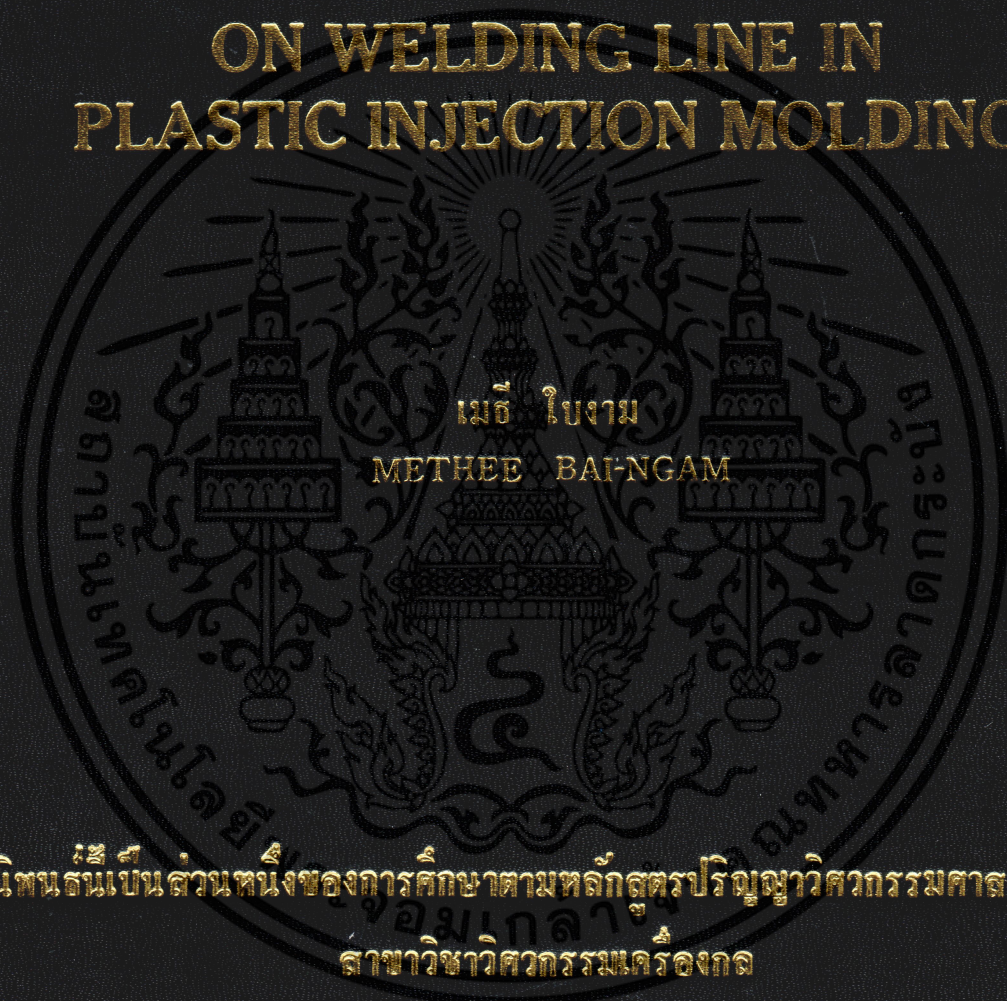


ผลของตัวแปรในระหว่างการเติมเต็มต่อการเกิดรอยเชื่อมประสาน
ในการขึ้นรูปพลาสติกในแบบฉีด

EFFECTS OF FILLING PARAMETERS
ON WELDING LINE IN
PLASTIC INJECTION MOLDING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-368-4

ผลของตัวแปรในระหว่างการเติมเต็มต่อการเกิดรอยเชื่อมประสาน
ในการขึ้นรูปพลาสติกในแบบฉีด

EFFECTS OF FILLING PARAMETERS ON WELDING LINE IN
PLASTIC INJECTION MOLDING



เมธี ไบงาม

METHEE BAI-NGAM

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN

974-648-368-4

.b.....
.i.....

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 40633
วัน, เดือน, ปี 18 ต.ค. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EFFECTS OF FILLING PARAMETERS ON WELDING LINE IN
PLASTIC INJECTION MOLDING**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DRGREE OF
MASTER OF ENGINEERING OF MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2001

ISBN

974-648-368-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของตัวแปรในระหว่างการเติมเต็มต่อการเกิดรอยเชื่อมประสานในการขึ้นรูปพลาสติกในแบบฉีด

EFFECTS OF FILLING PARAMETERS ON WELDING LINE IN PLASTIC INJECTION MOLDING

ชื่อนักศึกษา นายเมธี ไบงาม

รหัสประจำตัว 40062005

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์	
รศ.ดร.มงคล มงคลวงษ์โรจน์	
รศ.ทวี เทศเจริญ	
ผศ.มิ่ง โลกกิจแสงทอง	
ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 25 กรกฎาคม 2544 เวลา 13.30-15.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-403)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัฐชู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 17 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2544

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของตัวแปรในระหว่างการเติมเต็มต่อการเกิดรอย
เชื่อมประสานในการขึ้นรูปพลาสติกในแบบฉีด

นักศึกษา

นายเมธี ไบงาม

รหัสนักศึกษา

40062005

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

พ.ศ.

2544

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอ การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการจำลองการไหล และการกระจายตัวของพลาสติกเหลว ในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อจำลองการเกิดรอยเชื่อมประสาน ผลของตัวแปรที่สนใจศึกษาได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว, ความดันฉีด และความเร็วของพลาสติกเหลวที่ตำแหน่งฉีด ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมในการไหลของพลาสติกเหลวที่เงื่อนไขต่าง ๆ กัน ที่ไม่ทำให้เกิด เส้นแนวเชื่อม weld line ในแม่พิมพ์ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญค่าที่เหมาะสมของตัวแปรที่สนใจศึกษาได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ ในขั้นตอนการฉีดพลาสติกจริง โดยผลลัพธ์ที่ได้เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีความสอดคล้องกันมาก และช่วยลดเวลาในขั้นตอนการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมด้วยการทดลองฉีดจริงแบบ ลองผิดลองถูกได้มาก

Thesis Title	Effects of Filling Parameters on Welding Line in Plastic Injection Molding
Student	Mr.Methee Bai-ngam
Student ID.	40062005
Degree	Master of Engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2001
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Jaruwat Chareonsuk

ABSTRACT

This thesis presents the use of CAE software to simulate flow and weld line in filling stage of plastic in liquid stage on injection molding process. The parameter considered in this work are melting temperature, pressure and injection velocity. The results obtained in this work show the characteristic of flow at different condition. Also, the reasons of weld line problem are investigated. The suitable value of the parameters are applied in the real molding process. The result obtained at this stage is consistent with the results obtained by using CAE software and helps cutting down time consuming in finding the suitable parameter by trial and error in real experiment.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข ที่ให้ความรู้ความเข้าใจในการวิเคราะห์ปัญหา, การแก้ปัญหาต่างๆ สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ และขอขอบคุณอาจารย์ยุทธนา ธนุสร ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครสำหรับข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับการฉีดพลาสติกที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้, พร้อมทั้งขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่สนับสนุน Program MoIDEX เพื่อใช้วิเคราะห์สำหรับงานฉีดพลาสติก, บิดา, มารดา และเพื่อนคู่ใจที่ทำให้กำลังใจและช่วยเหลือเป็นอย่างดี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของการฉีดพลาสติกครั้งแรก	1
1.2 ที่มาของโครงการ	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.4 ขอบเขตของโครงการ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ	5
2.2 An Evaluation of Weld line Strength of ABS (Injection Molding).....	5
2.3 Analysis of the Weld Line Sealing Strength of Extrusion Blow Molded Specimens	7
2.4 The Development of the Weld Line Strength in Injection Molding Poly (Methyl Methacrylate).....	9
2.5 Weld Line Failure in a Thin Wall Ring	11
บทที่ 3 ทฤษฎีการฉีดพลาสติก	13
3.1 ชนิดของ พลาสติก.....	13
3.1.1 Thermosetting Plastic	13
3.1.2 Thermoplastic	13
3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติก.....	13
3.2.1 พลาสติกสังเคราะห์ (Synthetic Materials).....	13
3.2.2 โครงสร้างของโพลีเมอร์.....	14

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2.3 โครงสร้างของโพลีเมอร์แบบต่าง ๆ	14
3.2.3.1 โพลีเมอร์แบบเส้นยาวตลอด (Linear Shape)	14
3.2.3.2 โพลีเมอร์แบบแยกแขนโดยรอบ (Branched Shape).....	14
3.2.3.3 โพลีเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือร่างแห (Cross – Linked or work Shape)	14
3.3 คุณสมบัติของ Crystalline และ Amorphous Thermoplastic	15
3.3.1 Crystalline	15
3.3.2 Amorphous Thermoplastics.....	15
3.4 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพของการฉีดพลาสติก	16
3.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพความร้อน	16
3.4.1.1 คุณสมบัติเชิงปริมาตร	16
3.4.1.2 คุณสมบัติของ Calorimetric	16
3.4.1.3 อุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงสถานะ	16
3.4.2 คุณสมบัติเชิงปริมาตร	16
3.4.2.1 ปริมาตรจำเพาะ และความหนาแน่น	16
3.4.2.2 ความสัมพันธ์ของ PVT	17
3.4.2.3 ความร้อนในการหลอมละลายและความร้อนของการเกิด Crystallization ..	17
3.4.3 อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะ	18
3.4.3.1 อุณหภูมิ Glass transition, T_g	18
3.4.3.2 อุณหภูมิหลอมเหลว, T_m	19
3.5 พื้นฐานกระบวนการฉีดพลาสติก	20
3.5.1 รูปแบบการฉีดพื้นฐาน	20
3.5.2 พื้นฐานการฉีดพลาสติก	20
3.5.3 การไหลของพลาสติกเหลวและการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line.....	22
3.5.3.1 เส้นแนวเชื่อมร้อน Hot welding	23
3.5.3.2 เส้นแนวเชื่อมเย็น Cold welding.....	23
3.5.3.3 ระยะของการเกิดเส้นแนวเชื่อม	23
3.6 คุณสมบัติของ Thermo plastic สำหรับ Program Moldex	25
3.6.1 ผลความหนืดต่อกระบวนการฉีดพลาสติก	25
3.6.2 การวิเคราะห์หาปริมาตรจำเพาะ	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.6.3 เวลาที่ใช้ในกระบวนการฉีด.....	31
บทที่ 4 ขั้นตอนการทำงานของ Program Moldex.....	32
4.1 การสร้าง Mesh 3 มิติเพื่อนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Moldex.....	32
4.2 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการฉีด.....	33
4.2.1 อุณหภูมิพลาสติกเหลว.....	33
4.2.2 อุณหภูมิแม่พิมพ์.....	34
4.2.3 เวลาในการฉีด.....	35
4.2.4 ความเร็วในการฉีด.....	35
4.2.5 ความดันในการฉีด.....	35
4.3 พฤติกรรมที่ส่งผลทำให้เกิด เส้นแนวเชื่อม (Weld line).....	36
4.4 ขั้นตอนการทดสอบ.....	37
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	40
5.1 ขบวนการฉีดพลาสติกหน้าฉากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย Program MOLDEX.....	40
5.2 เปรียบเทียบผลจากการฉีดจริงกับการฉีดด้วย Program MOLDEX ก่อนการแก้ไข.....	45
5.3 เปรียบเทียบผลจากการฉีดจริงกับการฉีดด้วย Program MOLDEX หลังการแก้ไข.....	46
5.4 แนวทางแก้ไขสำหรับปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line.....	47
5.5 ผลการทดลองฉีดพลาสติกโดยขนาดของ Insert และระยะห่างของ Insert แตกต่างกัน.....	52
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	61
6.1 อภิปรายผลการทดลอง.....	61
6.2 สรุปผลการทดลอง.....	66
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	69
เอกสารอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก ก.....	72
ภาคผนวก ข.....	74
ภาคผนวก ค.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

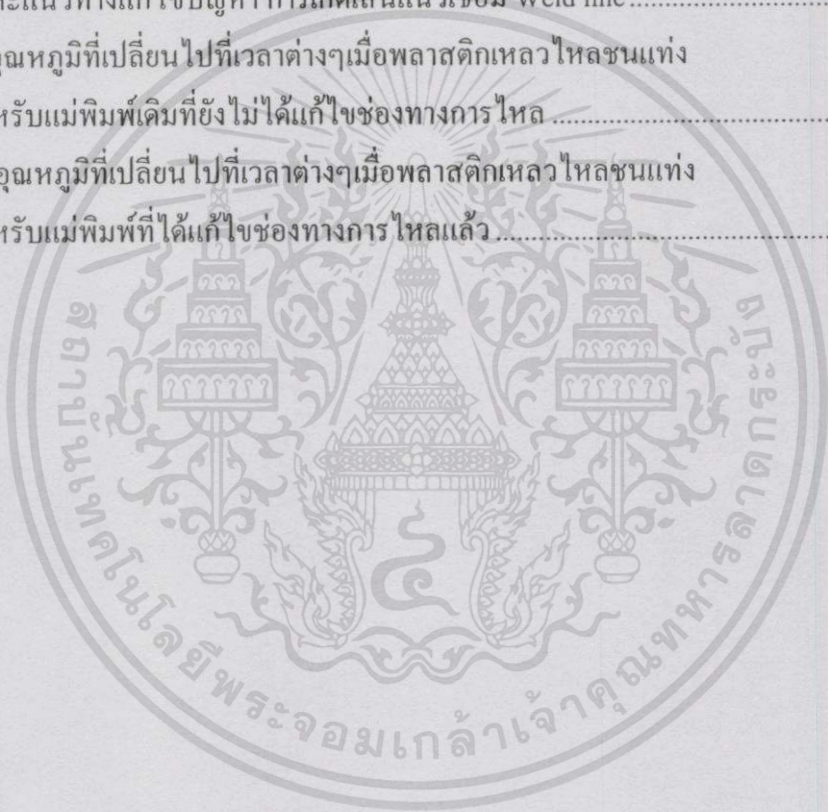
สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง	80
ภาคผนวก จ	87
ประวัติผู้เขียน	97



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงถึง Layer Control ในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ด้วย AutoCAD	33
4.2 อุณหภูมิแม่พิมพ์และอุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก	34
5.1 Traditional Approach to a New Produce	47
5.2 CAE Approach Concurrent Engineering	48
6.1 ตารางเปรียบเทียบเวลาและน้ำหนักของวัสดุที่เสียไป	66
6.2 ตัวแปรสุดท้ายที่ใช้ในการกำหนดก่อนการฉีดจริง	67
6.3 สาเหตุและแนวทางแก้ไขปัญหา การเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line	69
ก1 ตารางค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปที่เวลาต่างๆเมื่อพลาสติกเหลวไหลชนแท่ง Insert สำหรับแม่พิมพ์เดิมที่ยังไม่ได้แก้ไขช่องทางการไหล	72
ก2 ตารางค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปที่เวลาต่างๆเมื่อพลาสติกเหลวไหลชนแท่ง Insert สำหรับแม่พิมพ์ที่ได้แก้ไขช่องทางการไหลแล้ว	73



สารบัญรูป

หน้า

2.1 Melt flow front combine to product a butting or streaming weld line.....	6
2.2 Location and dimension for cross flow test sample with and without weld line.....	6
2.3 (a) is Convergent mandrel design and (b) is Divergent mandrel design.....	7
2.4 Stress blow molding process.....	8
2.5 (a) is Good weld line and (b) is Grooved and consequently bad weld line	8
2.6 Illustration of deformation for plane stress (a) and plane and plane strain.....	9
2.7 Mold layout of the tensile specimen.....	10
2.8 V-notch	11
2.9 Large diameter thin wall ring cross section (Dimension in inch).....	12
3.1 แสดงถึงลักษณะเส้นใยพลาสติกแบบ Thermosetting	13
3.2 แสดงถึงลักษณะเส้นใย Thermoplastics.....	13
3.3 โพลีเมอร์แบบเส้นยาวตลอด	14
3.4 โพลีเมอร์แบบแยกแขน โคจรอบ.....	14
3.5 โพลีเมอร์แบบเชื่อม โขงหรือร่างแห.....	14
3.6 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อปริมาตรจำเพาะ	17
3.7 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับพลังงานความร้อน.....	18
3.8 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับ Elastic Modulus.....	19
3.9 แสดงถึงรูปแบบการไหลพื้นฐานในกระบวนการฉีดพลาสติก.....	20
3.10 ลักษณะเคลื่อนตัวของพลาสติกเหลว Melt Front ผ่านแม่พิมพ์ที่มีความหนาแตกต่างกัน	20
3.11 ลักษณะเคลื่อนตัวของพลาสติกเหลว Melt Front ที่ทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อม.....	21
3.12 ภาพตัดขวางลักษณะของการไหลของพลาสติกเหลวผ่านแม่พิมพ์ภายใต้ที่อุณหภูมิหล่อเย็น	21
3.13 ภาพตัดขวางการเคลื่อนตัวของพลาสติกเหลวที่บรรจบกันทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อม	22
3.14 แสดงการเคลื่อนตัวของพลาสติกเหลวทำให้เกิด Hot Weld Line.....	23
3.15 แสดงการเคลื่อนตัวของพลาสติกเหลวทำให้เกิด Cold Weld Line	23
3.16 แสดงการไหลที่ใช่แรงดันแตกต่างกันส่งผลให้เกิดเส้นแนวเชื่อม	24
3.17 ภาพตัดขวางการไหลของพลาสติกเหลวแสดงถึงชั้นของ Polymer	24
3.18 แบบรายละเอียดเครื่องฉีดพลาสติกแสดงถึงส่วนของสกรูฉีด.....	25
3.19 องค์ประกอบเครื่องมือวัด Rosand RH-7 Dual-Bore	26
Capillary Rheometer	26

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
3.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $T : v$ และ $Shear Rate : Viscosity$	28
3.21 แสดงถึงอุณหภูมิ Transition ของพลาสติกชนิด Crystalline และ Amorphous	29
3.22 กราฟพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของ Crystalline และ Amorphous	30
3.23 กราฟ Thermal Conductivity และ Elastic Modulus ของ Crystalline และ Amorphous	30
4.1 แสดงลำดับขั้นตอนการแปลง File CAD Model ไปยัง Program MolDEX	32
4.2 แสดงถึงความดันที่เกิดขึ้นขณะฉีดพลาสติก ณ ตำแหน่งต่างๆ [8]	36
4.3 แสดงถึงลักษณะของการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line เนื่องจากอุณหภูมิสูง [8]	36
4.4 แสดงถึงลักษณะของการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line เนื่องจาก Molecular chain ที่วางตัวขนานกัน [8]	37
4.5 แสดงถึงขั้นตอนการออกแบบและทดลองสร้างแม่พิมพ์ก่อนนำ Program MolDEX มาใช้	37
4.6 แสดงถึงขั้นตอนการออกแบบและทดลองสร้างแม่พิมพ์หลังนำ Program MolDEX มาใช้	38
4.7 หน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่น	38
4.8 แสดงลักษณะ โครงร่างของ Face Cavity หน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย AutoCAD	39
4.9 แสดงลักษณะของการ Mesh Face Cavity หน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย MolDEX	39
5.1 Melt front ที่เวลา 0.10 วินาที	40
5.2 Melt front ที่เวลา 0.20 วินาที	40
5.3 Melt front ที่เวลา 0.30 วินาที	40
5.4 Melt front ที่เวลา 0.40 วินาที	40
5.5 Melt front ที่เวลา 0.50 วินาที	40
5.6 Melt front ที่เวลา 0.60 วินาที	40
5.7 Melt front ที่เวลา 0.70 วินาที	41
5.8 Melt front ที่เวลา 0.80 วินาที	41
5.9 Melt front ที่เวลา 1.30 วินาที	41
5.10 Melt front ที่เวลา 1.50 วินาที	41
5.11 Melt front ที่เวลา 1.80 วินาที	41

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
5.12 Melt front ที่เวลา 2.60 วินาที.....	41
5.13 Melt front ที่เวลา 2.70 วินาที.....	41
5.14 Melt front ที่เวลา 2.80 วินาที.....	41
5.15 Melt front ที่เวลา 2.90 วินาที.....	42
5.16 Melt front ที่เวลา 3.00 วินาที.....	42
5.17 Melt front ที่เวลา 3.10 วินาที.....	42
5.18 Melt front ที่เวลา 3.20 วินาที.....	42
5.19 Melt front ที่เวลา 3.30 วินาที.....	42
5.20 Melt front ที่เวลา 3.40 วินาที.....	42
5.21 Melt front ที่เวลา 3.50 วินาที.....	42
5.22 Melt front ที่เวลา 3.60 วินาที.....	42
5.23 Melt front ที่เวลา 3.70 วินาที.....	43
5.24 Melt front ที่เวลา 3.75 วินาที.....	43
5.25 Melt front ที่เวลา 3.80 วินาที.....	43
5.26 Melt front ที่เวลา 3.86 วินาที.....	43
5.27 Melt front ที่เวลา 3.90 วินาที.....	43
5.28 Melt front ที่เวลา 3.96 วินาที.....	43
5.29 Melt front ที่เวลา 4.00 วินาที.....	43
5.30 Melt front ที่เวลา 4.10 วินาที.....	43
5.31 Melt front ที่เวลา 4.20 วินาที.....	44
5.32 Melt front ที่เวลา 4.30 วินาที.....	44
5.33 Melt front ที่เวลา 4.60 วินาที.....	44
5.34 Melt front ที่เวลา 4.70 วินาที.....	44
5.35 Melt front ที่เวลา 4.90 วินาที.....	44
5.36 Melt front ที่เวลา 5.00 วินาที.....	44
5.37 Melt front ที่เวลา 5.10 วินาที.....	44
5.38 Melt front ที่เวลา 5.20 วินาที.....	44
5.39 ผลิตภณท์ที่มีปัญหาเกิด Weld line ก่อนทำการแก้ไข.....	45
5.40 ผลิตภณท์ที่วิเคราะห์ด้วย CAE ก่อนทำการแก้ไข.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
5.41 ผลลิตภัณฑ์ที่วิเคราะห์ด้วย CAE ซึ่งได้แก้ไขปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อมแล้ว	46
5.42 ผลลิตภัณฑ์ที่แก้ไขปัญหาเส้นแนวเชื่อมแล้ว.....	47
5.43 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหลอมเหลว และความดันต่อเวลาที่เปลี่ยนไป สำหรับผลลิตภัณฑ์เดิมที่ยังไม่แก้ปัญหาลิ้นแนวเชื่อม.....	48
5.44 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหลอมเหลว และความเร็วต่อเวลาที่เปลี่ยนไป สำหรับผลลิตภัณฑ์เดิมที่ยังไม่แก้ปัญหาลิ้นแนวเชื่อม	49
5.45 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหลอมเหลว และความดันต่อเวลาที่เปลี่ยนไป สำหรับผลลิตภัณฑ์ใหม่ที่แก้ปัญหาลิ้นแนวเชื่อมแล้ว.....	49
5.46 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหลอมเหลว และความเร็วต่อเวลาที่เปลี่ยนไป สำหรับผลลิตภัณฑ์ใหม่ที่แก้ปัญหาลิ้นแนวเชื่อมแล้ว.....	50
5.47 กราฟแสดง กระบวนการฉีดพลาสติกด้วย CAE Software	51
5.48 กราฟแสดง กระบวนการฉีดพลาสติกทางทฤษฎี.....	51
5.49 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 157 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 186 mm.....	52
5.50 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 157 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 122 mm.....	53
5.51 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 157 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 056 mm.....	54
5.52 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 89 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 186 mm.....	55
5.53 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 89 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 122 mm.....	56
5.54 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 89 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 056 mm.....	57
5.55 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 44 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 186 mm.....	58
5.56 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 44 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 122 mm.....	59
5.57 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 44 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 056 mm.....	60
6.1 กราฟอุณหภูมิที่เปลี่ยนเมื่อ $4.05 < t < 4.25$	61
6.2 กราฟอุณหภูมิที่เปลี่ยนเมื่อ $3.50 < t < 4.10$	61
6.3 กราฟอุณหภูมิที่เปลี่ยนระยะทาง $0 < d < 45$	61
6.4 กราฟอุณหภูมิที่เปลี่ยนระยะทาง $0 < d < 50$	61
6.5 กราฟแสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปเมื่อระยะทางและเวลาเปลี่ยนไป a แม่พิมพ์เดิม, b แม่พิมพ์ที่แก้ไขแล้ว	62
6.6 แสดงแม่พิมพ์ที่ยังไม่ได้แก้ไข (ไม่ได้เปิดช่องทางการไหลของพลาสติกผ่าน Insert).....	62

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

6.7 กราฟแสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปเมื่อระยะทางและเวลาเปลี่ยนไป g แม่พิมพ์เดิม, h แม่พิมพ์ที่ได้แก้ไขแล้ว	63
6.8 แสดงแม่พิมพ์ที่ยังได้แก้ไขแล้ว (ได้เปิดช่องทางการไหลของพลาสติกผ่าน Insert)	64
6.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์, ความเร็วในการฉีด และความดันฉีด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขปัญหาเส้นแนวเชื่อม	64
6.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์, ความเร็วในการฉีด และความดันฉีด สำหรับผลิต ภัณฑ์ที่ได้รับการแก้ไขปัญหาเส้นแนวเชื่อม.....	65
ก1 แสดงถึงการไหลของพลาสติกเหลวผ่าน Insert สำหรับแม่พิมพ์ที่ยังไม่ได้แก้ไข	72
ก2 แสดงถึงการไหลของพลาสติกเหลวผ่าน Insert สำหรับแม่พิมพ์ที่ได้แก้ไขแล้ว	73
ข1 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 157 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 167.5 mm	74
ข2 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 157 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 111.5 mm	74
ข3 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 157 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 55.5 mm	75
ข4 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 89 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 167.5 mm	75
ข5 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 89 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 111.5 mm	76
ข6 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 89 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 55.5 mm	76
ข7 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 44 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 167.5 mm	77
ข8 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 44 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 111.5 mm	77
ข9 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 44 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 55.5 mm	78
ง1. แสดงรูปแบบการหลอมรวมตัวกันของพลาสติกเหลวที่ส่งผลทำให้เกิด เส้นแนวเชื่อมขึ้น	80

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
ง2. แสดงภาพตัดขวางของพลาสติกเหลวที่ไหลภายในแม่พิมพ์.....	80
ง3. แสดงถึง Node ต่างๆที่พลาสติกเหลวไหลผ่านขณะทำการฉีดพลาสติก จนเต็มแม่พิมพ์ที่เวลา 0 – 5.3 sec.....	81



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของการฉีดพลาสติกครั้งแรก

การฉีดพลาสติกเป็นกระบวนการที่นำพลาสติกที่อยู่ในรูปเม็ด หรือ ผงมาผ่านกระบวนการ หลอมเหลวด้วยอุณหภูมิสูงแล้วฉีดเข้าในแม่พิมพ์ที่ได้ออกแบบไว้

สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกได้มีการจดสิทธิบัตรครั้งแรก โดย John และ Isaiah Hyatt ในปี ค.ศ. 1872 แต่กระบวนการฉีดพลาสติกดังกล่าวยังไม่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายจนกระทั่ง ในสงครามโลกครั้งที่สองเทคโนโลยีการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เทคโนโลยีดังกล่าวถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการฉีดพลาสติกตั้งแต่ ค.ศ. 1972 - 1978 โดยที่ผ่านมามีปริมาณวัสดุที่เสียไปคิดเป็น 57% ต่อปีในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1978 สิ้น เปลืองวัสดุไป 60 พันล้านปอนด์ คิดเป็นจำนวนเงินเท่ากับ 20 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือเทียบเท่า สำหรับพลาสติกชนิด Thermosetting ที่สูญเสียไปในกระบวนการฉีดพลาสติกสิ้นเปลืองประมาณ 1 ปอนด์ต่อวันต่อประชากรสหรัฐ 1 คน

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการฉีดพลาสติกได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว และเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเทคโนโลยีการฉีดพลาสติกจากอดีตที่ผ่านมา เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรม การฉีดพลาสติกในปัจจุบัน

1.2 ที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์พลาสติกมีบทบาทมากขึ้น ต่อชีวิตประจำวัน โดยในอุตสาหกรรม ได้มีการผลิตสินค้าให้เพียงพอต่อผู้บริโภค ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องเกิดความเสียหายน้อยที่สุด และหนึ่งใน ปัญหาที่พบบ่อยคือ การเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line ในชิ้นงาน โดยในงานวิจัยที่ได้นำเสนอต่อ ไปนี้มุ่งเน้นแก้ปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line ในชิ้นงานเครื่องทำน้ำอุ่น และพลาสติกที่ใช้ คือ (ABS Acrylonitrile Butadiene Styrene) ในการฉีดพลาสติกแต่ละครั้ง จะมีตัวแปรควบคุมคือ อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก, อุณหภูมิแม่พิมพ์, ความดันฉีด และ ความเร็ว Screw feed เดิมการหา ค่าตัวแปรที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ หนึ่งในนั้นจะใช้วิธีการทดลองซ้ำๆ Trial error จนกว่าจะได้ผลิต ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความเสียหายน้อยที่สุด ซึ่งวิธีดังกล่าวจะเสียเวลานาน และยังสิ้นเปลืองวัสดุเป็นจำนวนมาก โดยในงานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในส่วนของ การสุ่มทดลอง Trial error เพื่อ หาค่าตัวแปรควบคุมที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line น้อยที่สุด

พลาสติกนับว่าเป็นวัสดุที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของคนเราเป็นอย่างมาก และกำลังเป็นวัสดุสร้างที่มีคุณค่าควบคู่กันไปกับเหล็กและไม้ ถ้ารู้จักเลือกใช้พลาสติก ให้เหมาะสมกับงาน ทั้งนี้เพราะสามารถสร้าง คัดแปลง และแปรรูปได้ง่าย ในการแปรรูปพลาสติกโดยการฉีดนั้นจะทำได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเครื่องฉีด ที่จะคัดแปลงให้เหมาะสมกับพลาสติกชนิดต่างๆ สำหรับ Thermoplastic นั้นเมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเหลว สามารถนำไปแปรรูปได้หลายครั้ง Thermosetting เมื่อได้รับความร้อนจะแข็งตัว และไม่สามารถนำกลับมาหลอมใหม่ได้อีก ส่วน Elastomer เป็นพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นคล้าย ๆ ยางธรรมชาติ ซึ่งมักจะเรียกกันว่า “ยางสังเคราะห์” เนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติกขึ้นอยู่กับอิทธิพลหลายอย่าง เช่นความแข็งแรง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลจากสารเคมี ความชื้น รังสี เช่นจากแสงอาทิตย์และอิทธิพลจากกรรมวิธีการผลิต ดังนั้นก่อนที่จะทำการแปรรูปพลาสติกเอาไปใช้งานควรจะรู้คุณสมบัติของพลาสติกนั้นๆ ให้แน่ชัดเสียก่อน

ในการแปรรูปพลาสติก นั้นมีอยู่หลายกรรมวิธีด้วยกันเช่น การฉีด การเป่า การอัด การดูด เป็นต้น แต่ในที่นี้เรากล่าวถึงกรรมวิธีการฉีดเพียงเดียว โดยที่จะทำการสร้าง Mold (แม่พิมพ์พลาสติก) ขึ้นมาแล้วทำการฉีด ซึ่งค่าใช้จ่ายจะสูงพอสมควร แต่ในโครงการนี้เราจึงนำเอา Program Moldex มาประยุกต์ใช้ช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น เกี่ยวกับการไหลของพลาสติกด้วย Computer โดยเราสามารถสร้างและออกแบบแม่พิมพ์ แล้วกำหนดความเร็ว ความดัน และอุณหภูมิพลาสติก เพื่อให้ Program Moldex ทำการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งเป็นการประหยัดเวลาก่อนที่เราจะสร้างแม่พิมพ์ ขึ้นมาซึ่งในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกมีใช้กันอย่างแพร่หลาย และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องผลิตให้ได้คุณภาพดีที่สุด เพื่อประโยชน์ในการใช้สอยและการตลาด ซึ่งในการผลิตให้ออกมาได้คุณภาพดีนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่บุคลากรต้องมีประสบการณ์สูง และเครื่องมือที่พร้อม โดยในรายงานฉบับนี้จะได้นำเสนอถึงการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในการฉีดพลาสติกในแม่พิมพ์

สำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สร้างด้วยวิธีการฉีด ที่ให้ได้คุณภาพดีนั้นขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเครื่องจักรที่ใช้ในการฉีดพลาสติก ซึ่งจะถูกรวบรวมโดยตัวแปรเหล่านี้ เช่น ความดัน, ความเร็วในการฉีด, อุณหภูมิพลาสติกเหลว และอุณหภูมิแม่พิมพ์ ในแม่พิมพ์แต่ละแบบ ค่าดังกล่าวก็จะแตกต่างกันออกไป ซึ่งในการสุ่มทดลองหาค่า ความดัน, ความเร็วในการฉีด, อุณหภูมิพลาสติกเหลว และอุณหภูมิแม่พิมพ์ ที่เหมาะสมอาจต้องสิ้นเปลืองเวลา และวัสดุเป็นจำนวนมาก

ศึกษาถึงผลกระทบของ ความดัน, ความเร็วในการฉีด, อุณหภูมิพลาสติกเหลว และอุณหภูมิแม่พิมพ์ ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ เกิดเส้นแนวเชื่อม (Weld line), เกิดการหดตัว (Shrinkage) โดยพิจารณาถึงขณะฉีด (Filling stage) เดิมในอุตสาหกรรมพลาสติกฉีดทั่วไป ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้นในแม่พิมพ์หนึ่งชุดจะต้องใช้การทดลอง เพื่อหาค่า ความดัน, ความเร็วในการฉีด และอุณหภูมิในการฉีดที่

เหมาะสมเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ที่สุด ซึ่งจะทำให้สูญเสียเวลา และวัสดุเป็นจำนวนมาก โดยเราสามารถลดขั้นตอนดังกล่าวให้ใช้เวลาและวัสดุน้อยลงได้ ด้วยวิธีการจำลองการกระจายตัวของพลาสติกเหลวด้วยวิธีการประมาณค่าเชิงตัวเลขแบบ Finite Element บน Computer ด้วยโปรแกรมที่จะได้นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ก่อนการฉีดพลาสติกจริง ซึ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับการผลิตสินค้าจำนวนมากๆ ในงานวิจัยฉบับนี้จะได้นำเสนอแนวทางในการแก้ไข และช่วยลดขั้นตอนก่อนการฉีดพลาสติกจริง เป็นการประยุกต์ จำลองการกระจายตัวของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยวิธีการประมาณค่าเชิงตัวเลขแบบ Finite Element ร่วมกับสมการของไหล เพื่อทำนายสิ่งที่เกิดขึ้นโดยจะวิเคราะห์จาก ความดัน, ความเร็วในการฉีด, อุณหภูมิพลาสติกเหลวที่เปลี่ยนแปลง และจะนำผลที่ได้เสนอในรูปแบบของ กราฟ ข้อมูลตัวเลข ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิของ Flow front ต่อการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line
- 1.2.2 ศึกษาผลกระทบของความดันฉีด และความเร็วของพลาสติกเหลว ต่อการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line
- 1.2.3 กำหนดค่าตัวแปรควบคุมที่เหมาะสมเช่น อุณหภูมิพลาสติก, ความเร็ววัสดุ และความดัน

1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 จำลองการไหล โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหลอมเหลว ของพลาสติกในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วย Program MolDEX
- 1.3.2 พลาสติกที่ใช้ในการฉีดเป็นชนิด ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)
- 1.3.3 พลาสติกที่ทำการฉีด อยู่ในช่วงความดัน 200 – 250 Mpa
- 1.3.4 พิจารณาการไหลของของไหล แบบอัดตัวไม่ได้
- 1.3.5 พลาสติกฉีดอยู่ในช่วงเหลว Filling Stage ยังไม่แข็งตัว
- 1.3.6 อุณหภูมิฉีดพลาสติก 200 – 270 °C (สำหรับพลาสติกชนิด ABS)
- 1.3.7 อุณหภูมิแม่พิมพ์ 50 – 90 °C (สำหรับพลาสติกชนิด ABS)

