทรงและปริมาตร) ในเส้นทางการไหลส่วนจำนวนที่ปรากฏ คือ ค่าเฉลี่ยของการลดเวลาเพื่อสร้างแบบที่มีสมมาตรดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 รูปจำนวนที่ปรากฏ[6]

3.7.5 การสมดุลรูวิ่งไปสู่ชิ้นงาน

จุดมุ่งหมายของการสมดุลรูวิ่งไปสู่ชิ้นงานเพื่อลดปริมาณและนำพอลิเมอร์ที่ต้องการรักษาอัตราการไหลและอุณหภูมิของกระบวนการไปสู่โพรงแบบเนื่องจากสภาวะของกระบวนการที่เหมาะสมอาจเปลี่ยนเมื่อพอลิเมอร์ถูกส่งผ่านระบบรูวิ่ง

การออกแบบระบบรูวิ่งสามารถทำการสมดุลใน 2 มิติ และ 3 มิติ

ในกรณีของการสมดุลรูวิ่งใน 2 มิติอาจให้ผลสำเร็จออกมาได้ ไม่ต้องการแบบ 3 มิติเมื่อมีเส้นทางการไหลหลักอาจต้องมีการออกแบบวิเคราะห์ที่มีรูเข้าหลายทาง เมื่อมีความยาวของทางไหล (Flow length) ที่ต่างกันทั้งนี้มีวิธีคิดโดยใช้ประสบการณ์ส่วนในกรณีของการสมดุลรูวิ่งใน 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิติต้องการแบบ 3 มิติที่ถูกเมชและมีการออกแบบการสมดุลรูวิ่งสามารถใช้ขนาดที่ออกแบบและนำเข้าไปสู่การเชื่อมโยงของผลของความลังเล (Hesitation) สามารถรวมรูปแบบการฉีดและการเติมแบบอื่น ๆ เพิ่มเติมโดยสามารถสมดุล รูเข้าเดียวหลายโพรงแบบ รวมไปถึงงานที่เป็นกลุ่มโดยสามารถสมดุล งานที่มีหลายรูเข้า ถ้าความยาวของการไหลแต่ละทางเข้าเท่ากันการเติมโพรงแบบทั้งหมดที่เวลาเดียวกัน

การควบคุมการเกิดความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทาน ให้มีความเค้นต่ำที่สุดโดยปราศจากการใช้อุณหภูมิในการหลอมเหลวที่สูงและปริมาตรเนื้อของรูวิ่งต่ำสุด สัมพันธ์กับปริมาตรของโพรงแบบโดยสามรถเกิดการสูญเสียความดันในระบบรูวิ่ง

รูวิ่งที่มีความเหมาะสมเมื่ออัตราการไหลสำหรับโพรงแบบเหมาะสม อุณหภูมิสำหรับโพรงแบบการหลอมเหลาเหมาะสมและความเค้นเฉือนมีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุด ของวัสดุแต่ละชนิด

3.7.6 เวลาในการฉีด/อัตราการไหล

เมื่อของหลอมเหลวผ่านรูวิ่ง เวลาที่ใช้ในการฉีดแต่ละโพรงแบบ ควรเพิ่มขึ้นเมื่อมีผลของความยาวของรูวิ่ง และการเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโดยการหาเวลาที่ถูกต้อง และอัตราการไหล สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{อัตราการไหลเข้าสู่โพรงแบบ} = \frac{\text{(ปริมาตรของโพรงแบบ x จำนวนโพรงแบบ)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการฉีดโพรงแบบ}}$$

การลดความเค้นเฉือนทำได้โดยการเพิ่มขนาดรูเข้าและการทดแทนความร้อนเนื่องจากความเค้นทำได้โดยการลดอุณหภูมิการหลอมเหลวที่รูฉีด

3.7.7 การสมดุลการไหลโดยรวม

มีวิธีการดังต่อไปนี้

1. ไม่ทำการปรับขนาดของรูฉีด ทางเข้า และโพรงแบบ ขณะทำการสมดุลควรกำหนดให้มีค่าคงที่

2. การวิเคราะห์สมดุลการไหล ควรคำนึงถึง ขนาดของรูวิ่งสำหรับการไหล บนค่าเฉพาะของความดันที่สมดุล (ความดันสูงสุดของเส้นทางการไหลหลัก)

3. ความดันสุดท้ายสำหรับการสมดุลหาได้โดยการทดสอบหลาย ๆ ค่า การสมดุลและการวิเคราะห์ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีการสมดุลความดันสูงขึ้นไปยังรูวิ่งที่บางควรเพิ่มความดันครั้งละน้อย ๆ ความดันที่สูงขึ้นนี้ควรใช้เฉพาะเวลาเย็นตัวและส่วนรูวิ่งที่บางที่สุดควรลดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาในโพรงแบบที่เย็นตัวส่วนเวลาในการเย็นตัวอาจลดลงมากกว่านี้ได้โดยการลดขนาดของรูฉีดซึ่งขนาดของรูฉีดที่ส่วนบนควรเหมาะกับขนาดของหัวฉีดของเครื่องฉีดพลาสติก

3.7.8 การสมดุลรูวิ่งใน 3 มิติ

การวิเคราะห์การเติมอย่างรวดเร็ว ควรทำในระบบของรูวิ่งก่อนทำการสมดุล ถ้าออกแบบแล้วมีการเปลี่ยนแปลงความหนาอย่างมาก หรือวัตถุมีความว่องไว การสมดุลรูวิ่งแบบหลายโพรงแบบควรนำมาใช้แทนการสมดุลรูวิ่งอย่างรวดเร็ว การคำนวณอัตราการไหลและอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลวควรใช้การวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว สำหรับการสมดุลรูวิ่งต้องการสมดุลความดันด้วยถึงควรมีค่าสูงกว่าความดันในการเติมสูงสุด ในการวิเคราะห์การเติมอัตราการไหลควรมีค่าเท่ากับการวิเคราะห์การเติมอย่างรวดเร็วและอุณหภูมิในการหลอมเหลวควรเปลี่ยนแปลงโดยให้รวมกับความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทาน

3.7.9 Tolerance (การเบี่ยงเบน)

เวลาที่ไม่สมดุลระหว่างชิ้นงานแรกเต็มและชิ้นงานสุดท้ายเต็มต่างกัน 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความดันรวมควรอยู่ในช่วง 2 MPa จากความดันที่ทำการสมดุลและถ้าความแตกต่างสูงสุดระหว่างความดันที่ต้องการให้ลด และความดันที่ต้องการให้เกิดขึ้นจริงลดลง หารด้วยความดันที่ต้องการให้ลดควรมีค่าเท่ากับ 0.7 หากในอุดมคติจะให้ค่าเท่ากับ 0

3.7.10 การตรวจสอบผลของการสมดุลรูวิ่ง ควรมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

1. รูปแบบของความดันควรสม่ำเสมอ
2. รูปแบบของเวลาที่ใช้ในการเติมควรสม่ำเสมอ
3. อุณหภูมิของรูเข้าไม่ควรสูงเกินกว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวที่เหมาะสม
4. เวลาในการเย็นตัวสูงสุด รูวิ่งทั้งหมดควรแข็งตัวพร้อมกันหรือแข็งตัวช้ากว่าโพรงแบบเพื่อไม่ให้ผลของความดันในการอัดตัวเป็นปัญหา
5. ปริมาตรของรูวิ่งที่บางกว่าหมายถึงการประหยัดวัสดุเวลาในการเย็นตัวและรอบการทำงาน
6. ความเค้นสูงสุดในโพรงแบบไม่ควรสูงกว่าค่าที่กำหนดของวัสดุ
7. ความเค้นสูงสุดของทางเข้า ควรน้อยกว่าค่าสูงสุดของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การออกแบบที่เหมาะสม

ทำได้ดังนี้

1. รูปแบบการไหลที่ได้มีค่าเท่ากันที่เวลาเดียวกัน

2. สมดุลการไหลทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดี และอาจลดเวลาในการผลิตทางการค้าได้

ด้วยเหตุผลจึงต้องมีการออกแบบโพรงแบบให้เหมาะสมโดยอาศัยสภาวะของกระบวนการที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์แบบ 2 มิติก่อนซึ่งมีข้อที่ต้องพิจารณาดังนี้

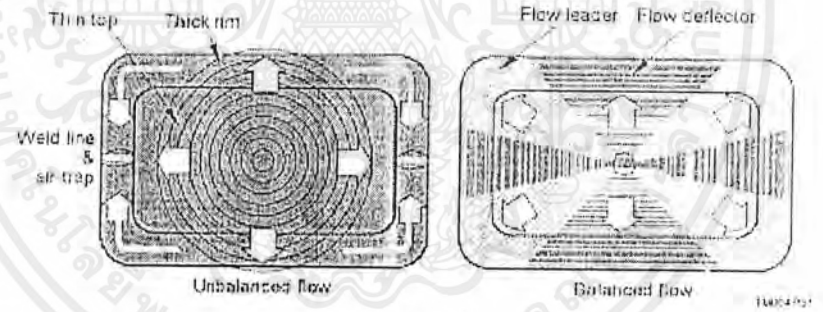
1. อุณหภูมิหลอมเหลว –20 $\leq$ อุณหภูมิ ณ จุดเติมเต็ม = อุณหภูมิหลอมเหลว

2. ความเค้นเฉือน $\leq$ ค่าวิกฤตของวัสดุ

3. 70 MPa $\leq$ ความดันที่โพรงแบบ

4. 100 MPa $\leq$ ความดันที่โพรงแบบและที่รูวิ่ง

-เมื่อจำนวนของความแตกต่างของเส้นทางการไหลมีขึ้น ส่วนที่หนาที่สุดของสมดุลการไหลสามารถหาได้เฉพาะจากการวิเคราะห์ 2 มิติ



รูปที่ 2.31 แสดงตัวอย่างการไหลอย่างไม่สมดุล[6]

การขยายของภาคหน้าการไหล จะเติมก่อนในเส้นทางการไหลที่สั้น ซึ่งอาจจะเกิดการเติมอย่างต่อเนื่อง (Overpack) ขณะที่วัสดุวิ่ง (Racetrack effect) รอบด้านที่หนาของขอบ

-การเกิดการอัดตัวมากเกินไป Overpack จะนำไปสู่การบิดงอของผลิตภัณฑ์ภายหลังจากที่ออกจากแบบเมื่อวัสดุที่เป็น racetrack พบกับวัสดุที่วิ่งจากเส้นทางอื่น เกิดเป็นเส้นเชื่อมและอาจเกิดอากาศแทรกอยู่

-ส่วนที่เกิดรอยที่ไม่ต้องการเช่น เส้นเชื่อม อากาศแทรกอยู่ จะทำให้เกิดบริเวณที่เปราะบางของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การเปลี่ยนแปลงความหนา ทำให้การไหลทั้งหมดไปยังขอบของแบบได้ในเวลาเดียวกัน และความดันเดียวกัน

-ส่วนที่ไหลนำ (Flow leader) คือบริเวณหนาในผนังแบบที่ทำให้การไหลไปไม่ถึงขอบของผนังชิ้นงานก่อน

-ส่วนที่ไหลตาม (Flow deflector) คือบริเวณบางในผนังแบบที่ทำให้การไหลไปไม่ถึงขอบของผนังชิ้นงานที่หลัง

3.8.1การวิเคราะห์โพรงแบบในแบบ 3 มิติ

จุดมุ่งหมายของการวิเคราะห์ชิ้นงานในระบบ 3 มิติเพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นเช่น เส้นเชื่อมและการอัดตัวมากเกินไป (overpack) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการสมดุลเส้นทางการไหล ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการวิเคราะโพรงแบบในแบบ 3 มิติดังนี้

1.การสมดุลการไหลของโพรงแบบ 3 มิติต้องการการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของการออกแบบโดยเปลี่ยนความหนาของเส้นทางการไหล

2.การเปลี่ยนแปลงค่าอาจต้องการการตรวจสอบสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการซึ่งต้องการแบบ 2 มิติ

3.การสมดุลโพรงแบบ 3 มิติเป็นการรวมทั้งการวิเคราะห์ 2 มิติและ 3 มิติไว้ด้วยกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์โพรงแบบในแบบ 3 มิติจะทำให้ทราบถึง

1.เวลาที่ใช้ในการเติม ปลายของโพรงแบบทุกจุดควรเติมที่เวลาเดียวกัน

2.ความดันที่ใช้ในการเติม ปลายของโพรงแบบทุกจุดควรเติมด้วยความดันเดียวกัน

3.ระดับความเค้น ความเค้นไม่ควรมากเกินกว่าค่าสูงสุดของวัสดุชนิดที่ใช้ ความเค้นเฉือน (Shear stress) ที่ให้กับผลิตภัณฑ์ ขณะที่อัตราการเค้น (Shear rate) จะให้กับทางเข้า (Gate)

4.อุณหภูมิส่วนหน้าของการไหล (Flow front) ไม่ควรลดต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวเกิน 20°C อุณหภูมิส่วนหน้าของการไหล คืออุณหภูมิของพลาสติกขณะที่ทำการ5.อุณหภูมิที่สิ้นสุดการเติมกำหนดให้เป็น Instant temperature ควรมีการกระจายค่าใกล้เคียงกัน

6.ไม่ควรมีการแทรกตัวของอากาศ (Air trap) หรือทำการกำหนดพื้นที่ที่จะทำการระบายออกไปได้ง่ายโดยทั่วไปไม่นิยมให้บริเวณของปลายของแม่พิมพ์ ไม่ควรมีรอยเชื่อมหรือให้อยู่ในบริเวณที่มองไม่เห็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.เวลาในการเย็นตัวควรมีค่าสม่ำเสมอและต่ำที่สุดเพื่อเป็นการลดรอบการทำงาน (Cycle time) เวลาในการเย็นตัวถูกกำหนดจากอุณหภูมิที่เติมเสร็จไปยังอุณหภูมิที่ทำการนำชิ้นงานออกสำหรับวัสดุแต่ละชนิดมีข้อจำกัดดังต่อไปนี้

7.1.เวลาการเติมที่เป็นอยู่จริงของบริเวณต่างๆในชิ้นงานสามารถหาได้โดยการใช้คำสั่ง FNR (Find nodal result) หรือการใช้เมนูหลักแสดงผลสำหรับ Node ที่ถูกเลือก

7.2.เส้นทิศทางการไหลควรตั้งฉากกับเส้นโครงร่างและควรแสดงการสมดุลการไหลของแรงที่ใช้ในการยึดแบบ (Clamp tonnage)

7.3.เป็นการแสดงแรงที่ต้องการยึดแบบที่ปิดเมื่อใช้ความดันสูงสุดในการฉีด

7.4.กำหนดระนาบ X Y เป็นระนาบของแม่พิมพ์ขณะทำการวิเคราะห์

7.5.เป็นการแสดงปริมาตรทั้งหมดของพื้นที่ที่ถูกทำการเมช (Mesh) กำหนดให้เป็นปริมาตร

3.8.2 การสมดุลการไหลในแบบ 2 มิติ

จุดมุ่งหมายของการสมดุลการไหลในแบบ 2 มิติเพื่อสามารถหาสาเหตุของแบบจำลองและคุณภาพที่กำหนดไว้ทำให้สามารถลดน้ำหนักผลิตภัณฑ์และเวลาของรอบการทำงานสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนความหนาของผิวงานหรืออาจมีการเปลี่ยนรูปร่างเพื่อทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการ

3.8.3 การสมดุลการไหลทั้งหมดมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.การใช้ MFG เปลี่ยนแปลงและการตรวจสอบแบบเริ่มแรกใน 2 มิติมีวิธีการดังนี้

การเปลี่ยนความหนาของเส้นทางการไหล

↓

การตรวจสอบสภาวะที่เหมาะสมของแบบที่ถูกแก้ไข
(ตรวจสอบเวลาในการฉีดและวิเคราะห์การไหลทั้งหมด)

↓

หาค่าความหนาสำหรับการสมดุลการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.การใช้ MFVIEW และ Project manager เพื่อทำการเปลี่ยนและตรวจสอบแบบ 3 มิติทำได้ดังนี้

เริ่มแรกโดยไม่คำนึงถึงความหนาจาก MFG

↓

ทำการวิเคราะห์การออกแบบซ้ำ

↓

เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบ 3 มิติด้วยผลของการออกแบบเริ่มแรก

3.8.4 การสมดุลความดัน

เริ่มต้นด้วยความดันที่ใกล้เคียงกับที่ต้องการเพื่อเติมในเส้นทางการไหลหลัก ถ้าความหนาที่ได้มีค่าน้อยสามารถทำการลดความดันหรือนำพื้นผิวที่บางเกินไปไปทำการสมดุลการไหลภายหลัง

การสมดุลความดันนิยมทำเป็นแบบ 3 มิติโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการเปลี่ยนความหนาของแบบ 3 มิติและทำการตรวจสอบสมดุลการไหลทั้งนี้เนื่องมาจากการไหลในแบบ 3 มิติสามารถทำการสมดุลได้โดยการใช้ flow leader หรือใช้ flow delector (flow leader คือการเพิ่มความหนา ขณะที่ flow delector คือการลดความหนา) โดยมีขั้นตอนการสมดุลการไหลในแบบ 3 มิติดังนี้

1.เปลี่ยนความหนาของเส้นทางการไหลโดยทำตามคำแนะนำของ MFG

2.ทดลองการวิเคราะห์การเติมอย่างรวดเร็วบนแบบ 3 มิติที่ทำการแก้ไขแล้ว

3.ตรวจสอบการไหลที่ทำการสมดุล

4.เปรียบเทียบผลที่ได้ด้วยผลของแบบเริ่มแรก

3.9 รูปแบบการเติมเต็มที่เหมาะสม (Optimum Packing Profile)

ผลลัพธ์การวิเคราะห์รูปแบบการเติมเต็มเพื่อทำการประมาณการกระจายตัวของปริมาตรที่หดลงเมื่อเป็นชิ้นงานจำลองที่กำหนดการวิเคราะห์รูปแบบการเติมเต็มและการเติมเต็มที่เหมาะสมควรมีการหดตัวและการบิดงอที่น้อยที่สุด โดยทำการทดแทนปริมาณที่หดตัวของพอลิเมอร์เหมือนในขณะที่เย็นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดมุ่งหมายของการวิเคราะห์การเติมเต็มมีดังต่อไปนี้

1.ระดับของความดันในการเติมเต็ม เมื่อพอลิเมอร์แข็งตัวสามารถหาค่าปริมาตรการหดตัวได้

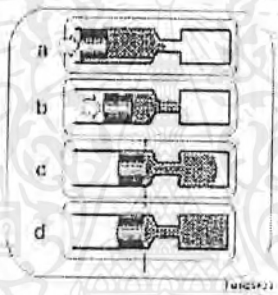
2.การลดความดันเป็นการเพิ่มปริมาณการหดตัว ขณะที่การเพิ่มความดันเป็นการลดปริมาตรแต่อาจจะมีผลทำให้เกิดรอบขุบตัว และล้นออกมานอกแบบ

3.ความดันเป็นผลของเวลาที่ใช้ในการทำให้พอลิเมอร์เกิดการแข็งตัว

4.ตัวแปรที่สำคัญต่อการเติมเต็มมี 2 อย่างคือ ความดันและเวลา

5.การเติมเต็ม ขึ้นอยู่กับความสามารถในการอัดตัวของวัสดุและปริมาณการหดตัว

-พลาสติกที่หลอมเหลวที่ความดันในการฉีดขึ้นรูป สามารถเกิดการอัดตัวได้ 15 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรของโพรงแบบเนื่องจากความสามารถในการอัดตัวของวัสดุขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการฉีดจริงซึ่งอาจจะนานเกินกว่าเวลาที่กำหนดในการฉีดดังรูปที่ 2.32

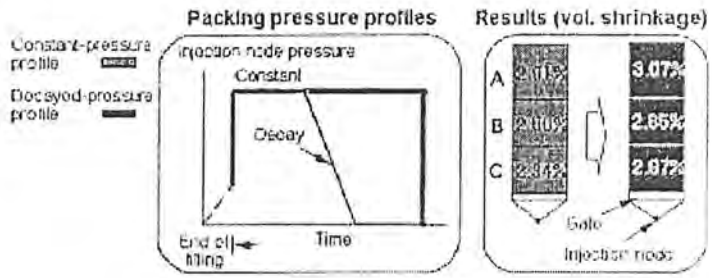


รูปที่ 2.32 แสดงช่วงเวลาในการฉีดขึ้นรูป[6]