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาการใช้ Program Moldex
- 1.4.2 ทำการวิเคราะห์ปัญหาการฉีดพลาสติกด้วย Program Moldex
- 1.4.3 การทดลองและเก็บผล และวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง
- 1.4.4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.5.1 ประหยัดเวลาในการฉีดพลาสติก
- 1.5.2 ประหยัดต้นทุนในการฉีดพลาสติก
- 1.5.3 นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ปัญหา Weld line ได้
- 1.5.4 นำข้อมูลของการทดลองไปพัฒนางานในฉีดพลาสติกต่อไปได้
- 1.5.5 สามารถนำ Program Moldex มาประยุกต์ ใช้ในการแก้ปัญหาในการฉีด Plastic ได้
- 1.5.6 ลดปัญหาการเกิด รอยแนวเชื่อมของพลาสติก Weld line กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิต
- 1.5.7 ลดวัสดุก่อนทำการผลิตจริงเนื่องจากการลองผิดลองถูก Trial error



บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

สำหรับกระบวนการผลิตในโรงงาน การผลิตชิ้นงานด้วยกรรมวิธีการฉีดพลาสติกได้ถูกนำเข้ามาใช้กันอย่างแพร่หลายเริ่มตั้งแต่ ค.ศ. 1972 จนถึงปัจจุบัน และปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยกรรมวิธีนี้มีหลายปัญหาด้วยกัน เช่นการเกิดฟองอากาศในชิ้นงาน, การฉีดไม่เต็มแบบ, การบิดงอ และการเกิดเส้นแนวเชื่อมบนผลิตภัณฑ์ โดยทั้งหมดนี้

ซึ่งในงานวิจัยที่เคยทำมาก่อนและได้นำเสนอนี้ จะเป็นการศึกษาและวิเคราะห์ถึงความแข็งแรง ที่เกิดขึ้นบนเส้นแนวเชื่อม โดยศึกษาถึงชิ้นงานทดสอบที่แตกต่างกันแล้วหาความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ด้วยการตัดทดสอบกับเครื่อง Universal Testing Machine (UTM), ศึกษาถึงความแข็งแรงของขดต่อเส้นแนวเชื่อม ที่ผ่านกรรมวิธีผลิตด้วยการเป่า และการลดเส้นแนวเชื่อมที่เกิดบนวงแหวนบาง

2.2 An Evaluation of Weld line Strength of ABS (Injection Molding)

By Jing lu

Abstract of a Thesis Submitted to the Faculty of the
Department of Plastic Engineering In Partial Fulfillment of the Requirement
For the Degree of
Master of Science
University of Massachusetts Lowell

1997

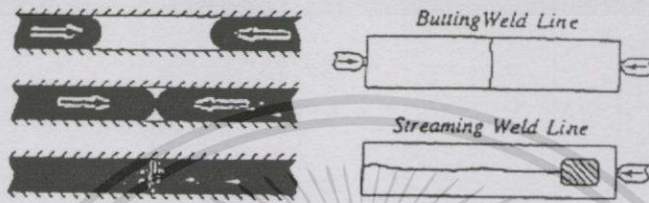
Thesis Advisors: Dr. Robert A. Malloy

Stephan A. Orroth

Professors, Department of Plastics Engineering

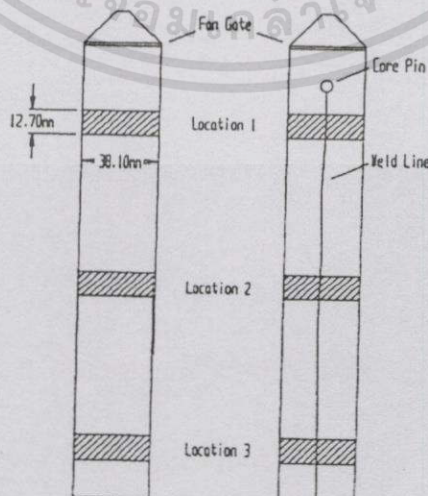
เส้นแนวเชื่อม เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น โดยเส้นแนวเชื่อมนี้จะเกิดขึ้นเมื่อพลาสติกเหลวไหลรวมตัวกันจากสองทิศทาง ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวจะทำให้ความแข็งแรงน้อยลงปัจจัยหนึ่งคือชนิดของพลาสติกที่ใช้ ซึ่งมีผลกระทบเมื่ออยู่ในกระบวนการฉีดพลาสติก ความหนาของชิ้นงานก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบ โดยในการหาสาเหตุการเกิดเส้นแนวเชื่อมแสดงให้เห็นในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการฉีดด้วยวัตถุดิบคือ ABS ซึ่งได้ศึกษาถึงชนิดของ ABS ที่มีโครงสร้างที่แตกต่างกันแม่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิมพ์ฉีดพลาสติกที่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตด้วย ABS ตามที่ได้นำเสนอ จะเกิดเส้นแนวเชื่อมโดยการฉีดผ่านแกน core pines ที่แทรกอยู่ในตัวแม่พิมพ์ เส้นแนวเชื่อมที่แสดงให้เห็นในชิ้นส่วนทดสอบนี้ทดสอบโดยการยึดแกน core pines โดยระยะห่างแกนวัดเทียบได้จากตำแหน่งฉีด และทดสอบที่ความหนาต่างๆของผลิตภัณฑ์ คุณสมบัติการทนต่อความเค้นดึงของชิ้นทดสอบจะหาทั้งสองกรณีคือ ในการไหลแบบตัดขวาง cross flow และการไหลแบบตามยาว direction flow โดยชิ้นทดสอบมีความหนาต่างๆกัน



รูปที่ 2.1 Melt flow front combine to product a butting or streaming weld line

จากการทดสอบจะพบว่า ความเค้นดึงสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติก ที่ผ่านกระบวนการฉีดแบบตามยาว direction flow เมื่อเปรียบเทียบกับการไหลแบบตัดขวาง cross flow แล้วแบบไหลตามยาว direction flow จะทนต่อความเค้นดึงได้สูงกว่าการไหลแบบตามขวาง cross flow ผลิตภัณฑ์ทดสอบที่มีเส้นแนวเชื่อม จะทนต่อความเค้นดึงได้น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ทดสอบที่ไม่มีเส้นแนวเชื่อม ความหนาของผลิตภัณฑ์ทดสอบมีผลกระทบน้อยต่อคุณสมบัติความเค้นดึง ความเค้นดึงในการทดสอบไม่ได้แสดงถึงการเปลี่ยนตำแหน่งระยะการฉีด ผลิตภัณฑ์ทดสอบทำหรับวัสดุ ABS ที่มีความยืดหยุ่นสูงในบางชนิดอาจทนต่อความเค้นดึงได้น้อย แต่สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อความเค้นดึงได้ดี แสดงได้โดยขนาดของเส้นแนวเชื่อมจากการเปรียบเทียบระหว่าง ABS บริสุทธิ์ กับ ABS ทั่วไปทำให้ทราบว่า ABS บริสุทธิ์จะเกิดความเค้นดึงในผลิตภัณฑ์น้อยกว่า ABS ทั่วไป



รูปที่ 2.2 Location and dimension for cross flow test sample with and without weld line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Analysis of the Weld Line Sealing Strength of Extrusion Blow Molded Specimens

By Mark Edward Duffett

Abstract of a Thesis Submitted to the Faculty of the
Department of Plastic Engineering In Partial Fulfillment of the Requirement

For the Degree of

Master of Science

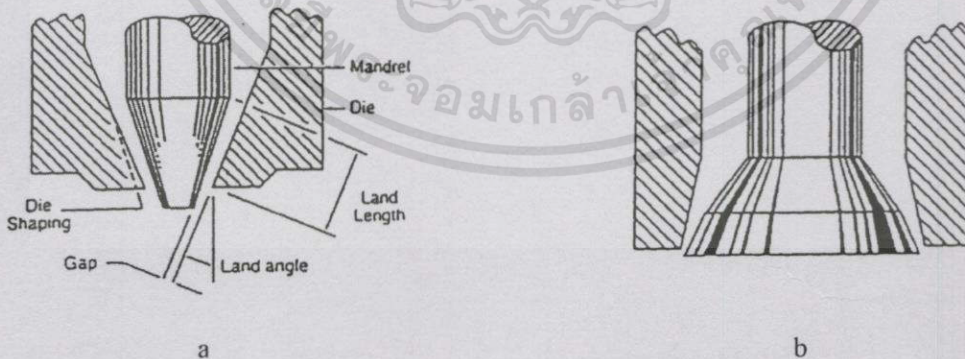
University of Massachusetts Lowell

1996

Thesis Supervisor: S.A Orroth

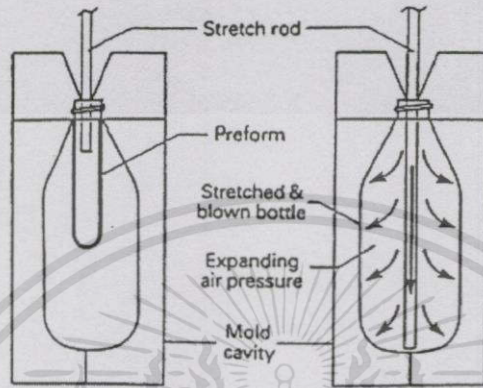
Professor of Plastics Engineering

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ศึกษาถึงผลกระทบของความหนาและความแข็งแรงของเส้นแนวเชื่อมบนผลิตภัณฑ์ ในแม่พิมพ์ชนิดเป่า ความแตกต่างของการออกแบบ ขนาดของ pinch-off insert ด้วยการทดสอบโดยการปรับเปลี่ยนขนาดความกว้างของการไหลและมุมของแท่งขวาง ในกระบวนการผลิตได้ศึกษาตัวแปรที่ส่งผล โดยการเปลี่ยนแปลงเวลาในการปิดแม่พิมพ์ และอุณหภูมิแม่พิมพ์ โดยในงานวิจัยนี้โดยใช้พลาสติกชนิด Thermo plastic อยู่สองชนิดดังนี้ High Density Polyethylene (HDPE) และ Polypropylene (PP)



รูปที่ 2.3 (a) is Convergent mandrel design and (b) is Divergent mandrel design

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความหนา และความแข็งแรงของรอยต่อเส้นแนวเชื่อม และนั่นคือผลกระทบที่เกิดขึ้น จากการสังเกตและการปฏิบัติในการออกแบบมูมคาย, การออกแบบความกว้างของการไหล, เวลาในการเปิดแม่พิมพ์ และอุณหภูมิแม่พิมพ์จะมีผลต่อความหนา และความแข็งแรงของรอยต่อเส้นแนวเชื่อม



รูปที่ 2.4 Stress blow molding process

ขวดเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยวิธีการเป่าขึ้นรูป ชิ้นทดสอบถูกจัดเตรียมไว้เพื่อทดสอบด้วยเครื่องจักรของ Bandsaw และ Tensilkut ในแต่ละชิ้นทดสอบที่ทำการผลิตจะมีการวัดหรือตรวจสอบความกว้างและความยาวของเส้นแนวเชื่อมไว้ ความแข็งแรงของรอยต่อเส้นแนวเชื่อมถูกตัดและทดสอบด้วย Universal Testing Machine (UTM)



รูปที่ 2.5 (a) is Good weld line and (b) is Grooved and consequently bad weld line

2.4 The Development of the Weld Line Strength in Injection Molding Poly (Methyl Methacrylate)

By Ann O'Brien-Soucy

Abstract of a Thesis Submitted to the Faculty of the
Department of Plastic Engineering In Partial Fulfillment of the Requirement

For the Degree of

Doctor of Engineering in Plastic Engineering

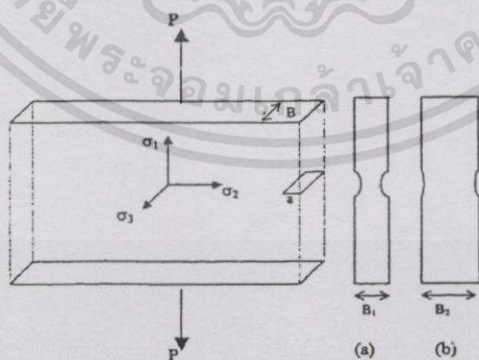
University of Massachusetts Lowell

1999

Dissertation Supervisor: Ross G. Stacer, Ph.D.

Associate Professor, Department of Plastic Engineering

ในการสำรวจถึงความแข็งแรงต่อการเกิดเส้นแนวเชื่อม โดยศึกษาถึงการออกแบบและหาค่าการนำความร้อนในแม่พิมพ์ต่อการเกิดเส้นแนวเชื่อม ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการทดสอบคือ Methyl methacrylate ตัวแปรที่ต้องคำนึงถึงคือน้ำหนักมวล โมเลกุล, อุณหภูมิหลอมเหลว และความดันในการอัดฉีด การวิเคราะห์ถึงความเสียหายทำได้โดยทดสอบแรงดึงกับชิ้นงานซึ่งชิ้นงานทดสอบมีการทำรอยบาก และไม่มีการทำรอยบาก



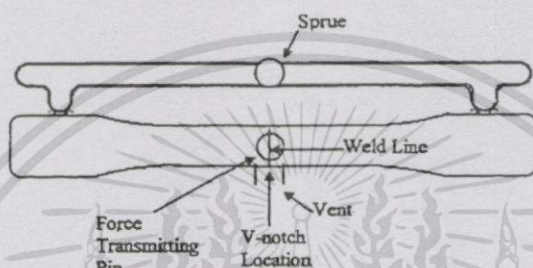
รูปที่ 2.6 Illustration of deformation for plane stress (a) and plane and plane strain

จากการเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์ และการคำนวณสำหรับคุณสมบัติของแบบจำลองต่างๆ ไปพลังงานที่ทำให้เกิดรอยแตกร้าวของเส้นแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นตามลักษณะของรอยค้ำหนึ่ที่เพิ่มขึ้นบนชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบ จุดเริ่มต้นของความเสียหายที่เกิดแสดง โดยตำแหน่งที่อยู่ภายในหน้าตัดของตำแหน่งสิ้นสุดการไหล

สิ่งแรกในการทดสอบ คือการเตรียมชิ้นงานทดสอบในกรณี ที่เกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้นสามแบบ สำหรับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ต่อมาพิจารณาถึงแบบจำลองโดยพลังงานที่ทำให้เกิดการแตกร้าวจะขึ้นกับเวลา สุดท้ายพิจารณาถึงความยาวของชิ้นงานทดสอบ ในการวิเคราะห์แบบกระจายสรูปได้ว่าการเคลื่อนที่ของโมเลกุลผ่านแบบจำลองภายใต้กระบวนการฉีดพลาสติก ซึ่งเกิดขึ้นก่อนกระบวนการย้าความดัน จะเริ่มขึ้น



รูปที่ 2.7 Mold layout of the tensile specimen

สำหรับแบบจำลองทั้งสาม เวลาจะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิหลอมเหลวและการย้าความดันแต่ผลของเวลาไม่เปลี่ยนแปลงตามน้ำหนักของโมเลกุล โดยหนึ่งที่เป็นประโยชน์คือสัดส่วนของความยาวต่อรัศมีจ้ยเรชัน เพื่อใช้ในการหาค่าที่แม่นยำในแบบจำลองโดยบายการเกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้นบนแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิตสำหรับแม่พิมพ์ฉีด สำหรับข้อสรูปพื้นฐานซึ่งมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นต่อกันและกันคือเศษของพื้นที่ว่างและเวลาที่ความแข็งแรงค่อยๆเพิ่มขึ้น

2.5 Weld Line Failure in a Thin Wall Ring (ปัญหาเส้นแนวเชื่อมบนวงแหวนผนังบาง)

By Mark Daniel Joyce

Abstract of a Thesis Submitted to the Faculty of the
Department of Plastic Engineering In Partial Fulfillment of the Requirement

For the Degree of

Master of Science

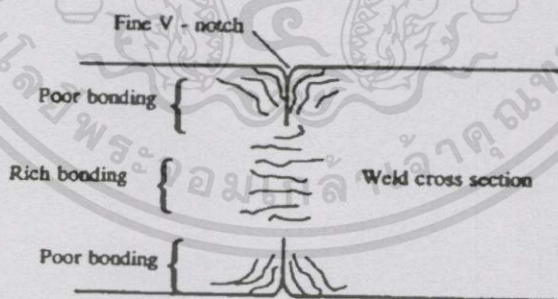
University of Massachusetts Lowell

2000

Thesis Supervisor: Stephen P. McCarty, Ph.D.

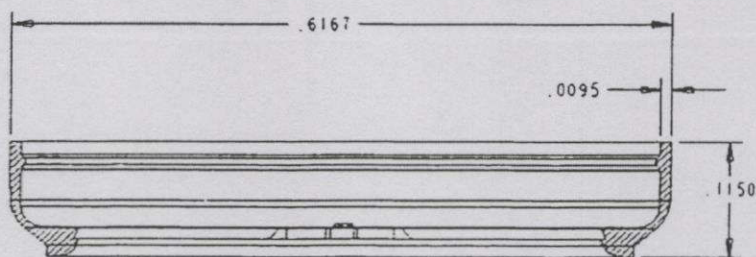
Professor, Department of Plastic Engineering

ทางออกของการแก้ปัญหาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก สำหรับวงแหวนผนังบาง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการประกอบผลิตภัณฑ์ ขอบกพร่องที่เกิดขึ้นขณะทดสอบคือรอยแตกเนื่องจากเส้นแนวเชื่อม สำหรับวงแหวนผนังบางเป็นแบบจำลองที่ผลิตขึ้นจากพลาสติกชนิด Polypropylene โดยชิ้นส่วนของแม่พิมพ์จะถูกทำให้ร้อนก่อนจะประกอบเข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.8 V-notch

ในการผลิตแม่พิมพ์แบบใหม่ สำหรับใช้ในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยที่แม่พิมพ์และอุณหภูมิหลอมเหลวเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เส้นแนวเชื่อมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ในการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตเข้าสู่ขั้นตอนที่สองของความดันและเวลาในกระบวนการที่สองนี้ได้เปลี่ยนแปลงไป ทั้งอุณหภูมิแม่พิมพ์และอุณหภูมิหลอมเหลว ตลอดจนความดันสามารถทำให้เส้นแนวเชื่อมมีความแข็งแรงมากขึ้น



SECTION A-A

รูปที่ 2.9 Large diameter thin wall ring cross section (Dimension in inch)

หลังจากกระบวนการทำให้แม่พิมพ์ร้อนขึ้น ชิ้นส่วนที่ผ่านกระบวนการฉีดพลาสติก ยังคงมีเส้นแนวเชื่อมเกิดขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิต และมากกว่านั้นคือขีดจำกัดทางกลของเครื่องฉีดพลาสติกด้วย



บทที่ 3

คุณสมบัติของพลาสติก และทฤษฎีการฉีดพลาสติก

3.1 ชนิดพลาสติก

3.1.1 Thermosetting คือพลาสติกที่มีรูปร่างถาวรเมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้ความร้อน Heat และแรงอัด Compression หรือผ่านกรรมวิธีการผลิตประเภทหล่อพลาสติก Casting ซึ่งจะไม่สามารถหลอมละลายนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น อามิโน อีพอกซี, ฟีนอลิก, โพลีเอสเตอร์, ซิลิโคน, ยูเรเทน ฯลฯ



รูปที่ 3.1 แสดงถึงลักษณะเส้นใยพลาสติกแบบ Thermosetting

3.1.2 Thermoplastic คือ พลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลังจากนำไปหล่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลมีลักษณะไม่ถาวร เช่น แอสเซทอล ,อะคริลิก, ฟลูออโรคาร์บอน ฯลฯ



รูปที่ 3.2 แสดงถึงลักษณะเส้นใย Thermoplastics

3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติก

3.2.1 พลาสติกสังเคราะห์ (Synthetic Materials) ที่มนุษย์สร้างขึ้นมามีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่มาก Macromolecule ประกอบด้วยธาตุสำคัญคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน ฯลฯ โพลีเมอร์เป็นสารประกอบ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเกิดขึ้นในธรรมชาติ หรือสังเคราะห์ขึ้นมา โพลีเมอร์ในธรรมชาติ Natural Polymers ที่เรารู้จักคือ ไม้ ฝ้าย

เส้นใยธรรมชาติ ยาง หนังกบ หนังกว ฯลฯ โพลีเมอร์สังเคราะห์ Synthetic Polymers คือ พลาสติก

3.2.2 โครงสร้างของโพลีเมอร์หรือลักษณะลำตัวและการจัดรูปร่างโมเลกุลของโพลีเมอร์ มีหลายแบบ ขึ้นอยู่กับประเภทของโพลีเมอร์และกรรมวิธีสังเคราะห์ ซึ่งความแตกต่างของโครงสร้างมีผลต่อคุณสมบัติเฉพาะตัวของมัน เช่นความหนาแน่น ความเหนียว ความเปราะ ความยืดหยุ่น ความแข็ง ความใส ฯลฯ

3.2.3 โครงสร้างของโพลีเมอร์แบบต่างๆ ดังนี้

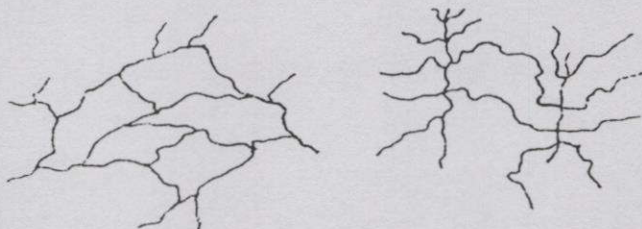
3.2.3.1 โพลีเมอร์แบบเส้นยาวตลอด (Linear Shape) ลำตัวยาวจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ขึ้น มีความแข็งแรงสูง ขึ้น ทนความร้อนได้ดีขึ้น

รูปที่ 3.3 โพลีเมอร์แบบเส้นยาวตลอด

3.2.3.2 โพลีเมอร์แบบแยกแขนโคจรอบ (Branched Shape) โดยสร้างแบบนี้ ทำให้โมเลกุลอยู่ห่างกัน จึงทำให้มีความหนาแน่นน้อย

รูปที่ 3.4 โพลีเมอร์แบบแยกแขนโคจรอบ

3.2.3.3 โพลีเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือร่างแห (Cross - Linked or twork Shape) โครงสร้างแบบนี้ทำให้โพลีเมอร์มีความหนาแน่นสูง และมีความแข็งแรงสูง



รูปที่ 3.5 โพลีเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือร่างแห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 คุณสมบัติของ Crystalline และ Amorphous Thermoplastic

นอกจากนี้คุณสมบัติของพลาสติก ยังสามารถจำแนกออกได้อีกสองลักษณะคือ Crystalline และ Amorphous (non-crystalline)

3.3.1 Crystalline

Thermoplastic บางชนิดมีลักษณะของผลึกซึ่งจะต้องใช้อุณหภูมิสูงมากขึ้นจากสภาวะของแข็งที่จะทำให้หลอมละลายโดยโมเลกุลของพลาสติกจะเรียงตัวกันอยู่ในรูปของผลึก ซึ่งทั่วไปเราเรียกว่าการเกาะตัวกัน แบบโครงตาข่ายผลึกการเรียงตัวกันของผลึกดังกล่าว จะเป็นตัวป้องกันพลังงานที่จะทำให้โมเลกุลแยกจากกัน หรือพลังงานที่ทำให้โมเลกุลรวมตัวกัน ตัวอย่างเช่นพลังงานความร้อนที่ทำให้โมเลกุลของพลาสติกแยกตัวออกจากกัน เราจะพบการเกิดผลึกของพลาสติกขึ้นของ Thermoplastic ในสภาวะเปลี่ยนแปลงสถานะด้วยอุณหภูมิและความร้อนแฝง ลักษณะเฉพาะของโครงสร้างผลึก Thermoplastic จะมีลักษณะที่ไปตามคุณสมบัติทางกายภาพไม่เป็นเนื้อเดียวกัน non-homogenous (anisotropic)

ลักษณะเฉพาะของโมเลกุลที่แพร่กระจายในรูปของผลึกในความเป็นจริงแล้วจะอยู่ในรูปของผลึก Thermoplastic 100% เป็นไปไม่ได้ซึ่งตัวบ่งชี้ X_c คืออัตราส่วนของการสุ่มการกระจายพื้นที่ non-crystallized ดังนั้นโครงสร้างผลึก Thermoplastic อาจเรียกในอีกชื่อหนึ่งได้ว่า semi-crystalline thermoplastic เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการที่โมเลกุลสร้างตัวเป็นผลึกโครงตาข่าย

ตัวอย่างของ crystalline thermoplastic ประกอบด้วยพลาสติกดังนี้ PE ($X_c = 80\%$), PP ($X_c = 50\%$), POM ($X_c = 99\%$), PEO, PPO, Nylon ($X_c = 35\%$) ฯลฯ

3.3.2 Amorphous Thermoplastics

Amorphous Thermoplastics มีโครงสร้างโมเลกุลแบบสุ่มเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ จากจุดเล็กๆที่พิจารณา amorphous Thermoplastics อุณหภูมิที่เปลี่ยนสถานะไม่ชัดเจน ในกระบวนการหลอมเหลวทั้งหมดจะมีอุณหภูมิกึ่งที่อยู่หนึ่งค่า และเมื่อหลอมเหลวมากจะมีลักษณะใส และตามคุณสมบัติทางกายภาพเป็นเนื้อเดียวกัน homogenous

พลาสติกทั่วไปที่จัดอยู่ในชนิด amorphous Thermoplastics เช่น Polystyrene (PS), Acrylics, Polycarbonates(PC), Polyvinyl Chloride(PVC) ฯลฯ

3.4 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพของการฉีดพลาสติก

3.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพความร้อน

คุณสมบัติทางกายภาพความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็นดังนี้

3.4.1.1 คุณสมบัติเชิงปริมาตร

ปริมาตรจำเพาะ v , ความหนาแน่น ρ และ ความสัมพันธ์ระหว่าง PVT (Pressure – Volume – Temperature)

3.4.1.2 คุณสมบัติของ Calorimetric

ความร้อนจำเพาะ C_p , ค่าการนำความร้อน k , ความร้อนในการหลอมละลาย และ ความร้อนที่ทำให้เกิดการเกาะตัวกันเป็นผลึก

3.4.1.3 อุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงสถานะ

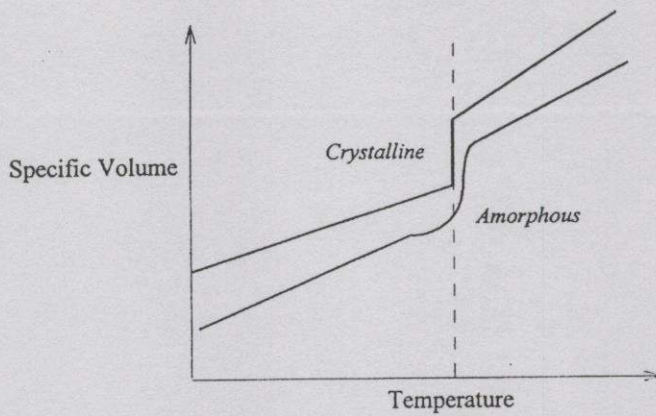
glass transition temperature T_g , melting point T_m

3.4.2 คุณสมบัติเชิงปริมาตร

3.4.2.1 ปริมาตรจำเพาะ และความหนาแน่น

ปริมาตรจำเพาะ มีผลโดยตรงกับความหนาแน่นที่เกิดการหลอมเหลวที่เปลี่ยนแปลงสถานะ Thermoplastic สามารถใช้ความร้อนในการทำให้หลอมเหลวเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวในขณะฉีดพลาสติก หรือทำให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิต่ำเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการโดยเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งปริมาตรจำเพาะ และความหนาแน่นจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนสถานะจาก (สถานะของเหลว หรือสถานะของแข็ง) โดยคุณสมบัติดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดันที่เปลี่ยนไป

ส่วนสำคัญของ thermoplastic ที่สถานะของเหลวภายใต้โครงสร้างโมเลกุลแบบต่อเนื่องทำให้ปริมาตรจำเพาะมีค่ามาก ดังนั้นจึงทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่าน้อยลง หรือในอีกกรณีหนึ่ง thermoplastic ที่สถานะของแข็งภายใต้โครงสร้างโมเลกุลแบบต่อเนื่องทำให้ปริมาตรจำเพาะมีค่าน้อย จึงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่ามากขึ้น หนึ่งในสองกรณีดังที่ได้กล่าวมาเป็นสาเหตุของการหดตัวของพลาสติกที่ทำการผลิต ซึ่งสาเหตุเกิดขึ้นจากปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างสถานะของแข็งและสถานะของเหลว



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อปริมาตรจำเพาะ

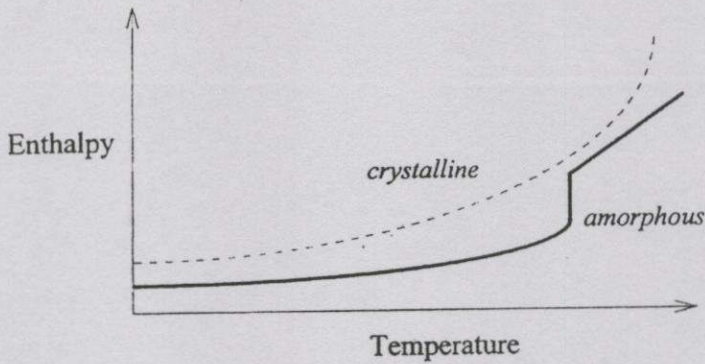
จากที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 crystalline thermoplastic ที่ความหนาแน่นสูงของพลาสติก *Polyethylene(HDPE)* โดยมีปริมาตรจำเพาะ และความหนาแน่นที่แสดงไว้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิ หลอมเหลว amorphous thermoplastic เช่น *PS* ในอีกลักษณะหนึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่าง ช้าๆ การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นจะเห็นได้ชัดกับ thermoplastic แต่จากการเปรียบเทียบ crystalline thermoplastic จะมีค่าความหนาแน่นมากกว่า amorphous

3.4.2.2 ความสัมพันธ์ของ PVT

เนื่องจากปริมาตรจำเพาะหรือความหนาแน่นของ thermoplastic ถูกกำหนดโดย ฟังก์ชันของอุณหภูมิและความดันเราสามารถคำนวณ และหาค่าได้จากสมการความสัมพันธ์ของ PVT ตัวแปรหนึ่งของสมการ PVT เราหาได้จากการทดลอง เราสามารถคำนวณหาค่าปริมาตร จำเพาะหรือความหนาแน่นได้ทุกค่าที่กำหนดอุณหภูมิและความดัน เราสามารถวัดอัตราการ เปลี่ยนแปลง PVT ของ thermoplastic ได้โดยการทดลอง

3.4.2.3 ความร้อนในการหลอมละลายและความร้อนของการเกิด Crystallization

ความร้อนในการหลอมละลายคือ พลังงานความร้อนที่ต้องการต่อหนึ่งหน่วยมวล ของพลาสติกที่ทำให้ crystalline กลายเป็นของเหลว heat of crystallization คือพลังงานความร้อนที่ เพิ่มขึ้นของพลาสติกระหว่างกระบวนการ crystallization ของ crystalline หรือ semi-crystalline ซึ่ง พลังงานความร้อนทั้งสองกรณีทั้ง heat of fusion และ heat of crystallization สามารถวัดได้ตามวิธี การ *Differential Scanning Calorimeter (DSC)*



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับพลังงานความร้อน

Crystalline thermoplastic จับตัวกันแน่นที่สถานะของแข็งในรูปของโครงสร้างโมเลกุล โดยพลังงานความร้อนที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะได้จะต้องเพิ่มพลังงานความร้อนให้แก่โมเลกุลก่อนก่อนที่โมเลกุลจะเกาะกันเป็นโครงร่างตาข่ายเช่นอุณหภูมิลอมเหลว และพลังงานความร้อนของการหลอมเหลว ตัวอย่างเช่นพลังงานความร้อนของการหลอมเหลวของ HDPE คือ 264.8 J/g (63.24 cal/g), LDPE เท่ากับ 131.2 J/g (31.36 cal/g) อย่างไรก็ตามความต้องการแม่นยำของข้อมูลของ heat of fusion ของ amorphous thermoplastic ยังไม่สามารถยืนยันได้ 100%

3.4.3 อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะ

3.4.3.1 อุณหภูมิ Glass transition, T_g

อุณหภูมิ Glass transition T_g ก็คืออุณหภูมิที่ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของ thermoplastic เริ่มมีการเคลื่อนไหวถ้าให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิ Glass transition จะทำให้โครงสร้างโมเลกุลแข็งตัว โดยพฤติกรรมดังกล่าวทำให้โครงสร้างโมเลกุลแข็งเปราะ glassy state ไม่สามารถให้ตัวได้ อย่างไรก็ตามถ้าให้อุณหภูมิแก่โมเลกุลสูงกว่าอุณหภูมิ Glass transition ทำให้โครงสร้างของโมเลกุลเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และพฤติกรรมของพลาสติกสามารถให้ตัวและจะอ่อนตัว rubbery stage

อุณหภูมิ Glass transition ถือว่าเป็นอุณหภูมิในการเปลี่ยนสภาพเกิดขึ้นเมื่อ thermoplastic เปลี่ยนแปลงสภาพ glassy state หรือ rubbery state ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการออกแบบ ถ้าต้องการให้พลาสติกแข็งตัวอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิ Glass transition แต่ถ้าต้องการให้พลาสติกอ่อนตัวได้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิ Glass transition

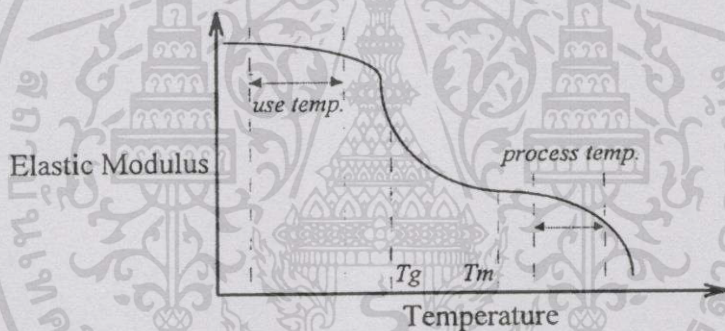
3.4.3.2 อุณหภูมิหลอมเหลว, T_m

อุณหภูมิหลอมเหลวคือพลังงานความร้อน ที่ทำให้พลาสติกเปลี่ยนแปลงสถานะจากสถานะของแข็งเป็นของเหลวรวมทั้ง *crystalline thermoplastic* กระบวนการที่ใช้ในการหลอมเหลวของ *thermoplastic* อุณหภูมิจะใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลว ซึ่งอุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิ *Glass transition* สามารถวัดได้โดยใช้วิธี *DSC* จากการสังเกตสำหรับ *thermoplastic* หลากชนิด ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิ *Glass transition* สามารถเขียนได้เป็น

$$T_m / T_g = 1.5 \text{ non-symmetric thermoplastic}$$

$$T_m / T_g = 2.0 \text{ symmetric thermoplastic}$$

ในรูปที่ 3.8 แสดงถึงความสัมพันธ์ของปริมาณอุณหภูมิ *Glass transition* ของพลาสติกกระบวนการหลอมเหลวกำหนดโดยช่วงของอุณหภูมิหลอมเหลว



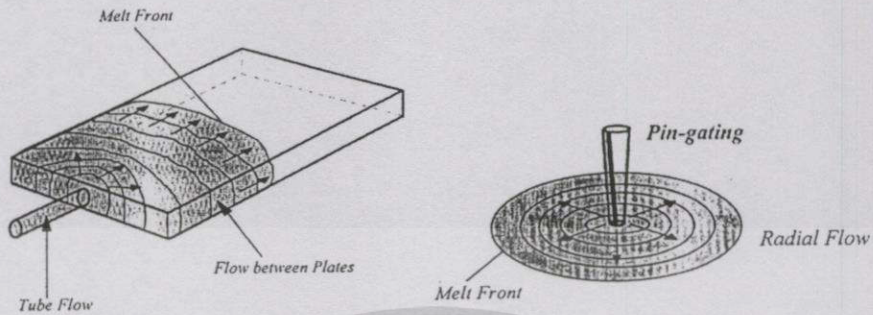
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับ Elastic Modulus

กระบวนการความร้อนของ *thermoplastic* มักจะถูกกำหนดไว้สองสามขั้นก่อนอุณหภูมิหลอมเหลว หรือกำหนดอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวเล็กน้อยกระบวนการความร้อน ควรกำหนดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก โดยทั่วไปกระบวนการฉีดพลาสติกจะกำหนดไว้สูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว $60-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ และกำหนดให้ต่ำกว่าอุณหภูมิ *cracking* $10-30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Thermoplastic ภายใต้กระบวนการที่จำกัดขอบเขตของอุณหภูมิไม่ถ้ายนักที่จะเริ่มกระบวนการฉีด สำหรับ *thermoplastic* บางชนิดเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการโดยมีช่วงของอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวที่แนะนำคือ $50-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ช่วงอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมในการหลอมละลายของ *thermoplastic* คืออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ *cracking* $5-15\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.5 พื้นฐานกระบวนการฉีดพลาสติก

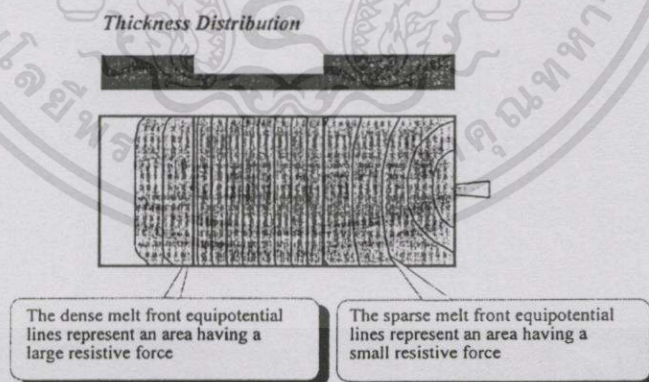
3.5.1 รูปแบบการฉีดพื้นฐาน



รูปที่ 3.9 แสดงถึงรูปแบบการไหลพื้นฐานในกระบวนการฉีดพลาสติก [8]

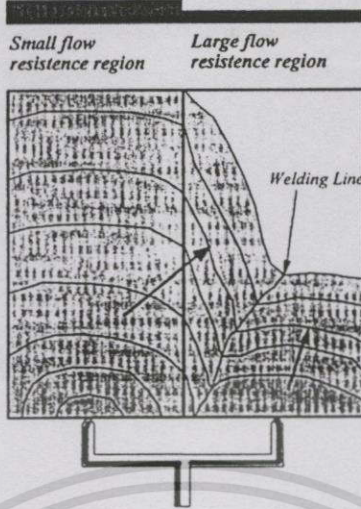
3.5.2 พื้นฐานการฉีดพลาสติก

กระบวนการฉีดพลาสติกสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ พลาสติกจะถูกหลอมเหลวอยู่ภายใต้สกรูส่งกำลังและถูกฉีดเข้าไปภายในแม่พิมพ์ ด้วยความดันค่าหนึ่ง โดยค่าความดันที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเกิดจากแรงที่ทำให้ พลาสติกเหลวเคลื่อนตัวผ่านเข้าไปยังแม่พิมพ์แหล่งความดันพิจารณาจากหัวฉีดแม่พิมพ์ จะเกิดความดันขึ้นสูงสุดที่ตำแหน่งดังกล่าวจากระยะห่างของรูทางเข้าพลาสติกเหลว gate จนถึงปลายสุดของแบบพิมพ์ ซึ่งค่าความดันจะมีค่าลดลงเรื่อยๆเนื่องจากความเสียดทานของการไหล และค่าความดันจะน้อยที่สุดที่ปลายสุดของการไหล



รูปที่ 3.10 ลักษณะเคลื่อนตัวของพลาสติกเหลว Melt Front ผ่านแม่พิมพ์ที่มีความหนาแตกต่างกัน [8]

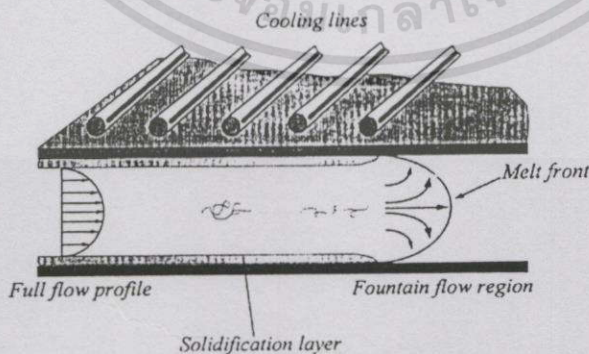
Thickness Distribution



รูปที่ 3.11 ลักษณะเคลื่อนตัวของพลาสติกเหลว Melt Front ที่ทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อม [8]

โดยทั่วไปกระบวนการฉีดพลาสติกพิจารณาการไหลไปข้างหน้าภายใต้พื้นที่ของแม่พิมพ์ที่มีค่าความต้านทานการไหลน้อยที่สุดซึ่งขอบเขตของแม่พิมพ์ที่ทำให้พลาสติกที่หลอมเหลวเคลื่อนตัวไปได้อย่างรวดเร็ว เกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีแรงต้านการไหลน้อย หรือในอีกลักษณะหนึ่ง การเคลื่อนตัวของพลาสติกเหลวเกิดขึ้นอย่างช้าๆเนื่องจากมีแรงต้านทานการไหลมากดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11

ค่าความหนืดเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญของพลาสติกที่ถูกหลอมเหลว ความหนืดสูงส่งผลให้เกิดความต้านทานการไหลอย่างมาก ค่าความหนืดของพลาสติกถือว่าเป็นตัววัดความต้านทานการไหลที่อุณหภูมิพลาสติก, อัตราการถ่ายเทความร้อน, อัตราเฉือน และความหนา ฯลฯ ซึ่งปัจจัยทั้งหมดที่ได้กล่าวมามีผลโดยตรงต่อค่าความหนืด

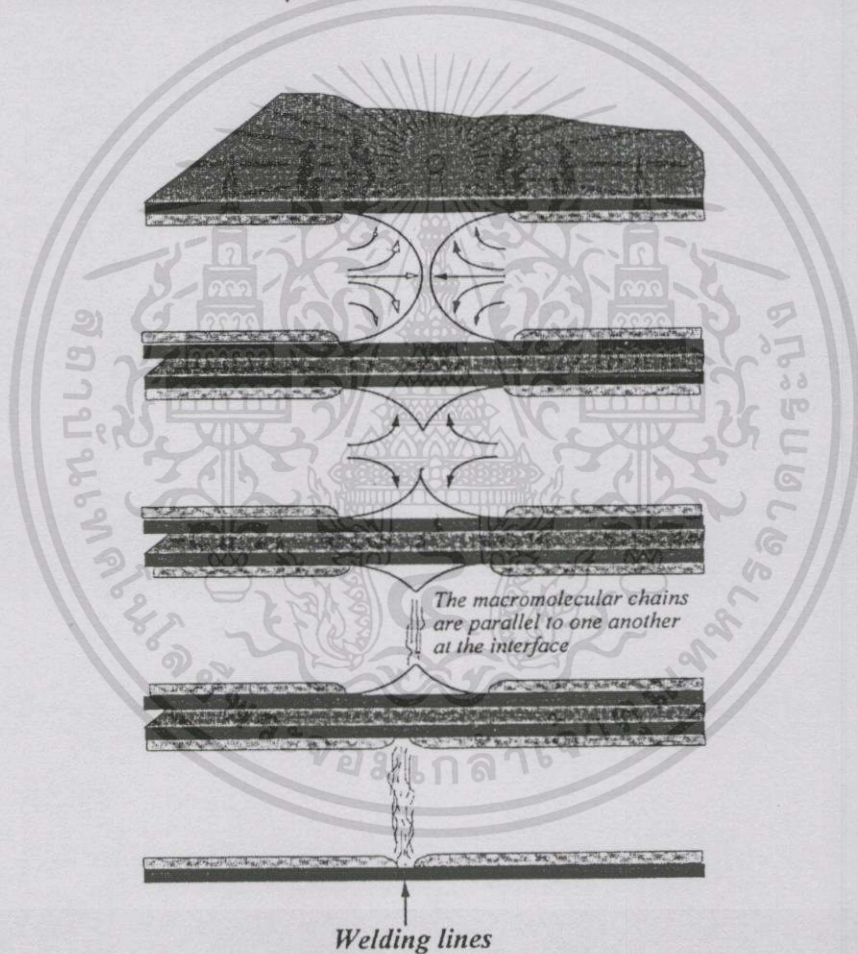


รูปที่ 3.12 ภาพตัดขวางลักษณะของการไหลของพลาสติกเหลวผ่านแม่พิมพ์ภายใต้ท่อน้ำหล่อเย็น

3.5.3 การไหลของพลาสติกเหลวและการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line

จากรูปที่ 3.12 แสดงให้เห็นถึงการไหลการแพร่กระจายของพลาสติกเหลวภายใต้แม่พิมพ์โดยถือว่าการไหลแบบไม่ slip

จากรูปที่ 3.13 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างโมกุลที่ตำแหน่งปลายของการหลอมเหลวซึ่งเรียงตัวขนานกับการไหล ดังนั้นโครงสร้างโมกุลที่เรียงตัวขนานกับการไหลวิ่งมาบรรจบกันกับอีกด้านของการไหล เมื่อพื้นผิวของพลาสติกเหลวทั้งสองด้านชนกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าอุณหภูมิที่มาบรรจบต่างกัน (เช่น เวลาที่ใช้หรืออุณหภูมิที่ชนต่างกัน) ดังนั้นทำให้โครงสร้างโมเลกุลของพลาสติกไม่แข็งแรง ณ ตำแหน่งพื้นผิวของพลาสติกเหลวมาบรรจบกันซึ่งตำแหน่งดังกล่าวสามารถมองเห็นได้ด้วยตา โดยจะมีลักษณะเป็นเส้นเล็กๆเกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์ซึ่งเราเรียกกันว่าเส้นแนวเชื่อม weld line



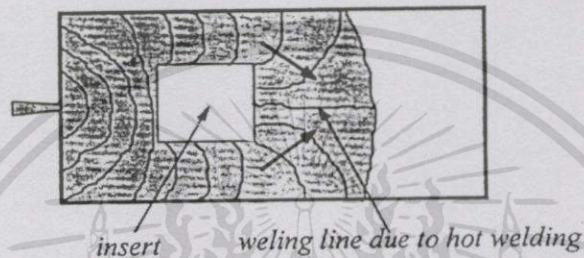
รูปที่ 3.13 ภาพตัดขวางการเคลื่อนตัวของพลาสติกเหลวที่บรรจบกันทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อม [8]

ภายใต้เงื่อนไขทั่วไปเส้นแนวเชื่อมเกิดขึ้น เมื่ออุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกสูงเราเรียกว่าเส้นแนวเชื่อมที่ทนต่อความเค้นได้ดี good welding strength เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลสามารถเคลื่อนตัวเกาะกันได้โดยอิสระ ซึ่งทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงทนต่อความเค้นได้ดี ในอีกกรณีของการเกิดเส้นแนวเชื่อมเกิดขึ้น เมื่อพลาสติกเหลวอุณหภูมิลดลงหรือเย็นตัวลงเราเรียกว่าเส้นแนว

เชื่อมที่ทนต่อความเค้นไม่ดี bad welding strength ปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อมดังกล่าว สามารถจำแนกได้ตามปรากฏการณ์สองลักษณะคือ เส้นแนวเชื่อมเย็น cold welding และ เส้นแนวเชื่อมร้อน hot welding

3.5.3.1 เส้นแนวเชื่อมร้อน Hot welding

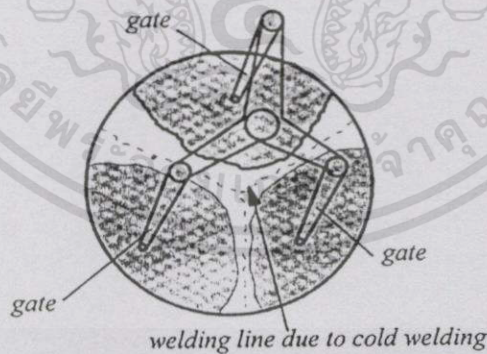
จากรูปที่ 3.14 แสดงถึงช่วงของกระบวนการฉีดพลาสติกโดยเส้นแนวเชื่อมเกิดขึ้นเนื่องจากแท่ง insert ขวางการไหลของพลาสติกเหลวที่อุณหภูมิสูง



รูปที่ 3.14 แสดงการเคลื่อนตัวของพลาสติกเหลวทำให้เกิด Hot Weld Line [8]

3.5.3.2 เส้นแนวเชื่อมเย็น Cold welding

จากรูปที่ 3.15 แสดงถึงปรากฏการณ์ของการเกิดเส้นแนวเชื่อมที่อุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไป cold welding พบที่บริเวณปลายของการฉีดพลาสติก โดยจะเกิดการตัดกันของพลาสติกเหลว

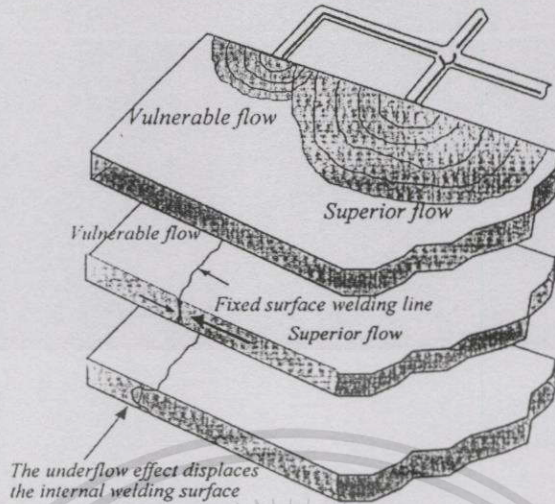


รูปที่ 3.15 แสดงการเคลื่อนตัวของพลาสติกเหลวทำให้เกิด Cold Weld Line [8]

3.5.3.3 ระยะของการเกิดเส้นแนวเชื่อม

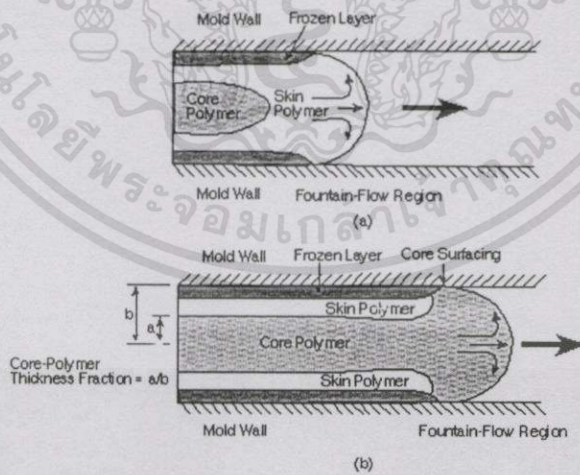
จากรูป 3.16 แสดงให้เห็นถึงผลต่างการไหลสองแหล่งของพลาสติกเหลว superior melt front เกิดการไหลอย่างแรงเข้าไปภายในแม่พิมพ์ vulnerable melt front เกิดการไหลอย่างช้าๆ เนื่องจากความแตกต่างของการไหลทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงการไหลที่ใช้แรงดันแตกต่างกันส่งผลให้เกิดเส้นแนวเชื่อม [8]

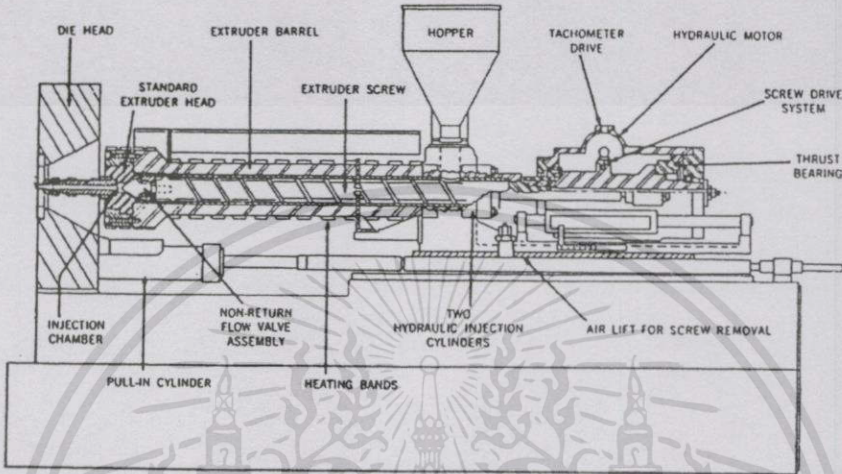
โดยพลาสติกที่หลอมเหลวไหลภายใต้แม่พิมพ์ ส่วนของพลาสติกที่ใกล้ผิวของแม่พิมพ์จะเย็นตัว และเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งก่อน ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.17 ในขณะที่เส้นแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นภายในแม่พิมพ์ยังไม่เย็นตัวและการไหลของพลาสติกเหลวอย่างรุนแรงทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้นภายในชิ้นงาน โดยปรากฏการณ์นี้เกิดจากการไหลภายในแม่พิมพ์หรือเรียกได้ว่าเป็น underflow effect ซึ่งทำให้ไม่ทนต่อความเค้น



รูปที่ 3.17 ภาพตัดขวางการไหลของพลาสติกเหลวแสดงถึงชั้นของ Polymer

3.6 คุณสมบัติของ Thermo plastic สำหรับ Program Moldex

จากรูปแบบของสมการต่อไปนี้ประยุกต์ใช้เมื่ออยู่ในสภาวะของการฉีด (Filling) ซึ่งพิจารณาเมื่อพลาสติกถูกหลอมอยู่ในสภาวะของเหลวภายใต้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก วัสดุที่ใช้เป็นพลาสติกชนิด ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ของบริษัท Monsanto ชื่อทางการค้า Lustran-ABS-Pg-298



รูปที่ 3.18 แบบรายละเอียดเครื่องฉีดพลาสติกแสดงถึงส่วนของสกรูฉีด

3.6.1 ผลความหนืดต่อกระบวนการฉีดพลาสติก

ตามวิธีการทดสอบ : ASTM D-3835 เพื่อหาค่าคุณสมบัติของพลาสติกประเภท Thermoplastic ด้วย Capillary Rheometer

การหาค่าความหนืดของพลาสติกสามารถวัดได้ด้วย Capillary Rheometer ดังรูปที่ 3.19 หลังจากให้นำวัสดุทดสอบใส่ลงไปในท่อภายใต้อุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก ABS ที่ 270°C แล้วทำการกดด้วยแรงผ่านรูของแบบพิมพ์ด้วยอัตราไหล Q โดยที่ที่ทราบค่าความยาว L และเส้นผ่านศูนย์กลาง d ของ Capillary Tube ดังนั้นเราสามารถรู้ค่าอัตราเฉือนได้จาก

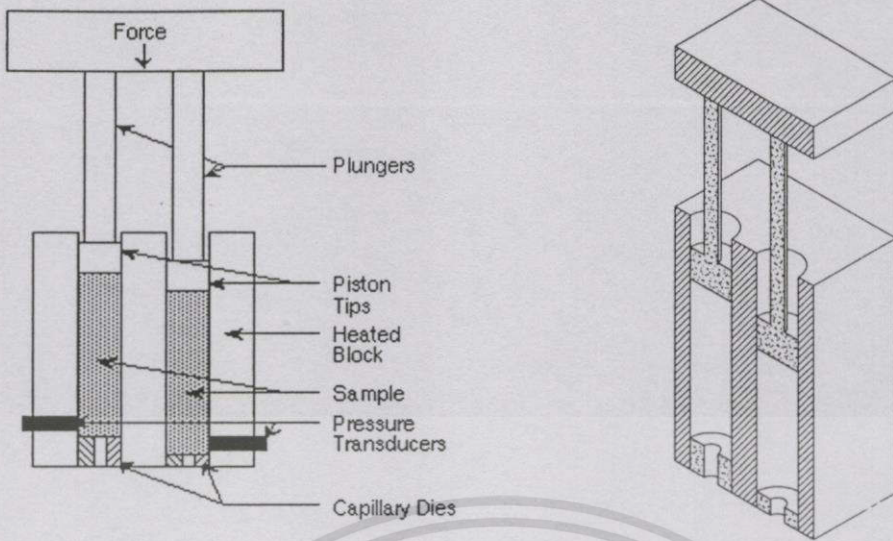
$$\gamma^* = \frac{32.Q}{\pi.d^3} \quad (3.1)$$

และความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นระหว่างพิมพ์ ขณะทำการทดสอบสามารถหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นที่ผนังได้ตามสมการ

$$\tau_s = \frac{\Delta p}{4(L/d)} \quad (3.2)$$

โดยที่ shear viscosity ถูกกำหนดโดยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 องค์ประกอบของเครื่องมือวัด Rosand RH-7 Dual-Bore Capillary Rheometer

$$\eta_a = \frac{\tau_s}{\dot{\gamma}_a} \tag{3.3}$$

โดยกำหนดให้

- $\eta_0 = \text{zero-shear rate viscosity}$
- $\dot{\gamma} = \text{shear rate}$
- $T = \text{temperature}$
- $p = \text{pressure}$
- $\tau_s = \text{wall shear stress}$
- $n, \tau^*, B, T_b \text{ and } \beta = \text{constant}$
- $n = 3.0250 E-1$
- $\tau_s = 9.5512 E+5 \text{ dyne/cm}^2$
- $D_1 = 4.2420 E+10 \text{ g/sec.cm}$
- $D_2 = 3.6515 E+2 \text{ K}$
- $D_3 = 0.0000 E+0 \text{ cm}^2 \cdot \text{K/dyne}$
- $A_1 = 2.0400 E+1$
- $A_{2b} = 5.1600 E+1 \text{ K}$

ผลของความหนืด สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของผลคูณ ผลต่างโดยความหนืดดังกล่าวเป็นฟังก์ชันของ อุณหภูมิ, ความดัน และอัตราเฉือน

$$\eta(T, \dot{\gamma}, p) = \frac{\eta_0(T, p)}{1 + \left(\eta_0 \dot{\gamma} / \tau_s \right)^{1-n}} \tag{3.4}$$

จากรูปแบบสมการข้างต้น ได้มีการใช้ข้อกำหนดสองอย่างที่สำคัญ สำหรับอธิบายคุณสมบัติของพลาสติก คือความสัมพันธ์ระหว่างสมการ Newtonian และ power-law ซึ่งจะแตกต่างจากรูปแบบสมการทั่วไปที่ได้นำเสนอ โดยค่าคงที่ที่ได้แสดงไว้ในรูปแบบสมการ Cross Model สามารถแสดงได้ด้วยเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่าง 2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจะแสดงไว้ในรูปของสัญลักษณ์คือ τ ค่าความเค้นเฉือนที่พิจารณาจะเกิดขึ้นระหว่างผนังของแบบพิมพ์ ซึ่งค่าความชันของสมการ Power-law แสดงไว้ด้วยค่าคงที่ $(1-n)$ โดยค่าของอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงตามความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$\eta_0(T, p) = B \cdot \exp\left(\frac{T_b}{T}\right) \exp(\beta \cdot p) \quad (3.5)$$

โดยสมมุติให้ค่าความไวในการวัดอุณหภูมิคือ T_b ไม่ขึ้นกับฟังก์ชันของอุณหภูมิ จากสมมุติฐานดังกล่าวจะใช้ได้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิ bulk temperature มีค่ามากกว่า 100°C ขึ้นไป ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก ดังนั้นรูปแบบสมการดังกล่าวจึงสามารถนำมาพิจารณาในช่วงของการฉีดได้โดยอุณหภูมิ bulk temperature จะยังมีค่าสูงอยู่ระหว่างกระบวนการฉีด

อย่างไรก็ตามค่าอุณหภูมิ bulk temperature ก็ยังมีค่าเข้าใกล้อุณหภูมิเริ่มเย็นตัวของพลาสติก ซึ่งจากรูปแบบของสมการดังกล่าวเราทราบว่า ค่าความหนืดจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ในทางตรงกันข้ามในการแสดงผลจำลองการฉีดพลาสติก ยังจำเป็นที่จะต้องใช้รูปแบบของสมการจำนวนมากที่ทำนายให้ผลแม่นยำ

$$\eta_0 = D_1 \exp\left(\frac{-A_1(T - T_c)}{A_2 + T - T_c}\right) \quad (3.6)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} T_c &= D_2 + (D_3 \cdot P) \\ A_2 &= A_{2b} + (D_4 \cdot P) \end{aligned} \quad (3.7)$$

โดยที่ D_2 แสดงถึงช่วงเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ค่าความดันเท่ากับศูนย์ จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดเราได้นำวิธีการทาง finite-difference ทำการจำลองเพื่อทำนายผลค่าความดันตกคร่อมในแต่ละการทดลอง ซึ่งจากวิธีการดังกล่าวได้ทำการทดลองหาค่าที่ถูกต้องแล้วตามมาตรฐานของ ASTM D-3835 (Weissenberg-Rabinowitsch correction to account for the difference between apparent and actual shear rates, and Bagley correction),

โดยที่

$$b_{1L} = 9.62770 E - 1 \text{ cc/g}$$

$$b_5 = 3.65150 E + 2 \text{ K}$$

$$b_{2L} = 5.52500 E - 4 \text{ cm}^3 / \text{g.K}$$

$$b_6 = 2.89000 E - 8 \text{ cm}^2 \cdot \text{K} / \text{dyne}$$

$$b_{3L} = 1.92130 E + 9 \text{ dyne/cm}^2$$

$$b_7 = 0.00000 E + 0 \text{ cc/g}$$

$$b_{4L} = 3.93220 E - 3 \text{ 1/K}$$

$$b_8 = 0.00000 E + 0 \text{ 1/K}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b_{1s} = 9.62770 E - 1 \text{ cc/g}$$

$$b_9 = 0.00000 E + 0 \text{ cm}^2 / \text{dyne}$$

$$b_{2s} = 2.32890 E - 4 \text{ cm}^3 / \text{g.K}$$

$$C_{p0} = 1.84863 E + 7 \text{ erg/g.K}$$

$$b_{3s} = 2.72360 E + 9 \text{ dyne/cm}^2$$

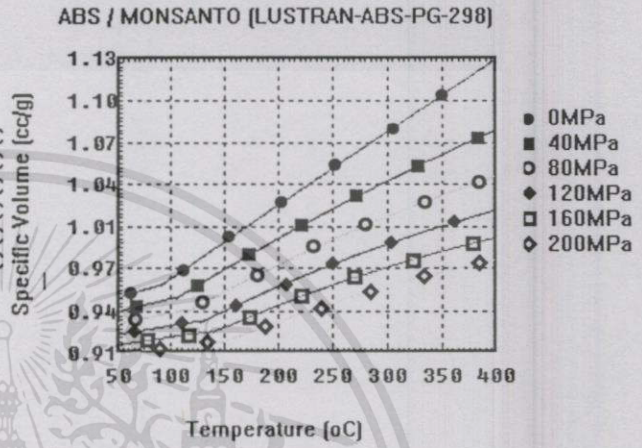
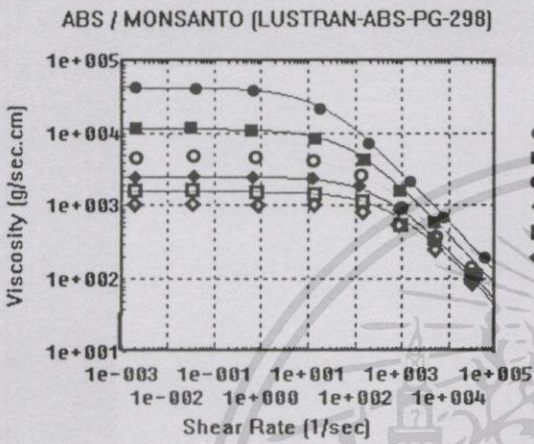
$$K_0 = 1.84750 E + 4 \text{ erg/sec.cm.K}$$

$$b_{4s} = 3.45310 E - 3 \text{ 1/K}$$

$$E_0 = 9.20000 E + 9 \text{ dyne/cm}^2$$

$$v_0 = 3.80000 E - 1$$

$$a_0 = 1.09800 E - 4 \text{ 1/K}$$



รูปที่ 3.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $T : v$ และ $Shear Rate : Viscosity$

3.6.2 การวิเคราะห์หาปริมาตรจำเพาะ

รูปแบบของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง PVT โดยปริมาตรสามารถเขียนให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของอุณหภูมิ และความดัน (Tait equation)

$$v(T, p) = v_0(T) \left(1 - C \ln \left(1 + \frac{P}{B(T)} \right) \right) + v_t(T, p) \quad (3.8)$$

เมื่อ $v(T, p)$ คือปริมาตรจำเพาะที่อุณหภูมิที่พิจารณา T และที่ความดันที่พิจารณา p , โดยที่ v_0 คือปริมาตรจำเพาะที่ความดันเท่ากับศูนย์ Isobar ซึ่งมีค่า $C = 0.894$ (universal constant), และ B แสดงถึงความดันที่วัดได้หรือที่รับรู้ได้ของวัสดุชนิดนั้นๆ ภายใต้ขอบเขตของอุณหภูมิที่พิจารณาคือ ณ ช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะ T_{trans} กับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะ T_{trans} ซึ่งทั้งสองมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาตรจำเพาะที่เปลี่ยนไป เพราะในทางอุณหพลศาสตร์ คุณสมบัติของพลาสติกจะเปลี่ยนก็ต่อเมื่ออุณหภูมิเท่ากับ T_{trans} ที่ความดันคงเท่ากับศูนย์โดยถูกแสดงไว้ด้วย b_5 และที่อุณหภูมิ T_{trans} เพิ่มมากขึ้นในลักษณะเชิงเส้น ค่าความดันสามารถแสดงไว้ในรูปของ b_6 ปริมาตรจำเพาะเกิดขึ้นที่สถานะความดันเท่ากับศูนย์โดย

เป็นไปตามกระบวนการความดันคงที่ isobar curve ซึ่งความดัน ค. ตำแหน่งอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงสถานะถูกกำหนดให้เป็น b_1 . ค่าดังกล่าวนี้จะมีค่าเหมือนกันที่ขอบเขตเดียวกันบริเวณจุดตัดของการเปลี่ยนสถานะ glass transition หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่าอยู่ในสภาวะ semi-crystalline อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงสภาวะเนื่องจากการเกาะตัวกันเป็นผลึก ABS crystallization ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจำเพาะอย่างรวดเร็วตามที่แสดงไว้ อย่างเช่น b_{1L} โดยอุณหภูมิหลอมเหลวที่ปริมาตรจำเพาะ T_{trans} ที่สภาวะความดันศูนย์คงที่ isobar process ซึ่งมีค่ามากกว่า b_{1s} ปริมาตรจำเพาะที่สถานะของแข็ง ในแต่ละของเขตสำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจำเพาะภายใต้ อุณหภูมิและความดันศูนย์ซึ่งสามารถวัดได้ตามค่าคงที่ b_2

เมื่อ

$$T_2 = T_{trans}$$

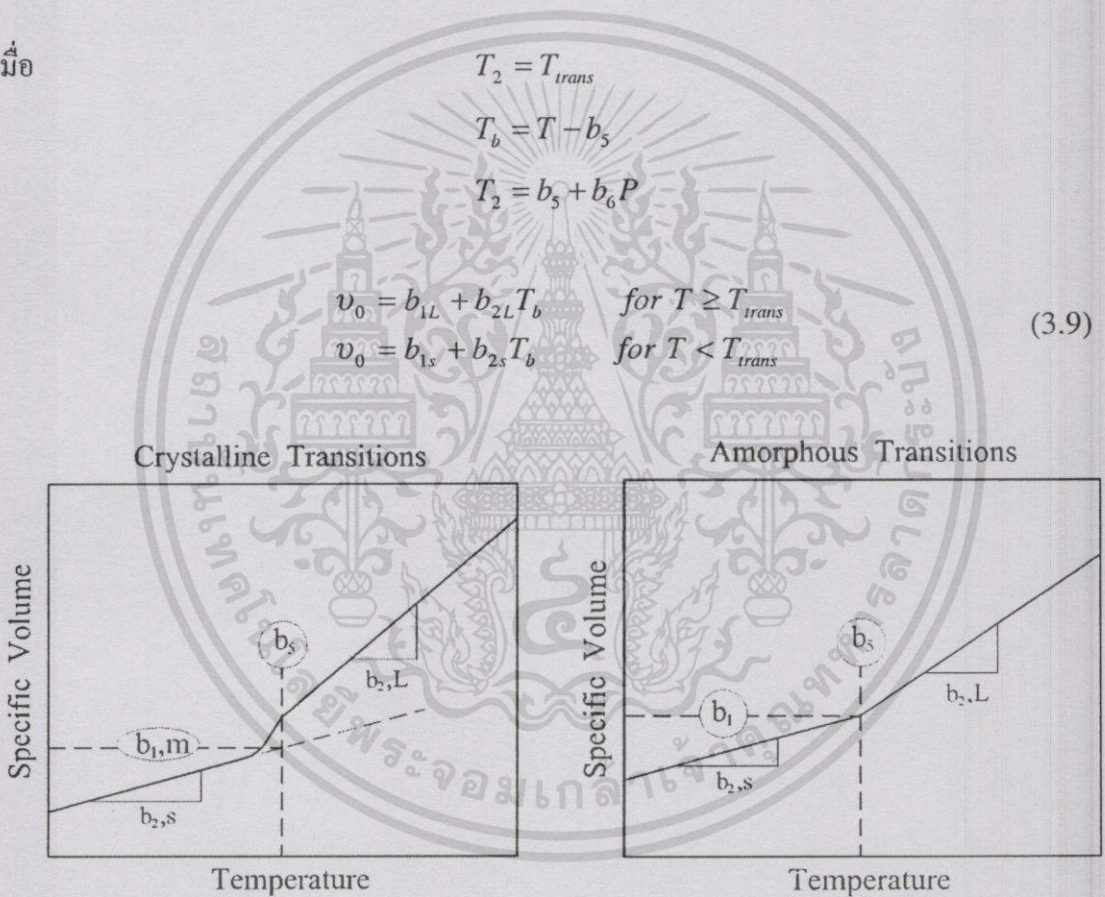
$$T_b = T - b_5$$

$$T_2 = b_5 + b_6 P$$

$$v_0 = b_{1L} + b_{2L} T_b \quad \text{for } T \geq T_{trans}$$

$$v_0 = b_{1s} + b_{2s} T_b \quad \text{for } T < T_{trans}$$

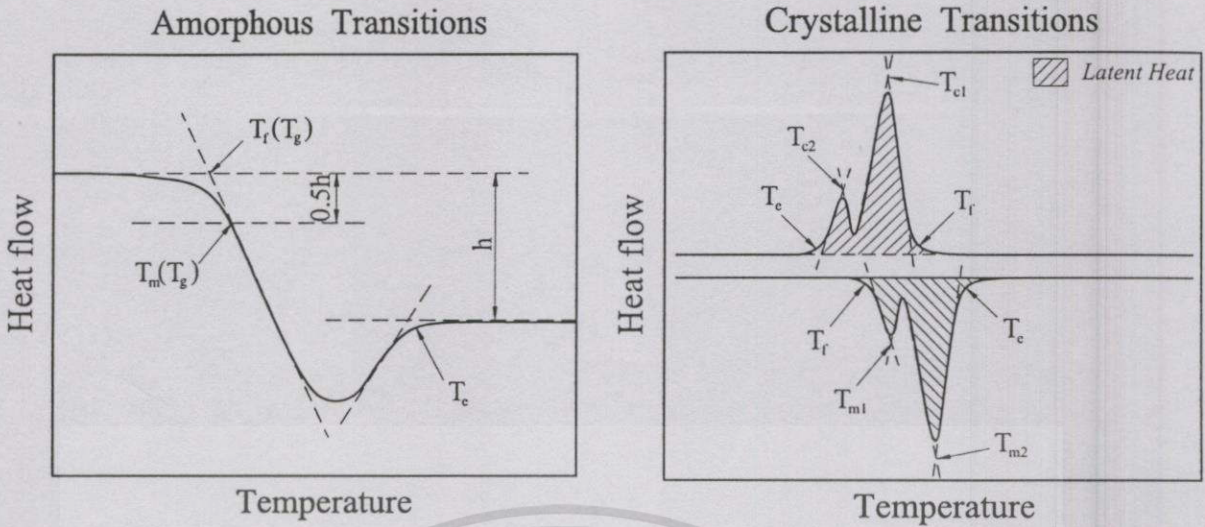
(3.9)