ปริมาตรที่เกิดการหดตัวมีผลทำให้รูปทรงขนาดของชิ้นงานลดลงเนื่องจากพลาสติกเย็นตัวจากของหลอมเหลวไปเป็นของแข็งและมีปริมาตรเมื่อเกิดการหดตัวประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ถ้าการหดตัวสม่ำเสมอ ชิ้นงานจะไม่เสียรูปและเกิดการเปลี่ยนแปลงรูป ส่วนมากจะมีการหดตัวน้อยในกรณีนี้การบิดงอเกิดขึ้นเมื่อมีการเย็นตัวไม่สม่ำเสมอและถ้าบริเวณที่ชิ้นงานหดตัวไม่เท่ากัน ความเค้นจะเกิดขึ้นในชิ้นงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของชิ้นงานเสียสภาพหรือแตกได้ง่ายภายหลังการกระจายตัวของการเติม ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงเวลา ความดันเติมเต็ม(ในทางอุตสาหกรรม เวลาที่ใช้ในการเติมเต็มในบางครั้ง หมายถึงเวลาที่คงไป ซึ่งเวลาที่คงไว้รวมทั้งเวลาในการเติมเต็ม และเวลาในการเย็นตัว)การเปลี่ยนแปลงความดันเป็นผลให้เกิดปริมาตรการหดตัวตั้งแต่ทางเข้าเกิดการแข็งตัว โดยทั่วไปแบ่งได้เป็นความดันในการเติมเต็มคือความดันที่ให้กับชิ้นงานภายหลังจากทำการเติมทดแทน พลาสติกที่จะหดตัวเมื่อเกิดการเย็นตัว

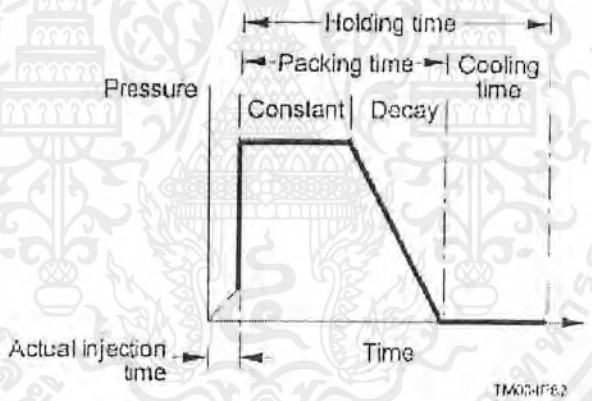
ส่วนรูปแบบการอัดตัว ความดันในการเติมเต็มคงที่ส่งผลในปริมาตรหดตัวซึ่งมีช่วงจากมากที่สุดในบริเวณปลาย (บริเวณ A) ไปยังต่ำสุดในบริเวณทางเข้า (บริเวณ C) แสดงในรูปที่ 2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 แสดงการอัดตัว[6]

การสลายของความดันทำให้เกิดการหดตัวของตัวของปริมาตรที่เหมาะสมโดยเป็นสาเหตุเนื่องจากบริเวณที่พลาสติกเย็นตัวโดยอาศัยความดันเดียวกันไปยังทางเข้า ดังแสดงในรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 การสลายความดันของพอลิเมอร์[6]

เวลามีหน่วยเป็นวินาที โดยเริ่มจากเวลาที่ฉีดไปยังเวลาปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เวลานี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงเวลาในการฉีดและช่วงเวลาที่คงไว้

1.เวลาในการฉีด คือเวลาในช่วงระหว่างการวิเคราะห์การเติม

2.เวลาในการเติมเต็ม คือช่วงที่ให้ความดันในการเติมเต็ม แก่แม่พิมพ์ควรมีค่าเพียงพอแก่ทางเข้าเพื่อเกิดการแข็งตัวก่อนนำความดันออก

เวลาในการเย็นตัว คือช่วงเวลาระหว่างการสิ้นสุดการเติมเต็มไปยัง เวลาที่ แม่พิมพ์เปิดและเวลาที่คงอยู่ คือเวลาจากจุดสิ้นสุดการเติมของวัสดุจนเย็นตัวไปถึงอุณหภูมิที่นำชิ้นงานออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแม่พิมพ์เมื่อสร้างรูปแบบของการเติมเต็ม เวลาที่คงอยู่คือส่วนที่สำคัญที่สุดเช่นเดียวกับการหาค่าร่วมระหว่างการวิเคราะห์การเติมเต็ม

**เวลาในการเติมเต็ม และเวลาในการเย็นตัว* สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้แต่ผลรวมต้องมีค่าเท่าเดิม

ปริมาตรการหดตัวเริ่มต้นขึ้นอยู่กับค่าความดันสูงสุดในการเติมและเวลาในการคงอยู่ดังนี้

1.ความดันสูงสุดในการเติม

$$P_{max} = \frac{[\text{Clamp force (tons)} \times 100 \times 0.5\ \text{Mpa}]}{[\text{Total projected area of model(sq.cm)}]}$$

สำหรับชิ้นงานที่ใหญ่ความดันในการเติมเต็มขึ้นอยู่กับค่าจำกัดของเครื่องฉีด (8 เปอร์เซ็นต์)พลาสติกเป็นสำคัญ การมีความดันเติมเต็มที่ต่ำเกินไปอาจทำให้พลาสติกไหลสวนทางออกจากแม่พิมพ์ การมีความดันการเติมเต็มต่ำเกินไปเป็นสาเหตุของการล้น (Flash) ถ้าแรงที่ใช้ในการยึดแม่พิมพ์ต่ำกว่า

2.เวลาในการคงอยู่

เวลานี้หาได้จากการหาเวลาในการเย็นตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ในการเติมเต็ม

การทำสมดุลของปริมาณที่หดตัวขึ้นอยู่กับ

-อุณหภูมิที่ใช้ปลดวัสดุออกจากแม่พิมพ์ อุณหภูมิที่ไม่เกิดการไหล และเวลาที่ใช้ในการเติมนอกจากนี้การสลายตัวของความดันในการเติมเต็ม ต่อเวลา ควรให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แต่โดยทั่วไปปริมาตรการหดตัวจะมากกว่าที่ความดันคงที่โดยที่การกระจายตัวของการสลายเท่ากับผลรวมของความดันคงที่ ความดันที่สลาย และเวลาในการเย็นตัว

เวลาที่ความดันคงที่คือเวลาที่ต้องการสำหรับ การสิ้นสุดการเติมไปยังอุณหภูมิที่ไม่มีการไหล เพิ่มอีก 20°C

เวลาในการสลายตัวคือ

อัตราในการสลายของความดันที่ใช้ในการเติมเต็มไปเป็น 0 ซึ่งเป็นผลให้เกิดปริมาตรการหดตัวในบริเวณที่ใกล้กับทางเข้าและเวลาในการสลายคือ ผลต่างระหว่างเวลาที่ใช้ให้ทางเข้าแข็งตัว และเวลาที่ความดันคงที่

เวลาในการเย็นตัว

เวลาระหว่างการสิ้นสุดการเติมเต็ม (รูวิ่งแข็งตัว) และชิ้นงานถูกนำออกจากแม่พิมพ์

หลักของปริมาตรการหดตัวปรับแต่งโดยรูปแบบความดันในการเติมเต็ม

-การปรับแต่งบริเวณที่สิ้นสุด

ปรับแต่งระหว่างที่ความดันคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-สั้นลงเป็นการเติมปริมาณการหดตัว

-ยาวขึ้นเป็นการลดปริมาณการหดตัว

-การปรับแต่งบริเวณบริเวณทางเข้า

เปลี่ยนค่าอัตราการสลายของความดัน

-ช้าลงเป็นปริมาณการหดตัว

-เร็วขึ้นเป็นการเติมปริมาณการหดตัว

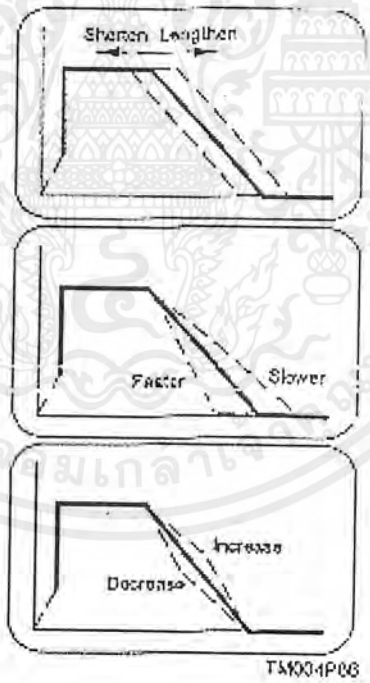
-การปรับแต่งบริเวณกึ่งกลาง

*ขั้นตอน*การสลายของอัตราความดัน

-เพิ่มขึ้นเป็นการลดปริมาณการหดตัว

-ลดลง เป็นการเพิ่มปริมาณการหดตัว

-การปรับแต่งควรเรียงตามลำดับ โดยทำการปรับบริเวณที่สิ้นสุด ตามด้วยบริเวณทางเข้า และท้ายสุด ตรงบริเวณกึ่งกลาง



รูปที่ 2.35 เวลาในการคงตัว[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสรุปในการเติมเต็มที่เหมาะสม

1.เวลาในการเติมเต็มสูงสุด และเวลาในการคงอยู่ คำนวณจากการกระจายตัวที่คงที่ โดยขึ้นอยู่กับผลของความดันในการเติม

2.ผลของการเติมนำมาใช้ในการกำหนดค่าความดันในการเติมเต็มสูงสุดในรูปของแรงในการยึดแม่พิมพ์และค่าการกระจายเริ่มต้นของปริมาตรการหดตัว

3.หลังจากนำค่าของความดันในการเติมสูงสุด ที่กำหนดจึงนำมาการบรรจุข้อมูลสำหรับรูปแบบการสลายความดัน

4.วัสดุ(Material)

เนื่องจากพอลิสไตรีนมีราคาถูก มีความสามรถในการขึ้นรูปได้ดี มีความใส มีความแข็งคงตัวและมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำ พอลิสไตรีนจึงได้ถูกนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ตามความต้องการ แต่เนื่องจากสมบัติที่เปราะแตกง่าย จึงมีการพัฒนาปรับปรุงโดยเพิ่มยางเป็น high-impact Polystyrene (HIPS) และพัฒนาให้เกิดความซับซ้อนยิ่งขึ้นผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Acrylonitrile Methylmethacrylate Butadiene Styrene (AMBS) และ Methylmethacrylate Butadiene Styrene (MBS)

4.1 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชั่น

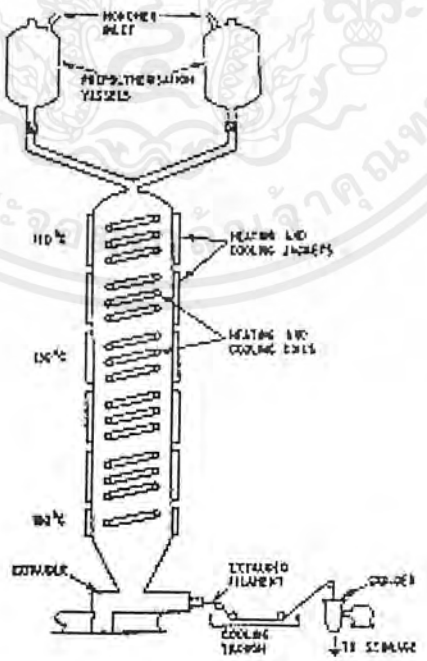
พอลิเมอร์ ทำการเตรียมได้โดยวิธี mass suspension solution และ emulsion โดย 2 วิธีแรกเป็นวิธีที่สำคัญ Mass polymerization มีข้อดีคือเกิดได้ง่ายได้พอลิเมอร์ที่มีความใสมากและมีสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี อย่างไรก็ตามยังคงมีปัญหาเนื่องจากเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน และพอลิเมอร์ที่ได้มีช่วงการกระจายน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างการทำพอลิเมอร์ไรเซชันในสารละลายช่วยลดการคายความร้อน แต่จะทำให้เกิดปัญหาการนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ และตัวทำละลายมีความอันตรายสูง ตัวทำละลายอาจจะกระทำตัวเป็น chain transfer agent และเป็นสาเหตุทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงการพอลิเมอร์ไรเซชันด้วย suspension เพื่อทำการลดปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้นมาแต่จะมีการเจือปนด้วย น้ำและ suspension agent นอกจากนี้จะต้องทำพอลิเมอร์แห้งทำให้เกิดการเกาะตัวกันของพอลิเมอร์ก่อนการแข็งตัวเป็นเม็ดจึงเหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยการฉีด และการอัดรีด การพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยเทคนิค emulsion ไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้กับสไตรีน เนื่องจากต้องใช้สาร surfactant ในปริมาณที่มาก ส่งผลต่อความใสและความเป็นฉนวนไฟฟ้า กระบวนการนี้จะใช้เฉพาะการผลิตลาเท็กซ์ของพอลิสไตรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 Mass polymerization

หน่วยการพอลิเมอร์ไรเซชันขนาดใหญ่แบบต่อเนื่องเป็นที่ใช้กันอย่างมากในการทำพอลิสไตรีนสิ่งที่ต้องระวังเป็นพิเศษ คือป้องกันความร้อนของปฏิกิริยาที่เร่งการพอลิเมอร์ไรเซชันทำให้ไม่สามารถควบคุมปฏิกิริยาได้ซึ่งค่อนข้างเป็นปัญหามากเนื่องจากในทางปฏิบัติความร้อนสามารถนำออกจากระบบที่มีอุณหภูมิสูงได้ด้วยการนำความร้อน ของทั้งสไตรีนและพอลิสไตรีนจึงมีค่าต่ำ

กระบวนการผลิตขนาดใหญ่ส่วนมากที่ใช้กันในทุกวันนี้มีความหลากหลายเนื่องจากกระบวนการนี้ สไตรีนจะเริ่มต้นก่อนการ พอลิเมอร์ไรเซชันด้วยการให้ความร้อน (โดยไม่มีตัวเริ่มต้น) ในถังเริ่มต้นก่อนการพอลิเมอร์ไรเซชันที่อุณหภูมิ 80° C เป็นเวลา 2 วัน จนกระทั่งเกิดการเปลี่ยนแปลง 33-35 เปอร์เซ็นต์ เป็นพอลิเมอร์ สารผสมระหว่าง โมโนเมอร์และพอลิเมอร์ จะนำส่งไปยังหอที่สูง 25 ฟุต หอจะถูกหุ้มด้วยตัวให้ความร้อนและเย็น และภายในจะมีขดลวดให้ความร้อน และความเย็นจำนวนมาก โดยจุดสูงสุดของหอจะทำการรักษาอุณหภูมิประมาณ 100° C ส่วนกลางประมาณ 180° C และส่วนล่างสุดของหอประมาณ 180° C จุดที่ก้นหอจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงและช่วยทำให้สไตรีนที่เหลืออยู่ระเหยออกจากพอลิเมอร์ส่วนต่ำสุดของหอจะต่อกับ hopper ของเครื่องอัดรีด ซึ่งจะทำการหลอมเหลวเป็นเส้น ทำให้เย็น ตัดเป็นเม็ดและบรรจุหีบห่อดังแสดงในรูป 2.36

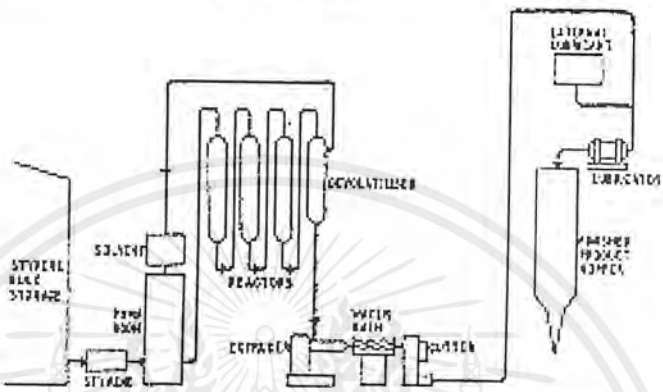


รูปที่ 2.36 แผนผังแสดงกระบวนการ Mass Polymerization[9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 Solution polymerization

การทำพอลิเมอร์เซชันในสาละลายช่วยในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเท ทางความร้อนและสมบัติในการเคลื่อนที่เนื่องจากความหนืดของสารที่ลดลง จากข้อดีดังกล่าวจะพบปัญหาที่ตามมาคือการนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ และมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยา chain transfer จึงมีการปรับปรุงกระบวนการ พอลิเมอร์ไรเซชันในสารละลาย โดยรายละเอียดที่จำเป็นจะปรากฏในรูปที่ 2.39



รูปที่2.37 แผนผังแสดงกระบวนการ Solution Polymerization[9]

สไตรีนและตัวทำละลายจะถูกนำมาผสมรวมกันและนำเข้าสู่ส่วนบนของปฏิกรณ์แรกและทั้ง 3 ส่วนของปฏิกรณ์ที่ 2 โดยมีขดลวดลดอุณหภูมินำความร้อนออกจากระบบในขณะที่ปฏิกิริยาของสารผสมในถังปฏิกรณ์ที่ 3 เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันช้าลงและปฏิกิริยาของสารผสมจะถูกทำให้ร้อนซ้ำอีกจากถังปฏิกรณ์ที่ 3 พอลิเมอร์จะเข้าสู่ส่วนที่ทำให้เกิดการระเหยที่อุณหภูมิ 225° C ตัวทำละลาย โมโนเมอร์ที่เหลือ และพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ จะกลั่นตัว และนำกลับมาใช้ใหม่ พอลิเมอร์ที่ได้จะถูกส่งไปยังส่วนอัดรีด ทำการอัดรีดเป็นเส้น ตัดเป็นเม็ด ทำการผสมสารหล่อลื่น และเก็บไว้รอการไปจัดส่ง

4.1.3 Suspension polymerization

การทำพอลิเมอร์ไรเซชันแบบแขวนลอยของสไตรีนนิยมใช้กันอย่างกว่างขวางในทางการค้ากระบวนการนี้โมโนเมอร์จะถูกทำให้แขวนลอยในรูปหยดที่มีขนาด 1/32 ถึง1/24 นิ้ว ในของไหลซึ่งนิยมใช้น้ำ ระยะการถ่ายเทความร้อนสำหรับการคายความร้อนจะลดลงอยู่ในช่วง 1/64 ถึง1/128 นิ้ว การถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางความร้อนที่มีความหนืดต่ำทำให้ปัญหาลดลง ในขณะที่ปฏิกิริยาเริ่มต้นด้วยโมโนเมอร์เริ่มต้นละลายตัว (เบนซิลเปอร์ออกไซด์) จะต้องเคลือบหยดสารช่วยในการแขวนลอยเช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และทาร์เป็นต้น เพื่อป้องกันการเกาะติดกัน การควบคุมชนิดและปริมาณของสารแขวนลอยและการปั่นกวนมีความสำคัญต่อขนาดอนุภาค เป็นไปไม่ได้ที่จะให้อนุภาคที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์เกิดการเกาะกันและตกลงมาสู่ก้นถังปฏิกรณ์ที่ไม่เหมาะสมภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันโมโนเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาจะถูกนำออกไปโดยการกลั่นด้วยไอน้ำและพอลิเมอร์จะถูกล้างและทำให้แห้ง ข้อเสียของกระบวนการแขวนลอย คือ ปริมาตรประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ของช่องว่างจะถูกแทนที่ด้วยน้ำจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการอบแห้งของช่องว่างมิฉะนั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากการเสียสภาพนอกจากนี้เปลี่ยนขนาดอนุภาคเล็กไปเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ จะช่วยทำให้การขนถ่ายเป็นไปอย่างเหมาะสมวิธีนี้เหมาะกับกระบวนการแบบต่อเนื่อง

4.1.4 Emulsion polymerization

เนื่องจากปริมาณของสาร surfactant ที่หลงเหลือในพอลิเมอร์มีมากซึ่งจะมีผลต่อความใส สมบัติความเป็นฉนวนไฟฟ้า ปัญหาในการปั่นกวน และความหนาแน่น กระบวนการนี้จึงนิยมใช้ในการผลิตลาเท็กซ์เท่านั้น