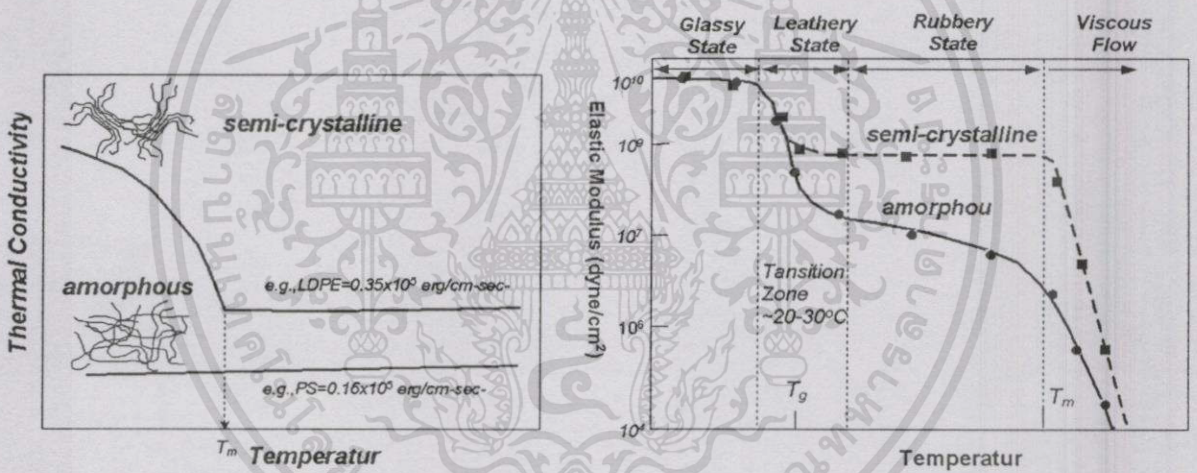
รูปที่ 3.21 แสดงถึงอุณหภูมิ Transition ของพลาสติกชนิด Crystalline และ Amorphous

โดยตัวแปรที่คงเหลือคือ b_3 และ b_4 แสดงถึงค่าความดันที่วัดได้ซึ่งเขียนอยู่ในรูปของสมการ B ดังนี้

$$\begin{aligned}
 BT &= b_{3L} \exp(-b_{4L} T_b) & \text{for } T > T_{trans} \\
 BT &= b_{3s} \exp(-b_{4s} T_b) & \text{for } T < T_{trans}
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$



รูปที่ 3.22 กราฟพลังงานความร้อน ที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของพลาสติก Crystalline และพลาสติก Amorphous



รูปที่ 3.23 กราฟ Thermal Conductivity และ Elastic Modulus ของ Crystalline และ Amorphous

ในกรณีที่ว่าของ b_4 เป็นบวกส่งผลต่อปริมาตรจำเพาะ ทำให้ความดันเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยวัสดุในกรณีดังกล่าวแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรขนาดใหญ่เนื่องจากอยู่ในสภาวะ crystallization ซึ่งเป็นส่วนสำคัญหนึ่งในฟังก์ชันการเปลี่ยนสถานะดังที่ได้แสดงไว้ตามสมการข้างล่าง T_{trans} โดยจากการสังเกตพบว่าปริมาตรจำเพาะที่ได้แสดงไว้ในขอบเขตสภาวะของแข็งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ได้ดังนี้ $v(T, p)$

$$v_i(T, p) = b_7 \exp(b_8 T_b - b_9 P) \tag{3.11}$$

โดยที่

$$b_7 = b_{1L} - b_{1s} \tag{3.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่าปริมาตรจำเพาะอยู่ภายใต้ความดันศูนย์ isobar process ซึ่งฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงสถานะจะมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิเท่ากับ $T = T_{trans}$ โดยที่ปริมาตรจำเพาะจะมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อค่าของอุณหภูมิลดลงภายใต้ขอบเขตสถานะของแข็ง

3.6.3 เวลาที่ใช้ในกระบวนการฉีด

สมการที่ได้นำเสนอต่อไปนี้จะแสดงถึงเวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติกโดยเริ่มคิดจากตำแหน่งที่พลาสติกเริ่มไหลเข้าไปในแม่พิมพ์หลังจากแม่พิมพ์ประกบกันสนิท

สำหรับเวลาที่ใช้ในการฉีด สามารถวิเคราะห์หาค่าได้จากเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นของแบบพิมพ์ฉีดพลาสติก ซึ่งการประมาณการคำนวณเวลาในการฉีดจะพิจารณาตามความหนา (δ) ของแบบพิมพ์โดยชั้นของพลาสติกเหลวจะเย็นตัวที่ผนังของแบบเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$\delta \sim \sqrt{\alpha \times t} \quad (3.13)$$

โดยที่

$$\alpha = \frac{k}{\rho \times C_p} \text{ is the thermal diffusivity of material}$$

$$k = \text{thermal conductivity of polymer melt}$$

$$\rho = \text{density of polymer melt}$$

$$C_p = \text{specific heat of polymer melt}$$

$$t = \text{cooling time}$$

ความหนาครึ่งหนึ่งของแบบงานสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้เป็น

$$\delta = \frac{\Delta z}{2} \quad (3.14)$$

โดยที่ $\Delta z = \text{normal thickness of the part}$

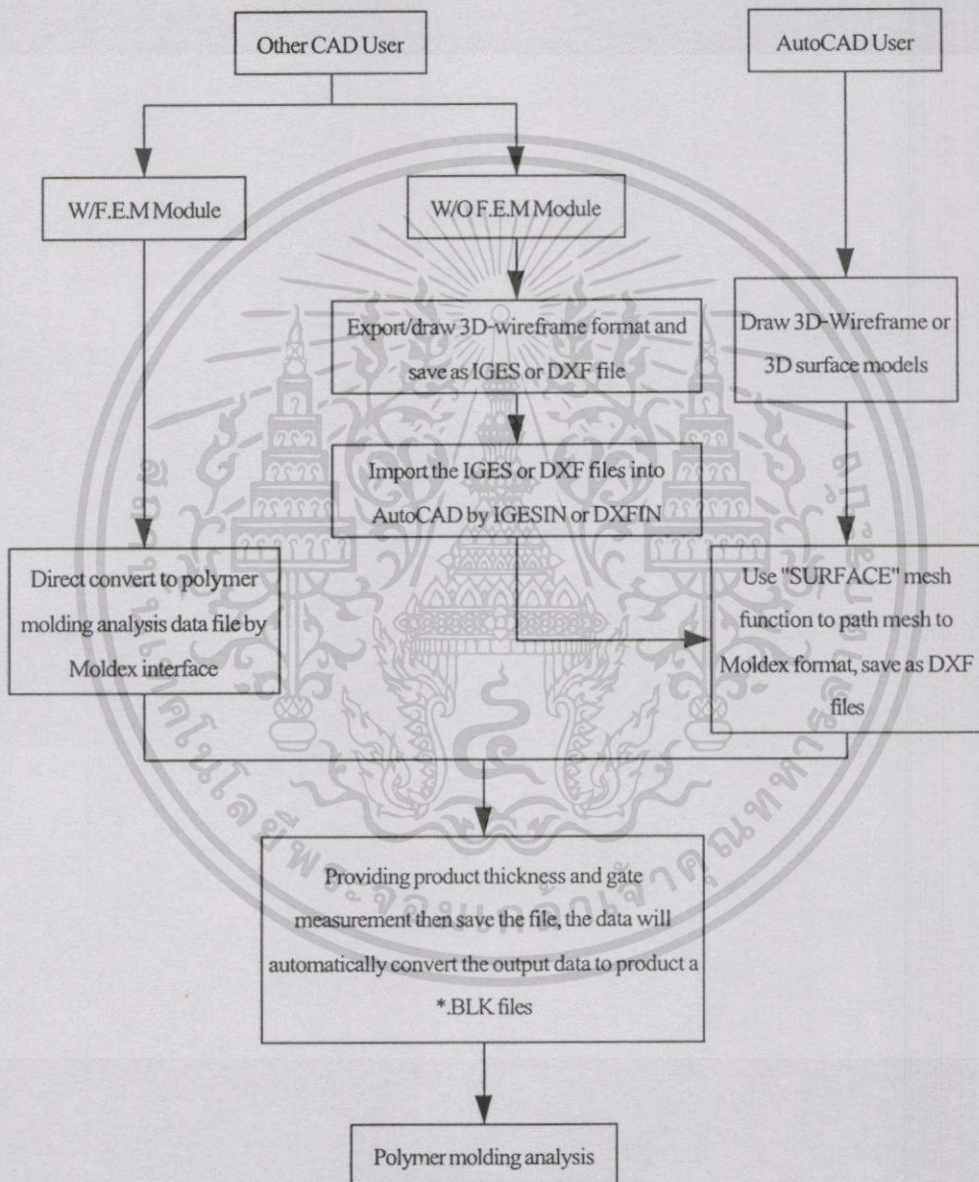
จากสมการ (3.13) และสมการ (3.14) ข้างต้น, สามารถหาความสัมพันธ์ของเวลาในการหล่อเย็น t ดังสมการต่อไปนี้

$$t \sim \frac{(\Delta z)^2}{4 \times \alpha} \quad (3.15)$$

บทที่ 4

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย Program Moldex

4.1 การสร้าง Mesh 3 มิติเพื่อนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Moldex



รูปที่ 4.1 แสดงลำดับขั้นตอนการแปลง File CAD Model ไปยัง Program MolDEX

ตารางที่ 4.1 แสดงถึง Layer Control ในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ด้วย AutoCAD

Type	Element Type	Definition for layer name	Color
POINT	Entrance Melt	EMS	Green
	Entrance Gas	EGS	Green
	Entrance Coolant	EC\$	Green
LINE	Runner Cold	RCS1000X	Red
		RCS1000-2000X	
	Runner Hot	RHS1000X	Red
		RHS1000-2000X	
	Channel Melt	CMS1000X	Red
		CMS1000-2000X	
Channel Gas	CGS1000X	Red	
	CGS1000-2000X		
Channel Coolant	CCS1000X	Red	
3DFACE	Face Cavity	FCS1000X	Not
		FCS(1000-2000) - (3000-4000X)	define
	Face Base	FB\$	Not define

4.2 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการฉีด

เพื่อให้ชิ้นงานที่ทำการฉีดมีคุณภาพที่ดี จะต้องคำนึงถึงเงื่อนไขที่สำคัญในการฉีด โดยทั่วไปจะพิจารณาเงื่อนไขดังนี้

4.2.1 อุณหภูมิพลาสติกเหลว

อุณหภูมิพลาสติก เป็นอุณหภูมิของพลาสติกเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดในขณะที่ทำการฉีด อุณหภูมิของพลาสติกเหลวที่ใช้ในการฉีดนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกซึ่ง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้พลาสติก (ABS Acrylonitrile Butadiene Styrene) ซึ่งมีอุณหภูมิหลอมเหลวในช่วง [8] 200 – 270 °C

4.2.2 อุณหภูมิแม่พิมพ์

เราสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของน้ำหรือน้ำมันที่ไหลเข้าหมุนเวียนอยู่ในแม่พิมพ์ ซึ่งอุณหภูมิในการปรับตั้งก็ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ [8] พลาสติก (ABS Acrylonitrile Butadiene Styrene) อุณหภูมิแม่พิมพ์อยู่ในช่วง 50 – 90 °C

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิแม่พิมพ์และอุณหภูมิลอมเหลวของพลาสติก

Genericname	Injection Temperature (°C)	Mold Temperature (°C)
ABS	200-270	50-90
AS(SAN)	220-280	40-80
GPPS	230-260	40-90
HIPS	170-260	5-75
LDPE	190-240	20-60
HDPE	210-270	30-70
PP	250-270	20-60
GRPP	260-280	50-80
TPX	280-320	20-60
CA	170-250	40-70
PMMA	170-270	20-90
PVC,soft	170-190	15-50
PVC,rigid	190-215	20-60
NYLON6	230-260	40-60
NYLON66	260-290	40-80
POM	180-220	60-120
PPO	200-300	80-110
GRPPO	250-345	80-110
PC	280-320	80-100
GRPC	300-330	100-120
PSF	340-400	95-160
GRPBT	245-270	65-110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

Genericname	Injection Temperature(°C)	Mold Temperature(°C)
GRPET	260-310	95-140
PBT	330-360	200
PET	340-425	65-175
PES	330-370	110-150
PEEK	360-400	160-180
PPS	300-360	35-80/120-150

4.2.3 เวลาในการฉีด

เวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์ ผู้ปฏิบัติการไม่สามารถจะปรับตั้งค่าได้โดยตรงที่ตัวเครื่องฉีด เพราะจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของ Screw Feed (ความเร็วฉีด) และระยะทางของพลาสติกเหลวที่อยู่หน้าตัวป้อน

4.2.4 ความเร็วในการฉีด

ความเร็วในการฉีด เป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของ Screw feed เพื่อดันพลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายเกลียวหนอนให้ไหลเข้าแม่พิมพ์ ความเร็วในการฉีดจะเกิดควบคู่ไปกับความดันฉีด เพราะดันกำลังเข้ามาจากจุดเดียวกัน ความเร็วในการฉีดจะเป็นตัวควบคุมความดันฉีด กล่าวคือถ้าเราใช้ความเร็วฉีดสูงขึ้นความดันฉีดก็จะมากขึ้นตาม แต่จะไม่เกินค่าสูงสุดที่เราตั้งไว้ให้กับเครื่องความดันฉีด

4.2.5 ความดันในการฉีด

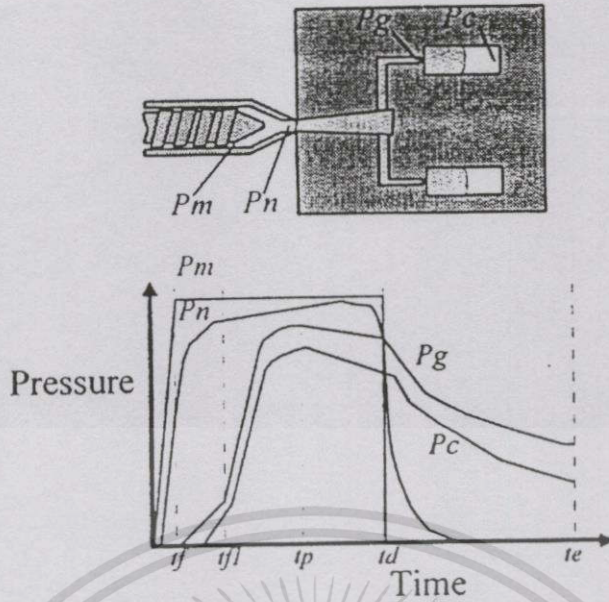
ความดันฉีดเป็นความดันที่เกิดขึ้นได้ในหลายส่วน ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ตามรูปที่ 4.2

P_m คือความดันเริ่มต้น ซึ่งจะอยู่บริเวณ Screw ฉีด

P_n คือความดันที่เกิดขึ้นบริเวณ ช่องแคบก่อนฉีดเข้าแม่พิมพ์

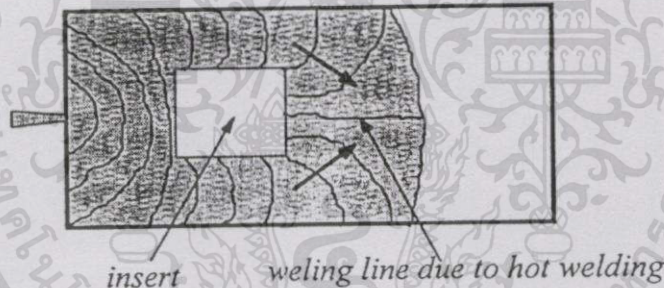
P_g คือความดันที่เกิดขึ้น บริเวณท่อทางไหลของพลาสติก

P_c คือความดันที่เกิดขึ้นภายในตัวแม่พิมพ์ ขณะทำการฉีด



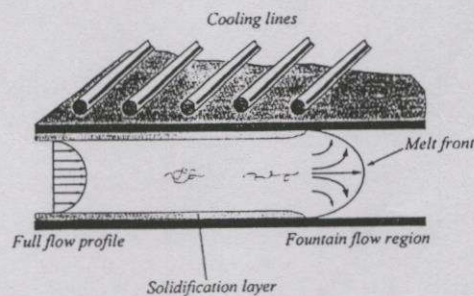
รูปที่ 4.2 แสดงถึงความดันที่เกิดขึ้นขณะฉีดพลาสติก ณ ตำแหน่งต่างๆ [8]

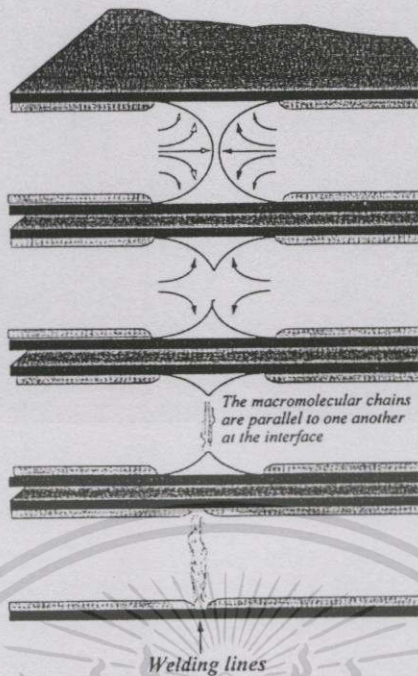
4.3 พฤติกรรม ที่ส่งผลทำให้เกิด เส้นแนวเชื่อม (Weld line)



รูปที่ 4.3 แสดงถึงลักษณะของการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line เนื่องจากอุณหภูมิสูง [8]

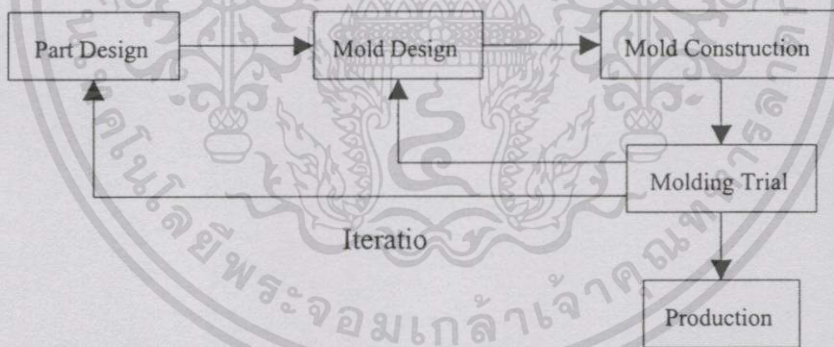
เส้นแนวเชื่อม Hot Weld line เกิดขึ้นจากการไหลของพลาสติกไหลผ่านช่องว่างหรือ Insert มาบรรจบกัน โดยที่พลาสติกเหล่านั้น มีอุณหภูมิขณะฉีดสูงเกิน 270°C สำหรับพลาสติกชนิด ABS ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.3





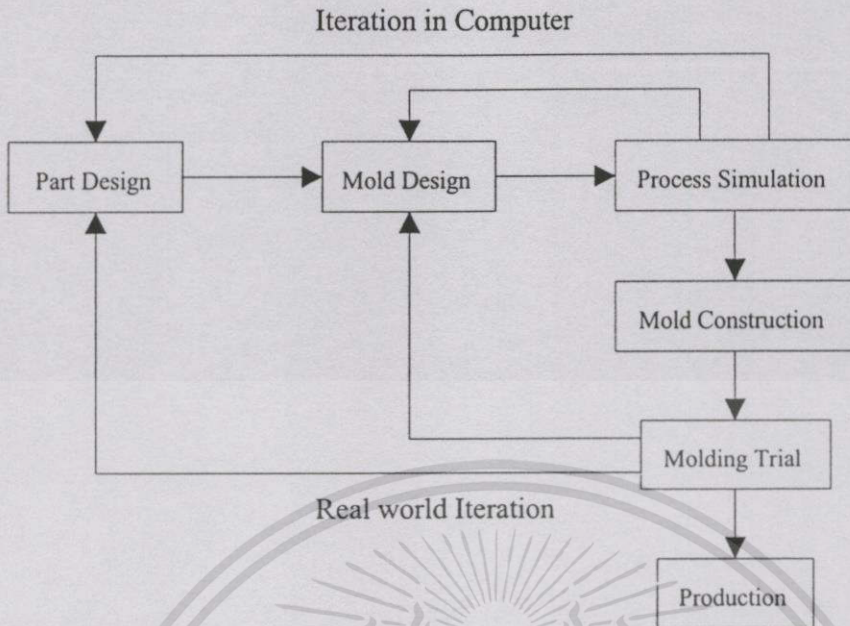
รูปที่ 4.4 แสดงถึงลักษณะของการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line เนื่องจาก Molecular chain ที่วางตัวขนานกัน [8]

4.4 ขั้นตอนการทดสอบ



รูปที่ 4.5 แสดงถึงขั้นตอนการออกแบบและทดลองสร้างแม่พิมพ์ก่อนนำ Program MoIDEX มาใช้

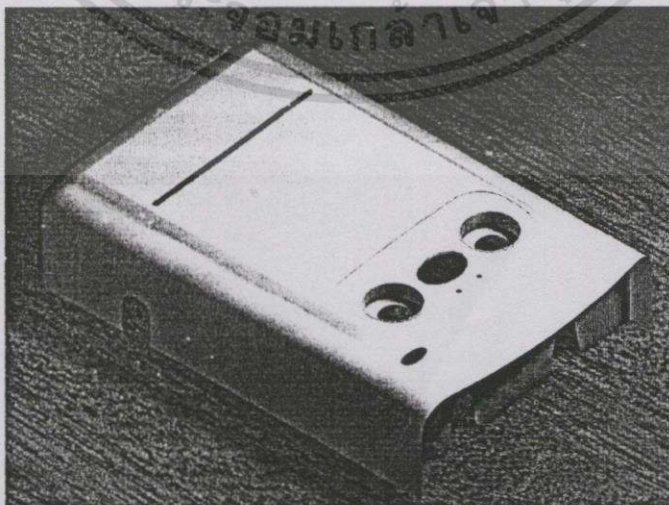
ทดลองหลังจากสร้าง Mold เสร็จแล้ว ในการหาค่าตัวแปรควบคุมก่อนนำไปผลิตจริง ใช้เวลาในการทดลองต่อแม่พิมพ์หนึ่งชิ้นประมาณ 18 - 20 ชั่วโมง สิ้นเปลืองวัสดุในการสุ่มทดลองทั้งหมด Trial error 100 -150 กิโลกรัม



รูปที่ 4.6 แสดงถึงขั้นตอนการออกแบบและทดลองสร้างแม่พิมพ์หลังนำ Program MolDEX มาใช้

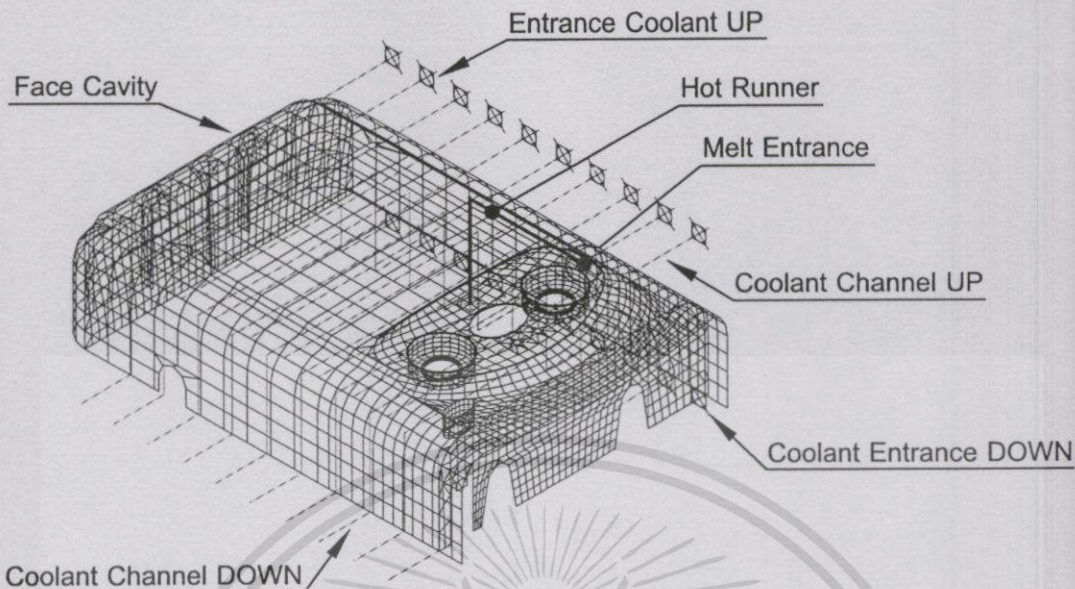
ซึ่งจากการไหลรวมตัวกัน ของพลาสติกเหลวขณะฉีด บริเวณที่เริ่มหลอมรวมกันทำให้โครงสร้างของ Molecular chain เรียงตัวในแนวขนาน เมื่อพลาสติกเย็นตัวลงบริเวณดังกล่าว จะทำให้เกิดรอยชั้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.3

ทดลองด้วยโปรแกรมก่อนสร้าง Mold ในการหาค่าตัวแปรควบคุมก่อนนำไปผลิตจริง ใช้เวลาในการทดลองต่อแม่พิมพ์หนึ่งชิ้นประมาณ 10 - 15 ชั่วโมง ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมนำไปสู่มทดลองจริงสิ้นเปลืองวัสดุในการทดลอง 20 - 50 kg และผลิตภัณฑ์ที่ทำการสู่มทดลอง Trial error ผ่านตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้



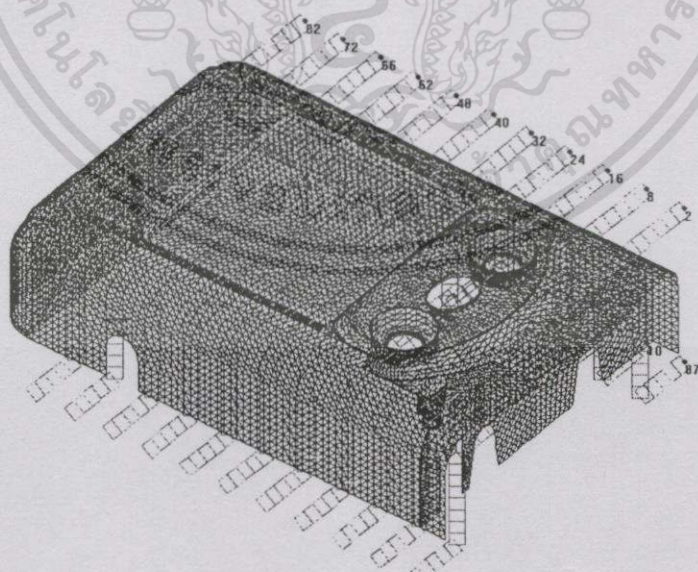
รูปที่ 4.7 หน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะ โครงร่างของ Face Cavity หน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย AutoCAD

การสร้างพื้นผิว Surface 3D หน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นก่อนทำการ Mesh ในโปรแกรม Moldex สร้างขึ้นจาก AutoCAD โดยมีข้อกำหนดตามเงื่อนไขที่ถูกระบุไว้ใน Layer control ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งประกอบไปด้วย Face cavity, Cool channel, Hot runner, Cool entrance และ Melt entrance ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.8

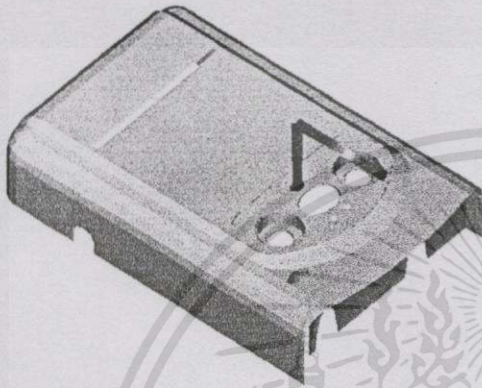


รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะของการ Mesh Face Cavity หน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย MolDEX

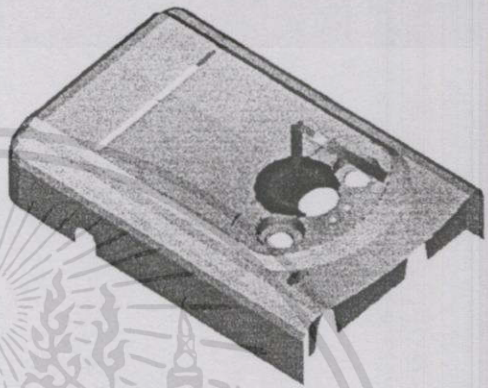
บทที่ 5

การทดลองและเก็บผล

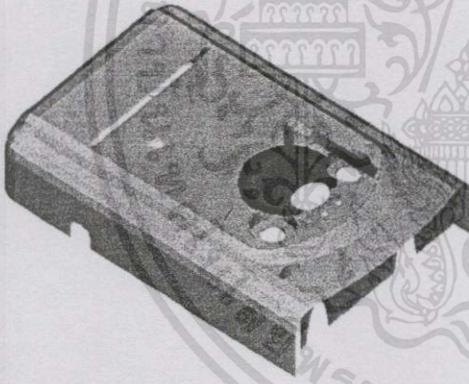
5.1 ขบวนการฉีดพลาสติกหน้าฉากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย Program MOLDEX



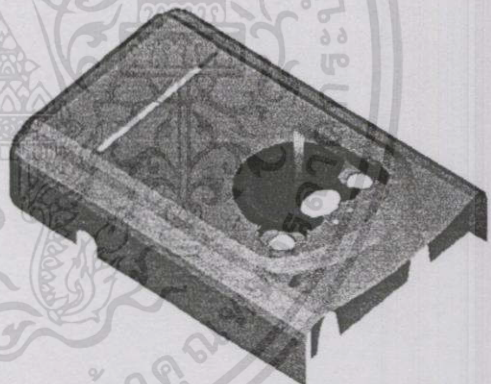
รูปที่ 5.1 Melt front ที่เวลา 0.10 วินาที



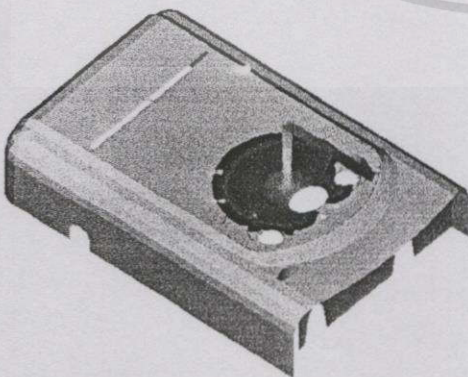
รูปที่ 5.2 Melt front ที่เวลา 0.20 วินาที



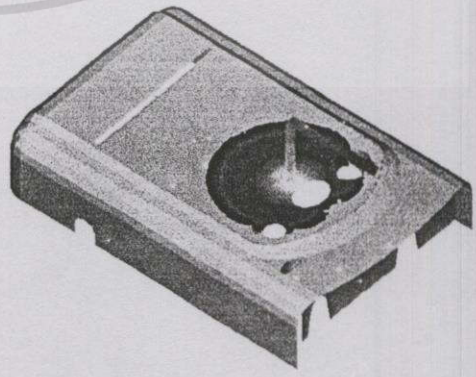
รูปที่ 5.3 Melt front ที่เวลา 0.30 วินาที



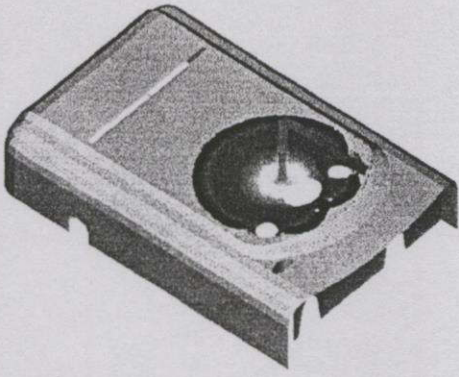
รูปที่ 5.4 Melt front ที่เวลา 0.40 วินาที



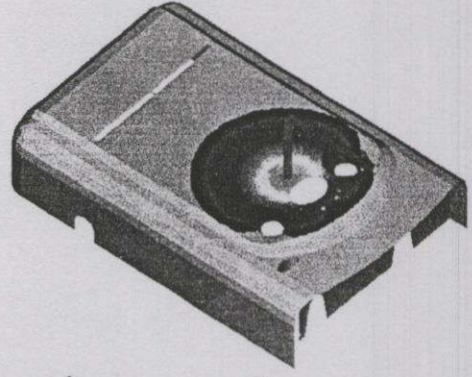
รูปที่ 5.5 Melt front ที่เวลา 0.50 วินาที



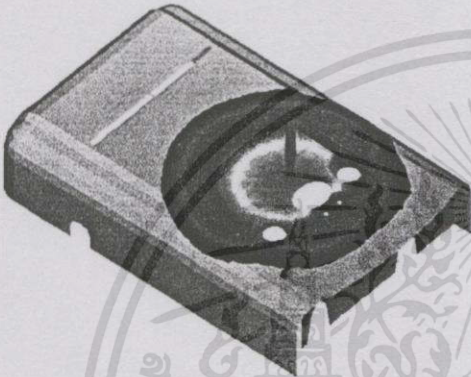
รูปที่ 5.6 Melt front ที่เวลา 0.60 วินาที



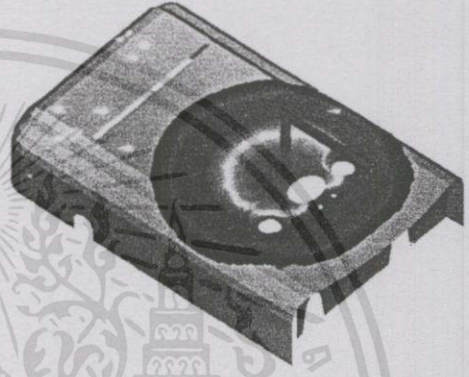
รูปที่ 5.7 Melt front ที่เวลา 0.70 วินาที



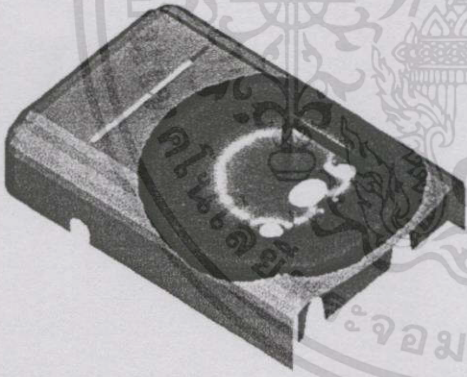
รูปที่ 5.8 Melt front ที่เวลา 0.80 วินาที



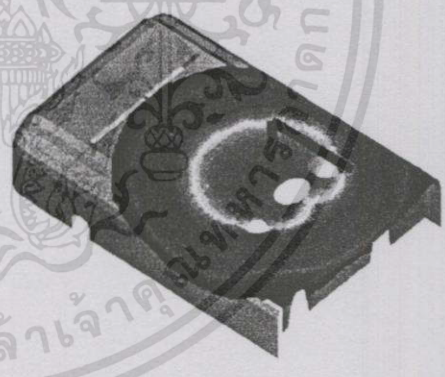
รูปที่ 5.9 Melt front ที่เวลา 1.30 วินาที



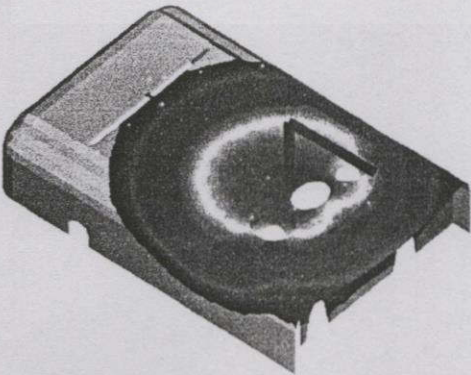
รูปที่ 5.10 Melt front ที่เวลา 1.50 วินาที



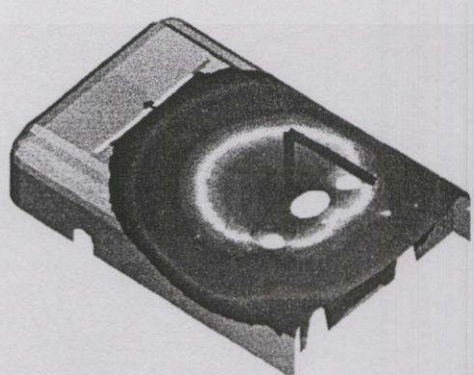
รูปที่ 5.11 Melt front ที่เวลา 1.80 วินาที



รูปที่ 5.12 Melt front ที่เวลา 2.60 วินาที

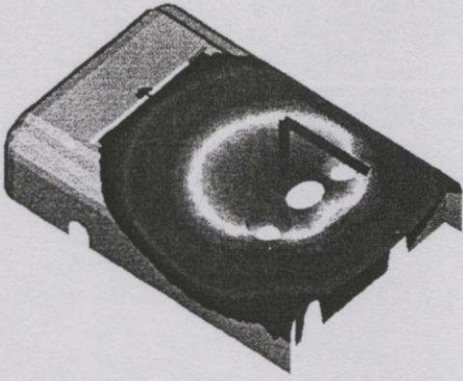


รูปที่ 5.13 Melt front ที่เวลา 2.70 วินาที

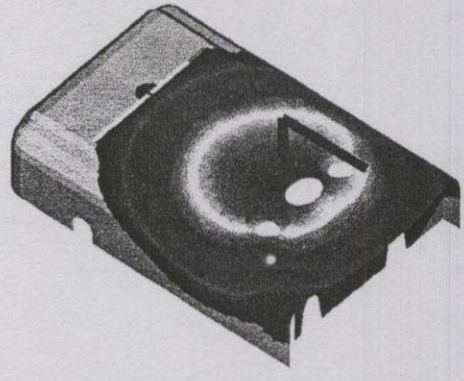


รูปที่ 5.14 Melt front ที่เวลา 2.80 วินาที

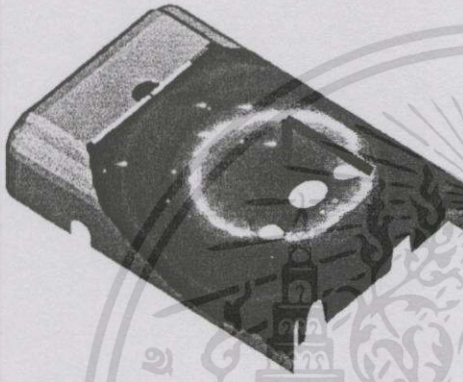
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



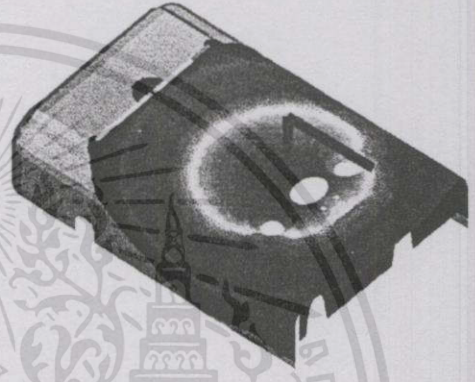
รูปที่ 5.15 Melt front ที่เวลา 2.90 วินาที



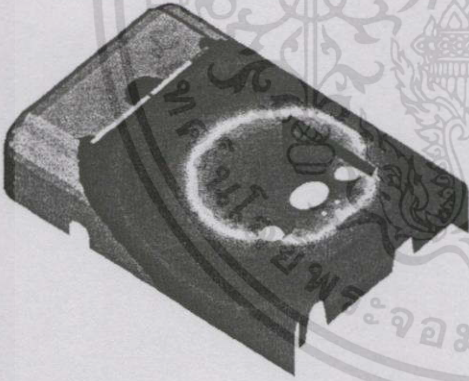
รูปที่ 5.16 Melt front ที่เวลา 3.00 วินาที



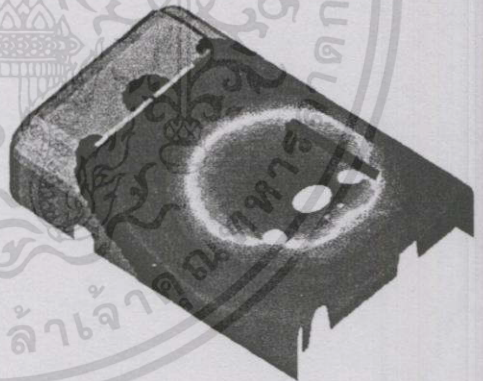
รูปที่ 5.17 Melt front ที่เวลา 3.10 วินาที



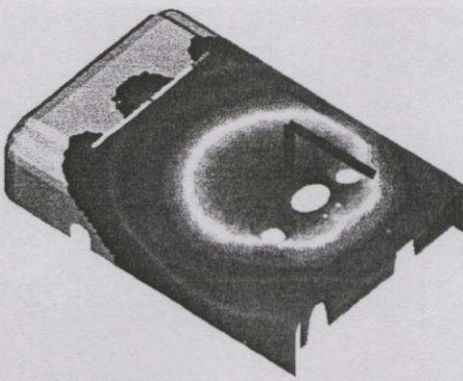
รูปที่ 5.18 Melt front ที่เวลา 3.20 วินาที



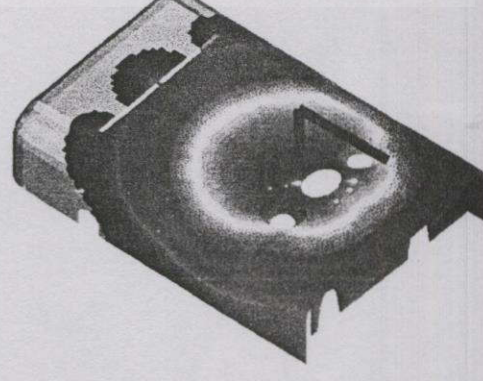
รูปที่ 5.19 Melt front ที่เวลา 3.30 วินาที



รูปที่ 5.20 Melt front ที่เวลา 3.40วินาที

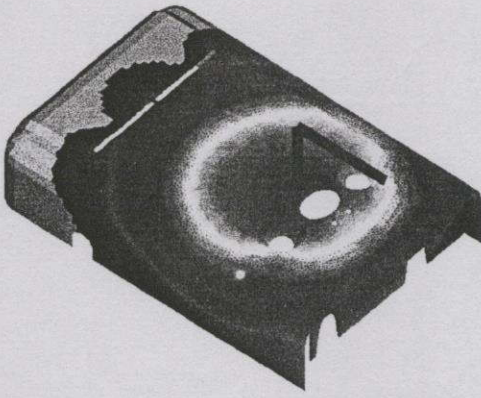


รูปที่ 5.21 Melt front ที่เวลา 3.50 วินาที

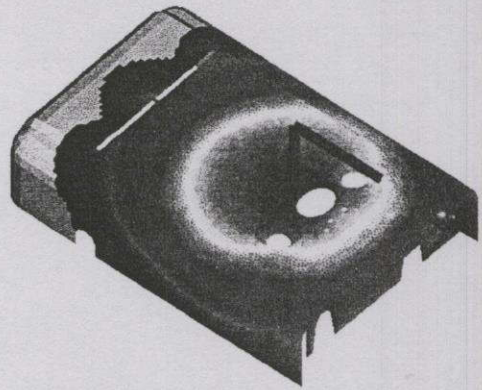


รูปที่ 5.22 Melt front ที่เวลา 3.60 วินาที

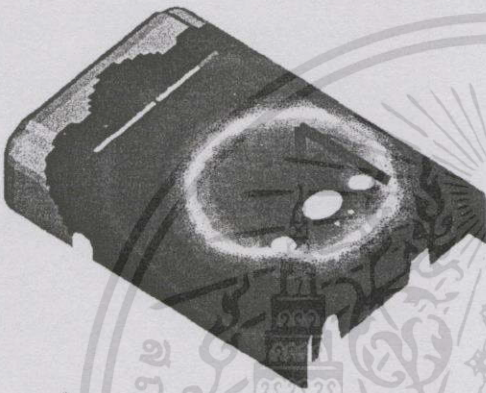
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



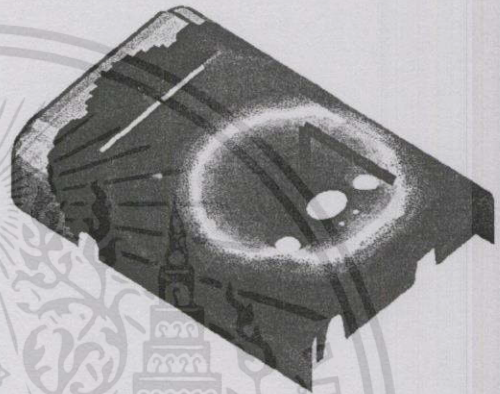
รูปที่ 5.23 Melt front ที่เวลา 3.70 วินาที



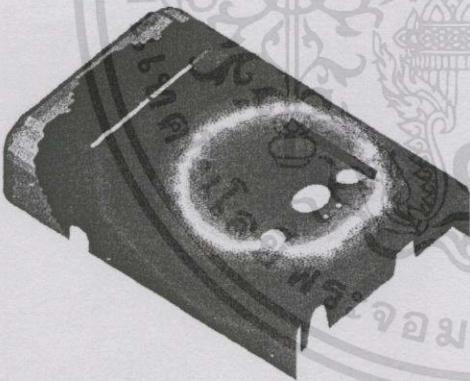
รูปที่ 5.24 Melt front ที่เวลา 3.75 วินาที



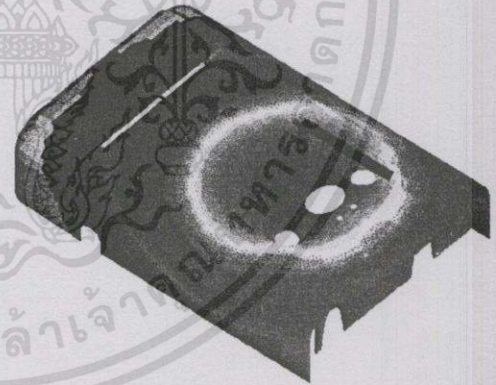
รูปที่ 5.25 Melt front ที่เวลา 3.80 วินาที



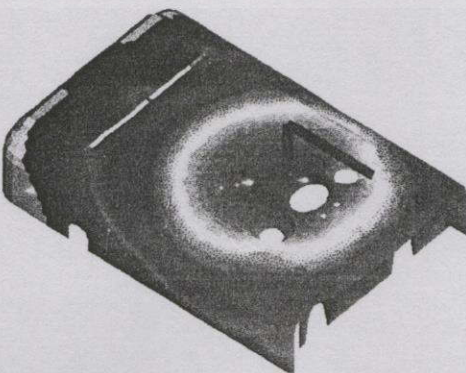
รูปที่ 5.26 Melt front ที่เวลา 3.86 วินาที



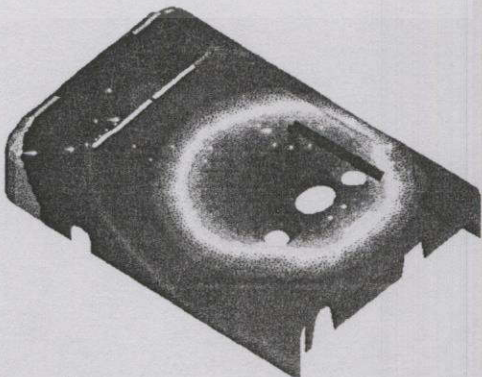
รูปที่ 5.27 Melt front ที่เวลา 3.90 วินาที



รูปที่ 5.28 Melt front ที่เวลา 3.96 วินาที

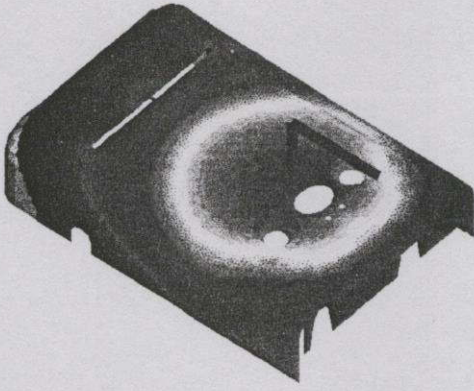


รูปที่ 5.29 Melt front ที่เวลา 4.00 วินาที

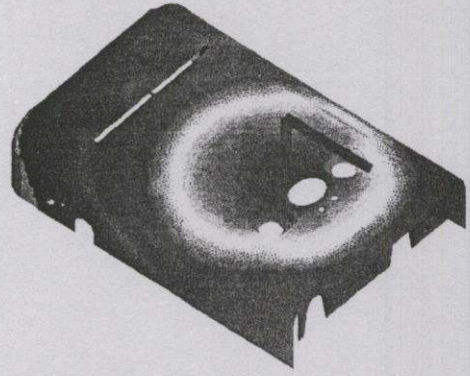


รูปที่ 5.30 Melt front ที่เวลา 4.10 วินาที

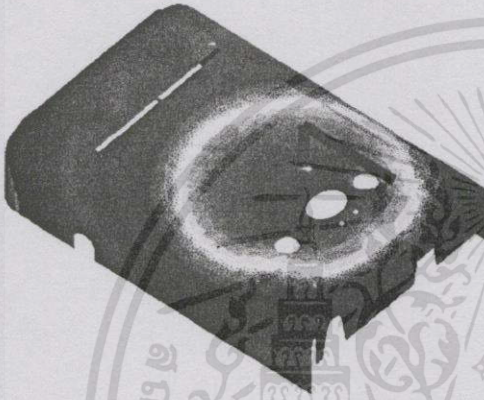
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



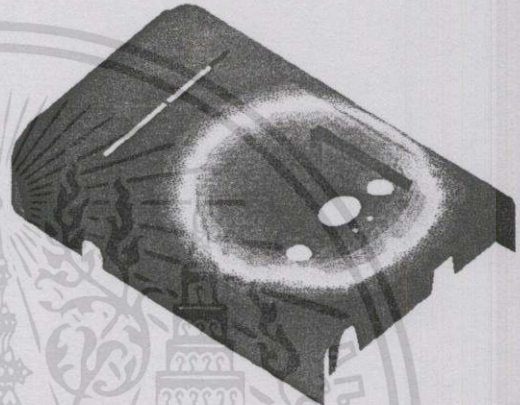
รูปที่ 5.31 Melt front ที่เวลา 4.20 วินาที



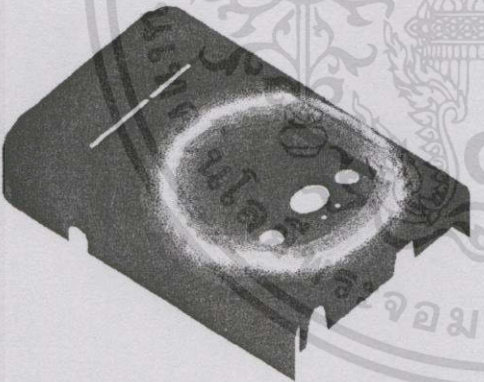
รูปที่ 5.32 Melt front ที่เวลา 4.30 วินาที



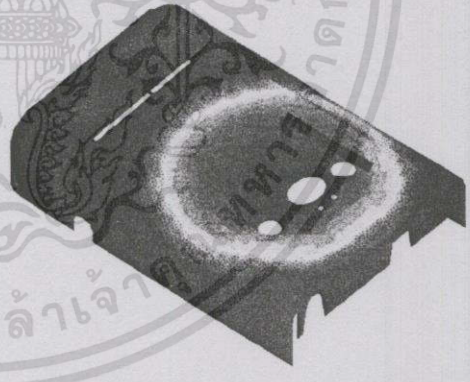
รูปที่ 5.33 Melt front ที่เวลา 4.60 วินาที



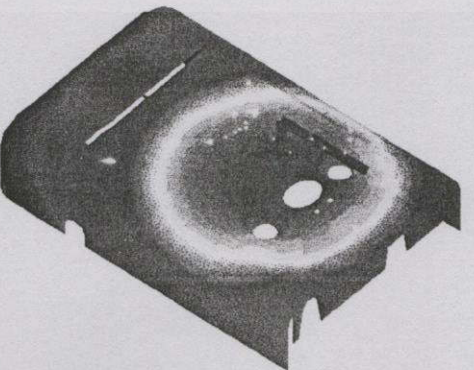
รูปที่ 5.34 Melt front ที่เวลา 4.70 วินาที



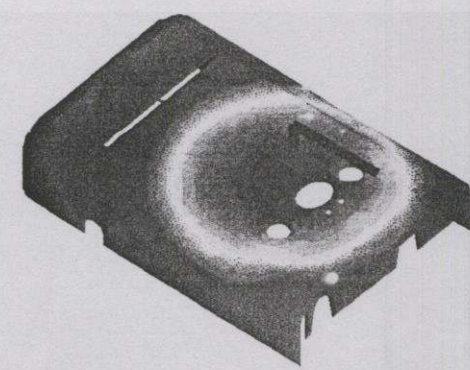
รูปที่ 5.35 Melt front ที่เวลา 4.90 วินาที



รูปที่ 5.36 Melt front ที่เวลา 5.00 วินาที



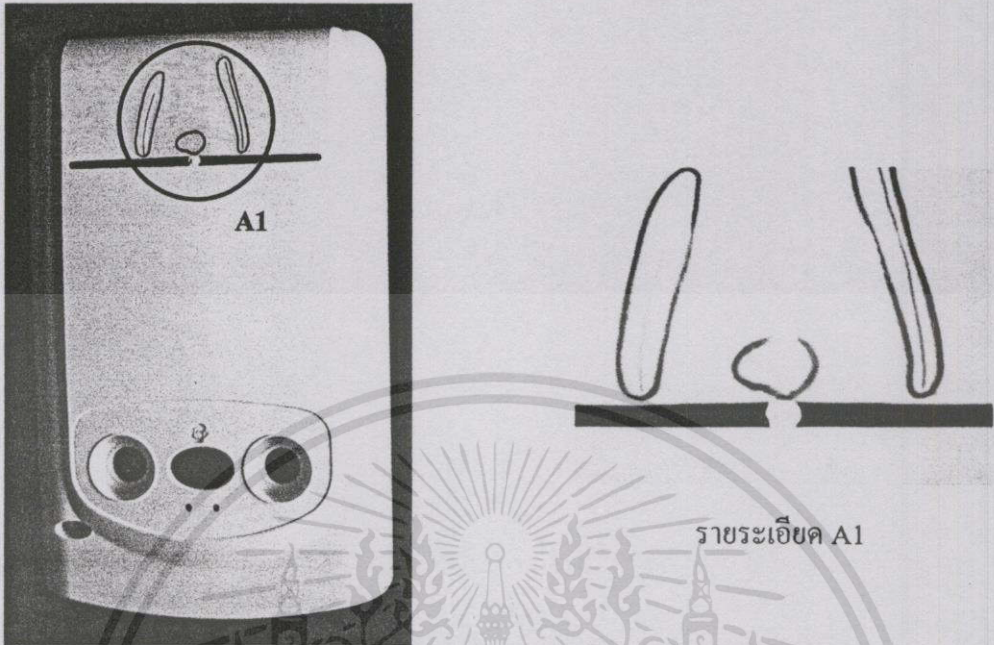
รูปที่ 5.37 Melt front ที่เวลา 5.10 วินาที



รูปที่ 5.38 Melt front ที่เวลา 5.20 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

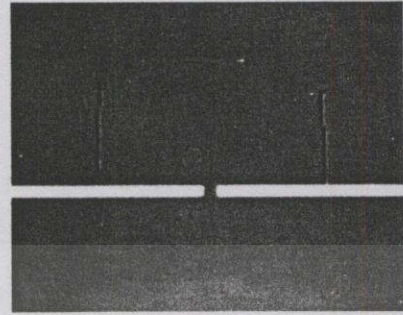
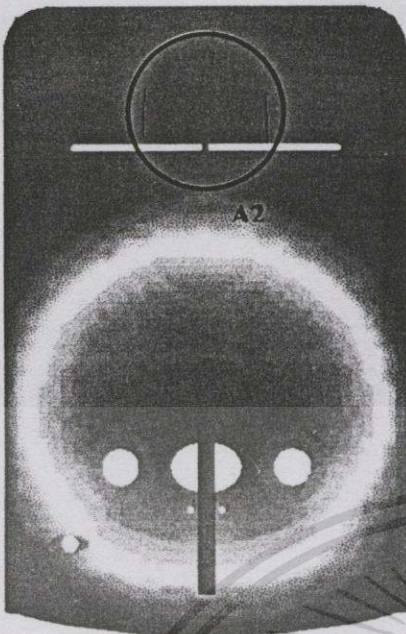
5.2 เปรียบเทียบผลจากการฉีดจริงกับการฉีดด้วย Program MOLDEX ก่อนการแก้ไข



รูปที่ 5.39 ผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาเกิด Weld line ก่อนทำการแก้ไข

จากรูปที่ 5.39 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการฉีดพลาสติกตามข้อกำหนดของเครื่องฉีดตั้งนี้ คือเวลาที่ใช้ในกระบวนการฉีด 5 s, อุณหภูมิหลอมเหลวสำหรับพลาสติกชนิด ABS ที่ใช้ในการฉีดอยู่ที่ 260°C , อุณหภูมิแม่พิมพ์รักษาไว้ที่ 60°C โดยใช้น้ำเป็นตัวหล่อเย็น, ความดันที่ใช้ในการทดลองฉีดอยู่ที่ 200 Mpa, เวลาในการย้ายความดันหลังจากผ่านกระบวนการฉีดแล้วใช้ 8 s โดยมีความดันเท่ากับ 120 Mpa ซึ่งจากผลของการทดลองไม่ว่าจะเป็นการทดลองฉีดจริงด้วยเครื่องฉีดพลาสติกแล้ว หรือทดลองโดยการจำลองการฉีดด้วย Program MolDEX ดังรูปที่ 5.40 จะเห็นได้ชัดเจนว่ามีลักษณะของเส้นแนวเชื่อมเกิดขึ้นจากหลังแท่ง Insert ยาวประมาณ 25 mm ซึ่งเป็นปัญหาที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น แต่ก็ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ผลเนื่องมาจาก เวลาที่ใช้ในการย้ายความดันต่ำเกินไป, อุณหภูมิแม่พิมพ์และอุณหภูมิหลอมเหลวมีค่าต่ำ

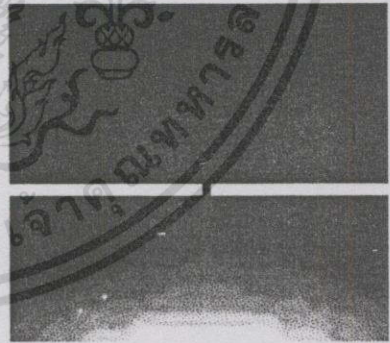
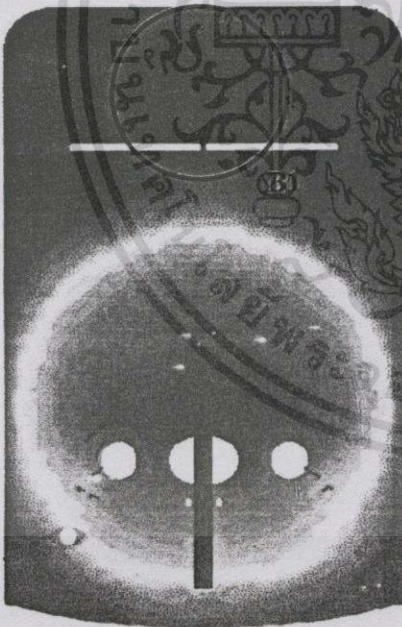
ดังนั้นจึงได้มีการทดลองเพิ่มเติมโดยการจำลองการฉีดด้วย Program MolDEX หลังจากการทดลองจำนวนมากสามารถหาค่าที่เหมาะสมสำหรับกำหนดตัวแปรในการฉีดได้ดังนี้คือ เวลาที่ใช้ในการฉีด 5 s, อุณหภูมิหลอมเหลวกำหนดอยู่ที่ 265°C , อุณหภูมิแม่พิมพ์เพิ่มเป็น 70°C , ความดันย้ายหลังการฉีดเท่ากับ 180 Mpa โดยใช้เวลาในการย้ายความดันเท่ากับ 10 s หลังจากนั้นค่าดังกล่าวไปทดลองฉีดจริงจะเห็นว่าเส้นแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นจากเดิมยาว 25 mm แทบจะสังเกตด้วยสายตาไม่เห็นแต่สามารถทราบได้จากการจำลองการฉีดด้วย Program MolDEX ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.41 และรูปที่ 5.42



รายละเอียด A2

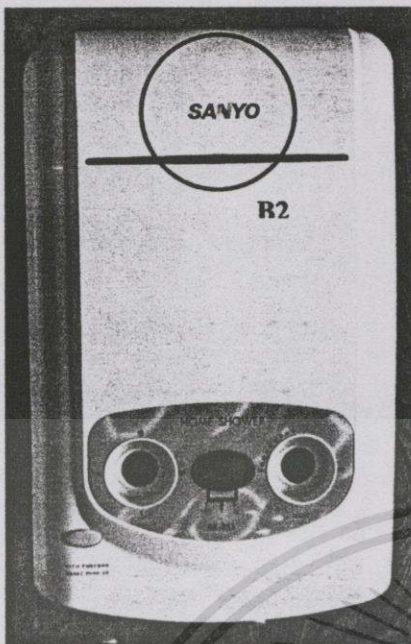
รูปที่ 5.40 ผลลัพธ์ที่วิเคราะห์ด้วย CAE ก่อนทำการแก้ไข

5.3 เปรียบเทียบผลจากการฉีดจริงกับการฉีดด้วย Program MOLDEX หลังการแก้ไข



รายละเอียด B1

รูปที่ 5.41 ผลลัพธ์ที่วิเคราะห์ด้วย CAE ซึ่งได้แก้ไขปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อมแล้ว



รายละเอียด B2

รูปที่ 5.42 ผลิตภัณฑ์ที่ได้แก้ไขปัญหาเส้นแนวเชื่อมแล้ว

5.4 ตารางเปรียบเทียบผลจากการฉีดจริงกับการฉีดด้วย Program MOLDEX ก่อนและหลังการแก้ไข

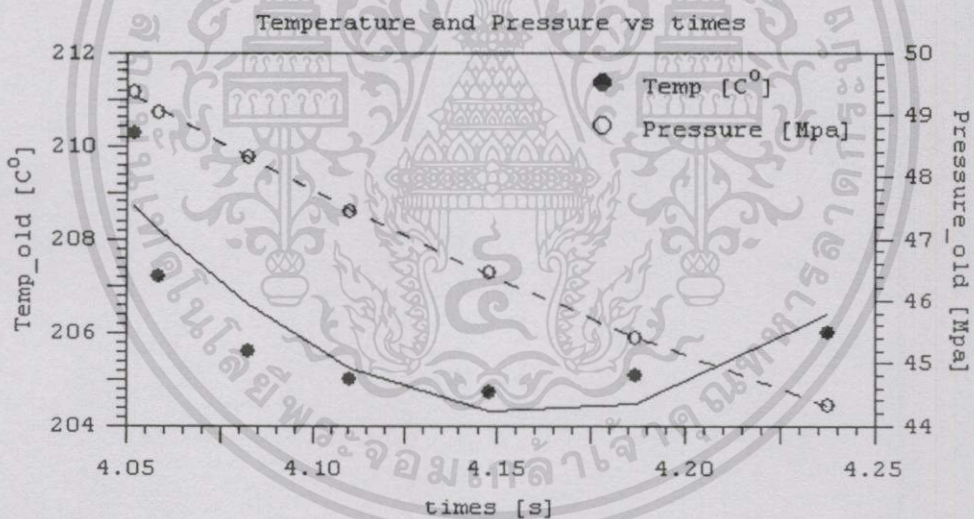
ตารางที่ 5.1 Traditional Approach to a New Produce

Stage	Description	Parameter	Units
Flow	Fill Time	5.000	Second
	Melt Temp	260.000	Celsius
	Mold Temp	60.000	Celsius
	Injection Pressure	200.000	MPa
Pack	Pack Time	8.000	Second
	Pack Pressure	120.000	MPa

ตารางที่ 5.2 CAE Approach Concurrent Engineering

Stage	Description	Parameter	Units
Flow	Fill Time	5.000	Second
	Melt Temp	265.000	Celsius
	Mold Temp	70.000	Celsius
	Injection Pressure	180.000	MPa
Pack	Pack Time	10.000	Second
	Pack Pressure	130.000	MPa

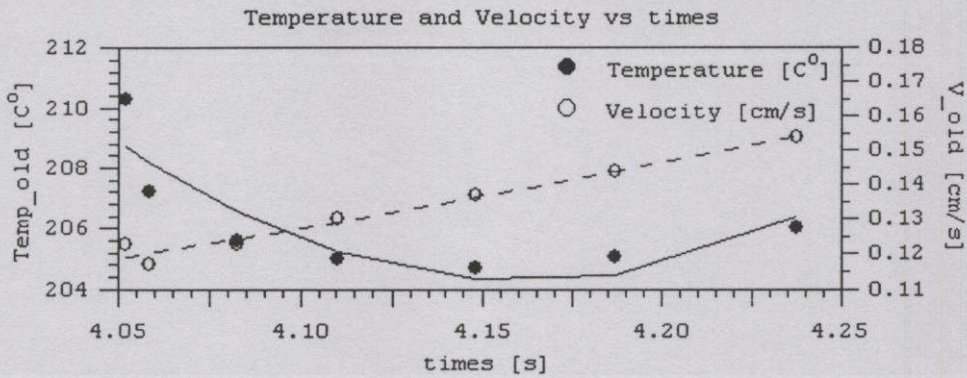
จากการทดลองแบบลองผิดลองถูก ตามวิธี Traditional Approach และการใช้โปรแกรม MolDEX ช่วยในการทดลองตามวิธี CAE Approach เมื่อวิเคราะห์โดยละเอียดจากกราฟทั้งหมดเราพบว่าตัวแปรหลักที่ส่งผลทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อมคือ อุณหภูมิพลาสติกไหล และตัวแปรรองลงมาคือ ความดันฉีด และความเร็วในการฉีด[3] Injection Speed ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้



รูปที่ 5.43 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหลอมเหลว และความดันต่อเวลาที่เปลี่ยนไป สำหรับผลิตภัณฑ์เดิมที่ยังไม่แก้ปัญหาเส้นแนวเชื่อม

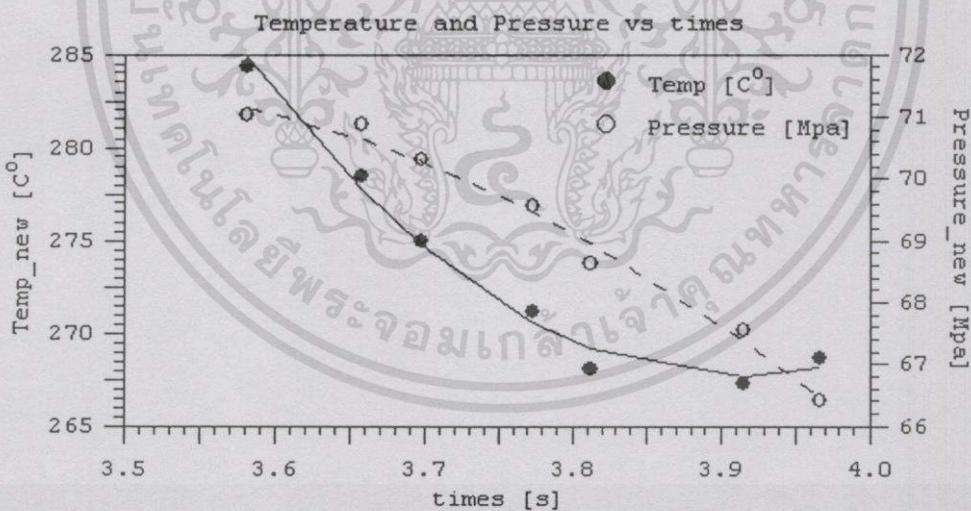
ผลิตภัณฑ์เดิมที่ยังไม่ได้แก้ไข อุณหภูมิต่ำสุดที่ยอมรับได้ T_m โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาเส้นแนวเชื่อมขึ้นอยู่ระหว่าง 205-210 °C [8] จากรูปที่ 5.43 จะเห็นว่ามีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่ยอมรับได้ T_m อยู่สองจุดโดยมีค่าเท่ากับ 204.7 และ 204.98 โดยมีจุดที่เสี่ยงต่อการเกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้นอีกสามจุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 205.06, 205.58 และ 205.99 และจะสังเกตเห็นได้ชัดว่าเมื่อเวลาผ่านไปความดันฉีดจะค่อยๆลดลง ตามเวลาและระยะทางที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความดันที่วัดได้จาก

โปรแกรมมีค่าเท่ากับ 44.304 – 49.359 Mpa ซึ่งเป็นความดันที่อยู่ในช่วงของการเกิดเส้นแนวเชื่อม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.44 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหลอมเหลว และความเร็วต่อเวลาที่เปลี่ยนไป สำหรับผลิตภัณฑ์เดิมที่ยังไม่แก้ปัญหาเส้นแนวเชื่อม

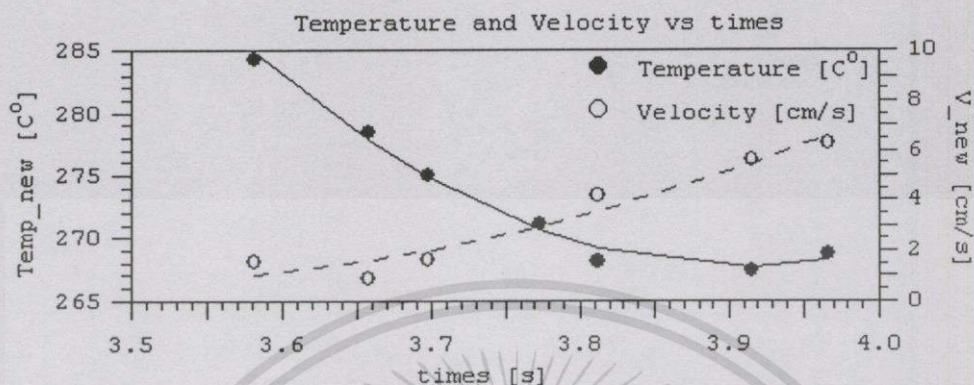
จากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหลอมเหลว และความดันเพียงอย่างเดียวยังไม่พอยังต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ของความเร็วในการฉีดกับอุณหภูมิหลอมเหลวด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.44 จะเห็นว่าอุณหภูมิหลอมเหลวยังคงเท่าเดิม โดยมีความเร็วเพิ่มขึ้นเมื่อพลาสติกเหลวไหลออกมาตรงทาง Insert ของแม่พิมพ์ ซึ่งความเร็วดังกล่าวอยู่ในช่วงของการเกิดเส้นแนวเชื่อมโดยมีค่าความเร็วในการฉีดเท่ากับ $0.123 - 0.154 \text{ cm/s}$ ซึ่งเป็นความเร็วที่ค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 5.45 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหลอมเหลว และความดันต่อเวลาที่เปลี่ยนไป สำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ที่แก้ปัญหาเส้นแนวเชื่อมแล้ว

ผลิตภัณฑ์ที่ได้แก้ไขแล้ว อุณหภูมิต่ำสุดที่ยอมรับได้ T_m โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาเส้นแนวเชื่อมขึ้นอยู่ระหว่าง $205-210 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ระหว่าง $260-280 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [8] จากรูปที่ 5.45 จะเห็นว่าอุณหภูมิหลอมเหลวที่เกิดขึ้นต่ำสุดที่วัดได้จากโปรแกรมมีค่าเท่ากับ $268.63-284.32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์เดิมที่ยังไม่ได้รับการแก้ไข โดยอุณหภูมิดังกล่าวไม่ทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้นเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

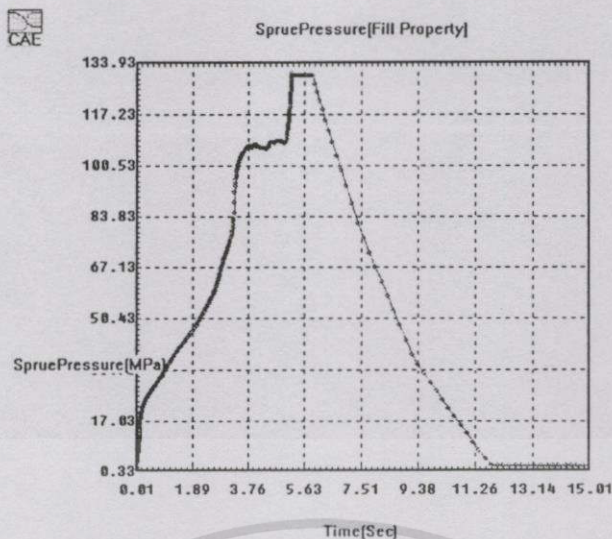
เชื่อมขึ้น เพราะอยู่ในขอบเขตอุณหภูมิหลอมเหลวสูงสุดที่ยอมรับได้สำหรับพลาสติกชนิด ABS และจะมีความดันเกิดขึ้นอยู่ระหว่าง 66.409-71.022 MPa โดยความดันในช่วงนี้จะไม่ทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อม