4.2.การแบ่งเกรดของพอลิสไตรีนสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. เกรดการใช้งานทั่วไป เกรดนี้มีความพยายามที่จะให้มีสมดุลระหว่าง สมบัติการทนทานต่อความร้อน ความคงตัวสูงที่อุณหภูมิที่กำหนด มีสมบัติการไหลที่ดี และมีค่าความทนทานต่อแรงกระแทก

2. เกรดน้ำหนักโมเลกุลสูง พอลิสไตรีนมีสมบัติทนทานต่อแรงดึงต่ำเมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 50,000 แต่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นเป็น 100,000 (ดังรูป) การเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 100,000 เป็นการเพิ่มสมบัติ ความแข็งแรงดึงเพียงเล็กน้อย แต่มีผลตรงกันข้ามกับปรากฏการการไหลของสารดังนั้นเกรดน้ำหนักโมเลกุลสูง บางครั้งถูกใช้ในการปรับปรุง ความทนทานต่อแรงกระแทก ที่ต้องการโดยความใสไม่เปลี่ยนแปลงดังที่เกิดในพอลิสไตรีนชนิดเหนียว

3. เกรดทนทานต่อความร้อน โดยการลดปริมาณของสารที่ระเหยได้ จุดอ่อนตัวของพอลิสไตรีนจะเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น การลดลงของปริมาณโมโนเมอร์ที่มีอยู่จาก 5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0 เปอร์เซ็นต์จุดอ่อนตัวเพิ่มขึ้นจาก 70° C เป็น 100° C เกรดทางการค้าที่ทนทานต่อความร้อนโดยทั่วไปจะมีจุดอ่อนตัวสูงขึ้นประมาณ 7° C จากจุดอ่อนตัวของเกรดการใช้งานทั่วไป

4. เกรดที่มีการไหลได้ง่าย ทำได้โดยการเติมสารหล่อลื่นภายในเช่นบิวทิลสเรียเรต หรือของเหลว พาราฟิน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ การควบคุมลักษณะของเม็ดและขนาดพลาสติกและการหล่อลื่นเม็ดพลาสติกด้วยสารหล่อลื่นภายนอกเช่นซิงสเรียเรต นอกจากนี้สมบัติการไหลของพอลิสไตรีนอาจปรับปรุงด้วยผลของสมบัติอื่น ๆ เช่นการลดอุณหภูมิของการอ่อนตัวลง 10 ° C วัสดุที่ได้จะนำไปใช้งานอัดแบบที่มีผนังบาง(thin wall molding) สำหรับการขึ้นรูปที่เกิดการแข็งตัวและมีความเครียด(strain)ต่ำ หรือเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆที่มีการขึ้นรูปซับซ้อน แต่ไม่เป็นที่นิยมในการใช้งานกับเกรดการใช้งานทั่ว ๆ ไปเนื่องจากการมีอุณหภูมิในการคงตัวต่ำเป็นสาเหตุที่ทำให้รอบของการฉีดขึ้นรูปมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คุณสมบัติและโครงสร้างของสไตรีน

พอลิสไตรีนมีหน่วยซ้ำกันอย่างง่ายดังรูปที่ และมีลักษณะของพอลิเมอร์เชิงเส้นที่เป็นเทอร์โมพลาสติก เช่นเดียวกับ พอลิโพรพิลิน PVC และสารประกอบไวนิลอื่น ๆเนื่องจากเป็นพอลิเมอร์อสัณฐานที่เป็นแบบอแทคติค เช่นเดียวกับพอลิเมทิล เมทธอะคริเลท อย่างไรก็ตามส่วนที่เป็นแบบซินดิโอแทคทิค จะมีความถี่มากกว่า แบบอแทคติค ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของไวนิลพอลิเมอร์ที่เริ่มต้นจากปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระ

เนื่องจากการมีสายโซ่ที่แข็งเนื่องจากอิทธิพลของวงเบนซีน ค่า Tg ของวัสดุทางการค้าจึงอยู่ในช่วง 90-100^{o}C และพอลิเมอร์แบบอแทคติค ที่มีค่าใกล้เคียงกันค่า Tg และธรรมชาติของพอลิเมอร์อสัณฐาน ทำให้ได้วัสดุมีความแข็งและใสที่อุณหภูมิห้อง การมีไฮโดรคาร์บอนอยู่ในโครงสร้างมีค่าการละลาย 18.6 MPa ซึ่งใกล้เคียงกับ เบนซีน และ โทลูอีน การมีวงเบนซีนเป็นผลให้สไตรีนมีความว่องไวต่อปฏิกิริยามากกว่า พอลิเอทิลีน ลักษณะของปฏิกิริยาของหมู่ฟีนอล เช่น คลอริเนชัน ไฮโดรจิเนชัน และซัลโฟเนชัน สามารถเกิดขึ้นได้ในพอลิสไตรีน การขาดของสายโซ่และการเกิดสีที่ไม่ต้องการมักจะเกิดขึ้นมาเนื่องจากผลของปฏิกิริยาดังกล่าว การมีเพียงสารไฮโดรคาร์บอนที่บริสุทธ์ของสไตรีนทำให้มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม เป็นผลเนื่องจากสมบัติพื้นฐานที่ดีของสารทั้งสอง และค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำ เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ประเภทไฮโดรคาร์บอน สมบัติความเป็นฉนวนดีอยู่แม้ว่าจะอยู่ในสภาวะที่มีความชื้นก็ตาม

พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่แข็งและใสปราศจากกลิ่นและรสเผาไหม้เกิดเปลวไฟที่มีเขม่า และมีค่าความถ่วงจำเพาะที่ต่ำ 1.054 และเนื่องจากมีราคาที่ต่ำ มีความสามารถในการขึ้นรูปที่ดี มีค่าการดูดความชื้นที่ต่ำ มีความคงตัวต่อขนาดที่ดี มีสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี สามารถเกิดสีได้ และทนทานต่อสารเคมี จึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการฉีดขึ้นรูป และการขึ้นรูปด้วยสูญญากาศ นอกจากนี้การที่มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำจึงมีการนำไปทำเป็นโฟมสไตรีนใช้เป็นฉนวนกันความร้อน ข้อจำกัดหลักของพอลิสไตรีนคือ ความเปราะ และไม่สามารถคงตัวที่จุดเดือดของน้ำได้ และความทนทานต่อน้ำมันต่ำนอกจากนี้สมบัติเชิงกลของพอลิสไตรีนยังขึ้นอยู่กับขอบเขตของธรรมชาติของพอลิเมอร์ เช่น น้ำหนักโมเลกุล วิธีการเตรียมตัวอย่างทดสอบ และวิธีในการทดสอบเช่นเดียวกับวัสดุพลาสติกทั่วๆไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1. วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1.1. แบบพื้นฐาน (Mold base) เกรด SC ขนาด 2735

1.2. เม็ดพลาสติกพอลิสไตรีน (polystyrene) ของบริษัท Dow Chemical จำกัด เกรด styron 492J ค่าอัตราการไหล(MFR) เท่ากับ 2.8 กรัม/นาที

3.2. อุปกรณ์

2.1. เครื่องคอมพิวเตอร์ระบบ Unix ของบริษัท Silicon graphic (ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวัสดุแห่งชาติ)

2.2. โปแกรมคอมพิวเตอร์ด้าน CAD CAM และ CAE (Pro Engineer® และ Moldflow®

2.3. เครื่องกัดชิ้นงานโลหะ CNC : MAZAK รุ่น MAZAKTROL M32 บริษัท SEILO จำกัด

2.4. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) : Battenfeld รุ่น BA 1000/500 CDC UNILOG 4000B SERVO CLOSED LOOP บริษัท SAGEN MULLER จำกัด

3.3. ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1. ศึกษาการใช้โปแกรมด้าน CAE และ CAD

3.2. ออกแบบผลิตภัณฑ์ด้วยโปรแกรม Pro Engineer พร้อมทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Moldflow®

3.3. ออกแบบแม่พิมพ์จากผลที่ได้จากการวิเคราะห์

3.4. จัดสร้างแม่พิมพ์ตามที่ออกแบบไว้

3.5. ทำการฉีดเพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการฉีดจริงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์

3.6. สรุปผลการทดลองพร้อมหาเหตุผลประกอบ

3.4.การทดสอบและการเปรียบเทียบ

4.1 การออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม CAD (Computer Aided Design)

ทำการออกแบบชิ้นตามที่ต้องการ (ซ้อนและส้อมที่มี 6 โพรงแบบ) ด้วยการใช้โปรแกรม Pro Engineer® โดยทำการออกแบบในลักษณะพื้นผิว (Surface) ก่อน แล้วทำการแปลงเป็นรูปร่างตัน (Solid) เนื่องจากจากรูปร่างของชิ้นงานมีลักษณะเป็นส่วนโค้ง (Curve) จำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การส่งผ่านข้อมูลเพื่อเข้าสู่โปรแกรม CAE (Computer Aided Engineer)

ทำการการ IGES แบบชิ้นงานที่สร้างไว้เข้าไปยังโปรแกรม Moldflow® เพื่อทำการวิเคราะห์การเติม (Filling) และการอัดตัว (Packing)

4.3 ทำการวิเคราะห์ในส่วนโพรงแบบของแต่ละชิ้นงานในส่วนของการเติมเต็ม (Cavity Filling Analysis)

4.3.1.ทำการเมช (Mesh) โพรงแบบ (Cavity) แล้วทำการแก้ไขเมช

4.3.2.ทำการกำหนด Node ในการฉีดโดยสมมติให้เป็นตำแหน่งของทางเข้าโพรงแบบ

4.3.3.ทำการเลือกชนิดของวัสดุ โดยเลือกจาก Material Database โดยในที่นี้ใช้การวิเคราะห์ด้วย Polystyrene เกรด MFR เท่ากับ 2.8

4.4.ทำการสมดุลการไหลภายในโพรงแบบและระบบรูวิ่ง (Balance Runner)

4.4.1ทำการวางตำแหน่งโพรงแบบของชิ้นงาน (Cavity) ตามต้องการ

4.4.2.ทำการวางตำแหน่งของรูฉีด (Sprue) รูวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate)

4.4.3.ทำการเลือกวัสดุตามที่ต้องการ

4.4.4.ทำการวิเคราะห์การเติม (3D Filling Analysis)

4.4.5.ทำการปรับแต่งและสมดุลรูวิ่งไปสู่โพรงแบบโดยทำการปรับรูปร่างและลักษณะของรูวิ่ง

4.4.6.ทำการวิเคราะห์การเติมของโพรงแบบและระบบรูวิ่งโดยพิจารณาให้ได้ตามข้อกำหนดดังนี้

ก.ให้มีการไหลที่สมดุล (Flow Balance) คือ มีการเติมเต็มที่ปลายของแต่ละโพรงแบบที่เวลาเดียวกัน

ข.ให้มีการลดลงของความดัน (Pressure Gradient) ที่แต่ละโพรงแบบมีค่าความดันเท่ากับศูนย์

ค.ให้มีค่าความเค้นเฉือน (Shear Stress) ในระหว่างการเติมมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตของวัสดุที่กำหนดใน Material Database

ง.ความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทาน (Friction Heating) ควรกำหนดให้ต่ำกว่าค่าสูงสุดของวัสดุใน Material Database

จ.ให้เกิดการปิดตัวของทางเข้า (Gate) พอดีเมื่อทำการเติมเต็ม (Thermal Shutoff)

4.5. ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะกับการออกแบบแม่พิมพ์

4.5.1.ทำการเลือกวัสดุพอลิสไตรีนที่มีคุณสมบัติเหมาะกับการออกแบบแม่พิมพ์ โดยทำการพิจารณาคุณสมบัติการไหล ความเค้นเฉือนเป็นหลัก พบว่าพอลิสไตรีน เกรด MFR 24.976 มีคุณสมบัติที่เหมาะกับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.ทำการวิเคราะห์การไหลในโพรงแบบที่ทำการสมดุลการไหลไว้แล้ว

4.5.3.ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์

4.6.ทำการวิเคราะห์โพรงแบบในส่วนของการอัดตัว (Packing Analysis)

4.7.ทำการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมกับวัสดุที่จะทำการฉีดขึ้นรูป

4.7.1.พิจารณาชนิดของวัสดุที่จะใช้

4.7.2.พิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์การเติม (Filling Analysis) ของแม่พิมพ์และรูวิ่งที่ทำการสมดุลแล้วเพื่อทำการพิจารณาหาค่าของตัวแปรดังนี้

ก.อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการหลอมเหลว

ข.อุณหภูมิของแม่พิมพ์

ค.อัตราการไหล

ง.เวลาที่ใช้ในการฉีดของขั้นตอนการเติม (Filling Step)

จ.ความดันที่ใช้ในการเติม

ฉ.ความดันสูงสุดที่ใช้ในการเติม

ช.ความดันที่ใช้ในการยึดแม่พิมพ์ขณะทำการฉีด

4.7.3.พิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์การอัดตัว (Packing Analysis) ของแม่พิมพ์และระบบรูวิ่งที่ทำการสมดุลแล้วเพื่อทำการพิจารณาหาค่า

ก.ความดันที่ใช้ในการอัดตัว

ข.เวลาที่ใช้ในการอัดตัว

ค.ความดันที่ใช้ในการยึดแม่พิมพ์ขณะทำการอัดตัว

4.7.4.ทำการสรุปผลเพื่อไปรวบรวมเป็นค่าในการฉีดขึ้นรูป

4.8.การออกแบบและการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยโปรแกรม Pro Engineer®

4.8.1ขั้นตอนการออกแบบ

1.ทำการออกแบบแม่พิมพ์เป็นลักษณะ แบบแผ่นโลหะสองแผ่น (Two-plate) หรือแบบแผ่นโลหะสามแผ่น (Three-plate) โดยพิจารณาจากการเข้าของรูวิ่ง (Gate)

2.ทำการวางแบบแผน (Lay out) ของแม่พิมพ์ว่าโพรงแบบควรวางเช่นไรเพื่อกำหนดขนาดของแม่พิมพ์ได้ (เป็นการกำหนดขนาด Mold base)

3.ทำการพิจารณา Parting line (แนวที่จะแบ่งตำแหน่งของแม่พิมพ์ตัวผู้ (Core) และ แม่พิมพ์ตัวเมีย(Cavity))

4).ทำการพิจารณาระบบหล่อเย็น (Cooling system) ว่าหล่อเย็นด้วยวิธีใดที่จะถ่ายเทความร้อนได้อย่างคงที่

5).ทำการออกแบบระบบปลดชิ้นงาน (Ejector system) ว่าจะใช้ระบบเข็ม (pin) หรือสตริปเปอร์ (Stripper plate) ซึ่งขึ้นกับรูปร่างของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.2.ขั้นตอนการสร้าง

1).ทำโปรแกรมการควบคุมเครื่อง CNC (G-code) เพื่อทำการกัดแม่พิมพ์ตัวผู้ (Core) แม่พิมพ์ตัวเมีย (Cavity) โดยมีขั้นตอนการกัดหยาบ (Rough) การกัดกึ่งละเอียด (Semi-finish) และการกัดละเอียด (Finish)

2).ทำการกัดร่องรูวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate)

3).เจาะรูกระทุ้งในกรณีที่เป็นตัวผู้ (Core) และเจาะรูสำหรับ Sprue bush ในกรณีที่เป็นตัวเมีย (Cavity)

4).ในกรณีของตัวผู้ต้องทำการริมเมอร์ (Rimmer) รูของเข็มกระทุ้ง

5).เจาะรูที่แผ่น Retainer plate เพื่อใส่เข็มกระทุ้ง

6).เจาะรูของระบบหล่อเย็น (Cooling) ที่แม่พิมพ์ตัวผู้และตัวเมีย

7).ทำการประกอบแม่พิมพ์

4.9 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวิเคราะห์และค่าที่ได้จริงจากการทดลอง

4.9.1.ทำการปรับเปลี่ยนค่าดังนี้ โดยให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ (พิจารณาค่าที่ได้จากการคำนวณประกอบ)

-ความดันในการฉีด (Injection Pressure)

-เวลาที่ใช้ในการฉีด (Injection time หรือ flow rate)

-อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt temperature)

-อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold temperature)

-เวลาในการเย็นตัว (Cooling time and holding time)

4.9.2.ทำการบันทึกลักษณะของชิ้นงานจนได้ลักษณะชิ้นงานที่มีคุณภาพดีตามต้องการ

4.9.3. ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองฉีดจริงกับค่าที่ได้จากการฉีดด้วยการคำนวณพร้อมทั้งหา เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{(\text{ค่าที่ได้จากการฉีดจริง} - \text{ค่าที่ได้จากการคำนวณ}) \times 100}{\text{ค่าที่ได้จากการฉีดจริง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
ผลการทดลองและวิจารณ์

การดำเนินงานออกแบบแม่พิมพ์ที่มีหลายโพรงแบบสำหรับการอัดแบบชนิดฉีด ได้ทำการวิเคราะห์และทำการจัดสร้างด้วยโปรแกรม Pro Engineer และทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Moldflow โดยสามารถทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากโปรแกรมและการจัดสร้าง แม่พิมพ์โดยผลการวิจัยเป็นดังนี้

4.1 การออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม Pro Engineer

สามารถทำการออกแบบลักษณะของชิ้นงานช้อนและส้อมได้ดังนี้

ก. แบบรูปช้อน

ข. แบบรูปส้อม

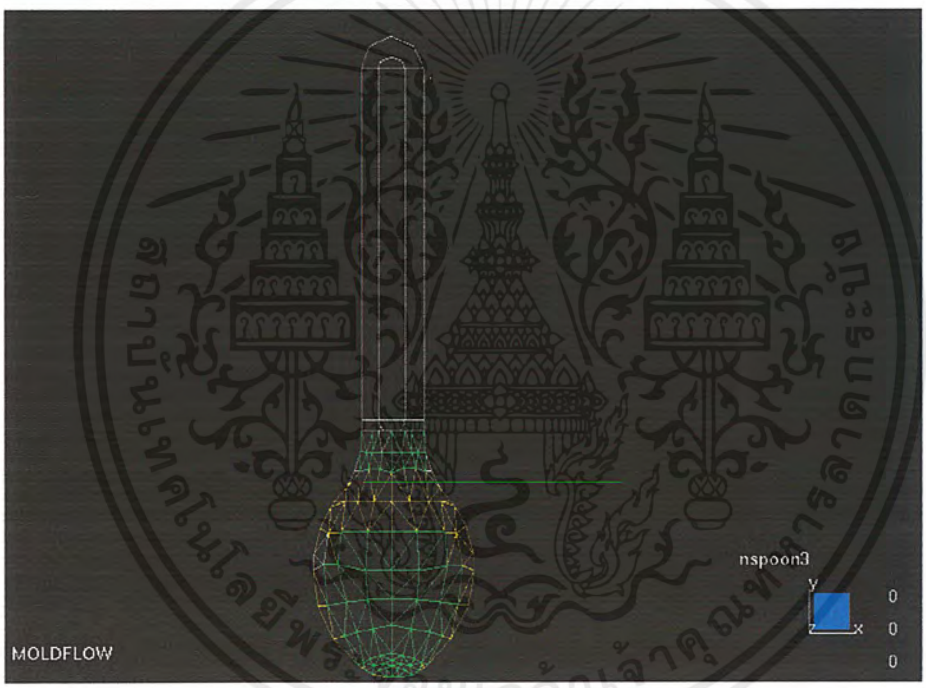
รูปที่ 4.1 แสดงแบบที่ได้ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป การออกแบบช้อนอาศัยหลักการเขียนด้วยพื้นผิว (Surface) ก่อนเนื่องจากรูปร่างชิ้นงานมีส่วนโค้งมาก จากนั้นทำการเปลี่ยนให้กลับมาอยู่ในลักษณะของทรงตันแข็ง(Solid) สำหรับส้อมอาศัยหลักการออกแบบเช่นเดียวกันช้อน แล้วทำการเซาะร่องบริเวณด้ามช้อนเพื่อเป็นการประหยัดวัสดุ

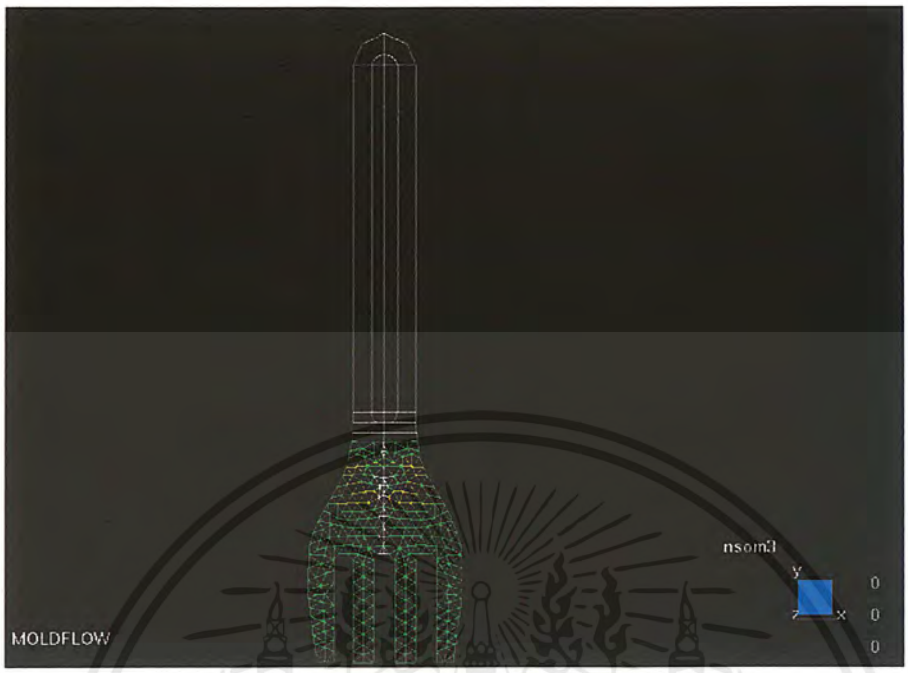
4.2 การส่งผ่านแบบชิ้นงานเข้าสู่โปรแกรม Moldflow®

ทำการ IGES(Initial Graphic Exchange Specification) รูปแบบของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรม Pro Engineer® ไปยังโปรแกรมการวิเคราะห์ Moldflow® โดยแบ่งความหนาของชิ้นงานให้อยู่ในรูปกึ่งกลาง (Mid-plane) ก่อนทำการส่งเข้าไปยังโปรแกรม จากนั้นลักษณะของชิ้นงานที่เข้าสู่โปรแกรม Moldflow® ต้องทำการแบ่งเมช (Mesh) ซึ่งได้ผลดังนี้



ก.ชิ้นงานช้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข.ชิ้นงานส้อม

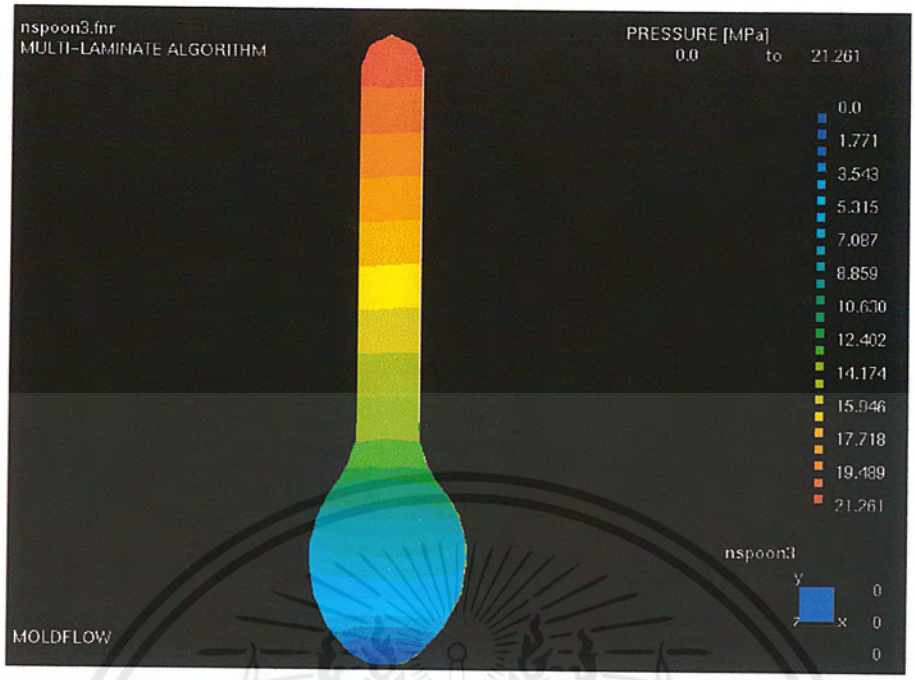
รูปที่ 4.2 แสดงรูปของแบบชิ้นงานที่ผ่านการ IGES

4.3 ผลการวิเคราะห์โพรงแบบของแต่ละชิ้นงานในส่วนของการเติมเต็ม (Cavity filling analysis) เพื่อพิจารณาก่อนนำไปวิเคราะห์ร่วมกับระบบรูวิ่ง (Runner system)

4.3.1 การศึกษาความดันภายในโพรงแบบขณะทำการเติม (Pressure profile in cavity)

ภายในโพรงแบบจะเกิดการลดลงของความดันอย่างคงที่โดยจะเกิดการลดลงของความดันมากเมื่อไหลผ่านบริเวณที่บางและเกิดการลดลงของความดันต่ำกว่าบริเวณที่มีความหนามากขึ้น สำหรับรูปแบบการลดลงที่ดีควรมีการลดลงของความดันอย่างสม่ำเสมอและบริเวณสุดท้ายของการเติมควรมีค่าความดันเท่ากับศูนย์เมกะปาสคาล (0 MPa) โดยจากการวิเคราะห์พบว่าในโพรงแบบรูปช้อนใช้เวลาในการเติมนานกว่าในโพรงแบบรูปส้อม เนื่องจากโพรงแบบรูปช้อนมีบริเวณส่วนที่โค้งและบางมากกว่าทำให้การไหลภายในโพรงแบบใช้เวลาที่มากกว่าโดยที่จุดสุดท้ายของการเติมในโพรงแบบทั้งสองมีค่าความดันเท่ากับศูนย์เมกะปาสคาลตามที่ต้องการ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.การวิเคราะห์ช้อน

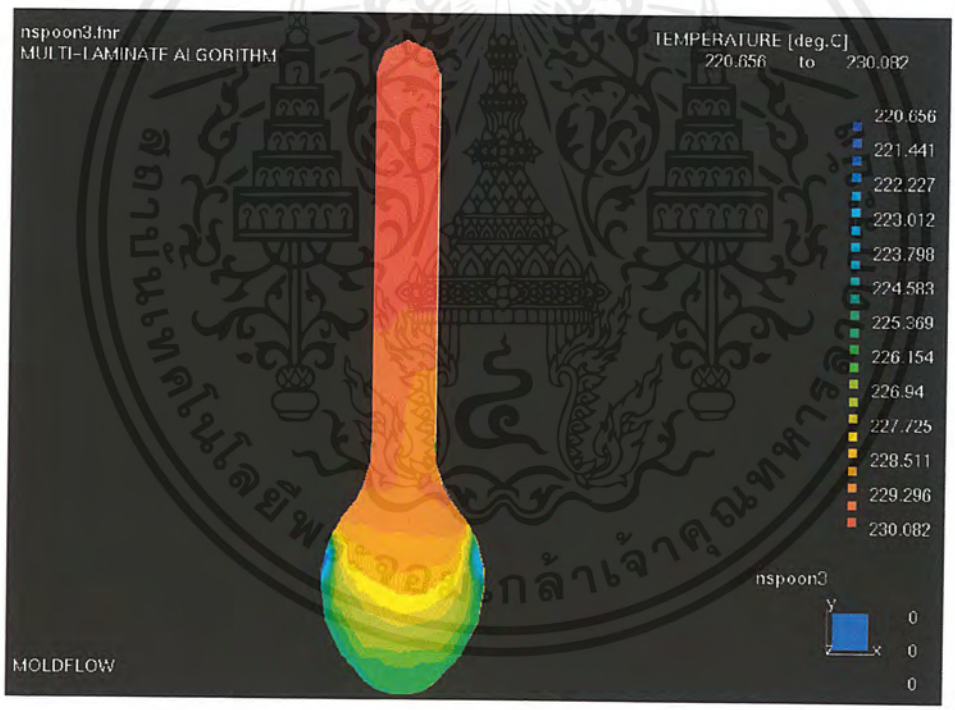
ข. การวิเคราะห์ส้อม

รูปที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความดันภายในโพรงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

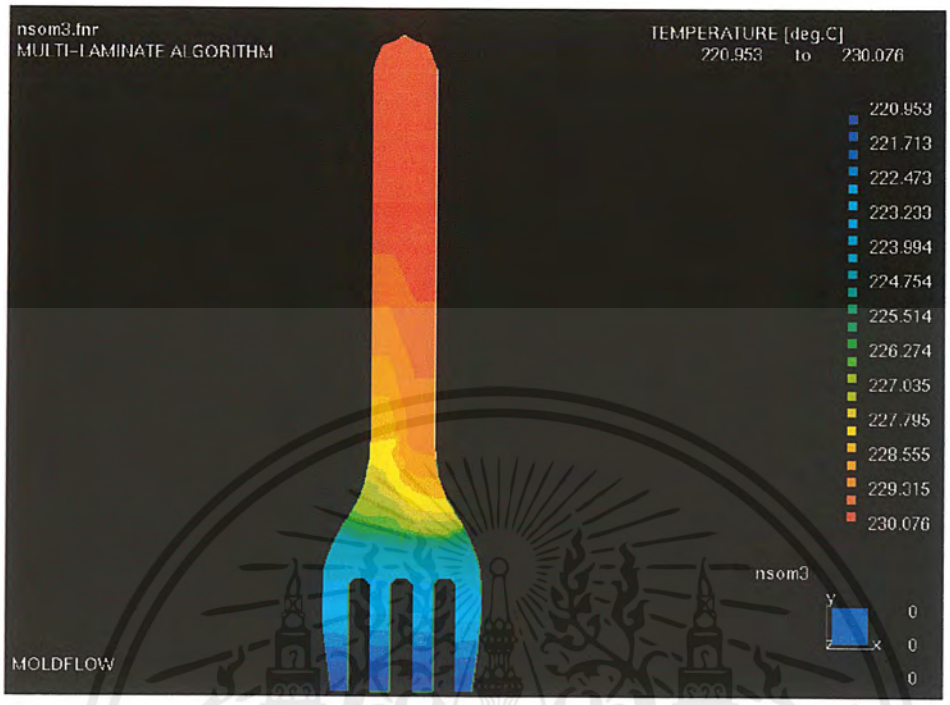
4.3.2 การศึกษาอุณหภูมิของพลาสติกภายในโพรงแบบขณะทำการเติม (Temperature profile in cavity)

อุณหภูมิของพลาสติกมีค่าลดลงขณะทำการฉีดเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทาน (Friction heating) มีค่าน้อยกว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังแม่พิมพ์ โดยพบว่าในโพรงแบบรูปช้อนอุณหภูมิลดลงอย่างสม่ำเสมอบริเวณด้ามแต่เมื่อเข้าสู่บริเวณที่โค้งซึ่งความหนาจะมากที่บริเวณกลางและบางบริเวณด้านข้างทำให้เกิดการลดลงของอุณหภูมิมากบริเวณด้านข้าง ส่วนโพรงแบบรูปส้อมมีการลดลงของอุญหภูมิที่สม่ำเสมอและคงที่ตลอดชิ้นงานเนื่องจากมีการลดลงของความหนาคงที่ตลอดโพรงแบบ ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้



ก. การวิเคราะห์ช้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



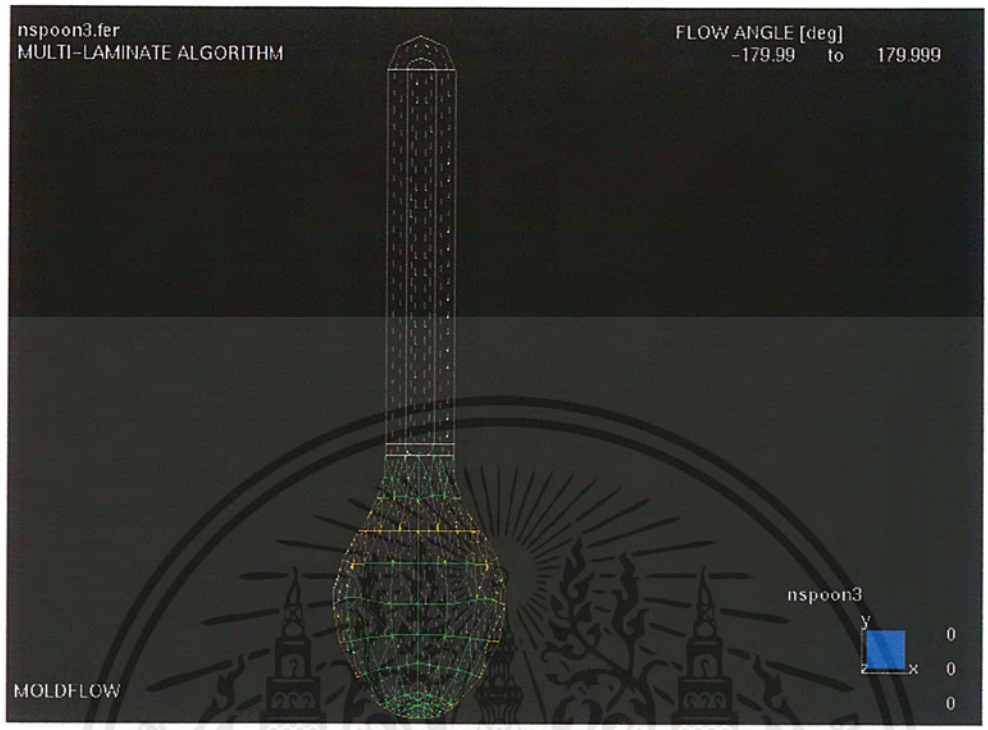
ข. การวิเคราะห์ส้อม

รูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของพลาสติกภายในโพรงแบบ

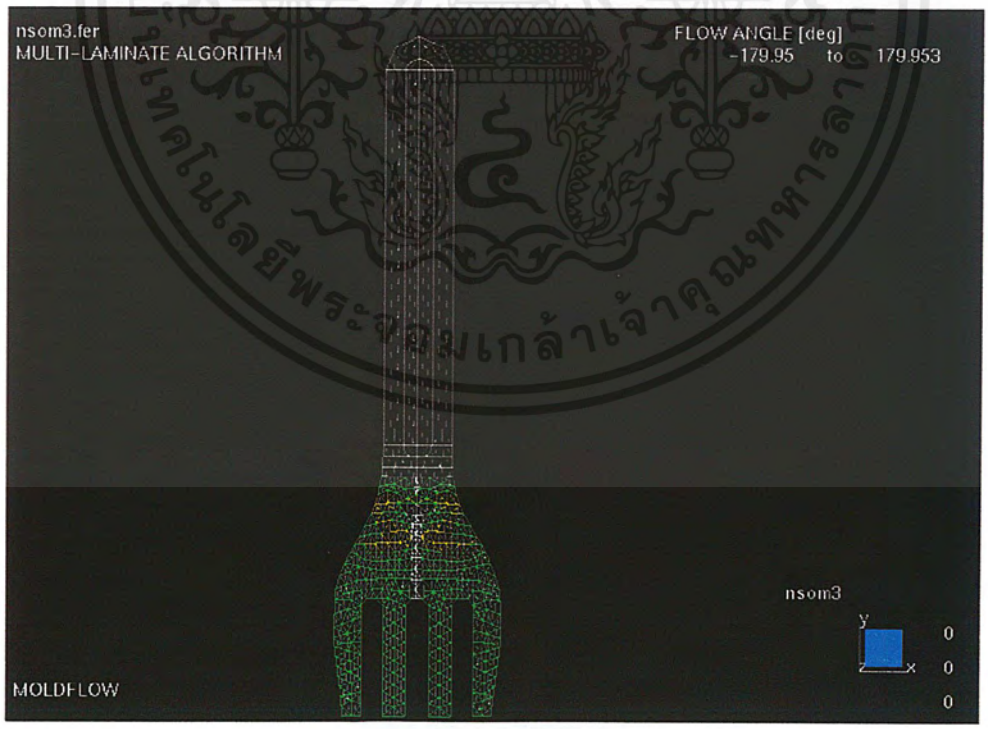
4.3.3 การศึกษาทิศทางการไหลของพลาสติกภายในโพรงแบบขณะเติม (Flow angle in cavity)

ทิศทางการไหลของพลาสติกขึ้นอยู่กับความหนาภายในโพรงโดยพลาสติกจะไหลไปยังบริเวณที่หนาง่ายกว่าบริเวณที่บางจึงทำให้พลาสติกกระจายการไหลไปบริเวณที่หนาก่อนที่จะไหลไปยังบริเวณที่บางกว่า พบว่าทิศทางการไหลของชิ้นงานช้อนและส้อมเป็นไปตามเส้นทางการไหลที่ต้องการ ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.การวิเคราะห์ช้อน



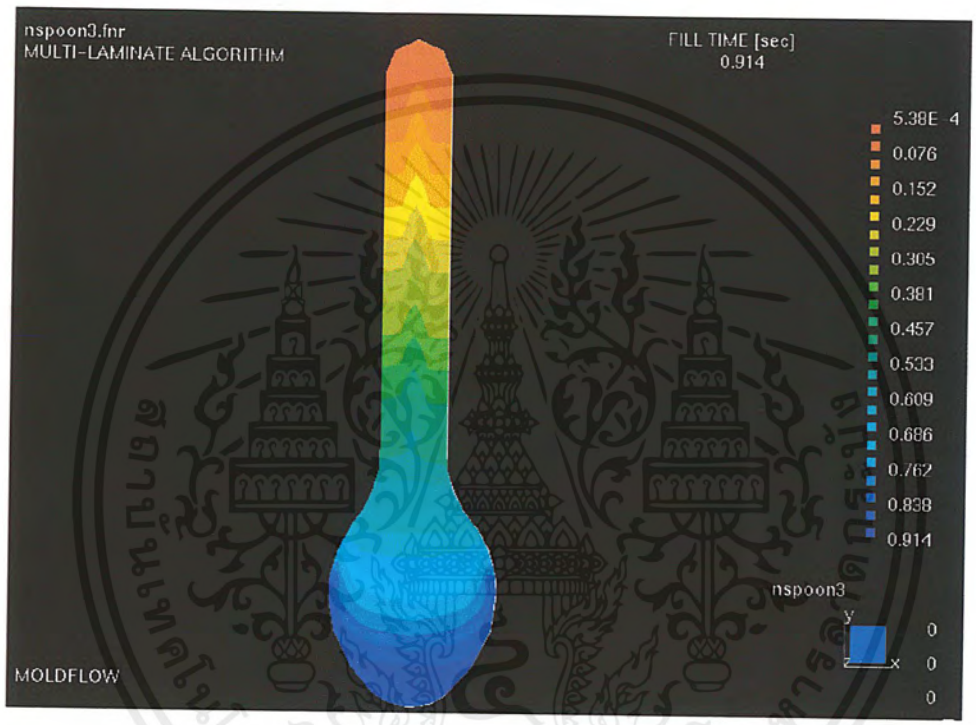
ข. การวิเคราะห์ส้อม

รูปที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์ทิศทางการไหลของพลาสติกภายในโพรงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