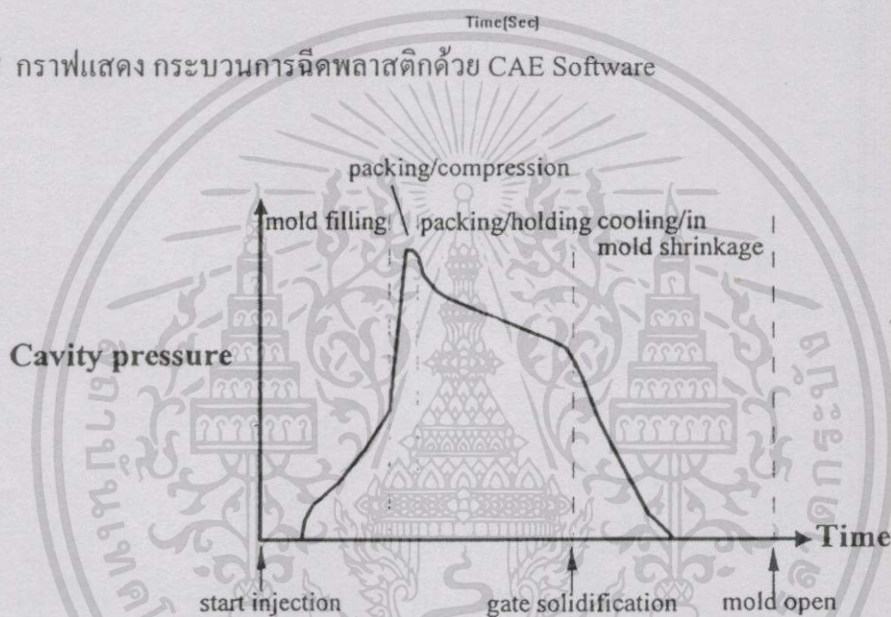
รูปที่ 5.46 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิหลอมเหลว และความเร็วต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ที่แก้ปัญหาเส้นแนวเชื่อมแล้ว

จากนั้นพิจารณาถึงความเร็วในการฉีดที่เกิดขึ้น ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวที่ไม่ทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อมจะพบว่าความเร็วที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ $0.861-6.267 \text{ cm/s}$ ซึ่งความเร็วนี้มีค่าสูงกว่าความเร็วที่เกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์เดิมที่ยังไม่ได้แก้ปัญหาเส้นแนวเชื่อม ซึ่งจากรูปที่ 5.45 และรูปที่ 5.46 อุณหภูมิกับความดันมีแนวโน้มของกราฟไปในทางเดียวกันคือค่าลดลงเรื่อยๆตามระยะทางและเวลาที่เพิ่มขึ้นซึ่งตรงข้ามกับความเร็วโดยความเร็วมีแนวโน้มของกราฟที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการไหลมารวมตัวของพลาสติกเหลวแต่มีอัตราการเพิ่มไม่มากนัก

จากรูปที่ 5.43 –รูปที่ 5.46 สามารถสรุปได้ดังนี้ จากกราฟข้างต้นผลต่างของอุณหภูมิหลอมเหลวสำหรับผลิตภัณฑ์เดิมและผลิตภัณฑ์ที่ปรับปรุงแล้วมีค่าเท่ากับ 74.07°C ผลต่างของความดันฉีดมีค่าเท่ากับ 21.663 MPa และผลต่างของความเร็วในการฉีดมีค่าเท่ากับ 6.113 cm/s ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบตามวิธี CAE Approach ด้วยโปรแกรม MolDEX เราสามารถยืนยันได้ว่าตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดเส้นแนวเชื่อมสำหรับผลิตภัณฑ์หน้าฉากเครื่องทำน้ำอุ่นเรียงตามความสำคัญได้ดังนี้คือ อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก, ความดันที่ใช้ในการฉีด และความเร็วในการฉีด โดยค่าที่ได้ถูกปรับแก้แล้วได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2



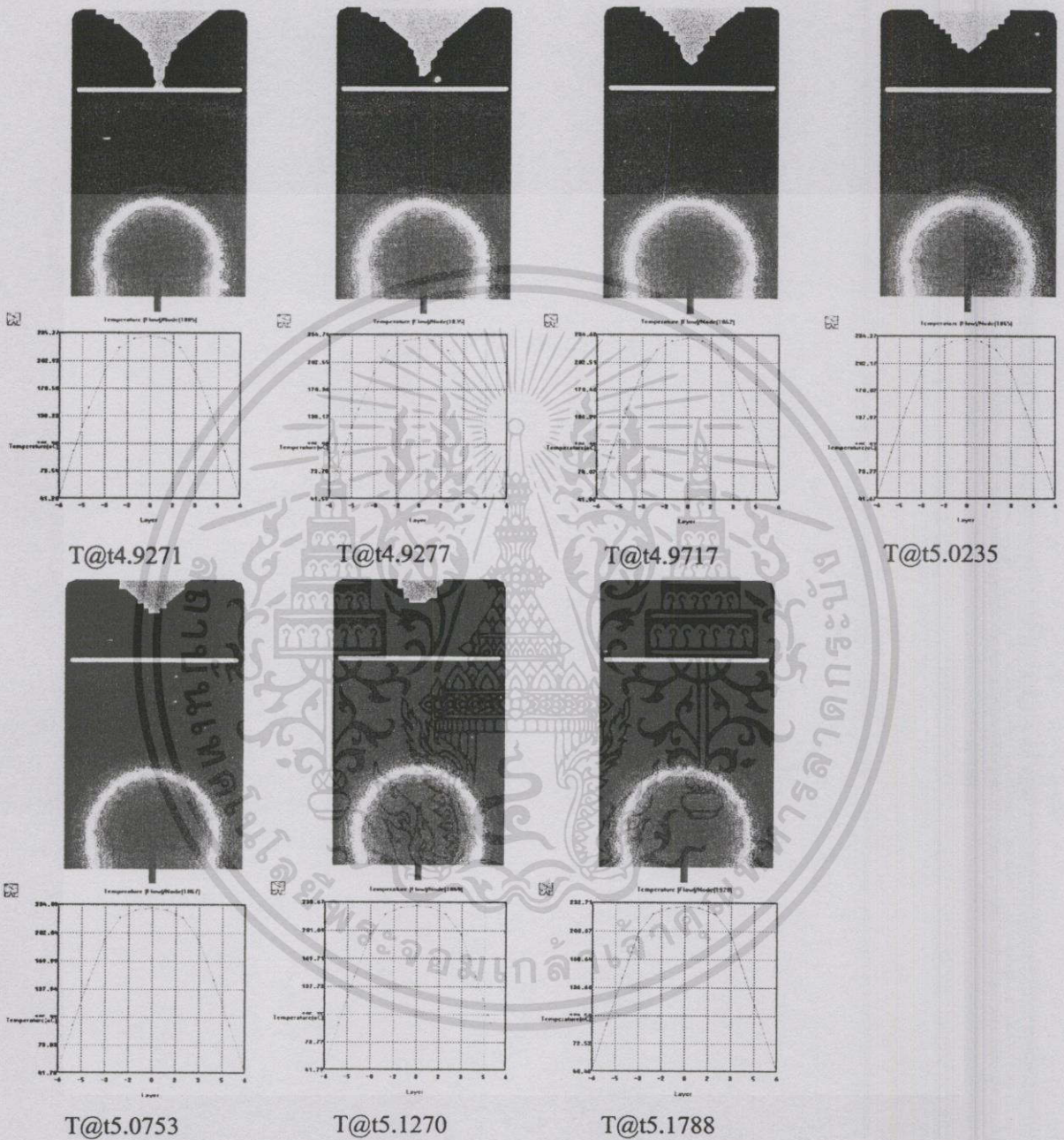
รูปที่ 5.47 กราฟแสดง กระบวนการฉีดพลาสติกด้วย CAE Software



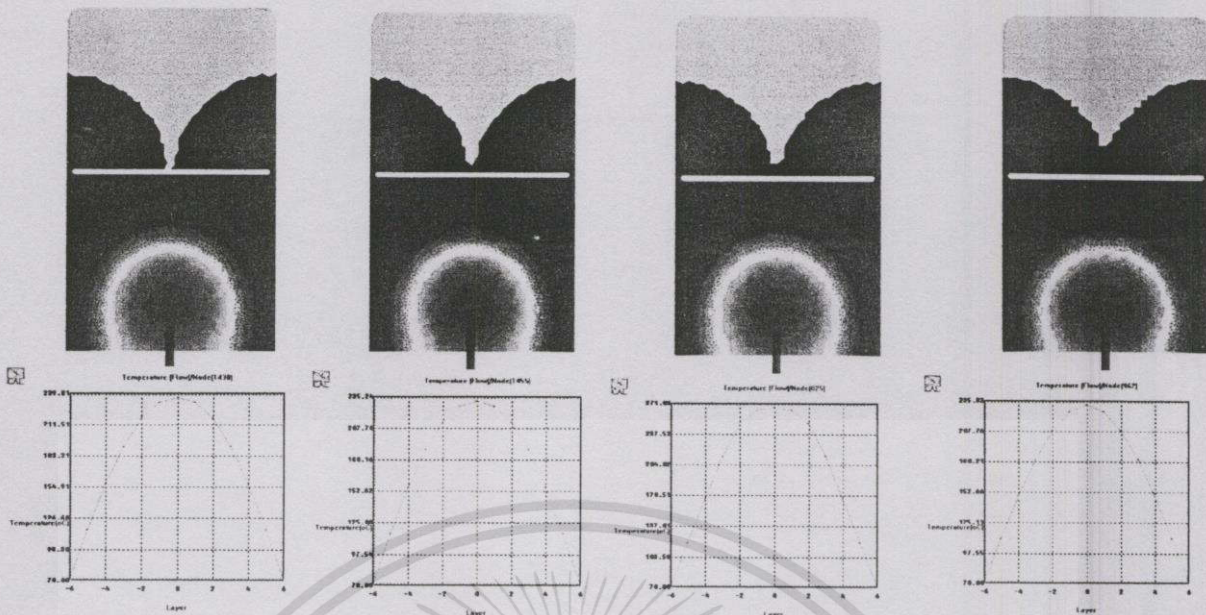
รูปที่ 5.48 กราฟแสดง กระบวนการฉีดพลาสติกทางทฤษฎี

จากกราฟที่แสดงไว้ข้างต้นในรูปที่ 5.43 ขั้นตอนการฉีดพลาสติกซึ่งแบ่งออกได้ 3 ส่วนคือใน ส่วนของการฉีด mold filling จะใช้เวลาอยู่ระหว่าง 0.01 - 3.76 Sec ในส่วนของการอัดความดัน packing/compression จะใช้เวลาอยู่ระหว่าง 3.76 - 5.63 Sec และในส่วนของการ Packing/holding จะใช้ เวลาอยู่ระหว่าง 5.63 -15.01 Sec โดยในส่วนของการหล่อเย็น Cooling ไม่ได้นำเสนอไว้ เพราะใน ปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อม weld line จะมีผลกระทบบ่อยเมื่ออยู่ในสภาวะ mold Filling และ Packing/Holding จากกราฟในรูปที่ 5.44 ได้แสดงขั้นตอนการฉีดพลาสติกในทางทฤษฎีโดยแบ่ง ออกได้เป็น 4 ส่วนคือ mold filling, packing compression, packing/holding and cooling

5.5 ผลการทดลองฉีดพลาสติกโดยขนาดของ Insert และระยะห่างของ Insert แตกต่างกัน



รูปที่ 5.49 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 157 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 186 mm

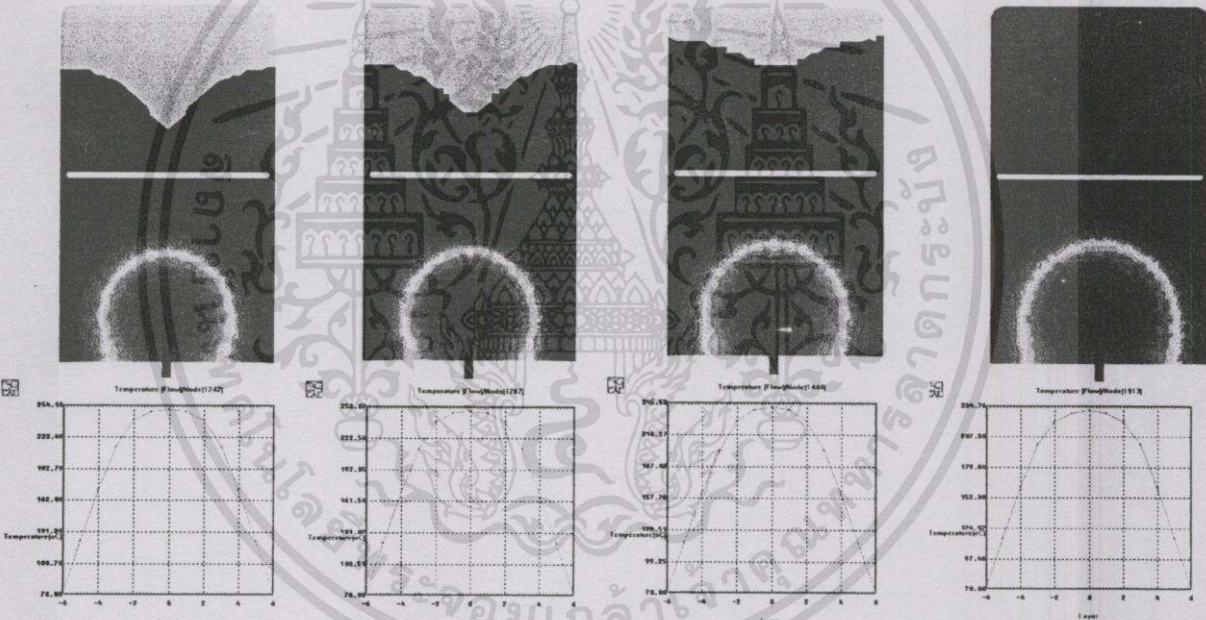


T@3.9799

T@3.9804

T@3.9865

T@4.0585



T@4.1098

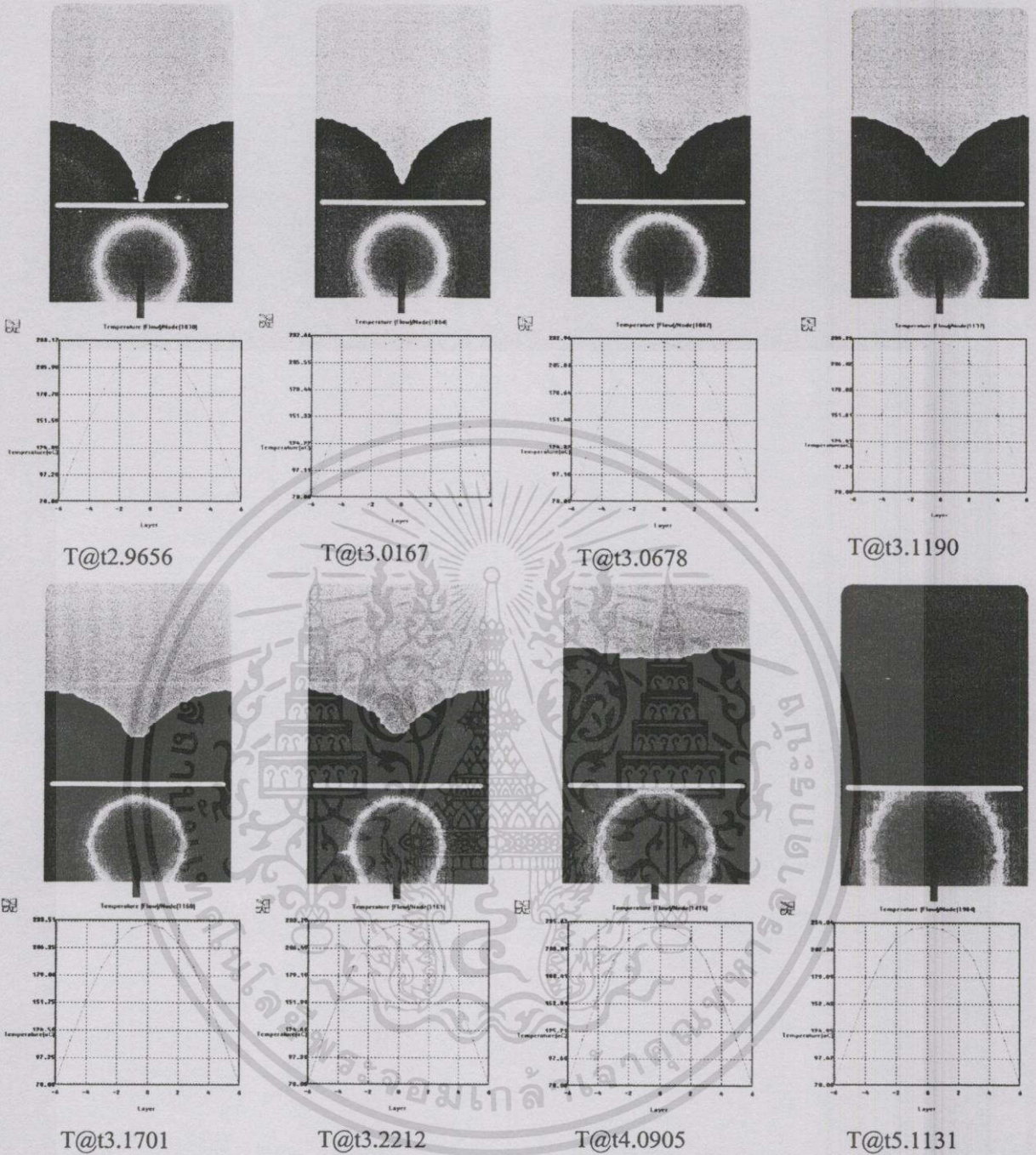
T@4.2126

T@4.6236

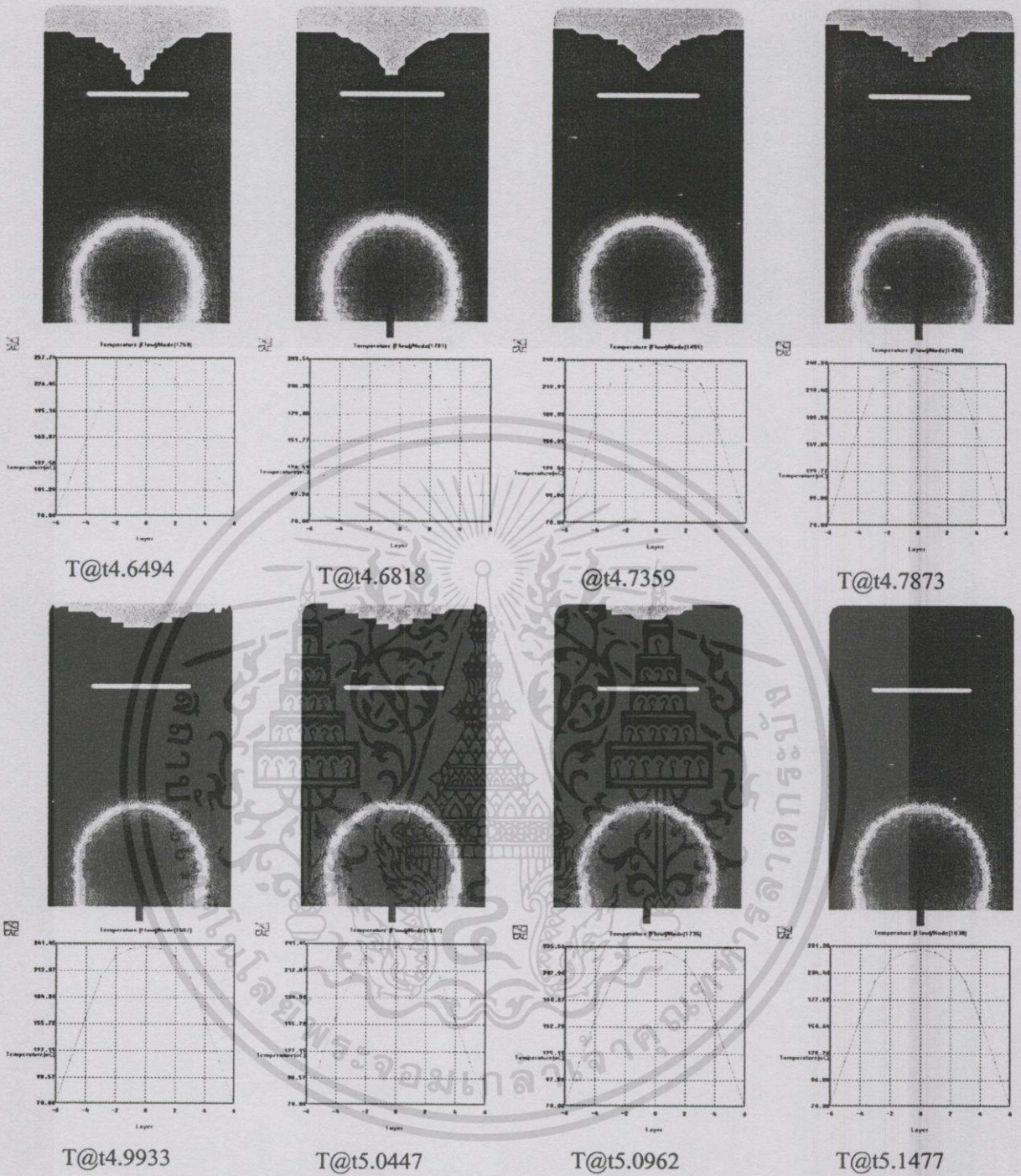
T@5.1373

รูปที่ 5.50 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 157 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 122 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

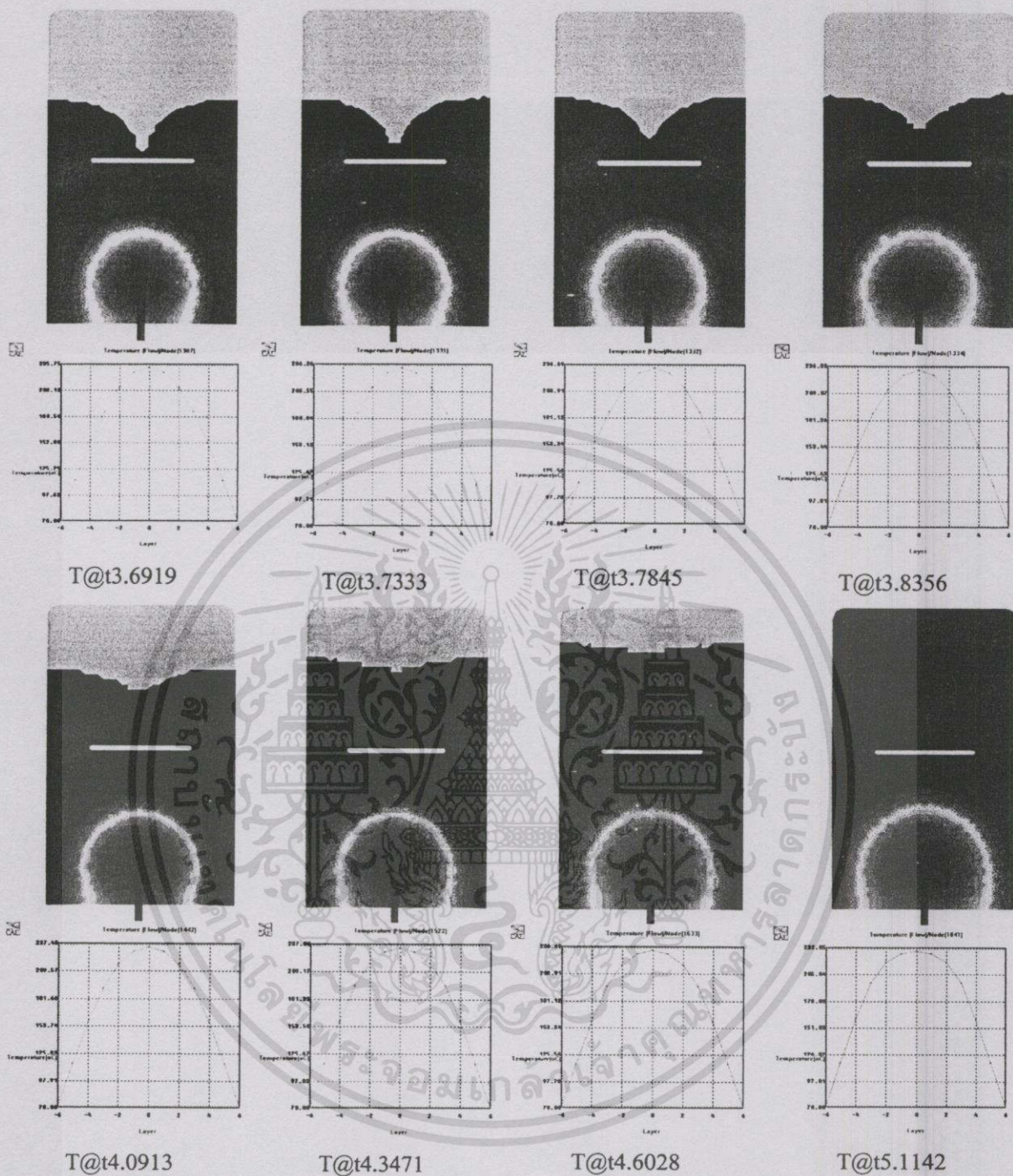


รูปที่ 5.51 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 157 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 056 mm



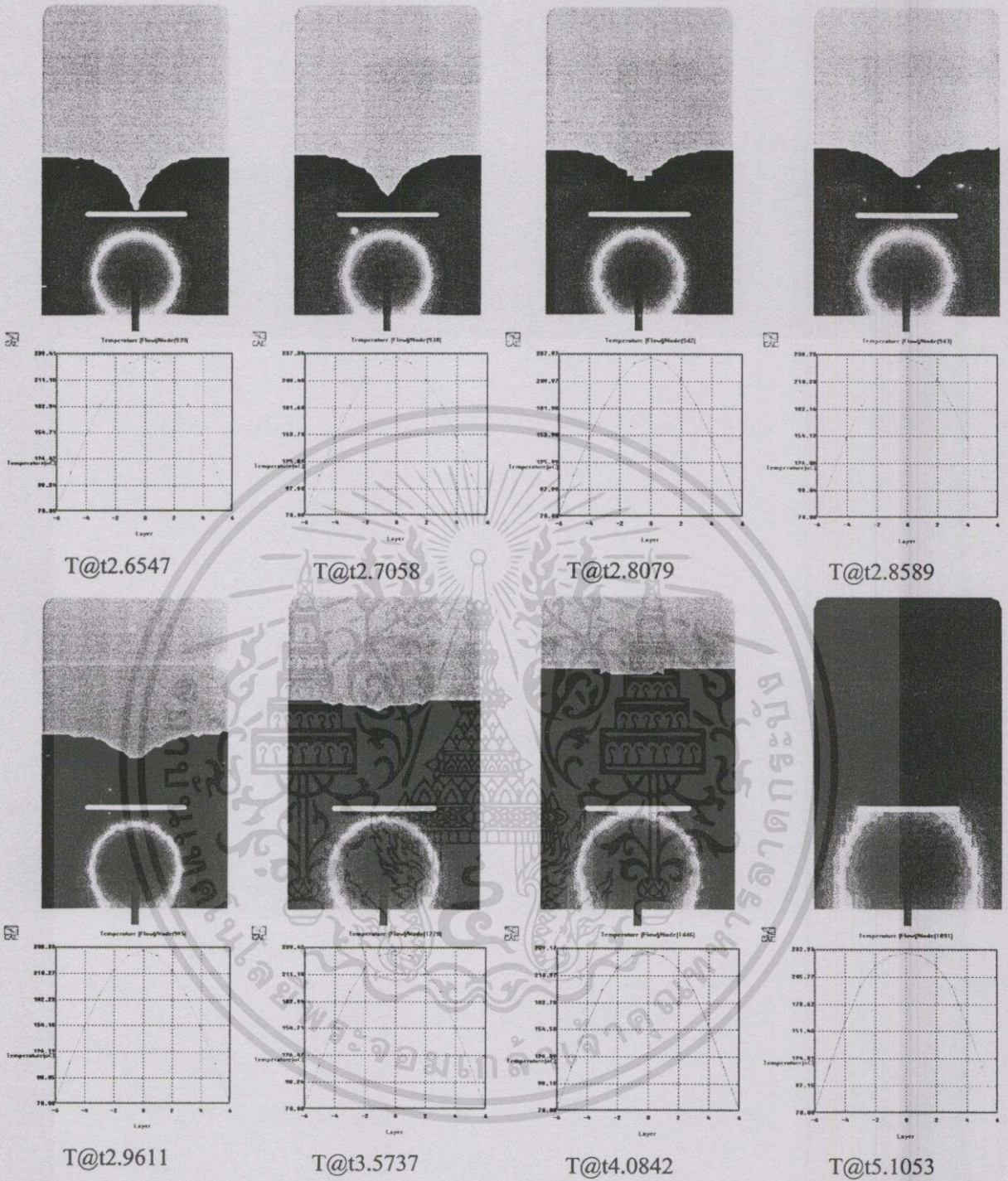
รูปที่ 5.52 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 89 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 186 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

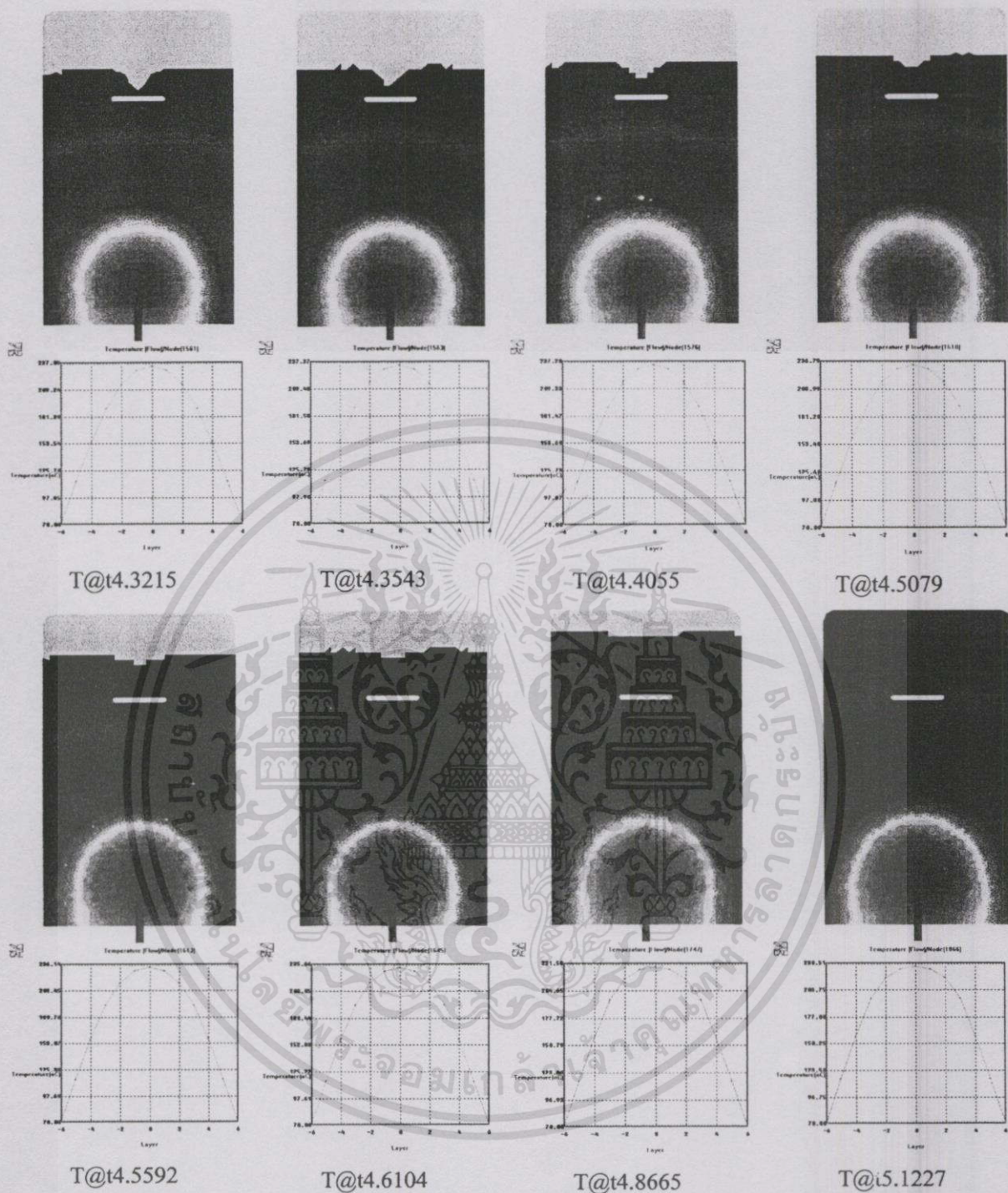


รูปที่ 5.53 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 89 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 122 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

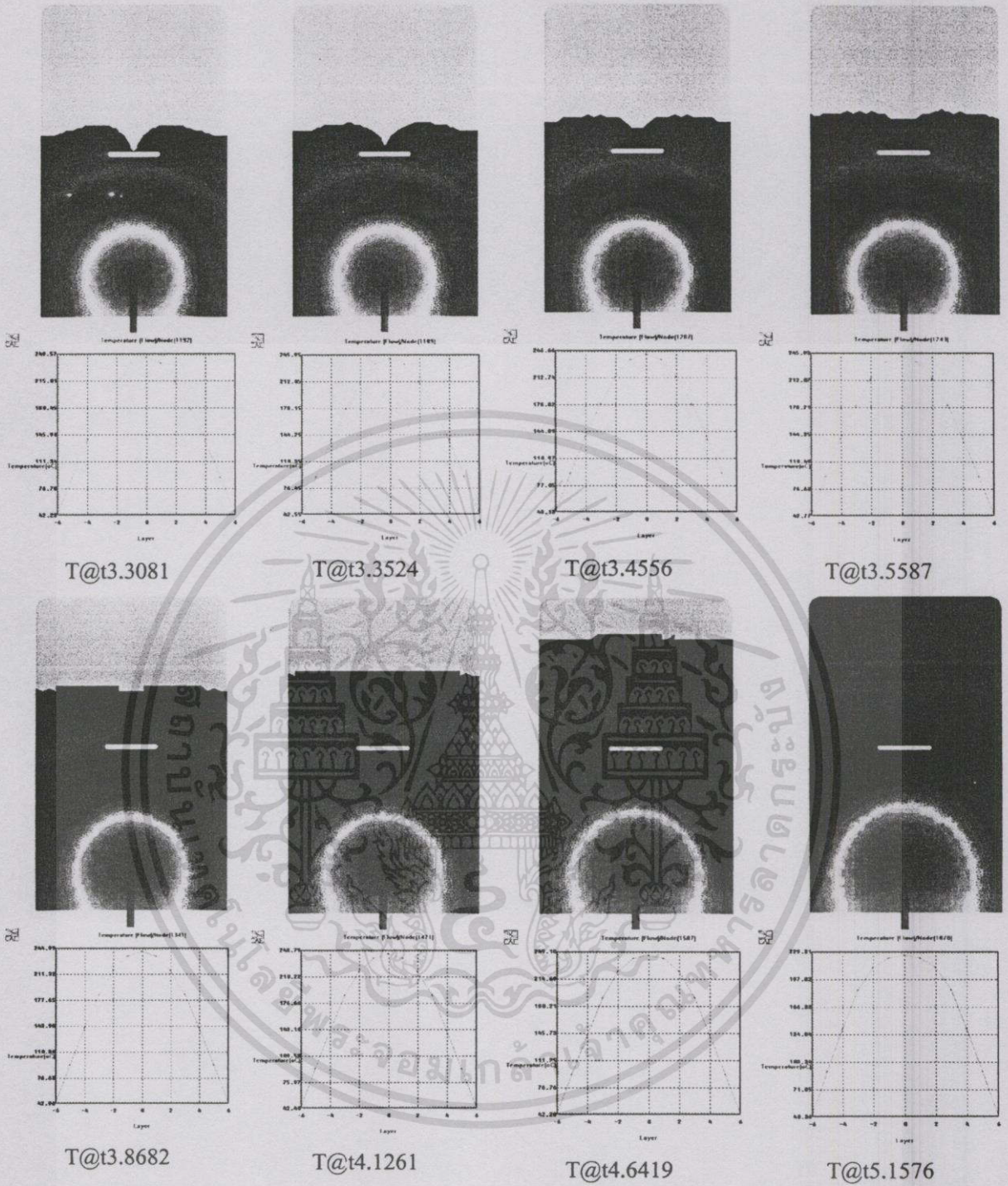


รูปที่ 5.54 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 89 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 056 mm



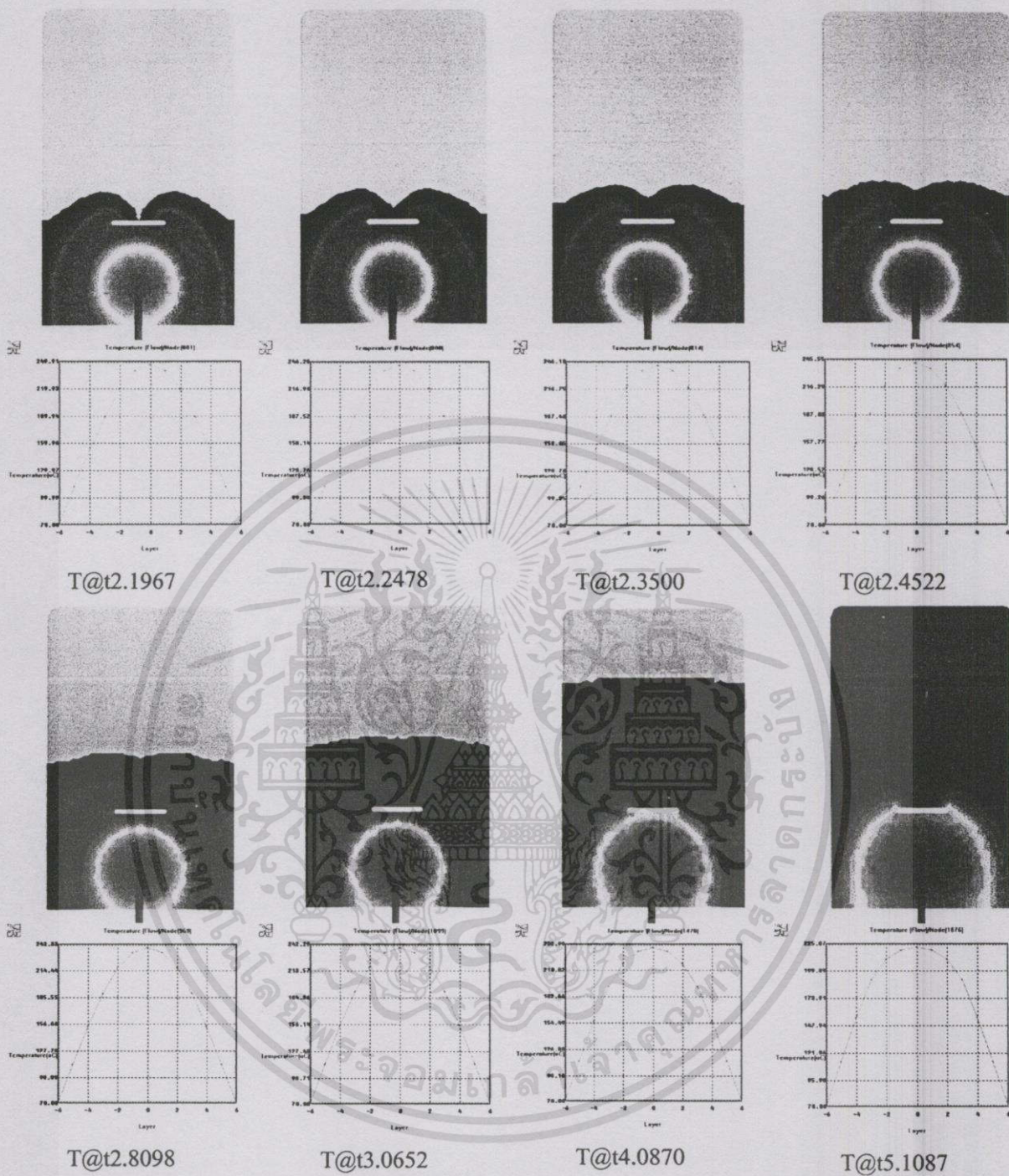
รูปที่ 5.55 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 44 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 186 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.56 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 44 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 122 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.57 การฉีดพลาสติกผ่าน Large Insert 44 mm ระยะห่างจากตำแหน่งฉีด 056 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1. อภิปรายผลการทดลอง

โดยทั่วไปกระบวนการฉีดพลาสติก [8] จะกำหนดอุณหภูมิในการทำงานฉีดไว้สูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวในช่วง $a_1 \rightarrow a_2$ และกำหนดให้ต่ำกว่าอุณหภูมิ Cracking อยู่ในช่วง $b_1 \rightarrow b_2$ จากตารางที่ 3.2 อุณหภูมิหลอมเหลว T_m ของพลาสติกชนิด ABS มีค่าอยู่ระหว่าง $200 - 270 \text{ }^\circ\text{C}$ แต่อุณหภูมิหลอมเหลวที่แนะนำอยู่ในช่วง $c_1 \rightarrow c_2$ ช่วงอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม ในการหลอมละลายของ thermoplastic คืออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมละลายอยู่ในช่วง $d_1 \rightarrow d_2$

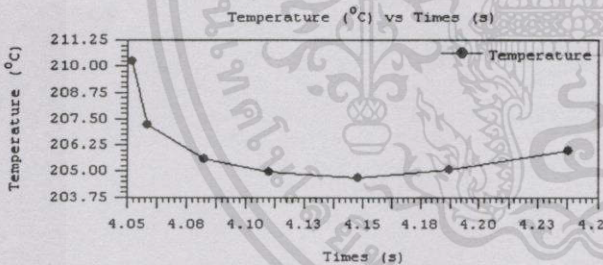
เมื่อ

$$a_1 = (T_m + (0.3).T_m) \quad b_1 = (T_m + (0.05).T_m) \quad (6.1)$$

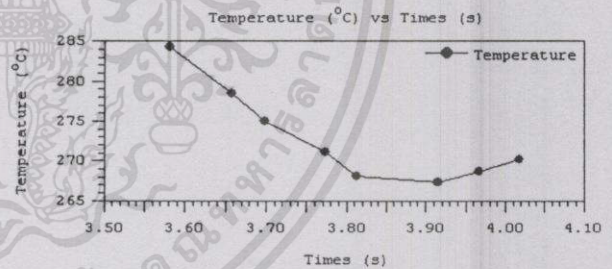
$$a_2 = (T_m + (0.4).T_m) \quad b_2 = (T_m + (0.15).T_m) \quad (6.2)$$

$$c_1 = (T_m + (0.25).T_m) \quad c_2 = (T_m + (0.3).T_m) \quad (6.3)$$

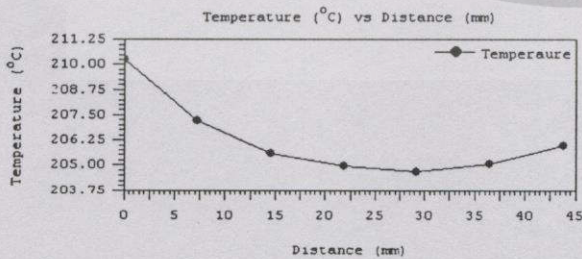
$$d_1 = (T_m + (0.025).T_m) \quad d_2 = (T_m + (0.075).T_m) \quad (6.4)$$



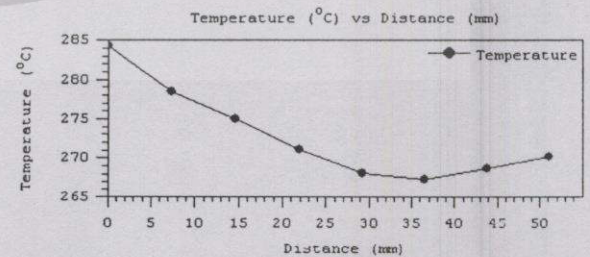
รูปที่ 6.1 กราฟอุณหภูมิที่เปลี่ยนเมื่อ $4.05 < t < 4.25$



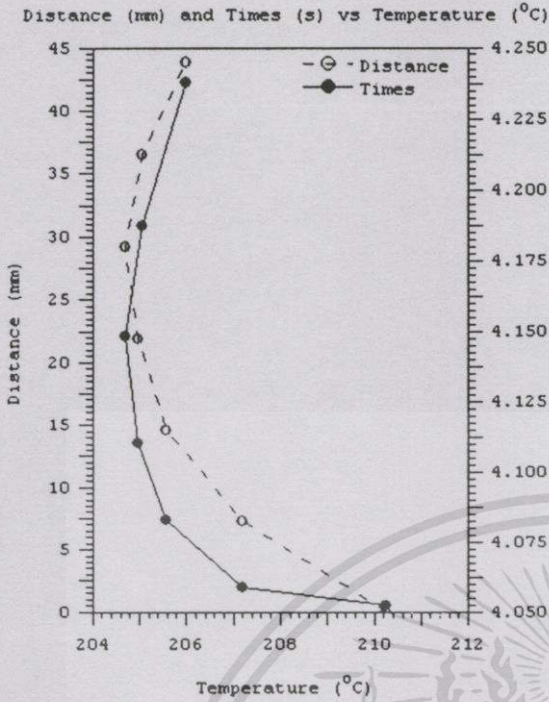
รูปที่ 6.2 กราฟอุณหภูมิที่เปลี่ยนเมื่อ $3.50 < t < 4.10$



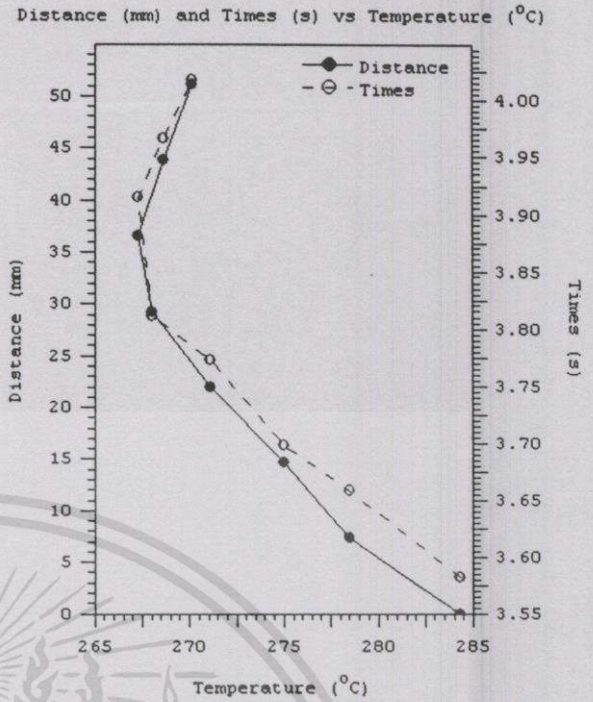
รูปที่ 6.3 กราฟอุณหภูมิที่เปลี่ยนระยะทาง $0 < d < 45$



รูปที่ 6.4 กราฟอุณหภูมิที่เปลี่ยนระยะทาง $0 < d < 50$



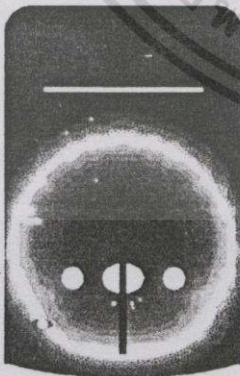
a



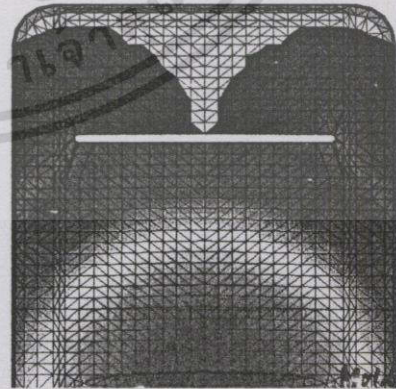
b

รูปที่ 6.5 กราฟแสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปเมื่อระยะทางและเวลาเปลี่ยนไป a แม่พิมพ์เดิม, b แม่พิมพ์ที่ได้แก้ไขแล้ว

จากการทดลองตามวิธีการ CAE Approach ด้วย Program MoI DEX สามารถแสดงผลของการเกิดเส้นเชื่อมในรูปของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของแม่พิมพ์เมื่อเวลาเปลี่ยนไปดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.1 บอกถึงอุณหภูมิที่ส่งผลทำให้เกิดเส้นเชื่อมสำหรับแม่พิมพ์ที่ยังไม่ได้แก้ไข ส่วนในรูปที่ 6.2 แสดงถึงอุณหภูมิที่ส่งผลทำให้เกิดเส้นเชื่อมเช่นกัน โดยแม่พิมพ์ได้แก้ไขแล้ว



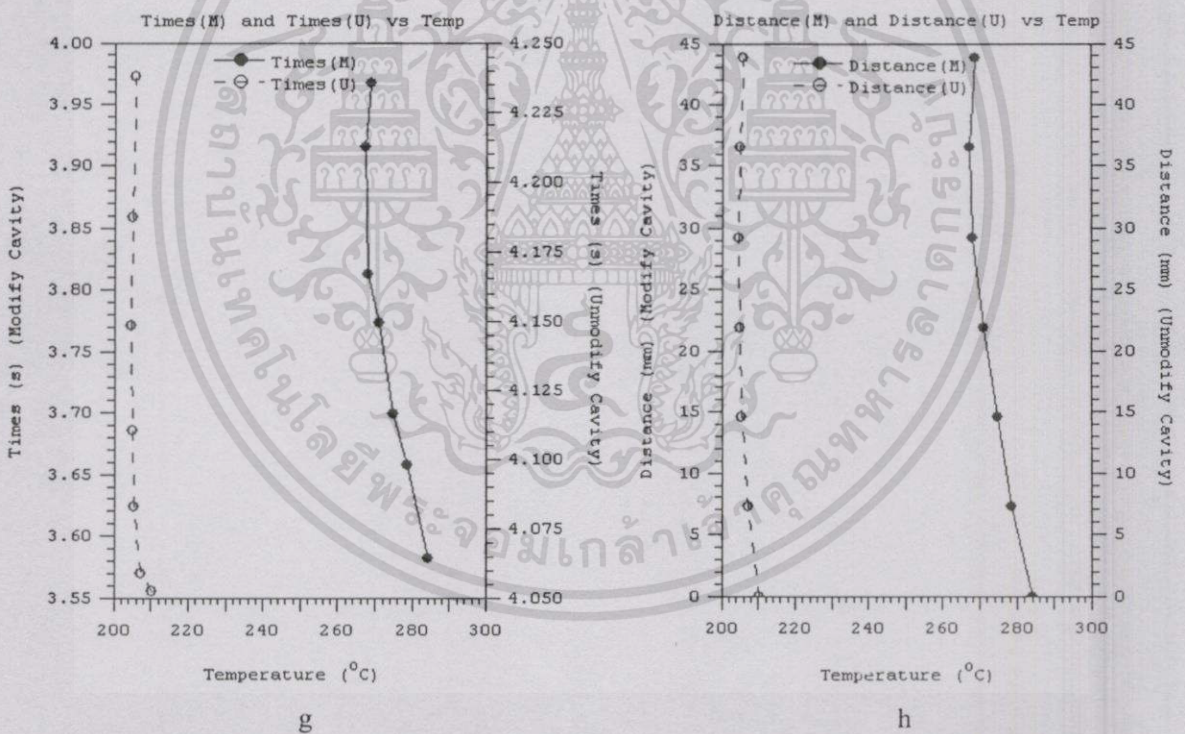
c



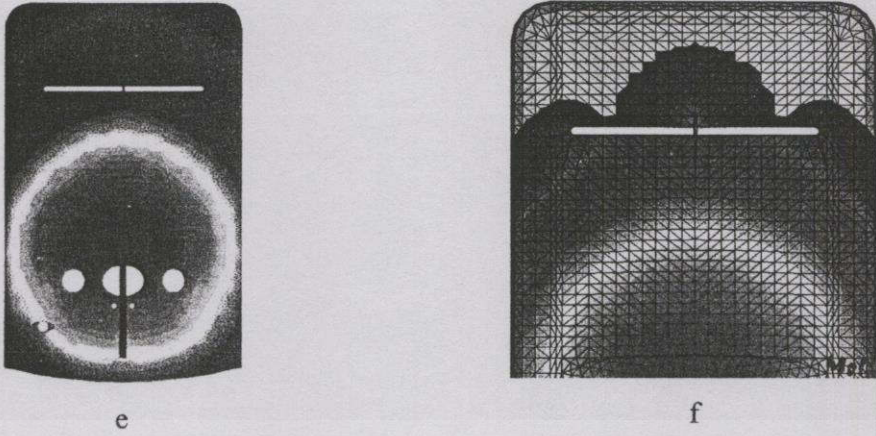
d

รูปที่ 6.6 แสดงแม่พิมพ์ที่ยังไม่ได้แก้ไข (ไม่ได้เปิดช่องทางการไหลของพลาสติกผ่าน Insert)

แม่พิมพ์ที่ยังไม่ได้รับการแก้ไข คือแม่พิมพ์ที่ยังไม่ได้เปิดช่องทางการไหลของพลาสติกผ่าน Insert ทำให้การไหลของพลาสติกไหลผ่าน Insert ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้นโดยบริเวณหลัง Insert ที่พลาสติกเหลวไหลมาบรรจบกันอุณหภูมิจะลดลงจากอุณหภูมิไหลอมเหลว T_m จากรูปที่ 6.1 ลดลงประมาณ 22.755% ซึ่งในการจำลองการฉีดพลาสติกสำหรับ Model ดังกล่าวใช้ อุณหภูมิไหลอมเหลวเท่ากับ $265\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นอุณหภูมิที่ลดลงสามารถคำนวณได้เท่ากับ $204.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 4.1485 วินาที ณ ตำแหน่งที่วัดห่างจาก Insert 29.2 mm ซึ่งอุณหภูมิต่ำสุดที่พลาสติกชนิด ABS ยอมให้เกิดขึ้นได้ที่ไม่ส่งผลทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้นคือ $205\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิดังกล่าวจึงทำให้พลาสติกเหลวเริ่มมีความหนืดสูงขึ้น หรือทำให้พลาสติกเหลวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง โดยจะส่งผลให้โมเลกุลของพลาสติกเกาะรวมตัวกันหรือที่เรียกกันอีกอย่างหนึ่งว่าเส้นแนวเชื่อม Weld Line ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.1 และรูปที่ 6.3 โดยช่วงที่อาจเกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้นสามารถทำนายได้โดยจะอยู่ระหว่าง $14.6\text{ mm} - 43.8\text{ mm}$ วัดเทียบจากแท่ง Insert โดยมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง $205.99\text{ }^{\circ}\text{C} - 205.58\text{ }^{\circ}\text{C}$

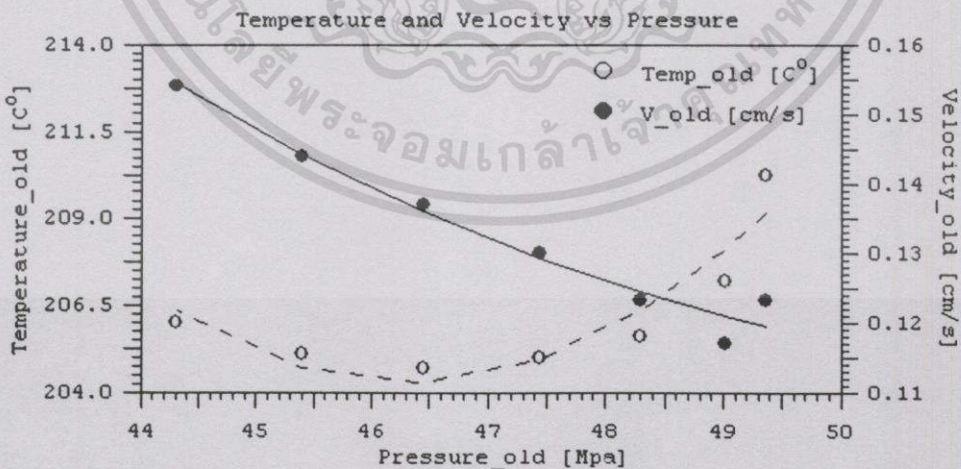


รูปที่ 6.7 กราฟแสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปเมื่อระยะทางและเวลาเปลี่ยนไป g แม่พิมพ์เดิม, h แม่พิมพ์ที่ได้แก้ไขแล้ว



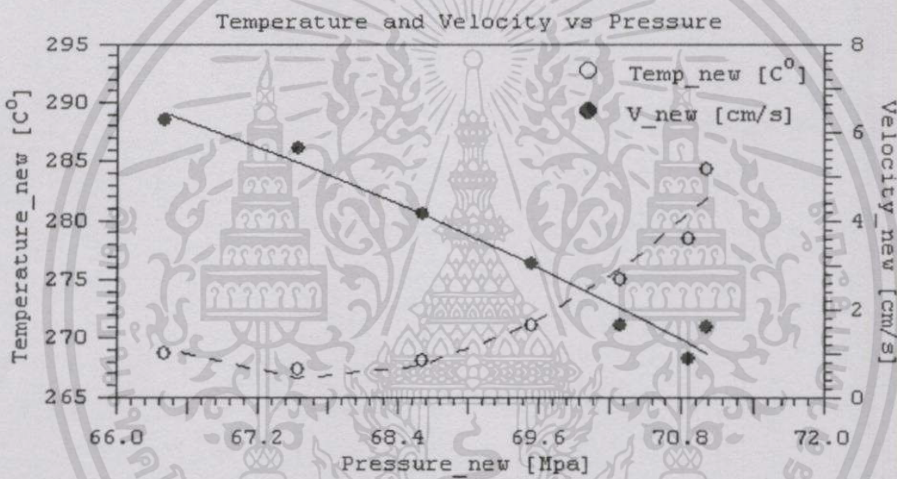
รูปที่ 6.8 แสดงแม่พิมพ์ที่ยังได้แก้ไขแล้ว (ได้เปิดช่องทางการไหลของพลาสติกผ่าน Insert)

สำหรับแม่พิมพ์ที่ได้ปรับปรุงแก้ไขแล้วตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.3 คือแม่พิมพ์ที่ได้มีการเปิดช่องทางการไหลของพลาสติกผ่าน Insert ทำให้การไหลของพลาสติกเหลวสามารถไหลผ่าน Insert ได้สะดวกยิ่งขึ้น ซึ่งไม่ทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิก่อนและหลังแท่ง Insert มากนักจากการจำลองการการฉีดพลาสติกสำหรับแม่พิมพ์ที่ได้แก้ไขแล้วจากรูปที่ 6.2 จะเห็น ได้ชัดว่าอุณหภูมิค่าสุดที่เกิดขึ้นขณะพลาสติกเหลวไหลผ่านแท่ง Insert ที่ได้แก้ไขแล้วมีค่าประมาณ 267.28°C ซึ่งเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิไหลสูงสุดที่ยอมรับได้คิดเป็น 0.86% ของที่เวลา 3.9155 วินาที ณ ตำแหน่งที่วัดหลังจากแท่ง Insert 36.5 mm โดยที่อุณหภูมิดังกล่าวพลาสติกเหลวยังไหลได้สะดวก โดยพลาสติกยังไม่มีเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งเส้นแนวเชื่อม Weld Line ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในอุณหภูมิดังกล่าว



รูปที่ 6.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์, ความเร็วในการฉีด และความดันฉีด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขปัญหาเส้นแนวเชื่อม

จากรูปที่ 6.9 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์, ความเร็วในการฉีด และความดันฉีด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขปัญหาเส้นแนวเชื่อม ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ความเร็วในการฉีด ลดลงและยังส่งผลทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตามขนาดความดันที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยความดันที่ส่งผลทำให้เกิดอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำสุดคืออยู่ในช่วง 45.401-48.297 MPa และความดันที่ส่งผลทำให้ความเร็วในการฉีดต่ำสุดจะอยู่ที่ 49.359 MPa ซึ่งจากกราฟดังกล่าวจะพบว่า ความเร็วในการฉีดก็ส่งผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลว เช่นกันก็ถ้าความเร็วในการฉีดต่ำจะส่งผลให้อุณหภูมิหลอมเหลวลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ความเร็ว 0.130 cm/s จะทำให้อุณหภูมิมีค่าเป็น 204.98 °C ซึ่งค่าอุณหภูมิดังกล่าวทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าความดัน เป็นสัดส่วนตรงกับอุณหภูมิหลอมเหลว แต่ความดันจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความเร็วในการฉีด



รูปที่ 6.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์, ความเร็วในการฉีด และความดันฉีด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการแก้ไขปัญหาเส้นแนวเชื่อม

และในรูปที่ 6.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแม่พิมพ์, ความเร็วในการฉีด และความดันฉีด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการแก้ไขปัญหาเส้นแนวเชื่อมแนวโน้มโดยรวมเมื่อวิเคราะห์จากรูปแบบกราฟแล้วจะมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 6.9 คือความดัน เป็นสัดส่วนตรงกับอุณหภูมิหลอมเหลว แต่ความดันจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความเร็วในการฉีด ความดันที่สูงมากจะทำให้ความเร็วลดลงอย่างมากเช่นกันคือที่ความดัน 71.022 MPa จะทำให้ความเร็วมีค่าเท่ากับ 1.572 cm/s , ความดันที่ 67.560 MPa ทำให้อุณหภูมิหลอมเหลวลดลงต่ำสุดที่ 267.28 °C และที่ความเร็ว 5.607 cm/s เป็นความเร็วที่ทำให้อุณหภูมิลดต่ำสุดเช่นเดียวกัน

6.2 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง พบว่าเมื่อความดันในการฉีดสูงขึ้น ส่งผลให้พลาสติกเหลวไหลเต็มแม่พิมพ์ได้เร็วขึ้น จึงทำให้พลาสติกเหลวยังคงรักษาอุณหภูมิให้สูงไว้ได้ เนื่องจากการสูญเสียความร้อนให้กับแม่พิมพ์น้อยซึ่งได้แสดงในรูปแบบกราฟในรูปที่ 6.5, รูปที่ 6.7 และรูปที่ 6.10 จากผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่ได้แก้ไขปัญหาเส้นแนวเชื่อม ความดันฉีดจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความดันของผลิตภัณฑ์ที่ปรับปรุงแล้วคือเดิมความดันอยู่ที่ 44.305 MPa -49.359 MPa และความดันใหม่ที่ปรับปรุงแล้วอยู่ที่ 66.409 MPa -71.02 MPa โดยที่ความดันแตกต่างกันนี้ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิและความเร็วโดยตรง คือที่ความดัน 46.54 MPa จะมีอุณหภูมิค่าสุดอยู่ที่ 204.70 °C และมีความเร็วพลาสติกเหลวเท่ากับ 0.137 cm/s แต่ในกรณีความดันสูงเป็น 67.566 MPa สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ปรับปรุงแล้วจะมีอุณหภูมิเท่ากับ 267.28 °C ที่ความเร็วพลาสติก 5.601 cm/s

สำหรับวัสดุที่ใช้ผลิตชนิด ABS อุณหภูมิค่าสุดของการหลอมเหลวอยู่ที่ 205 °C และสูงสุดอยู่ที่ 280 °C [8] ดังนั้นที่ความดันต่ำ 44.305 MPa พลาสติกเหลวใช้เวลาในการเคลื่อนที่ถึง Insert ใช้เวลาไป 4.0522 s ทำให้อุณหภูมิลอมเหลวลดลงมากจนเลขจุดค่าสุดของอุณหภูมิลอมเหลวเท่ากับ 204.7 °C ที่อุณหภูมิตั้งกล่าวโมเลกุลจะเกาะตัวกันแน่นขึ้น และเปลี่ยนสถานะจากของเหลวหนืดเป็นของแข็ง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดเส้นแนวเชื่อม weld line แต่ความดันสูง 67.566 MPa พลาสติกเหลวใช้เวลาในการเคลื่อนที่ถึง Insert ใช้เวลาไป 3.5822 s และยังคงอุณหภูมิไว้ที่ 268.63 MPa ซึ่งยังอยู่ในช่วงของอุณหภูมิลอมเหลวของพลาสติก ABS จึงไม่ทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้น

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MoldEX ตามวิธี CAE Approach จะเห็นว่าตัวแปรหลักที่ส่งผลทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อม Weld Line จากการวิเคราะห์ผลในบทที่ 5 คือ อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_m และตัวแปรรองลงมาที่ส่งผลให้เกิดเส้นแนวเชื่อมคือ ความดันในการฉีด และความเร็วในการฉีด แล้วได้นำค่าตัวแปรดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการผลิตจริงจะเห็นได้ว่าจำนวนของเส้นแนวเชื่อม Weld line ได้มีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัดดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.41 และ 5.42 ซึ่งก่อนและหลังการแก้ไขค่าตัวแปรในการปรับตั้งก่อนการฉีดได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2

และจากผลของการปรับตั้งเครื่องฉีดที่ถูกต้องและแม่นยำ ไม่เพียงแต่ช่วยลดปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line ยังช่วยลดวัสดุและประหยัดเวลาในขั้นตอนการผลิตแบบลองผิดลองถูก Trial error ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.1 ซึ่งค่าตัวแปรในการปรับตั้งเครื่องฉีดได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.1 ตารางเปรียบเทียบเวลาและน้ำหนักของวัสดุที่เสียไป

Description	Times of trial and error [Hour]	Material Lost [Kg]
Traditional Approach	18 – 20	100 - 150
CAE Approach	10 – 15	20 - 50

จากเวลาที่ลดลงและจำนวนวัสดุที่สูญเสียน้อยลงแสดงในตารางที่ 6.1 เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อบริษัทผู้ผลิตในการช่วยลดต้นทุนการผลิต และยังสามารถผลิตสินค้าผู้ต้องการได้อย่างมีคุณภาพ และการนำวิธีการทาง CAE Approach เข้ามาช่วยแก้ปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อมจากการทดลองด้วยการฉีดจริง และทดลองด้วยการจำลองการฉีดด้วย Program MolDEX

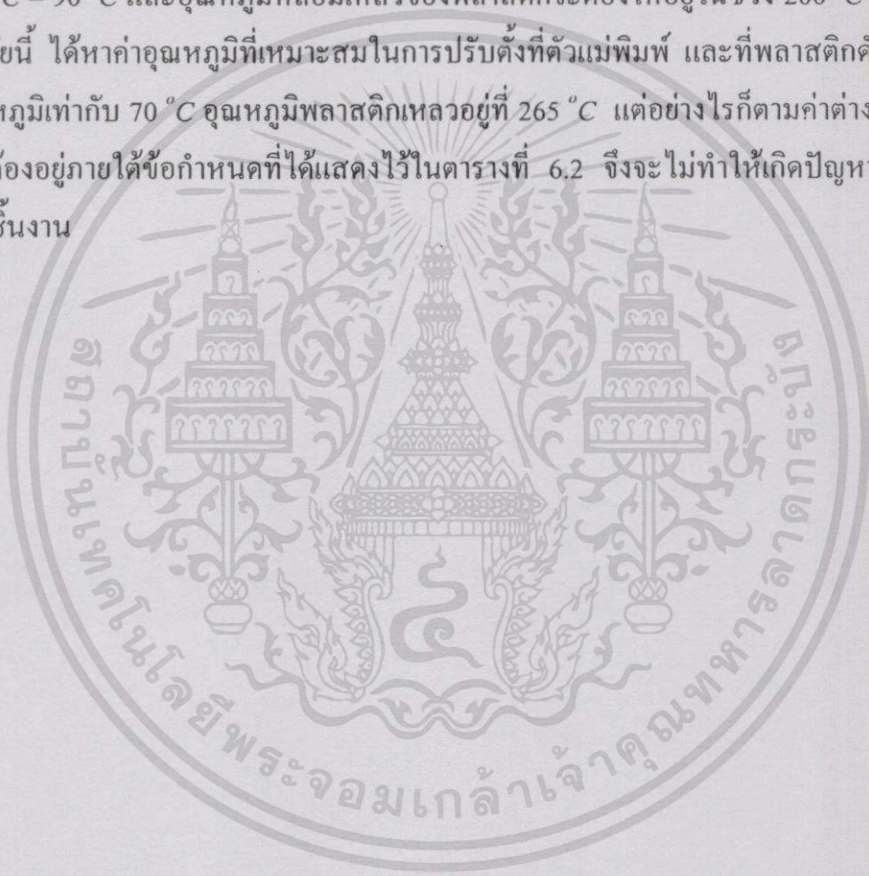
จากการทดลองตามวิธีการ Traditional Approach และตามวิธีการ CAE Approach ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.2 ซึ่งทั้งสองกระบวนการอยู่ภายใต้ข้อกำหนดเดียวกัน คือเครื่องฉีดพลาสติกมีกำลังการฉีดสูงสุด 350 ตัน เม็ดพลาสติกที่ใช้เป็นชนิด ABS แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเป็นหน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่น โดยจากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ก่อน และหลังการแก้ไขปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อม จะพบว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกชนิด ABS ที่ไม่ทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้นอุณหภูมิต่ำสุดคือ 205 °C ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิดังกล่าวจะเกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้นทันที โดยการปรับตั้งค่าต่างๆก่อนทำการฉีดจริงทั้งก่อน และหลังการแก้ไขสามารถปรับตั้งได้ดังนี้คือ อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติกจากเดิม 260 °C ปรับใหม่เป็น 265 °C, ส่วนอุณหภูมิแม่พิมพ์จากเดิม 60 °C ปรับใหม่เป็น 70 °C, ความดันในการฉีดค่าเดิม 200 MPa ปรับใหม่เป็น 180 MPa, ความดันในการย้าค่าเดิม 120 MPa ปรับใหม่เป็น 130 MPa, เวลาในการฉีดยังคงไว้เท่าเดิมคือ 5 วินาทีส่วนเวลาในการย้าความดัน Holding and Packing Stage จากเดิม 8 วินาทีให้เพิ่มเป็น 10 วินาที เวลาที่ใช้ในการเปิดแบบพิมพ์และเวลาที่ใช้ในการนำชิ้นงานออกจากแบบพิมพ์ยังคงเท่าเดิมคือ 3 วินาที และ 8 วินาทีตามลำดับ ซึ่งจากค่าที่ได้ปรับตั้งใหม่เพิ่มเติมคือ อุณหภูมิแม่พิมพ์, อุณหภูมิหลอมเหลว และ เวลาในการย้าความดัน

ตารางที่ 6.2 ตัวแปรสุดท้ายที่ใช้ในการกำหนดก่อนการฉีดจริง

Description	Traditional Approach	CAE Approach	Units
Machine capacity	350.00	350.00	Tons(m)
Melt Temp	260.00	265.00	Celsius
Mold Temp	60.00	70.00	Celsius
Injection Pressure	200	180	MPa
Pack Pressure	120	130	MPa
Resin (Hot resistant)	ABS	ABS	-
Fill Time	5.00	5.00	Second
Hold Time	8.00	10.00	Second
Open Time	3.00	3.00	Second
Eject Time	8.00	8.00	Second

ผลจากการทดสอบตามวิธี CAE Approach ด้วย MolDEX จะพบว่าเวลาโดยรวมที่ใช้ในการผลิตต่อผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้น (ไม่รวมเวลาในการหล่อเย็น) เท่ากับ 26 วินาทีซึ่งเพิ่มจากเดิมมา 2 วินาที โดยเวลาผลิตต่อหนึ่งชิ้นเดิมใช้เวลาไป 24 วินาที แต่เวลาดังกล่าวทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้นในปริมาณมากดังที่ได้แสดงในรูปที่ 5.39 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการตรวจสอบหลังจากใช้วิธี CAE Approach ด้วย MolDEX พบว่าเวลาที่เพิ่มมา 2 วินาทีเป็นเวลาที่เพิ่มในส่วนของการย้ายความดันและค่าต่างๆที่ปรับตั้งก่อนการผลิตเพื่อไม่ให้เกิดเส้นแนวเชื่อมขึ้นที่ชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 5.42 มีการปรับตั้งดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2

พิจารณาในส่วนของคุณสมบัติแม่พิมพ์สำหรับพลาสติกชนิด ABS [8] จะต้องปรับให้อยู่ระหว่าง $50^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติกจะต้องให้อยู่ในช่วง $200^{\circ}\text{C} - 270^{\circ}\text{C}$ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้หาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับตั้งที่ตัวแม่พิมพ์ และที่พลาสติกดังนี้ คือที่แม่พิมพ์อุณหภูมิเท่ากับ 70°C อุณหภูมิพลาสติกเหลวอยู่ที่ 265°C แต่อย่างไรก็ตามค่าต่างๆที่ใช้ในการปรับตั้งต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2 จึงจะไม่ทำให้เกิดปัญหาเส้นแนวเชื่อมขึ้นกับชิ้นงาน