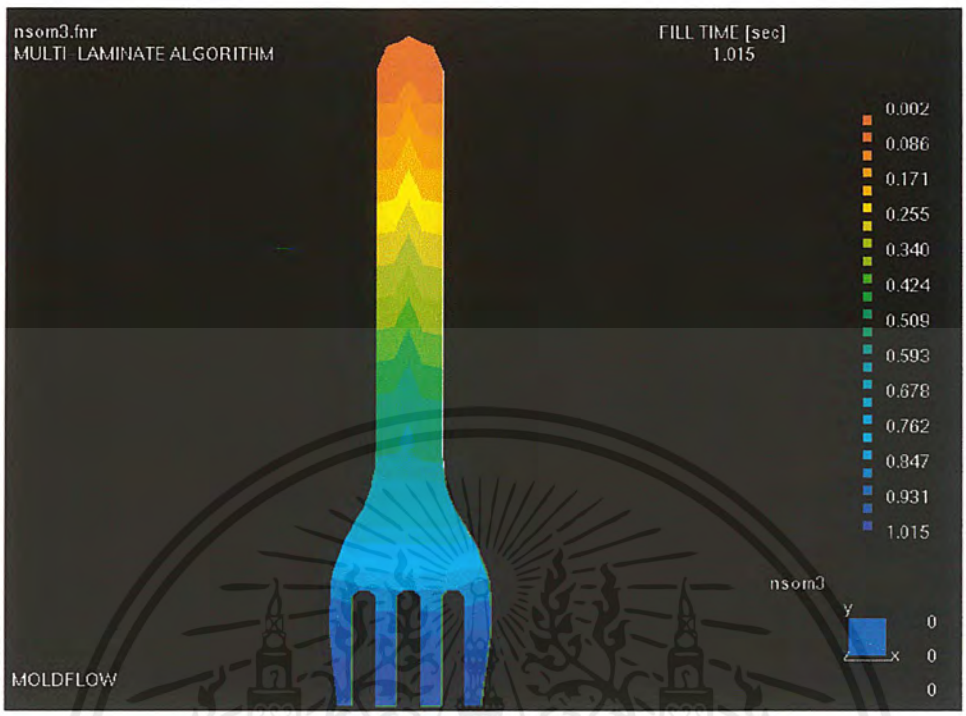
4.3.4 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการเติมภายในโพรงแบบ (Fill time)

เวลาที่ใช้ในการเติมชิ้นงานขึ้นอยู่กับปริมาตรของโพรงแบบและอัตราการไหลของพลาสติกหลอมเหลว โดยพบว่าโพรงแบบรูปช้อนใช้เวลาในการเติมน้อยกว่าโพรงแบบรูปส้อม เนื่องจากปริมาตรของโพรงแบบน้อยกว่า และบริเวณส่วนปลายและด้านข้างของช้อนมีความหนาใกล้เคียงกัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้



ก.การวิเคราะห์ช้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



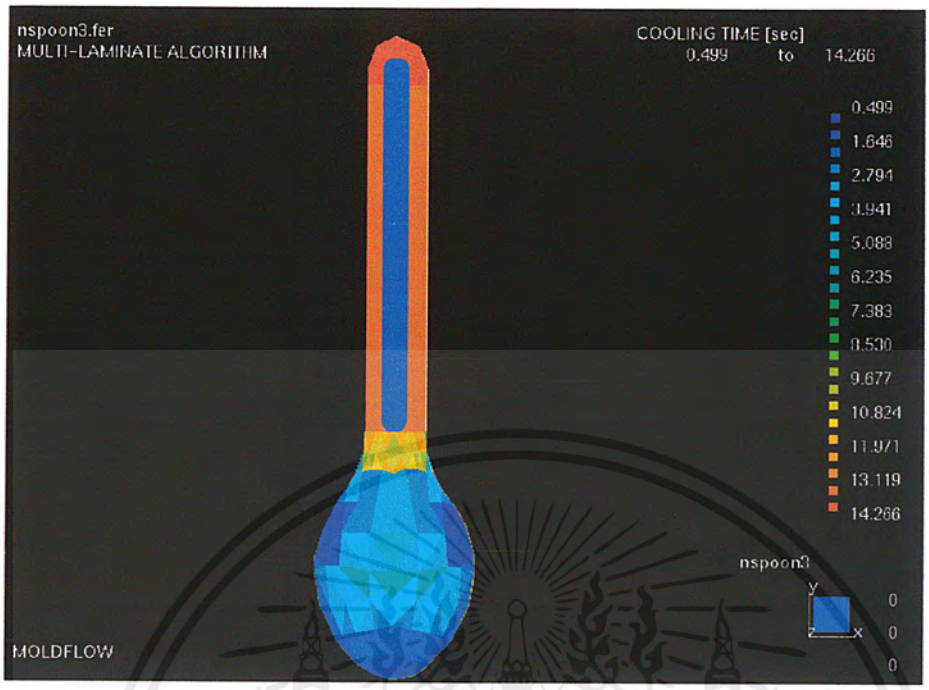
ข.การวิเคราะห์ส้อม

รูปที่ 4.6 แสดงการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการเติมภายในโพรงแบบ

4.3.5 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการเย็นตัว (Cooling time)

เวลาที่ใช้ในการเย็นตัวจะมีค่าน้อยในบริเวณที่บางเนื่องจากเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ง่ายและบริเวณที่เกิดการเติมเต็มก่อนแต่จะใช้เวลามากสำหรับบริเวณที่หนาเนื่องจากมีปริมาณความร้อนสูงและบริเวณที่เกิดการเติมเต็มที่หลัง โดยกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการเย็นตัวเริ่มต้นเมื่อเกิดการเติมจนเต็มโพรงแบบ โดยพบว่าโพรงแบบช้อนและส้อม ตรงบริเวณด้ามส่วนที่บางซึ่งเกิดจากการเซาะร่องและบริเวณปลายของโพรงแบบ จะเกิดการเติมเต็มก่อนและใช้เวลาในการเย็นตัวน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ จากการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.การวิเคราะห์ช้อน

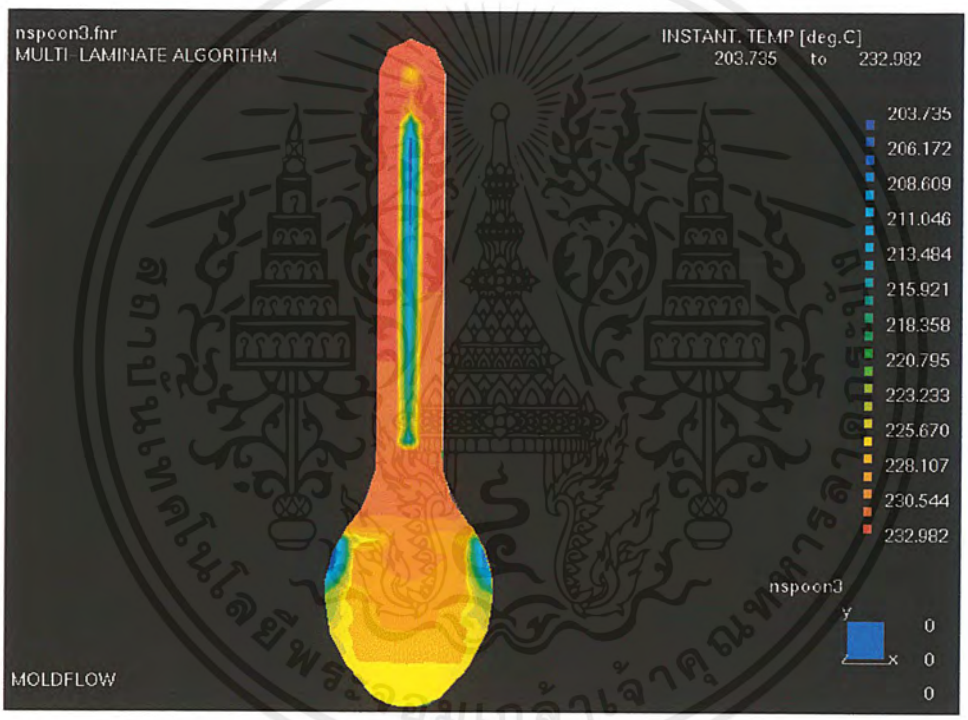
ข.การวิเคราะห์ส้อม

รูปที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการเย็นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

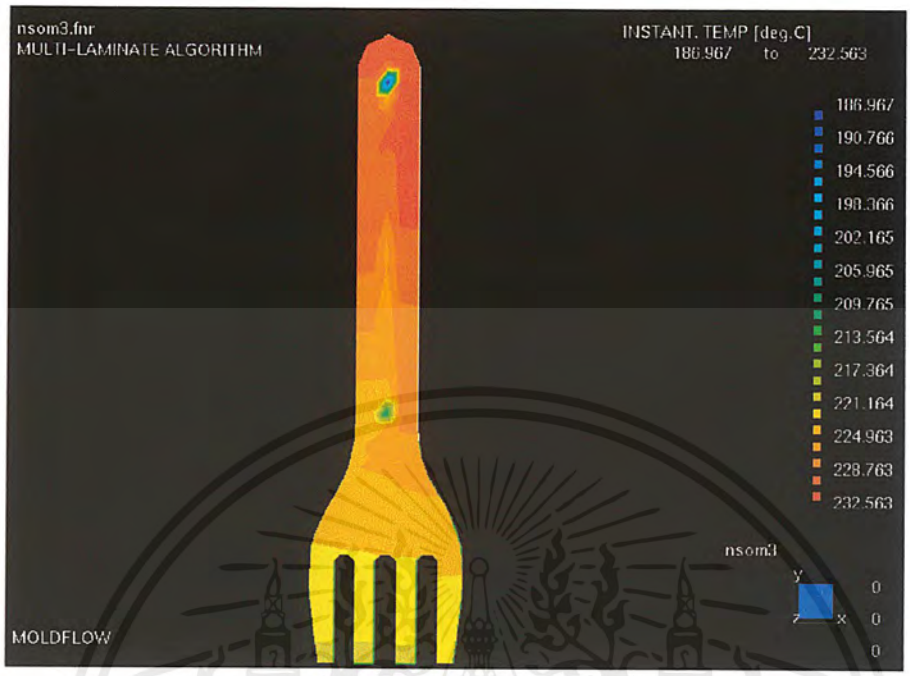
4.3.6 การศึกษาอุณหภูมิภายในโพรงแบบภายหลังการเติมเต็ม (Instant temperature in cavity)

อุณหภูมิของโพรงแบบบริเวณที่เกิดการเติมเต็มหลังสุดมีค่ามากที่สุดในขณะที่บริเวณที่เติมเต็มก่อนมีค่าอุณหภูมิน้อยที่สุด เนื่องจากบริเวณที่เติมเต็มก่อนเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังแม่พิมพ์ได้ก่อนแม้ว่าอุณหภูมิสูงกว่าเนื่องจากความร้อนจากแรงเสียดทานก็ตาม โดยอุณหภูมิภายในโพรงแบบภายหลังการเติมเต็มจะสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการเย็นตัว พบว่าบริเวณส่วนหนาของโพรงแบบทั้งสองและบริเวณที่ใกล้ทางเข้ามีอุณหภูมิภายหลังการเติมเต็มสูง ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้



ก.การวิเคราะห์ช้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



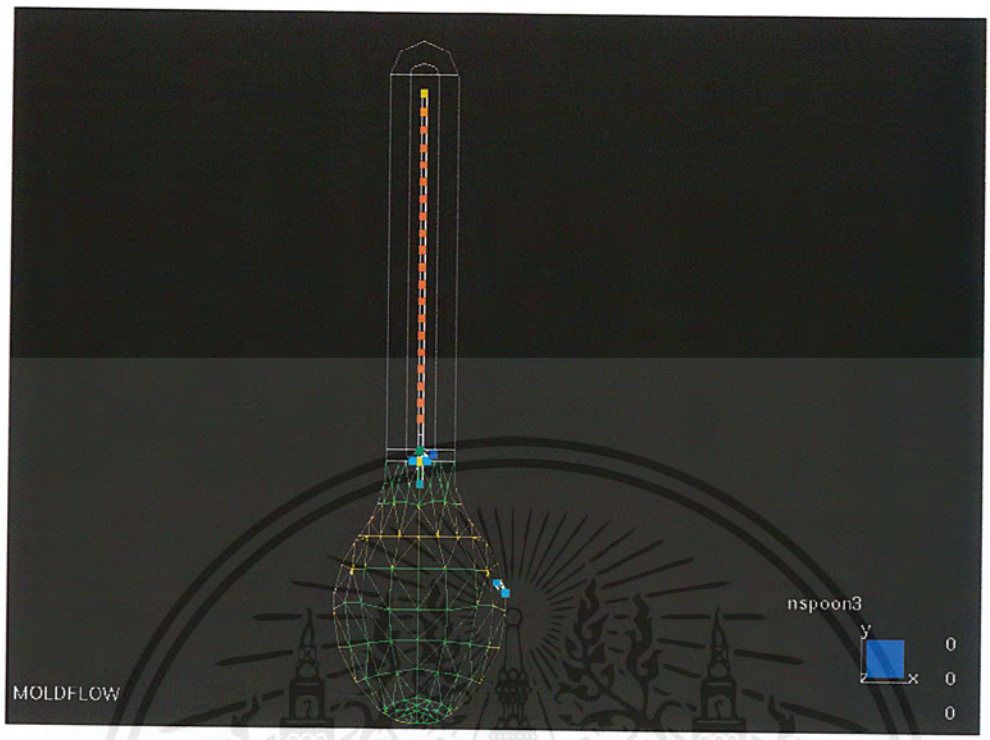
ข.การวิเคราะห์ส้อม

รูปที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิภายในโพรงแบบภายหลังการเติมเต็ม

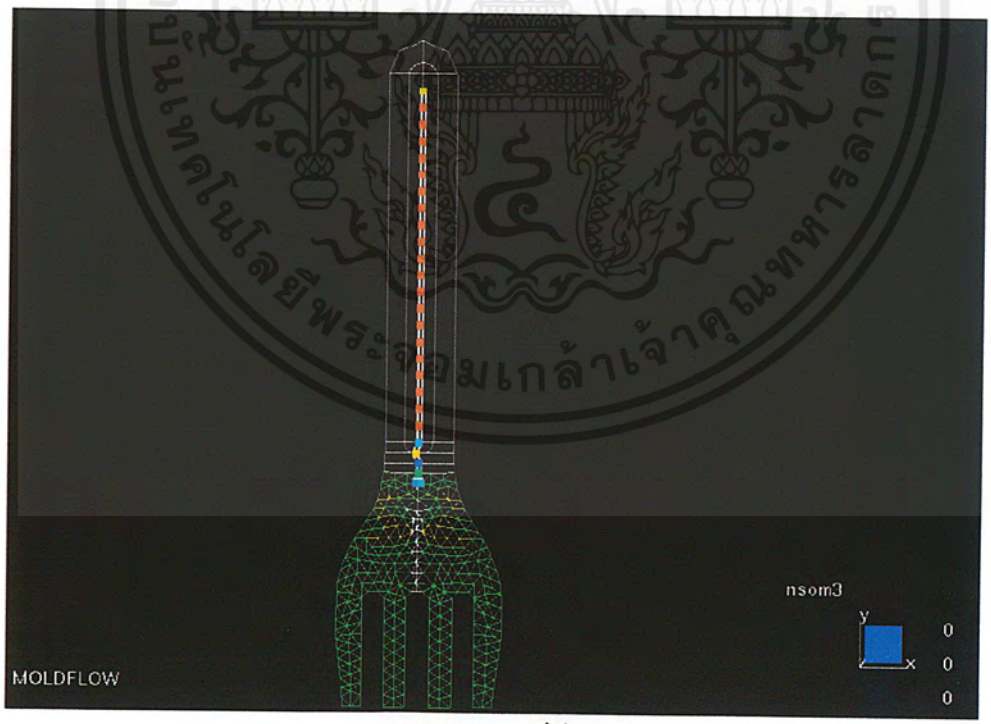
4.3.7 การศึกษาเส้นเชื่อมที่เกิดขึ้นภายในโพรงแบบ (Weld line in cavity)

เส้นเชื่อมเกิดจากสายการไหลของพลาสติกเหลวมาพบกัน โดยจะเกิดขึ้นเมื่อสายการไหลพลาสติกเหลวแยกเป็นสองสายเนื่องจากความสามารถในการเคลื่อนที่ของพลาสติกเหลวผ่านบริเวณที่หนาต่างกัน การเกิดเส้นเชื่อมควรหลีกเลี่ยงไม่ให้มีหรือให้อยู่ในบริเวณที่ไม่ต้องการรับแรงจากภายนอกเนื่องจากเส้นเชื่อมอาจเกิดการแตกได้ง่ายหรือเปราะ โดยพบว่าในโพรงแบบทั้งสองเกิดเส้นเชื่อมบริเวณที่บางของด้ามที่เกิดจากการเซาะร่อง ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.การวิเคราะห์ช้อน



ข.การวิเคราะห์ส้อม

รูปที่ 4.9 แสดงเส้นเชื่อมที่เกิดขึ้นภายในโพรงแบบ

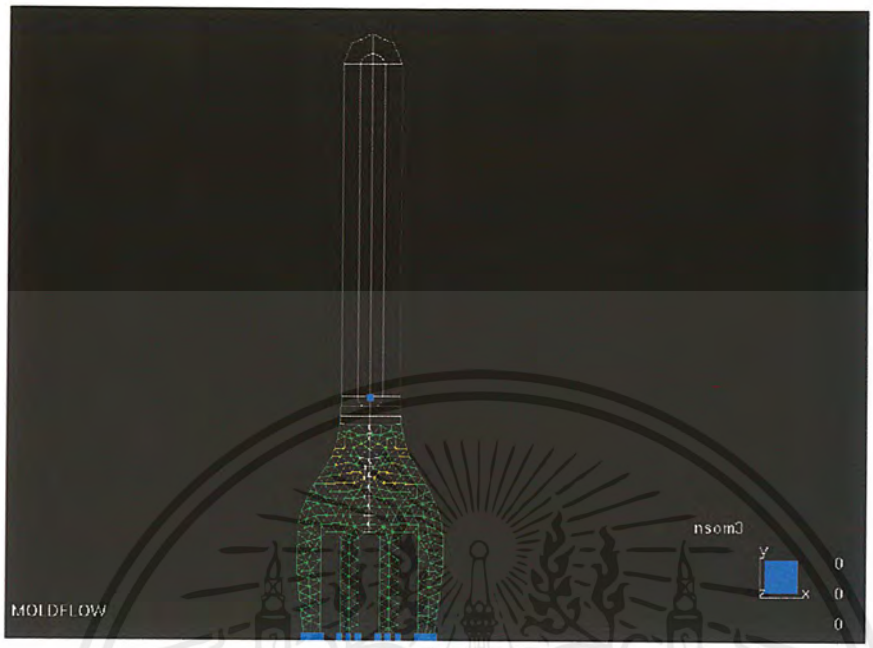
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.8 การศึกษาการกักตัวของอากาศภายในโพรงแบบ (Air traps in cavity)

การกักตัวของอากาศจะเกิดขึ้นในจุดที่บางและเกิดการไหลได้ยากโดยทั่วไป จะเกิดขึ้นในบริเวณจุดสุดท้ายของการเติม (Last point to fill) หรือไม่มีช่องการระบายอากาศ (Air vent) ที่ดี โดยพบว่าในโพรงแบบช้อนเกิดการกักตัวของอากาศที่บริเวณปลายและด้านข้างของช้อน เนื่องจากเป็นบริเวณที่บางและเกิดการเติมหลังสุด ส่วนโพรงแบบส้อมเกิดที่บริเวณปลายของโพรงแบบเท่านั้นเนื่องจากมีการเติมอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

ก.การวิเคราะห์ช้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



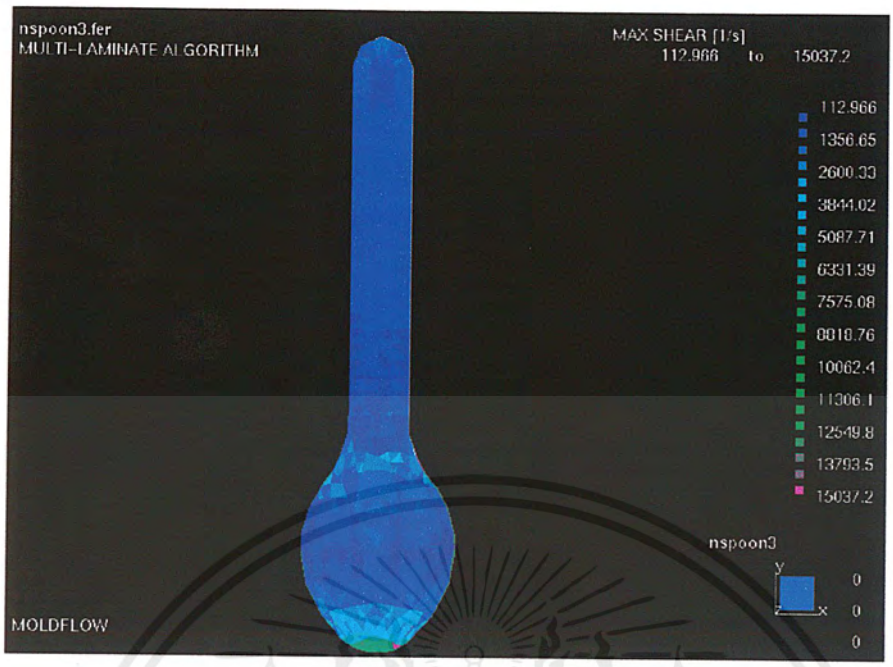
ข.การวิเคราะห์ส้อม

รูปที่ 4.10 แสดงการกักตัวของอากาศภายในโพรงแบบ

4.3.9 การศึกษาค่าอัตราการเฉือนสูงสุดภายในโพรงแบบ (Maximum shear rate in cavity)

ค่าอัตราการเฉือนมีค่าสูงสุดที่บริเวณจุดสุดท้ายของการเติม (Last point to fill) เนื่องจากเป็นจุดที่มีระยะการไหลมากที่สุดโดยเกิดการเฉือนกับโพรงแบบมากที่สุดและมีความสัมพันธ์กับความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทาน (Friction heating) พบว่าโพรงแบบรูปช้อนและส้อมมีจุดที่มีค่าอัตราการเฉือนมากที่สุดบริเวณปลายของโพรงแบบและเมื่อพิจารณาค่าอัตราการเฉือนพบว่าค่าที่ได้ยังคงอยู่ในช่วงสูงสุดซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.การวิเคราะห์ช้อน

ข.การวิเคราะห์ส้อม

รูปที่ 4.11 แสดงค่าอัตราการเฉือนภายในโพรงแบบ

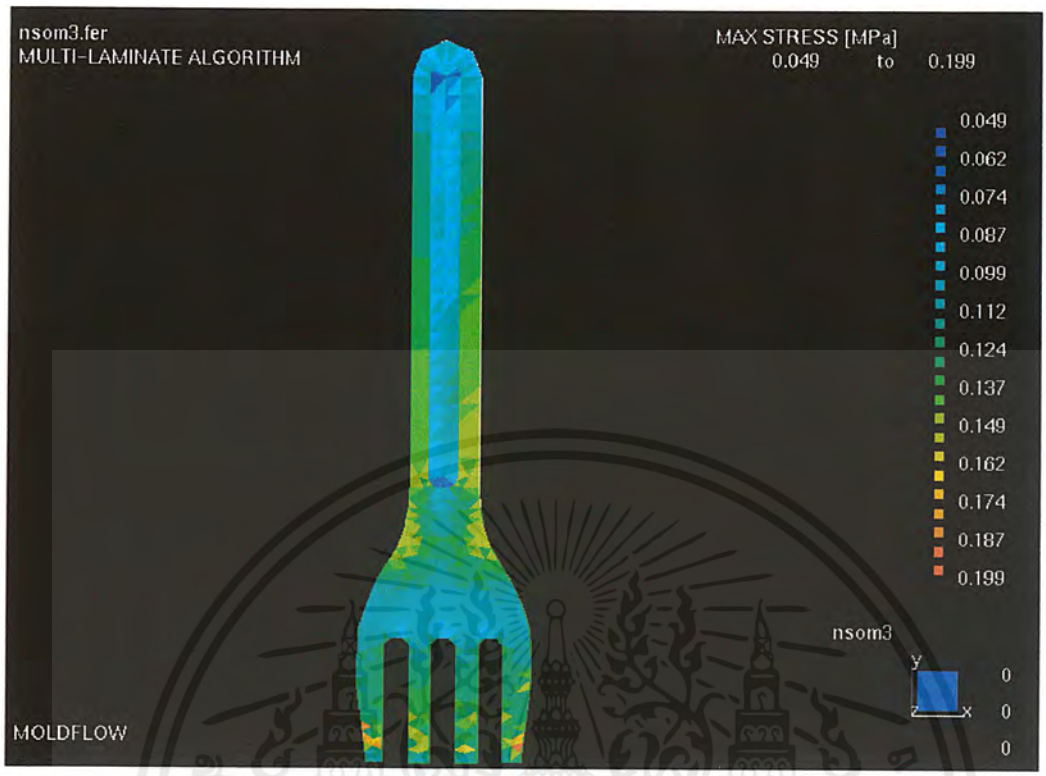
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.10 การศึกษาค่าความเค้นสูงสุดภายโพรงแบบ (Maximum stress in cavity)

ความเค้นจะมีค่ามากที่สุดในบริเวณที่มีการเย็นตัวอย่างรวดเร็วเนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์ยังไม่เกิดการคลายตัวทำให้มีความเค้นภายในโพรงแบบที่บริเวณดังกล่าวมีค่าสูง ทำให้ชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่บริเวณดังกล่าวเกิดการเปราะแตกได้ง่าย โดยโพรงแบบซ้อนมีบริเวณที่มีความเค้นสูงสุดเท่ากับ 0.290 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตของวัสดุคือ 0.250 เมกะปาสคาล จึงเป็นสาเหตุของการแตกหักและเปราะของชิ้นงานได้ง่าย ในขณะที่ความเค้นสูงสุดของโพรงแบบรูปส้อมมีค่าเท่ากับ 0.199 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตของวัสดุทำให้ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งแรงมีความแข็งแรงมากกว่าชิ้นงานที่ได้จากโพรงแบบรูปส้อม ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

ก.การวิเคราะห์ซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข.การวิเคราะห์ส้อม

รูปที่ 4.12 แสดงการวิเคราะห์ความเค้นภายในโพรงแบบ

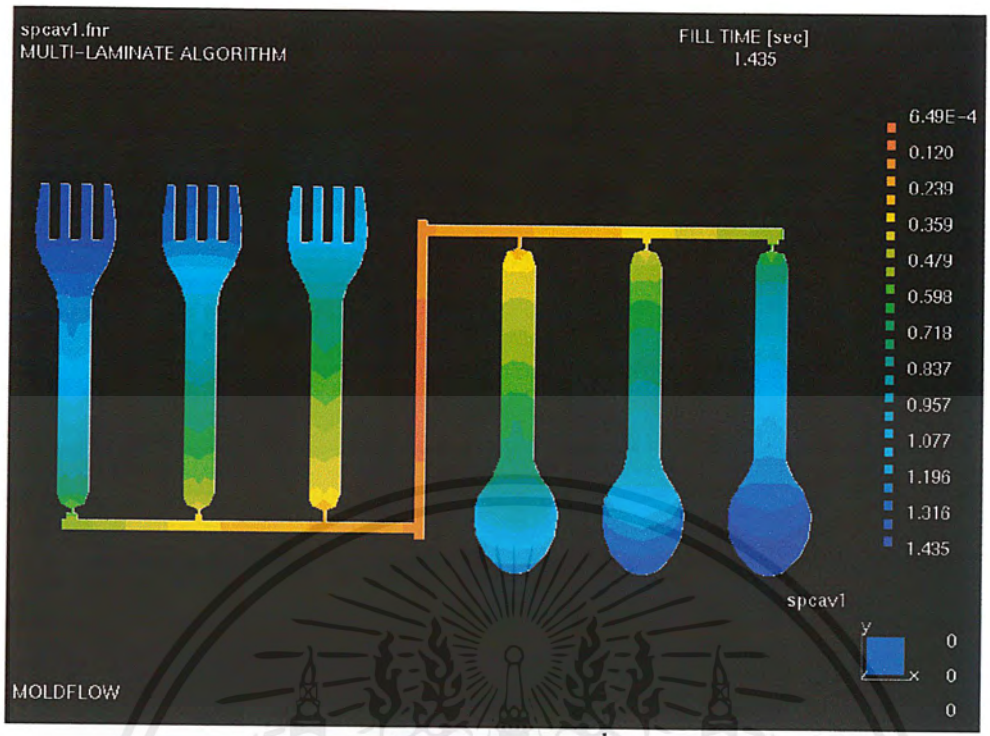
4.4 ผลการเปรียบเทียบการสมดุลการไหลด้วยการสมดุลระบบรูวิ่งของแม่พิมพ์

การสมดุลการไหลสามารถทำได้ด้วยการปรับขนาดและรูปร่างของรูวิ่ง ซึ่งสามารถทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นดังนี้

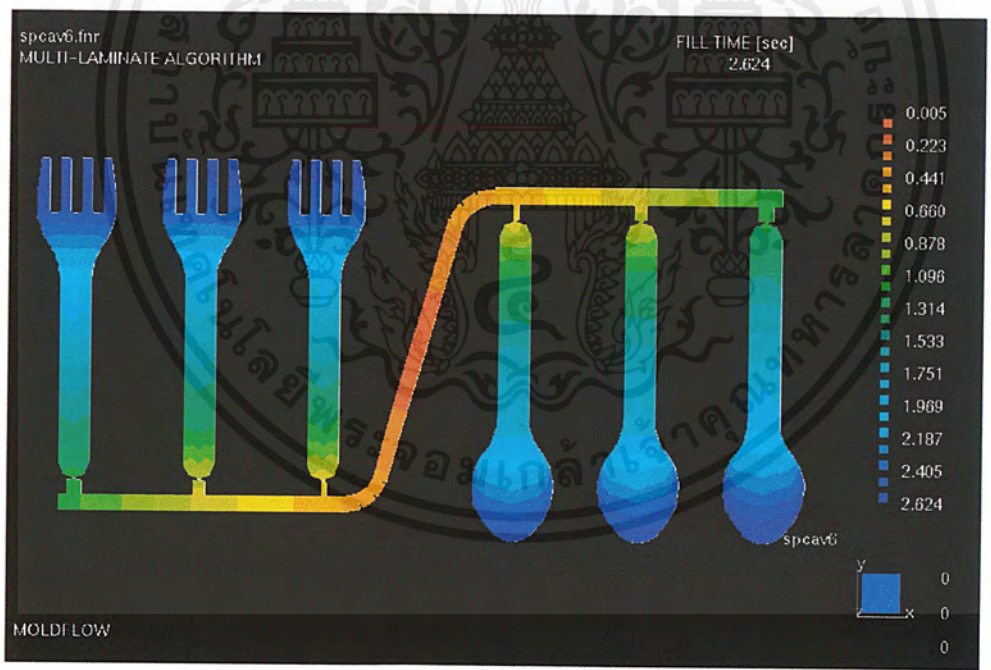
4.4.1 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการเติมของโพรงแบบ (Fill time)

รูปแบบการเติมที่เหมาะสมควรมีการเติมที่จุดสุดท้ายของแต่ละโพรงแบบพร้อมกัน เพื่อให้ชิ้นงานที่ได้มีลักษณะที่เหมือนกัน โดยการวิเคราะห์พบว่าแม่พิมพ์ที่ยังไม่ได้ทำสมดุลรูวิ่ง เวลาที่ใช้ในการเติมของแต่ละโพรงแบบมีค่าไม่เท่ากันและจุดสุดท้ายในการเติมของแต่ละโพรงแบบก็จะเติมเต็มที่เวลาแตกต่างกัน โดยโพรงแบบที่อยู่ใกล้รูฉีด (Sprue) จะเกิดการเติมเต็มก่อนโพรงแบบที่อยู่ห่างจากรูฉีดมากกว่าทั้งโพรงแบบรูปช้อนและส้อม แต่เมื่อทำการสมดุลรูวิ่งแล้วพบว่าเวลาที่ใช้ในการเติมจุดสุดท้ายในการเติมของแต่ละโพรงแบบมีค่าใกล้เคียงกันหรือมีค่าเท่ากัน ทำให้ชิ้นงานที่ได้ในแต่ละรูปร่างมีลักษณะและคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมากยิ่งขึ้น จากการวิเคราะห์ที่ได้เมื่อทำการเปรียบเทียบได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.ก่อนทำการสมดุลรูวิ่ง



ข.หลังทำการสมดุลทางวิ่ง

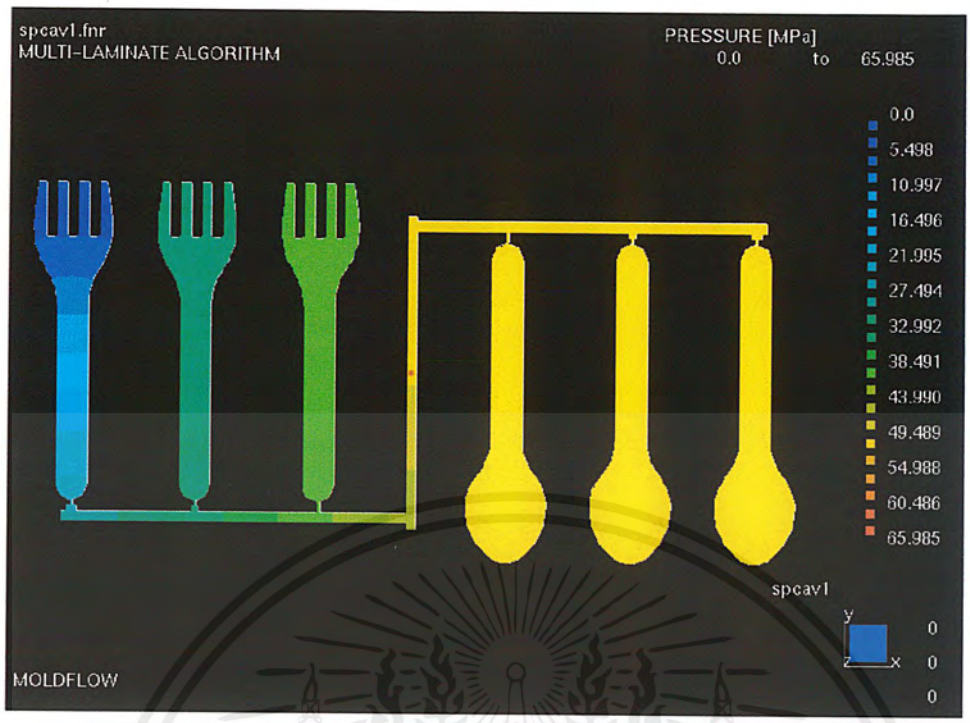
รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบการเติมของโพรงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

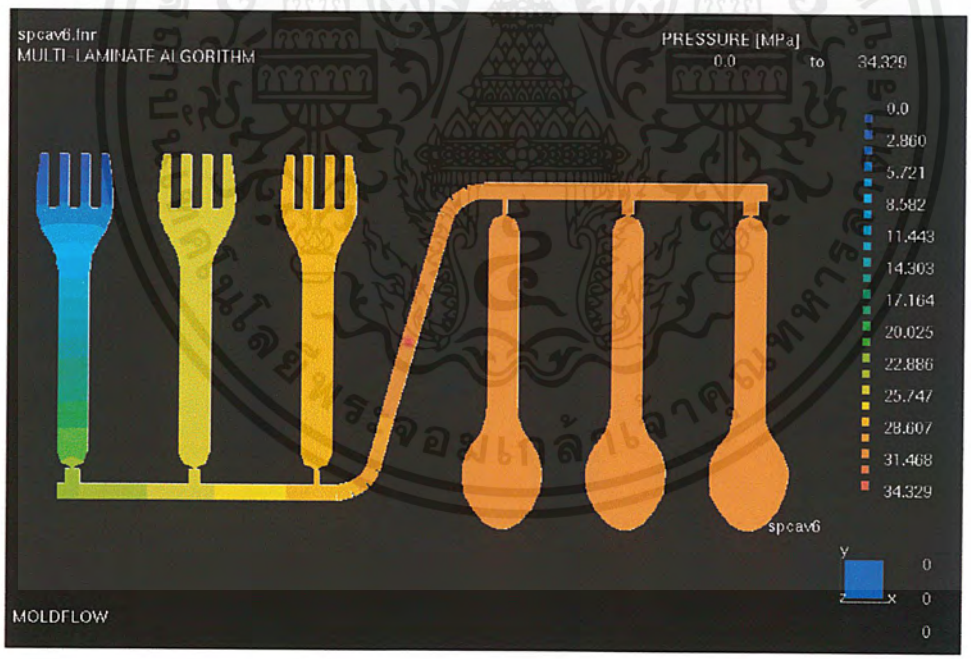
4.4.2 การศึกษาความดันภายในโพรงแบบ (Pressure profile in cavity)

ความดันที่เกิดขึ้นในแต่ละโพรงแบบควรมีค่าที่เท่ากันหรือมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เพื่อให้ชิ้นงานที่ได้มีลักษณะที่เหมือนหรือคล้ายคลึงกัน โดยจากการวิเคราะห์พบว่าโพรงแบบที่ยังไม่ได้ทำสมดุลรูวิ่ง ในโพรงแบบรูปส้อมมีการใช้ความดันในการเติมแต่ละโพรงแบบไม่เท่ากัน โดยโพรงแบบที่อยู่ใกล้รูฉีด (Sprue) มีค่าความดันภายในโพรงแบบสูงกว่าโพรงแบบที่อยู่ห่างจากรูฉีดมากกว่า ทำให้เกิดการอัดตัวมากเกินไป (Overpack) ส่วนในโพรงแบบที่อยู่ใกล้รูฉีดเกิดความแตกต่างของความดันภายในแต่ละโพรงแบบอย่างมาก ส่งผลให้ชิ้นงานที่ได้มีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน คือ ชิ้นงานที่อยู่ใกล้รูฉีดจะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าชิ้นงานที่อยู่ไกลรูฉีด เมื่อทำการพิจารณาโพรงแบบรูปช้อนพบว่าค่าความดันในการเติมของแต่ละโพรงแบบมีค่าเท่ากันแต่มีการใช้ความดันในการฉีดสูงถึง 65.985 เมกะปาสคาล ซึ่งต้องใช้พลังงานสูงในการอัดตัวจึงเป็นการสูญเสียพลังงานมากเกินความจำเป็น เมื่อทำสมดุลรูวิ่งพบว่าในโพรงแบบรูปช้อนมีการใช้ความดันในการฉีดลดต่ำลงเป็น 34.329 เมกะปาสคาล ซึ่งช่วยลดพลังงานที่ใช้ จึงเป็นการลดต้นทุนในการการผลิตได้ ส่วนในโพรงแบบรูปส้อมจะมีค่าความแตกต่างของความดันที่ใช้ในการเติมแต่ละโพรงแบบลดลงทำให้ลักษณะชิ้นงานที่ได้คล้ายคลึงกันมากยิ่งขึ้น จากการวิเคราะห์ที่ได้เมื่อทำการเปรียบเทียบได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.ก่อนทำการสมดุลรูวิ่ง



ข.หลังทำการสมดุลทางวิ่ง

รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบความดันของโพรงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการเปรียบเทียบชนิดของวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับแม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบ

จากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ในครั้งแรกคือ Polystyrene เกรด MFR เท่ากับ 2.8 เปรียบเทียบคุณสมบัติกับวัสดุที่เหมาะสมในการวิเคราะห์แม่พิมพ์ที่ออกแบบคือ Polystyrene เกรด MFR เท่ากับ 24.976 ได้ผลดังตารางที่ 4.1

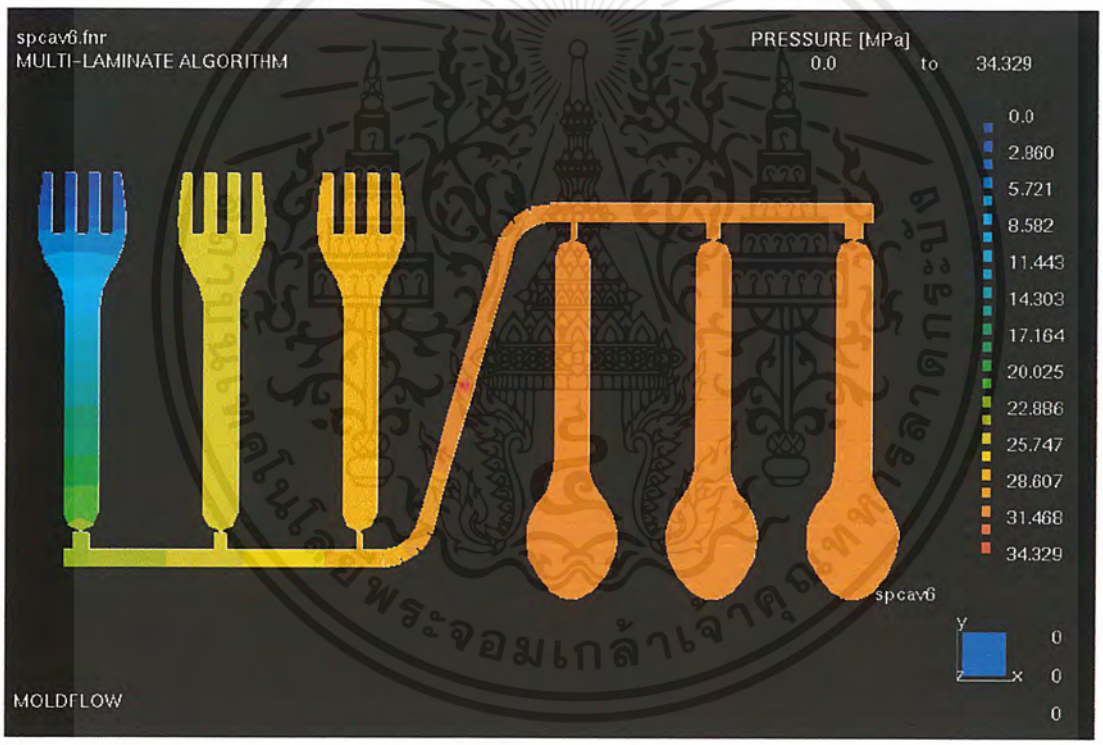
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของพอลิสไตรีน เกรด MFR เท่ากับ 2.8 และ เกรด MFR เท่ากับ 24.976

คุณสมบัติ	ชนิดของพอลิสไตรีน	
	MFR 2.8	MFR 24.976
ค่าการนำไฟฟ้า (W/m/degC)	0.147000	0.14000
ค่าการนำความร้อน (J/kg/degC)	2034.000	1968.00
ความหนาแน่นเมื่อทำการหลอมเหลว (kg/M^3)	941.200012	892.00
อุณหภูมิที่ไม่เกิดการไหล (^oC)	142.899979	130.00
อุณหภูมิที่ทำการปลดชิ้นงาน (^oC)	99.0	84.00
อุณหภูมิต่ำสุดที่หลอมเหลว (^oC)	210.00	215.00
อุณหภูมิสูงสุดที่หลอมเหลว (^oC)	250.00	255.00
อุณหภูมิที่แนะนำในการหลอมเหลว (^oC)	230.00	235.00
อุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำสุด (^oC)	20.00	20.00
อุณหภูมิแม่พิมพ์สูงสุด (^oC)	70.00	70.00
อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่แนะนำ (^oC)	45.00	45.00
อุณหภูมที่เกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์มากที่สุด (^oC)	270.00	275.00
ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด (MPa)	0.2500	0.2500
อัตราการเฉือนสูงสุด (1/S)	40000.00	40000.00
ค่าอัตราการไหล (MFR) ที่ 200^oC/5Kg (g/ml)	2.8	24.976

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

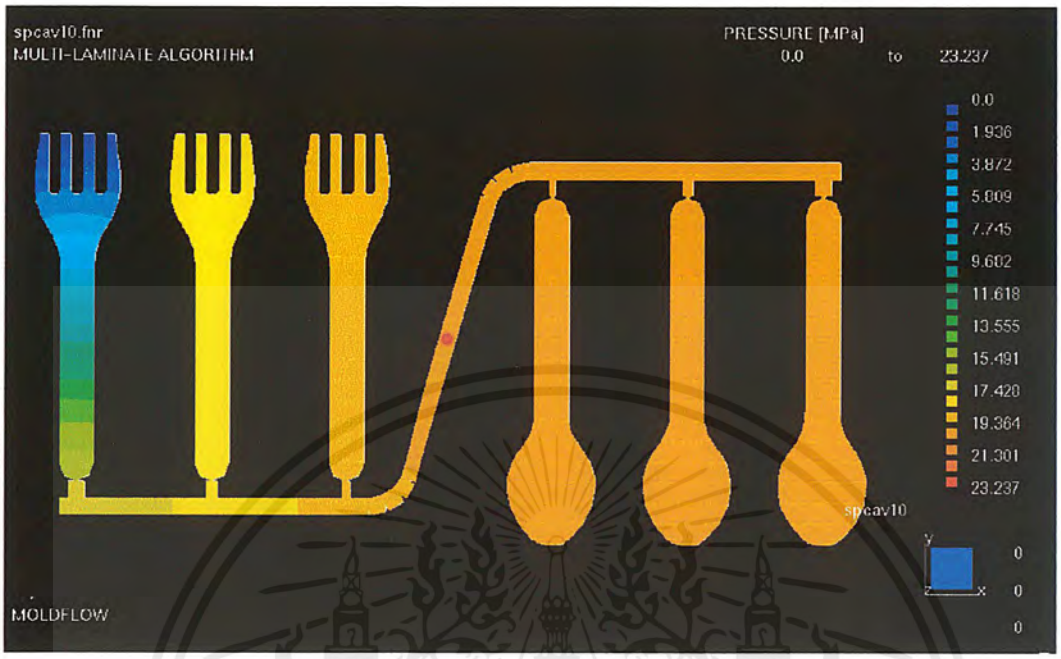
4.5.1 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของความดันภายในโพรงแบบ

จากการศึกษาพบว่าความแตกต่างของความดันภายในของโพรงแบบมีค่าลดลงเมื่อใช้วัสดุเปลี่ยนจากเกรด MFR 2.8 เป็น เกรด MFR 24.976 โดยพบว่าเมื่อใช้วัสดุที่มีค่าอัตราการไหล (Melt Flow Rate) เท่ากับ 2.8 ความดันที่ใช้ในการเติมเต็มภายในโพรงแบบจะต้องใช้ค่าที่สูงโดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 34.329 เมกะปาสคาล ซึ่งมากกว่าเมื่อใช้วัสดุพอลิสไตรีนที่มีค่าอัตราการไหล 24.976 โดยใช้ความดันในการเติมเต็มสูงสุดเท่ากับ 23.237 เมกะปาสคาล ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าความหนืดสูงกว่าทำให้ต้องใช้ความดันในการเติมโพรงแบบมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแตกต่างของความดันในแต่ละโพรงแบบรูปส้อมมีค่าลดลงมากยิ่งขึ้น ดังที่ปรากฏในผลการวิเคราะห์ดังนี้



ก.การวิเคราะห์ด้วย เกรด MFR 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



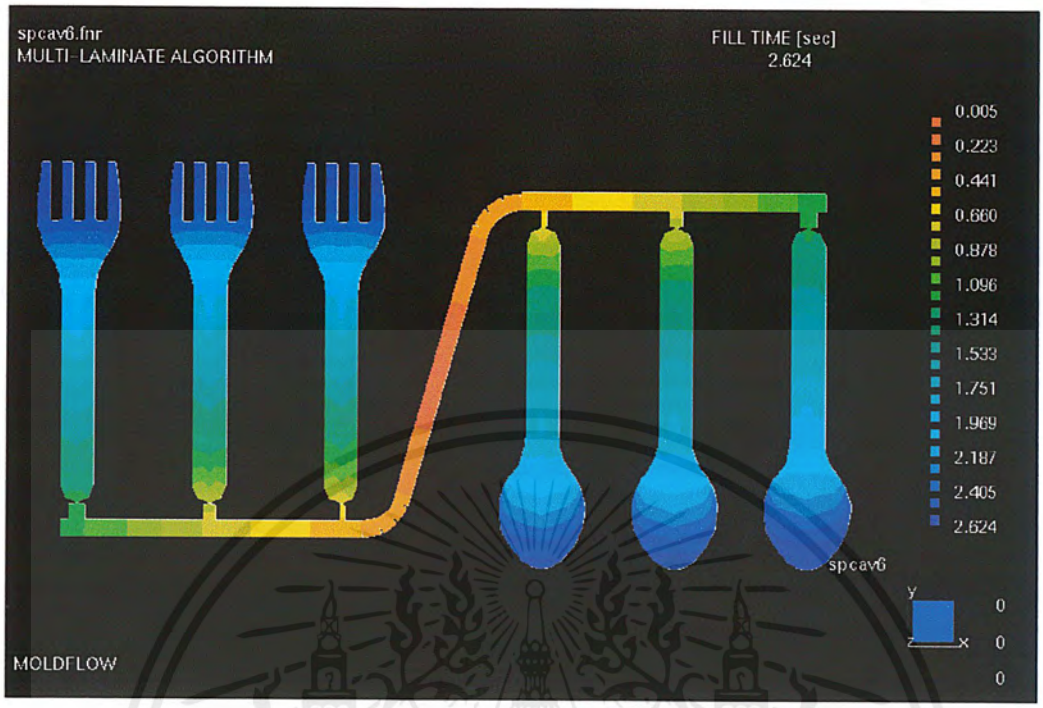
ข.การวิเคราะห์ด้วย เกรด MFR 24.976

รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของความดันภายในโพรงแบบ

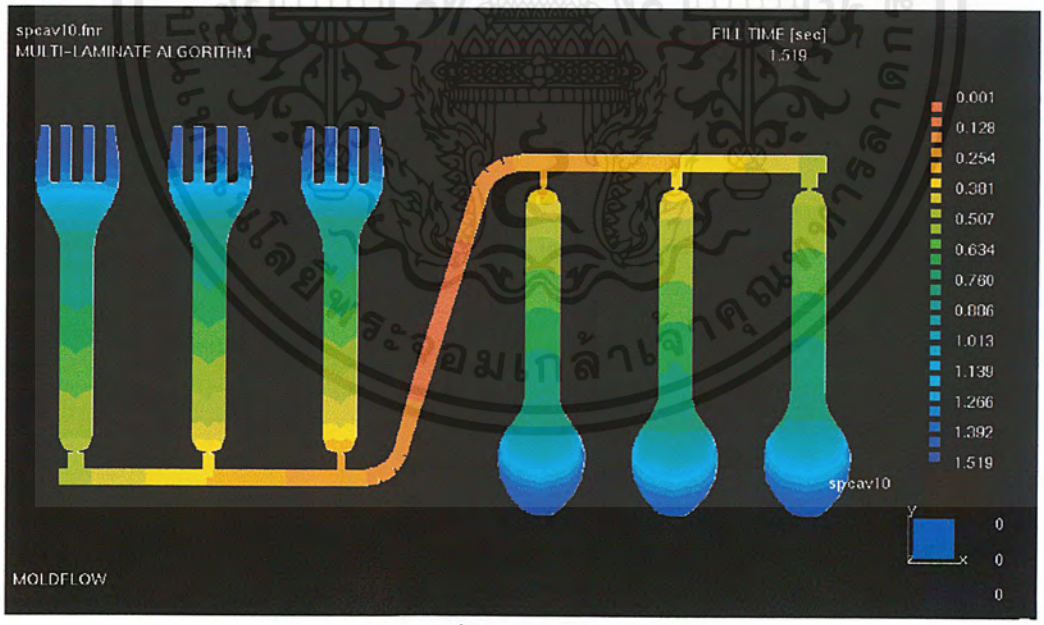
4.5.2.การศึกษาเปรียบเวลาที่ใช้ในการเติมภายในโพรงแบบ

จากการศึกษาพบว่าเวลาที่ใช้ในการเติมลดลงเมื่อทำการเปลี่ยนวัสดุจาก เกรด MFR 2.8 เป็น เกรด MFR 24.976 โดยพิจารณาที่บริเวณทางเข้า ส่วนด้ามของแต่ละโพรงแบบ ทั้งรูปช้อนและส้อมพบว่าเมื่อใช้พอลิสไตรีน เกรด MFR 2.8 พบว่ามีความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการเติมของแต่ละโพรงแบบอย่างชัดเจนแต่เมื่อเปลี่ยนเป็นเกรด MFR 24.976 พบว่าเวลาที่ใช้ในการเติมแต่ละบริเวณของโพรงแบบมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณสมบัติคล้ายกัน โดยให้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.การวิเคราะห์ด้วย เกรด MFR 2.8



ข.การวิเคราะห์ด้วย เกรด MFR 24.976

รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช่ในการเติม

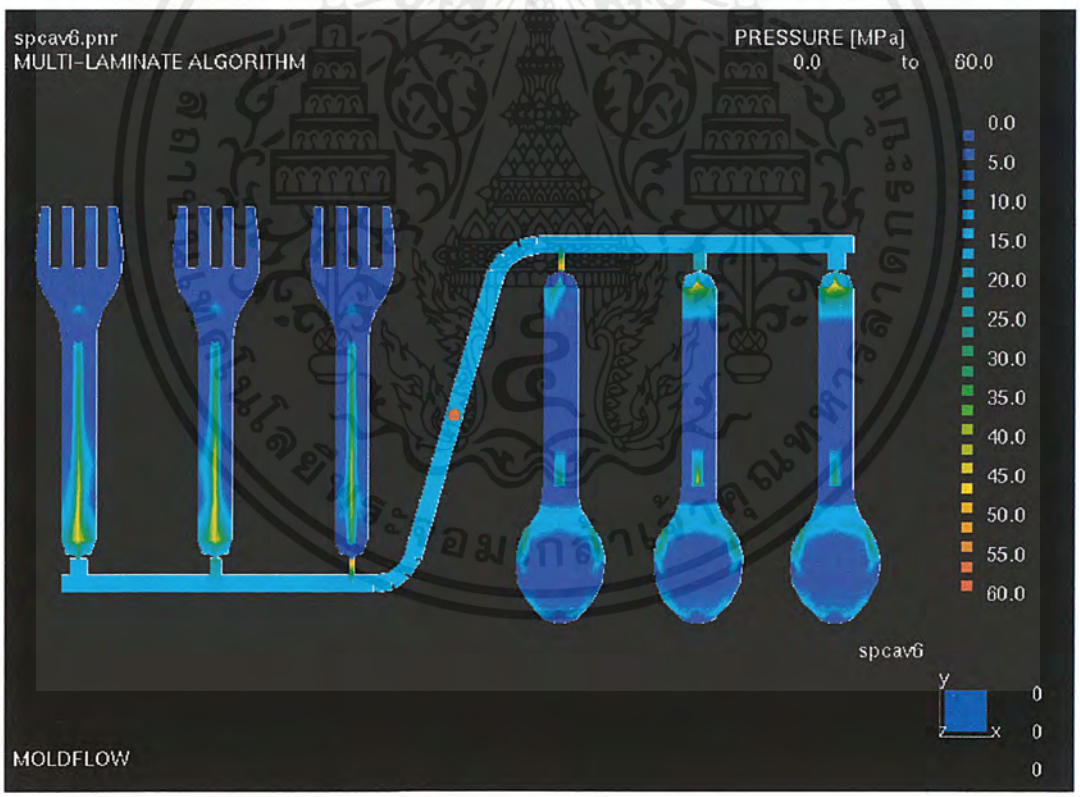
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการวิเคราะห์การอัดตัวภายในโพรงแบบ (Packing analysis)

การอัดตัวเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นต่อเนื่องจากกระบวนการเติมเพื่อให้เกิดการคงรูปของชิ้นงาน เป็นการอัดเพื่อให้พลาสติกหลอมเหลวไม่ไหลย้อนกลับและให้ชิ้นงานเต็มรูปอย่างสมบูรณ์ ในที่นี้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ใช้วัสดุพอลิสไตรีน MFR เกรด 2.8 เป็นต้นแบบ

4.6.1 ความดันที่ใช้ในการอัดตัว (Packing pressure)

เป็นความดันที่ใช้ในการอัดฉีดพลาสติกซ้ำเพื่อให้เกิดการเติมอย่างสมบูรณ์ชดเชยส่วนที่เกิดการหดตัว และ ป้องกันไม่ให้เกิดการไหลย้อนกลับของพลาสติกหลอมเหลว โดยพบว่าบริเวณที่เกิดความดันสูงคือบริเวณที่ใกล้รูฉีดและรูฉีดส่วนความดันที่ใช้ในการอัดตัวเท่ากับ 60 เมกะปาสคาล โดยปรากฏผลการวิเคราะห์ดังนี้

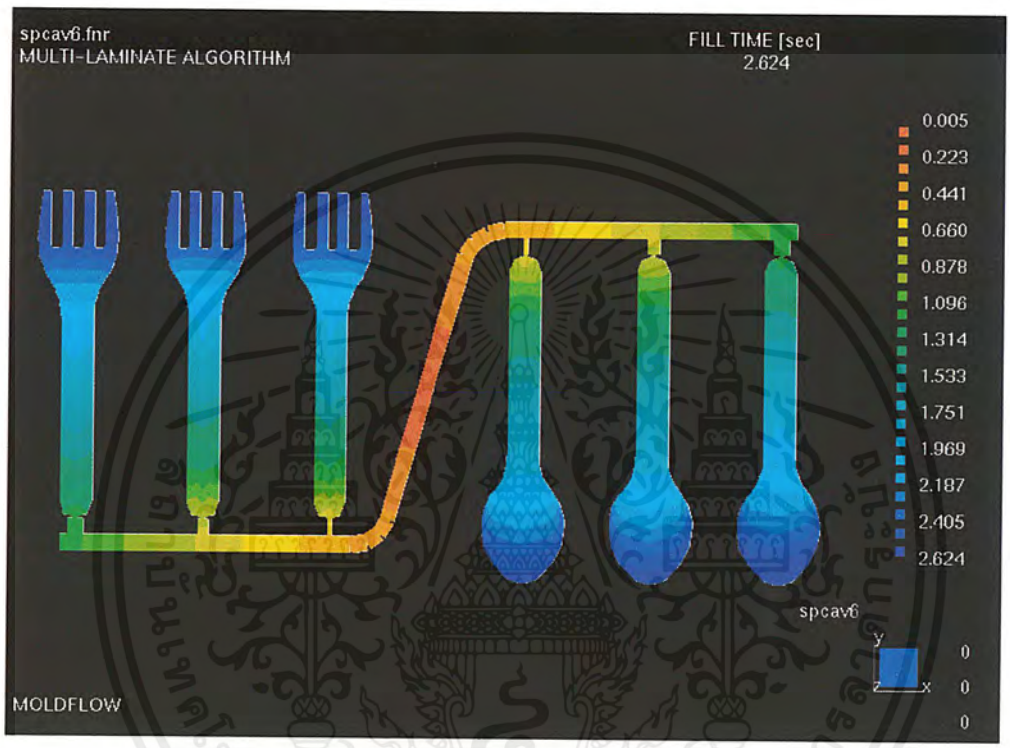


รูปที่ 4.17 แสดงค่าความดันที่ใช้ในการอัดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 เวลาที่ใช้ในการเติม (Fill time)

เป็นเวลาที่ใช้ในการอัดฉีดพลาสติกหลอมเหลวซ้ำพื่อให้เกิดการเติมเต็มภายในโพรงแบบอย่างสมบูรณ์ โดยพบว่าส่วนที่เกิดการเติมเต็มที่หลังจะใช้เวลาในการเติมมากที่สุด โดยจากการวิเคราะห์สามารถทำการกำหนดเวลาที่เหมาะสมในการเติมได้เท่ากับ 2.624 วินาที โดยปรากฏผลการวิเคราะห์ดังนี้

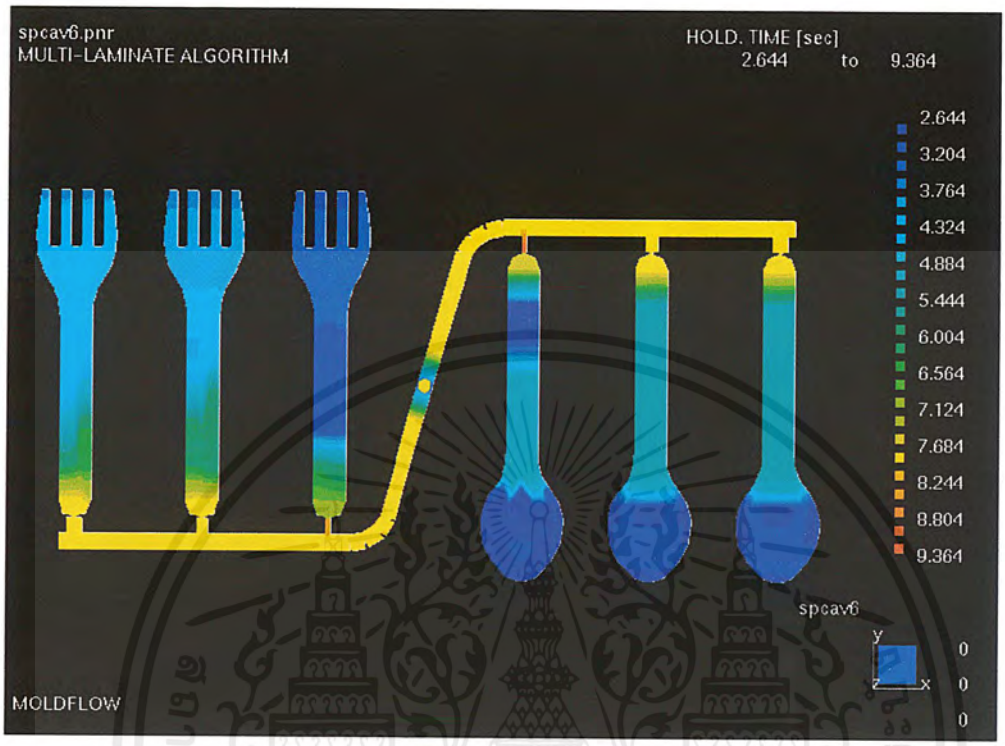


รูปที่ 4.18 แสดงเวลาที่ใช้ในการเติม

4.6.3.เวลาที่คงอยู่ (Hold time)

เวลาที่คงอยู่คือเวลาที่ใช้เพื่อคงความดันไว้เพื่อให้โพรงแบบเกิดการคงตัวและไม่เกิดการไหลย้อนกลับของพลาสติกโดยพบว่าจะใช้เวลาในการคงอยู่มากในบริเวณที่ทำการเติมที่หลังหรือในจุดที่เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีซึ่งเวลาที่คงอยู่จะต้องให้จนกระทั่งพลาสติกเหลวเกิดการคงตัวอยู่ได้โดยไม่เกิดการไหลย้อนกลับ จากการวิเคราะห์สามารถทำการวิเคราะห์หาเวลาในการคงอยู่ได้เท่ากับ 9.364 วินาที โดยปรากฏผลการวิเคราะห์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

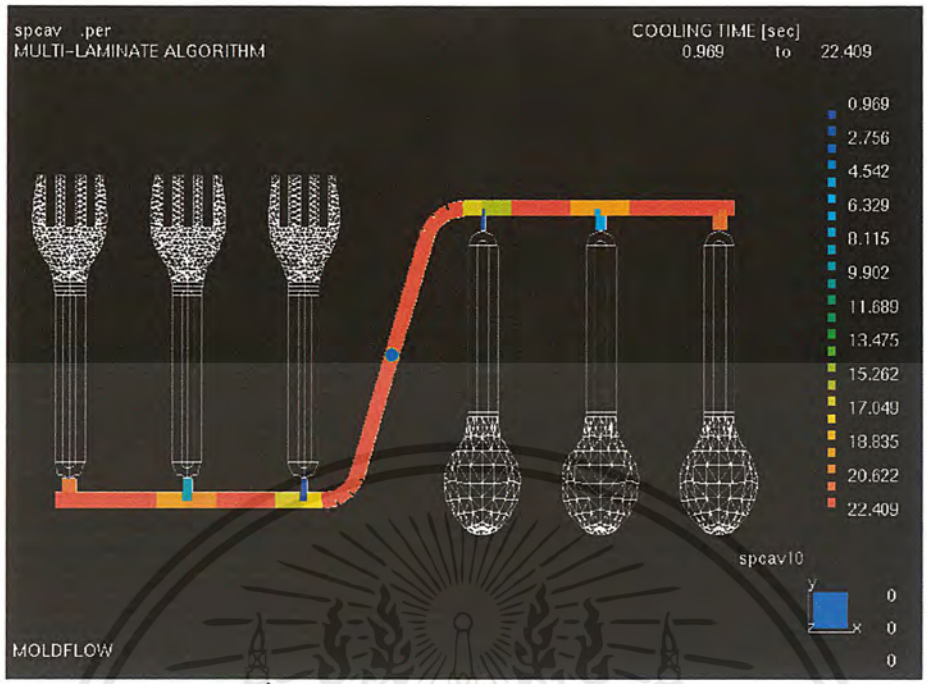


รูปที่ 4.19 แสดงเวลาที่คงอยู่

4.6.4.เวลาที่ใช้ในการเย็นตัว (Cooling time)

เป็นเวลาที่ให้เกิดการเย็นตัวของพลาสติกหลอมเหลวจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่สามารถทำการปลดชิ้นงานได้ (Ejection temperature) ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนความร้อนเป็นหลักโดยจากการวิเคราะห์พบว่าจุดที่ทำการทำการเติมหลังสุดและถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีคือบริเวณรูวิ่ง ซึ่งต้องใช้เวลาในการเย็นตัวมากที่สุดเท่ากับ 22.400 วินาที โดยปรากฏผลการวิเคราะห์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงเวลาที่ใช้ในการเย็นตัว

4.7 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมกับวัสดุที่เลือกทำการฉีดขึ้นรูป

ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป คือ พอลิสไตรีน ของ บริษัท DOWASIA จำกัด เกรด Styron 492J ที่มีค่าอัตราการไหลเท่ากับ 2.8 ซึ่งสามารถทำการสรุปข้อมูลจากการวิเคราะห์การเติม (Filling analysis) ของโพรงแบบและระบบรูวิ่งที่ทำการสมดุล และจากการวิเคราะห์การอัดตัว (Packing analysis) โดยทำการเลือกค่าสภาวะเพื่อนำไปทำการปรับแต่งในการฉีดจริงประกอบด้วย อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการหลอมเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันในการยึดพิมพ์ อัตราการไหล เวลาที่ใช้ในการเติมเต็ม ความดันที่ใช้ในการเติมเต็ม ความดันที่ใช้ในการอัดตัว เวลาที่ใช้ในการอัดตัว ความดันสูงสุดในการคงอยู่ของแม่พิมพ์ อัตราการเติมเพื่อให้เกิดการอัดตัว และเวลาที่ใช้ในการฉีดเพื่ออัดตัว โดยมีค่าแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าตัวแปรและสภาวะในการฉีดขึ้นรูปที่ได้จากการวิเคราะห์

ที่มาของค่าตัวแปร	ชนิดของค่าตัวแปร	ค่าสภาวะ
การวิเคราะห์การเติมเต็ม	อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการหลอมเหลว ($^{\circ}C$)	240
	อุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่เหมาะสม ($^{\circ}C$)	45
	ความดันที่ใช้ในการยึดแม่พิมพ์ (Ton)	36.2104
	อัตราการไหล (cm ./s)	12.12
	เวลาที่ใช้ในการเติมเต็ม (วินาที)	2.50
	ความดันที่ใช้ในการเติม (MPa)	34.3294
การวิเคราะห์การอัดตัว	ความดันที่ใช้ในการอัดตัว (MPa)	60.0
	เวลาที่ใช้ในการอัดตัว (วินาที)	40.000
	ความดันสูงสุดในการคงอยู่ของแม่พิมพ์ (Ton)	77.42
	อัตราการเติมเพื่อให้เกิดการอัดตัว (cm^3./s)	31.52
	เวลาที่ใช้ในการฉีดเพื่ออัดตัว (วินาที)	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ผลของการออกแบบและจัดสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

4.8.1 ลักษณะของแม่พิมพ์ที่ได้ออกแบบเป็นดังนี้

1)ทำการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีลักษณะเป็นแม่พิมพ์โลหะสองแผ่น (Two-plate mold)เนื่องจากลักษณะทางเข้าของพลาสติกเหลวจะเข้าด้านข้างของชิ้นงาน

2)ทำการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีจำนวนโพรงแบบเท่ากับหก (Six-cavity mold) กำหนดขนาดของ Mold Base ให้มีขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 320x400x250 มิลลิเมตร

3)กำหนดแนวแบ่งชิ้นงาน (Parting line) ที่บริเวณกึ่งกลางของขอบชิ้นงาน

4)ระบบการปลดชิ้นงานใช้ระบบเข็มกระทุ้ง (Ejector pin)

4.8.2.ลักษณะของแม่พิมพ์ที่ได้ทำการจัดสร้าง

มีส่วนประกอบของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกดังนี้(แสดงในรูปที่4.21)

1.ปลอกรูฉีด (Sprue bushing)

2.แท่งรอง (Support plate or support pillar)

3.สลักดันกลับ (Return pin)

4.แผ่นยึดด้านหน้า (Top retainer plate or top clamping plate)

5.สลักปลด (Ejector pin)

6.แหวนบังคับศูนย์ (Locating pin)

7.เพลานำ (Guide pin or leader pin)

8.ปลอกนำ (Shoulder bushing)

9.แผ่นรองหลัง (Bottom retainer plate or bottom clamping plate)

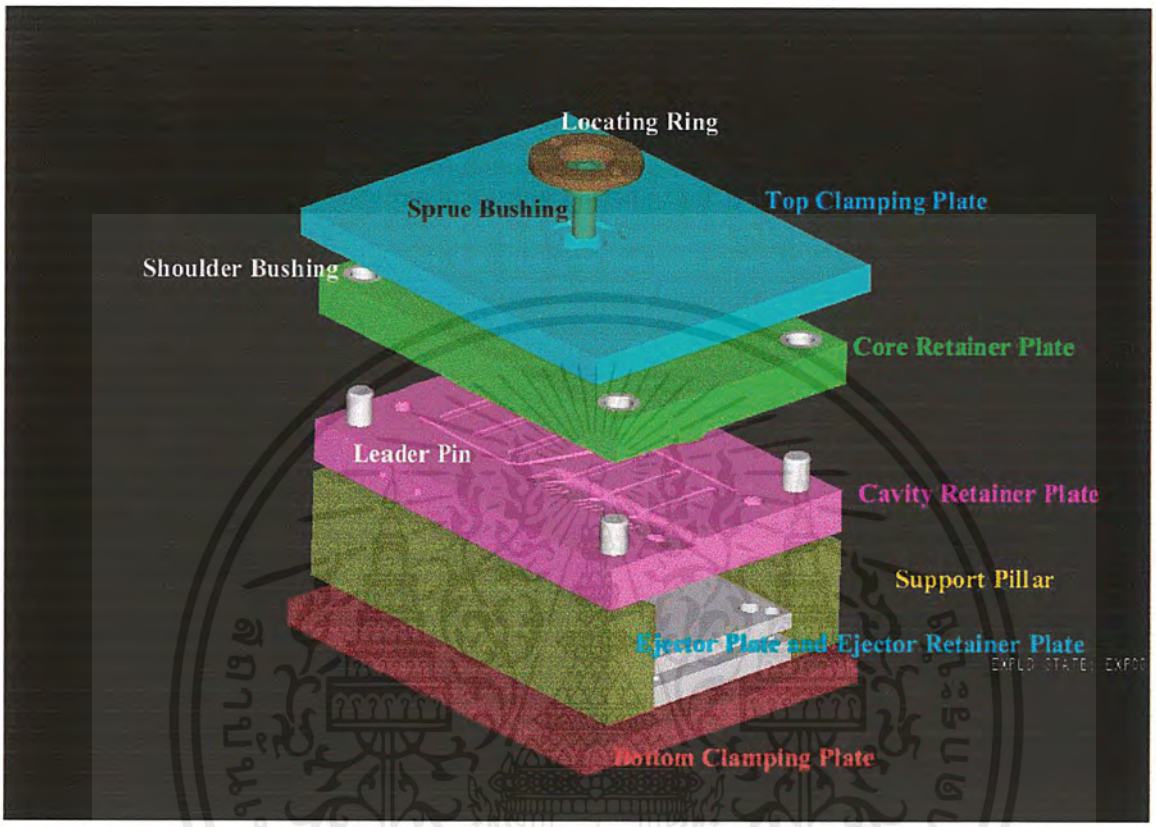
10.แผ่นยึดตัวปลด (Ejector retainer plate)

11.แผ่นดันปลด (Ejector plate)

12. แผ่นกันโพรงแบบ (Bottom retainer plate)

13. แผ่นกันแกนกลาง (Cavity retainer plate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงส่วนประกอบของแม่พิมพ์ที่จัดสร้างขึ้น

4.9 ผลการเปรียบเทียบสภาวะที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปจริง

จากการทดสอบทำการฉีดขึ้นรูปด้วยวัสดุ พอลิสไตรีน ของบริษัท DOW Chemical (Thailand) จำกัด เกรด STYRON 492J พบว่าได้ค่าจริงและค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงการคำนวณ ค่าที่ได้จากการทดสอบจริง และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

ตัวแปร	ค่าที่ได้จากการคำนวณโดยโมลโฟว์	ค่าที่ใช้จริง	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
อุณหภูมิแม่พิมพ์ ($^{\circ}$C)	45	35	28
อุณหภูมิหลอมเหลว($^{\circ}$C)	240	250	4
ปริมาตรรวม ($cm.^3$)	30.29	30	0.96
ความดันในการฉีด (MPa)	34.3294	25	37.318
แรงที่ใช้ปิดแม่พิมพ์ (Ton)	36.2104	150	75.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1สรุปผลการทดลอง

การออกแบบและทำการวิเคราะห์การออกแบบแม่พิมพ์ที่มีหลายโพรงแบบด้วยการใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ CAD และ CAE สามารถช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์เป็นไปได้อย่างเหมาะสมและช่วยในการกำหนดสภาวะในการฉีดขึ้นรูปได้อย่างถูกต้องหรือมีค่าใกล้เคียงการสภาวะที่ใช้ในการฉีดจริง

เมื่อพิจารณผลการวิเคราะห์และการทดลองฉีดขึ้นรูปทั้งหมดจริงทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

5.1.1 การออกแบบชิ้นงานและการออกแบบแม่พิมพ์ในการฉีดขึ้นรูปด้วยโปรแกรมCAD

จากการออกแบบและทำการวิเคราะห์พบว่าสามารถทำาารออกแบบชิ้นงานที่มีรูปร่าง เป็นซ้อนและส้อมได้ นอกจากนี้การออกแบบแม่พิมพ์จะได้แม่พิมพ์ที่มีลักษณะเป็นแม่พิมพ์โลหะสองแผ่น(Two Plate Mold)ที่มี6โพรงแบบประกอบด้วยโพรงแบบรูปซ้อน 3 โพรงแบบ โพรงแบบรูปส้อม 3 โพรงแบบ และใช้ระบบปลดชิ้นงานด้วยเข็มกระทุ้งโดยมีขนาดของแม่พิมพ์ กว้าง 320 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตรและมีความหนา 235 มิลลิเมตร

5.1.2 การวิเคราะห์โพรงแบบและระบบรูวิ่งด้วยโปรแกรมCAE

5.1.2.1 การเปรียบเทียบสมดุลการไหลด้วยสมดุลรูวิ่งของแม่พิมพ์

จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่ต้องพิจารณาเมื่อทำการสมดุลการไหลที่สำคัญคือเวลาในโพรงแบบและความดันภายในโพรงแบบ ซึ่งการสมดุลรูวิ่งที่ดีจะต้องให้เกิดการเติมจุดสุดท้ายของชิ้นงานของทุกโพรงแบบที่เวลาเดียวกันหรือต่างกันน้อยที่สุด และความดันในโพรงแบบควรให้บริเวณปลายของทุกโพรงแบบมีค่าเท่ากับศูนย์หรือในแต่ละโพรงแบบแตกต่างกันให้น้อยที่สุด

5.1.2.2 การเปรียบเทียบชนิดของวัสดุที่เหมาะสมกับการออกแบบแม่พิมพ์

จากการเปรียบเทียบวัสดุที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นครั้งแรกคือ พอลิสไตรีนเกรด MFR 2.8และวัสดุที่เหมาะสมในการใช้ คือ พอลิสไตรีน เกรด MFR 24.976 พบว่าสาเหตุหลักที่เหมาะสมในการเลือกใช้เนื่องจากคุณสมบัติในเรื่องความหนืดที่มีค่าต่ำกว่าสามารถไหลในแม่พิมพ์ที่มีทิศทางการไหล(Flow Path Length)ยาวได้ดีกว่าที่อุณหภูมิในช่วงเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.3 การวิเคราะห์การอัดตัวภายในโพรงแบบ

จากการวิเคราะห์การอัดตัวของโพรงแบบพบว่าตัวแปรที่สำคัญในการอัดตัวของโพรงแบบคือ ความดันที่ใช้ในการอัดตัว เวลาที่ใช้ในการอัดตัวเวลาที่คงอยู่และเวลาที่ใช้ในการเย็นตัว โดยความดันที่ใช้ในการอัดตัวและเวลาที่ใช้ในการอัดตัวเป็นค่าที่บอกถึงการอัดฉีดพลาสติกให้เต็มแม่พิมพ์ ตามด้วยการคงอยู่ของความดันซึ่งโดยจะอยู่ในช่วงของการการเย็นตัว

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถนำมาประมวลรวมเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการฉีดขึ้นรูปได้

5.1.2 การเปรียบเทียบสภาวะที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปจริง

จากการเปรียบเทียบสภาวะที่ได้จากการฉีดจริงและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันเป็นไปตามที่จุดประสงค์ที่ต้องการมีเพียงค่าของแรงที่ใช้ในการปิดแม่พิมพ์ที่แตกต่างมากเนื่องจากเครื่องที่ใช้ในการฉีดมีความว่องไวต่อการใช้งานสูงจึงต้องใช้ความดันเพิ่มจากค่าที่ทำการคำนวณนอกจากนี้ปรากฏการที่เกิดขึ้นในวิเคราะห์ คือการกักตัวของอากาศ และเส้นเชื่อมก็ปรากฏขึ้นจริงในการทดสอบ ณ บริเวณที่วิเคราะห์ได้

5.2 ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงการทดลองหรืองานวิจัยนี้

5.2.1ควรทำการศึกษาคู่มือการใช้งานของโปรแกรมล่วงหน้าหรือทำการศึกษาด้วยการทดลองการใช้โปรแกรมก่อน

5.2.2ควรศึกษาการออกแบบและการเขียนแบบมาล่วงหน้าเพื่อให้สามารถเข้าใจในหลักของการออกแบบ

5.2.3ควรให้มีการศึกษาฐานข้อมูลของวัสดุพลาสติกภายในประเทศเพื่อให้มีฐานข้อมูลอ้างอิงในการใช้งานและทำการวิเคราะห์ได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น

5.2.4 ควรออกแบบเส้นทางหล่อเย็นเพื่อให้แม่พิมพ์สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Berins, M.L., "Plastics Engineering Handbook", Chapman & Hall, New York, 1991.
2. Rosato, D.V. and Rosato, D.V., "Plastics Processing Data Handbook", Chapman & Hall, London, 1990.
3. James H.A. and Babara J.A.,"Using Traditional Machine Shop Versus CNC Machining Center "SPE ANTEC, New York,1999.
4. Peter K.,"Flow Analysis Reference Manual",MoldFlow Pty.Ltd.,1993.
5. Wang T.J. and Yoon C.K.,"Effects of Process Condition on Shinkage and Warpage in The Injection Molding Process" SPE ANTEC,New Tork,1999.
6. "Moldflow Training Manual", Moldflow Pty.Ltd.,1997.
7. Natarajan V.,Chien C.H. and Lai F.S.,"Investigation of Cavity-to-Cavity Variation in Multi-cavity Tools"SPE ANTEC, New York,1999.
8. John B.,John R. and Adom S.,"Trouble Shooting Cavity to Cavity Variations in Multicavity InJection Molds"SPE ANTEC,New York,1999.
9. Brydson J.A.,"Plastics Material",Butterworth Heinemann,1995.
10. อำนาจ แสงสมาน,"เทคโนโลยีCAD/CAM",สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น,2543.
11. ดร.ปราโมชย์ เดชะอำไพ,"ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม",สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2534.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้