6.3 ข้อเสนอแนะ

ในการกระบวนการฉีดพลาสติก หลีกเลียงไม่ได้ที่จะเกิดปัญหาต่างๆขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เนื่องมาจากหลายสาเหตุ และปัญหาหนึ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอคือปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อมชั้นที่ชั้นงาน ซึ่งจากการทดลองตามวิธี Traditional Approach และจากการทดลองตามวิธี CAE Approach ด้วยโปรแกรม MoIDEX สามารถสรุปแนวทางแก้ไขสำหรับปัญหาเส้นแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นบนชั้นงานได้ในรูปแบบของตารางดังนี้

ตารางที่ 6.3 สาเหตุและแนวทางแก้ไขปัญหา การเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line

ส่วนที่แก้ไข	สาเหตุที่ส่งผลให้เกิด Weld line	การแก้ไข
เครื่องฉีด (หรือจากโปรแกรม) และขั้นตอนการผลิต	การหลอมละลายพลาสติกไม่ดี (CAE Approach by MoIDEX)	ปรับความเร็วในการฉีดพลาสติกให้สูงขึ้น
		ปรับการฉีดในช่วง Holding ให้สูงขึ้น
		ปรับอุณหภูมิของพลาสติกให้สูงขึ้น
		ปรับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ให้สูงขึ้น
	พลาสติกไม่ได้คุณภาพ (Traditional Approach)	ปรับความดัน Packing/Hold ให้สูงขึ้น
		ลดความเร็วรอบของ Screw feed
		เพิ่มระยะเวลาในการหล่อเย็น
	การระบายอากาศไม่ดี (Traditional Approach)	ขั้นตอนสุดท้ายของความเร็วในการฉีดช่วงแรกให้ช้าลง ปรับแรงดันแม่พิมพ์ให้ลดลง
	มีวัตถุอยู่ในจุดเชื่อมต่อ (Traditional Approach)	ทำความสะอาดแม่พิมพ์
		อย่าพ่นน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์มากเกินไป
เพิ่มระยะเวลาในการอบเม็ดพลาสติกให้เพียงพอ		
แม่พิมพ์ และวัตถุดิบ (Traditional Approach)	ปรับระยะห่างจากทางเข้า Runner ถึงรอยเส้นให้สั้นลง	
	ปรับทางเข้าช่อง Runner ให้เหมาะสม	
	ปรับการระบายอากาศให้ดี	
	ปรับการไหลของพลาสติกให้ดี	

จากตารางที่ 5.3 สามารถแบ่งส่วนสำหรับการแนะนำการแก้ปัญหา เส้นแนวเชื่อมตามวิธีการทดลองทั้งสองแบบคือ Traditional Approach และแบบ CAE Approach ด้วยโปรแกรม MoIDEX ได้ดังนี้คือ Traditional Approach จะอยู่ในส่วนของ แม่พิมพ์และวัตถุดิบ, พลาสติกไม่ได้คุณภาพ, เครื่องฉีด

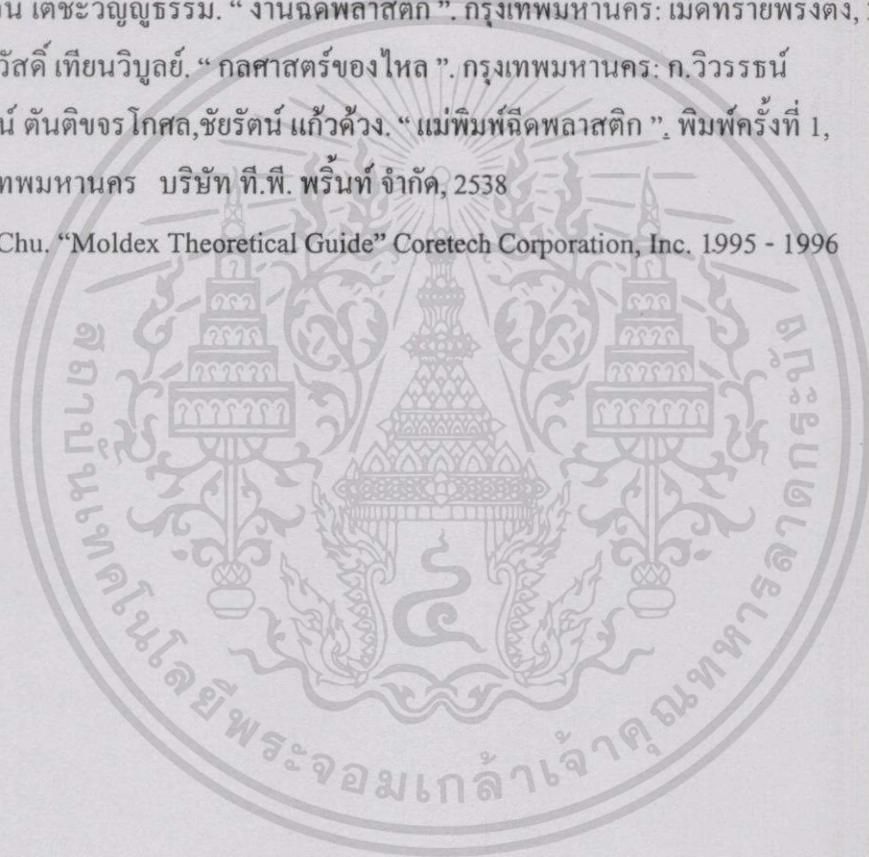
และขั้นตอนการฉีด-มีวัตถุอื่นอยู่ตรงจุดเชื่อมต่อ-ระบายอากาศไม่ดี CAE Approach ด้วยโปรแกรม MolDEX จะอยู่ในส่วนของเครื่องฉีด (หรือจากโปรแกรม) และขั้นตอนการฉีด-การหลอมละลาย พลาสติกไม่ดี และ พลาสติกไม่ได้คุณภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

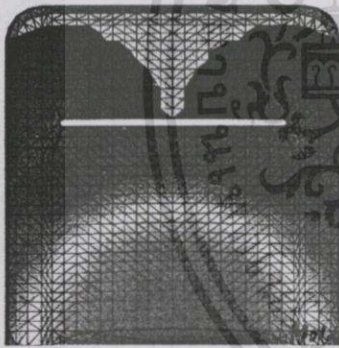
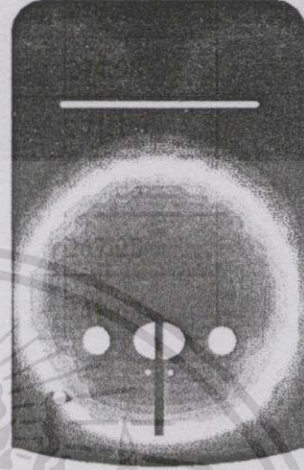
- [01] William S. Janna. "Introduction to fluid mechanics". Third edition, Boston : PWS Publishing, 1993
- [02] Advanced CAE Technology, Inc. 3D-C-MOLD QUICKFILL, 1987-1999
- [03] สิทธิชัย บุญประเสริฐ. "เอกสารประกอบการฝึกอบรม เรื่อง การทดลอง Plastic Injection Mould" 14 สิงหาคม 2534
- [04] พิเชิด เลี่ยมพิพัฒน์. "พลาสติก". พิมพ์ครั้งที่ 9, กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์, 2532
- [05] วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. "งานฉีดพลาสติก". กรุงเทพมหานคร: เม็ดทรายพริ้งดิ่ง, 2540
- [06] ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. "กลศาสตร์ของไหล". กรุงเทพมหานคร: ก.วิวรรณ
- [07] วิวัฒน์ ตันดิขจร โกศล, ชัยรัตน์ แก้วด้วง. "แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก". พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร บริษัท ที.พี. พรินท์ จำกัด, 2538
- [08] HsinChu. "Moldex Theoretical Guide" Coretech Corporation, Inc. 1995 - 1996



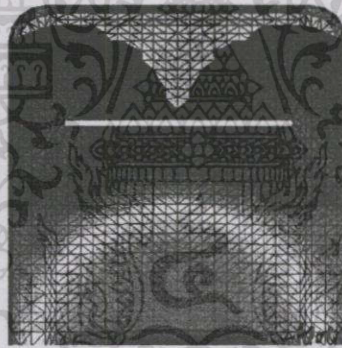
ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1 ตารางค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปที่เวลาต่างๆเมื่อพลาสติกเหลวไหลชนแท่ง Insert สำหรับแม่พิมพ์เดิมที่ยังไม่ได้แก้ไขช่องทางการไหล

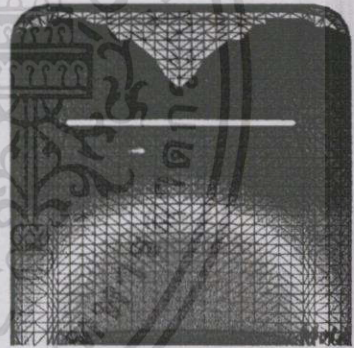
Distance (mm)	Times (s)	Temp ($^{\circ}$ C)
0.0	4.0522	210.25
7.3	4.0589	207.19
14.6	4.0826	205.58
21.9	4.1104	204.98
29.2	4.1485	204.70
36.5	4.1871	205.06
43.8	4.2380	205.99



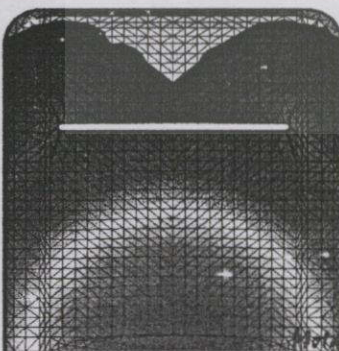
MF@t4.0522



MF@t4.0589



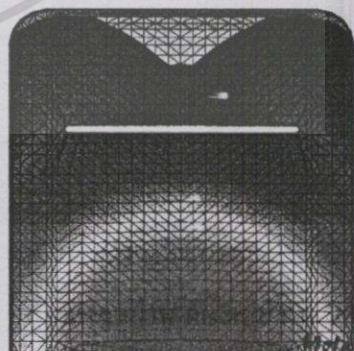
MF@t4.1104



MF@t4.1485



MF@t4.1871

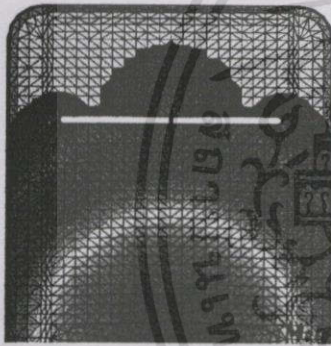
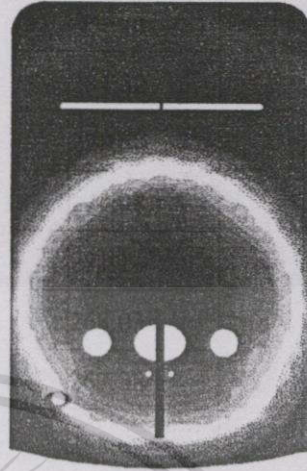


MF@t4.2380

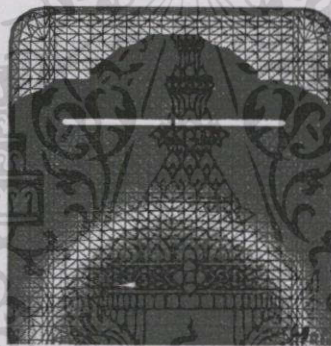
รูปที่ ก1 แสดงถึงการไหลของพลาสติกเหลวผ่าน Insert สำหรับแม่พิมพ์ที่ยังไม่ได้แก้ไข

ตารางที่ ก2 ตารางค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยน ไปที่เวลาต่างๆเมื่อพลาสติกเหลวไหลชนแท่ง Insert สำหรับแม่พิมพ์ที่ได้แก้ไขช่องทางการไหลแล้ว

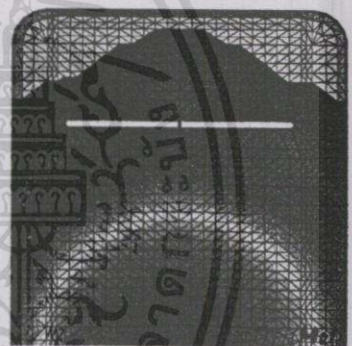
Distance (mm)	Times (s)	Temp (°C)
0	3.5822	284.32
7.3	3.6579	278.5
14.6	3.6986	274.98
21.9	3.7733	271.1
29.2	3.8125	268.03
36.5	3.9155	267.28
43.8	3.967	268.63



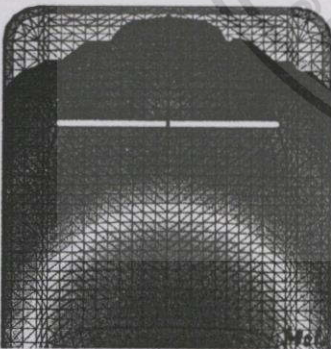
MF@3.5497



MF@3.6986



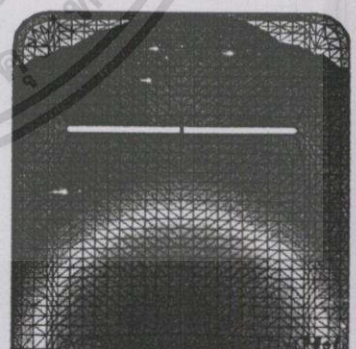
MF@3.7733



MF@3.9155



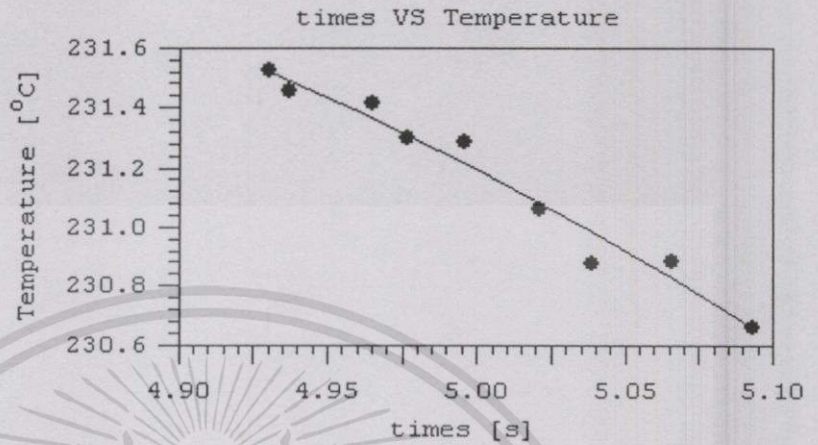
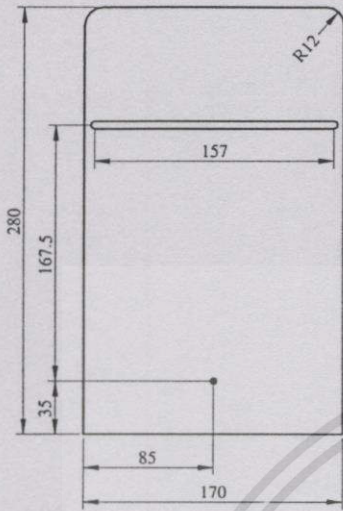
MF@4.0185



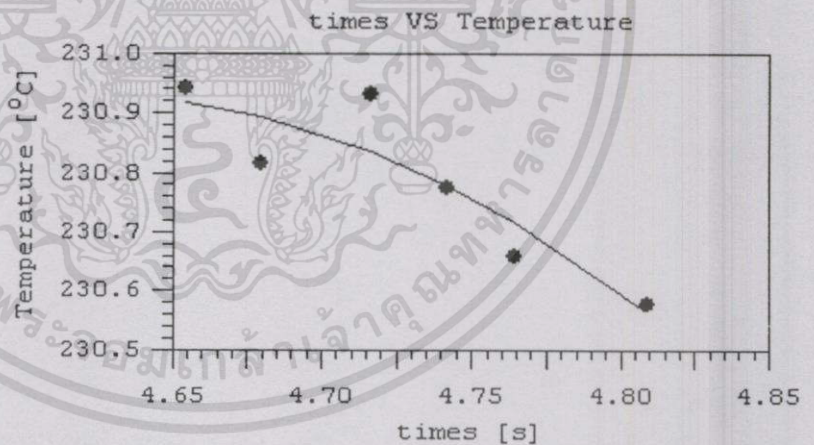
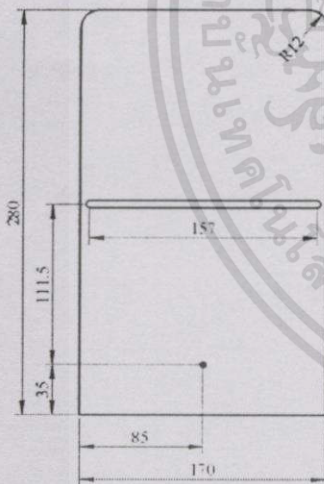
MF@4.1216

รูปที่ ก2 แสดงถึงการไหลของพลาสติกเหลวผ่าน Insert สำหรับแม่พิมพ์ที่ได้แก้ไขแล้ว

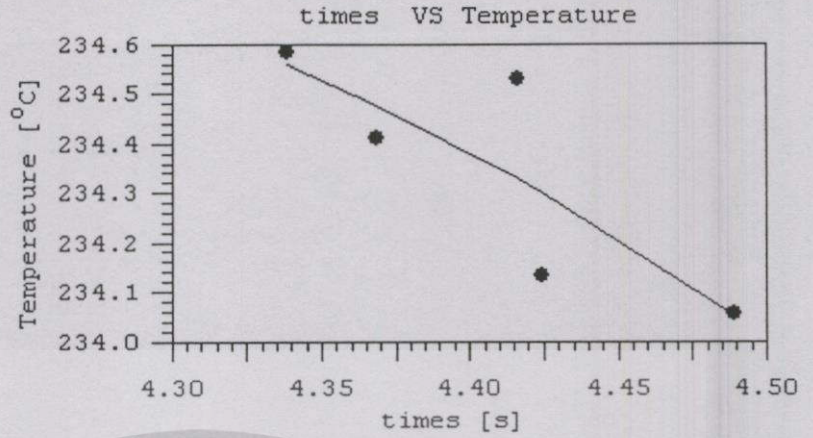
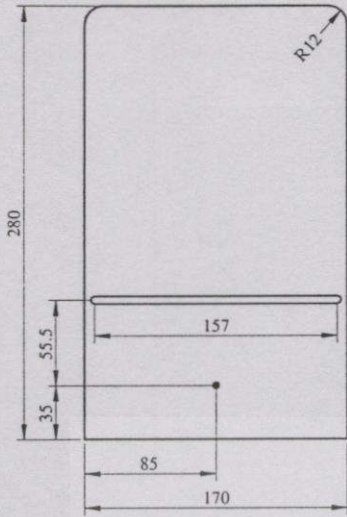
ภาคผนวก ข



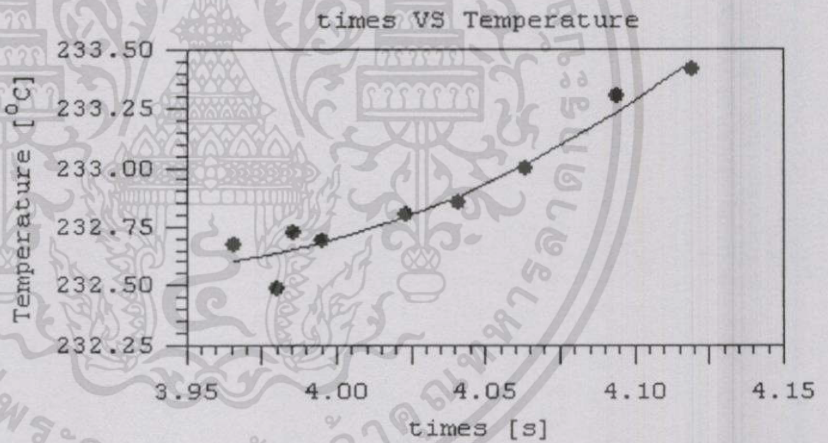
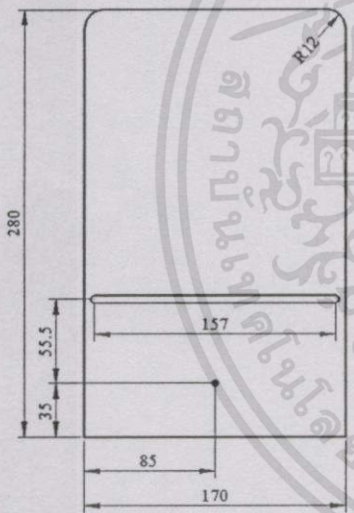
รูปที่ ข1 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 157 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 167.5 mm



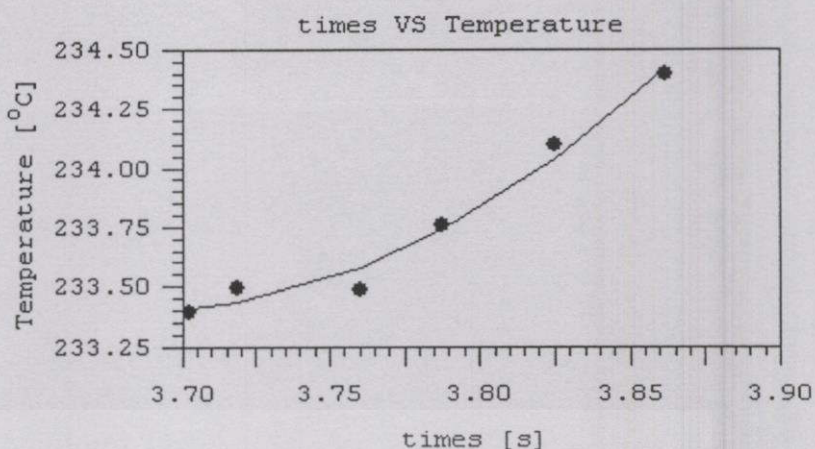
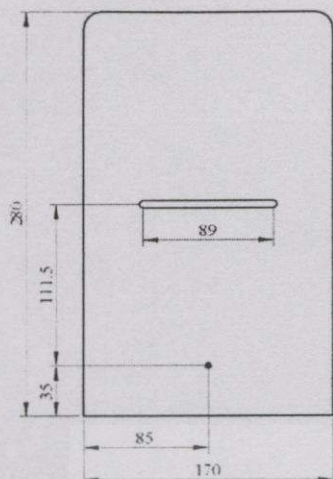
รูปที่ ข2 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 157 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 111.5 mm



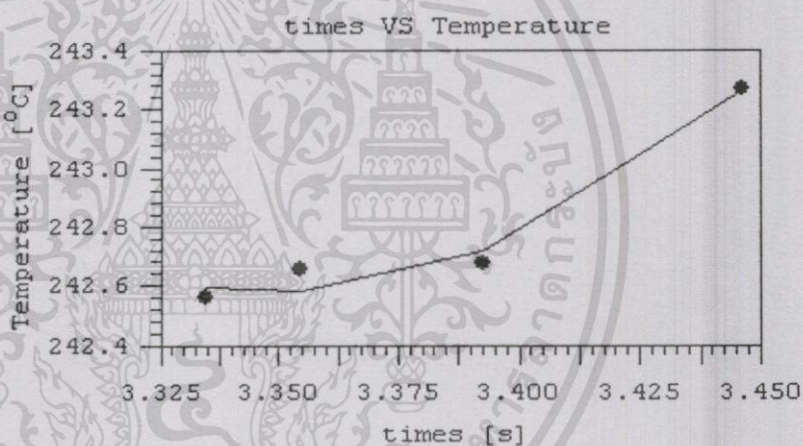
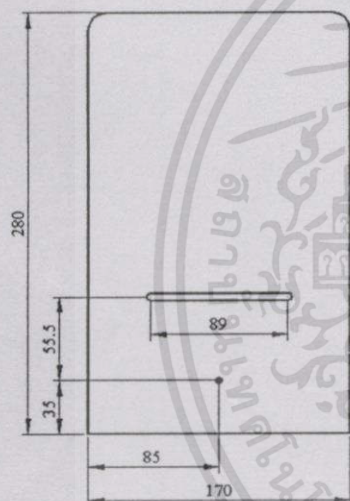
รูปที่ ข3 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 157 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 55.5 mm



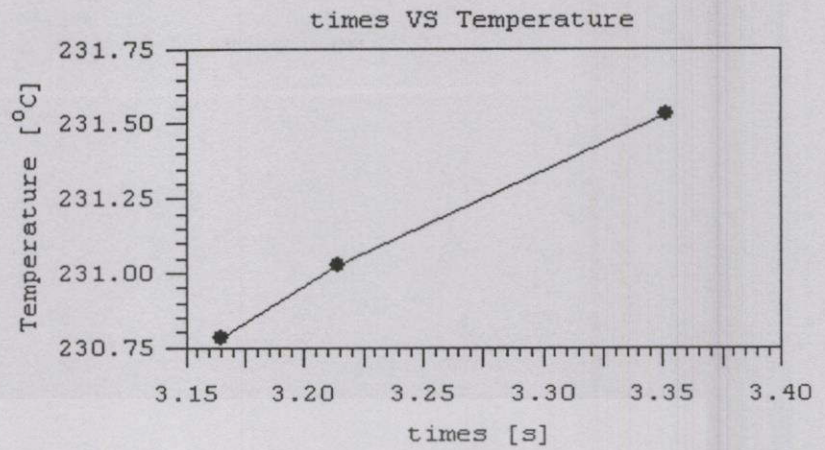
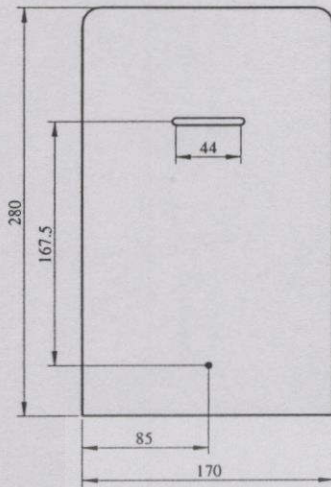
รูปที่ ข4 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 89 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 167.5 mm



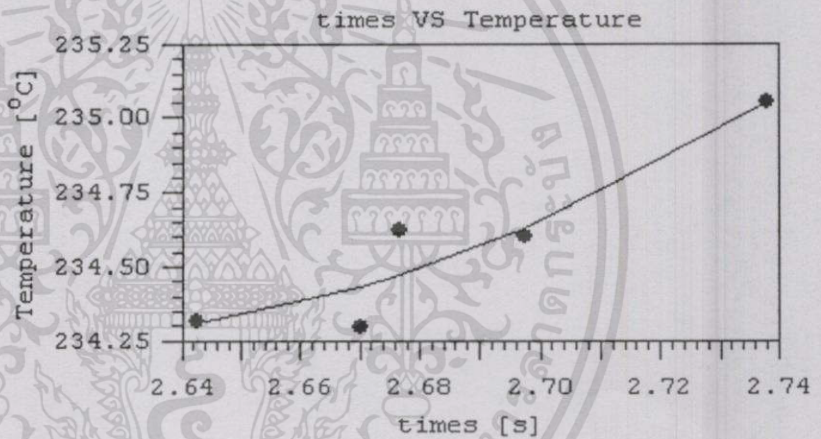
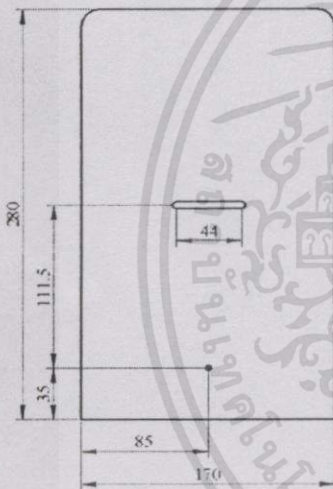
รูปที่ ข5 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 89 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 111.5 mm



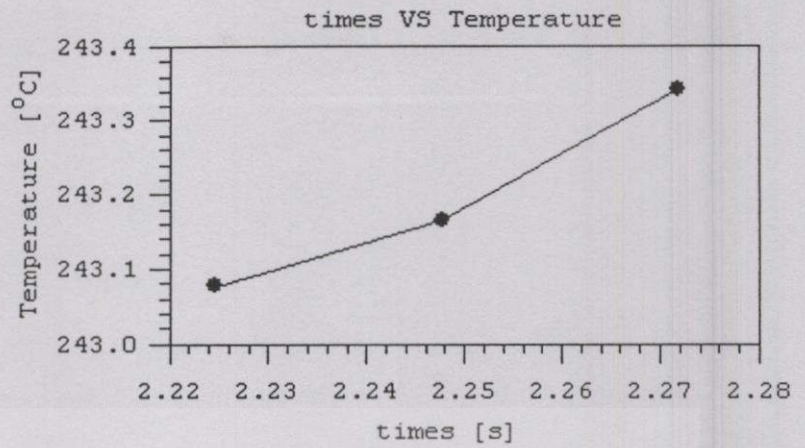
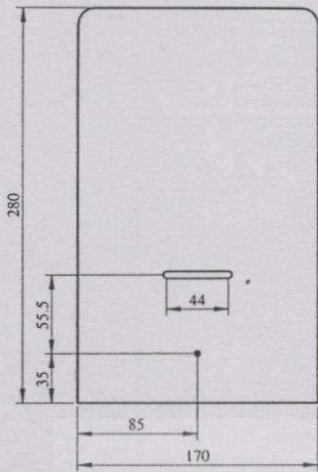
รูปที่ ข6 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 89 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 55.5 mm



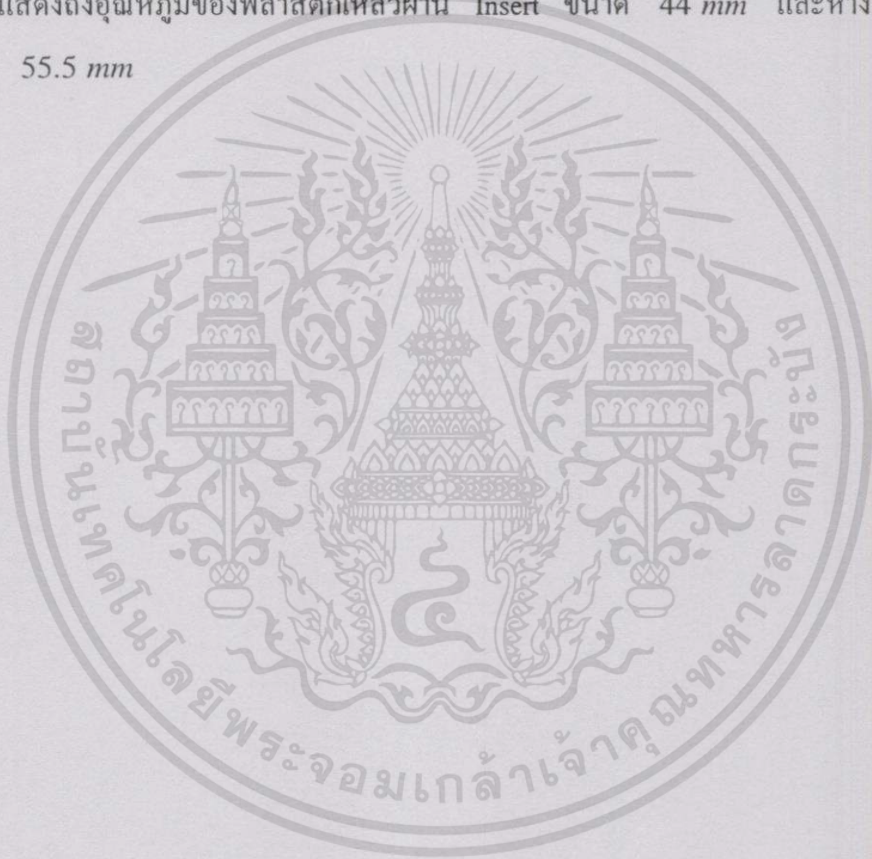
รูปที่ ข7 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 44 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 167.5 mm



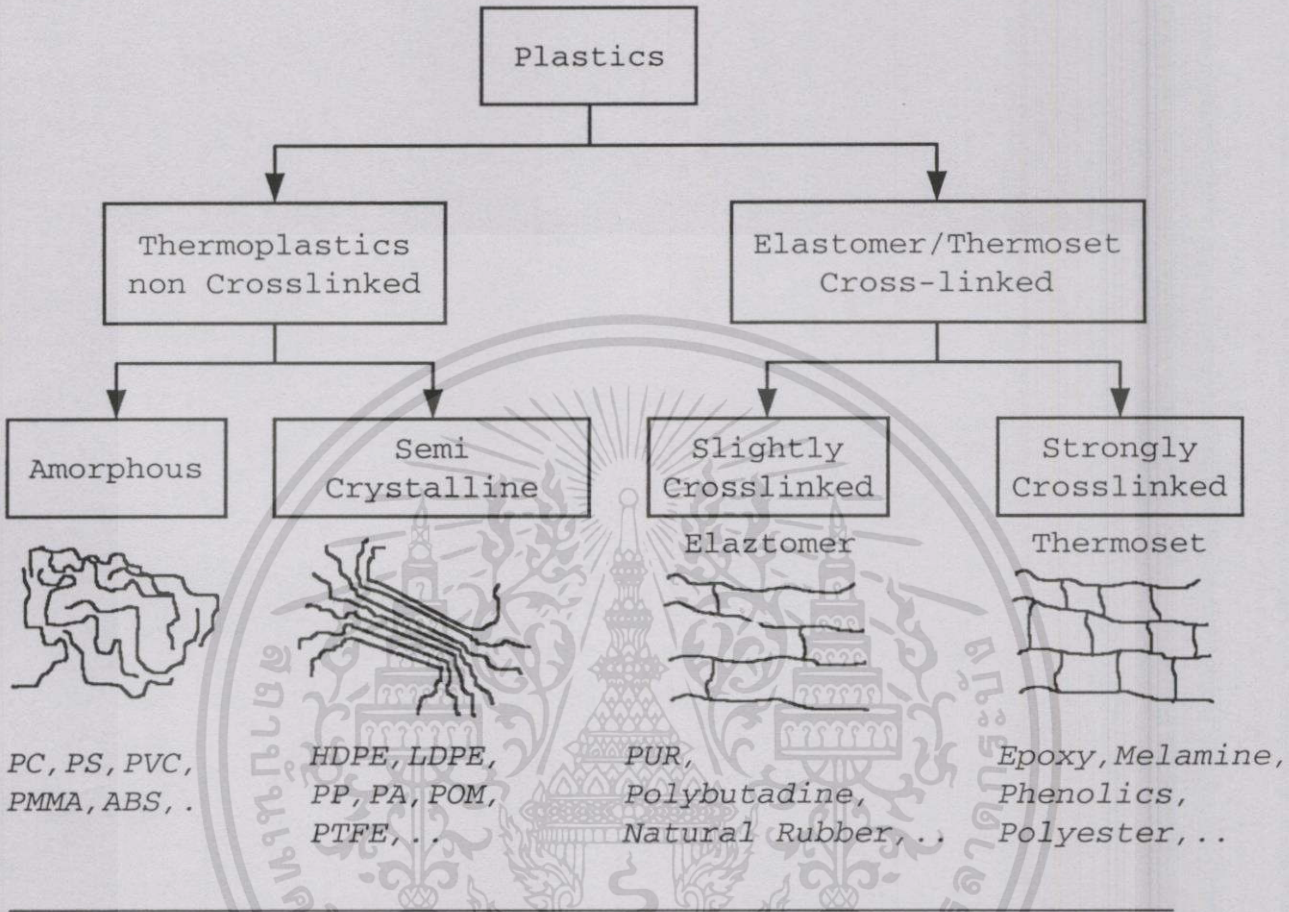
รูปที่ ข8 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 44 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 111.5 mm



รูปที่ ข9 แสดงถึงอุณหภูมิของพลาสติกเหลวผ่าน Insert ขนาด 44 mm และห่างจากตำแหน่งฉีด 55.5 mm



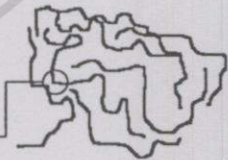
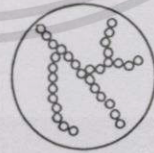
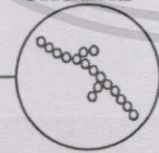
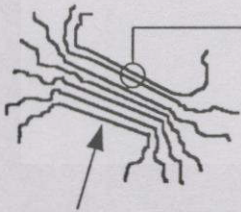
ภาคผนวก ค
คุณสมบัติของพลาสติก



Crystalline or Semicrystalline

Slightly branching, linear or very ordered regular branching chains

Amorphous



Crystalline Regions: Orderly Arranged Tightly Packed Chins

highly branching or long side chains or large functional group

Canot form Orderly Arranged Region, Unstructure

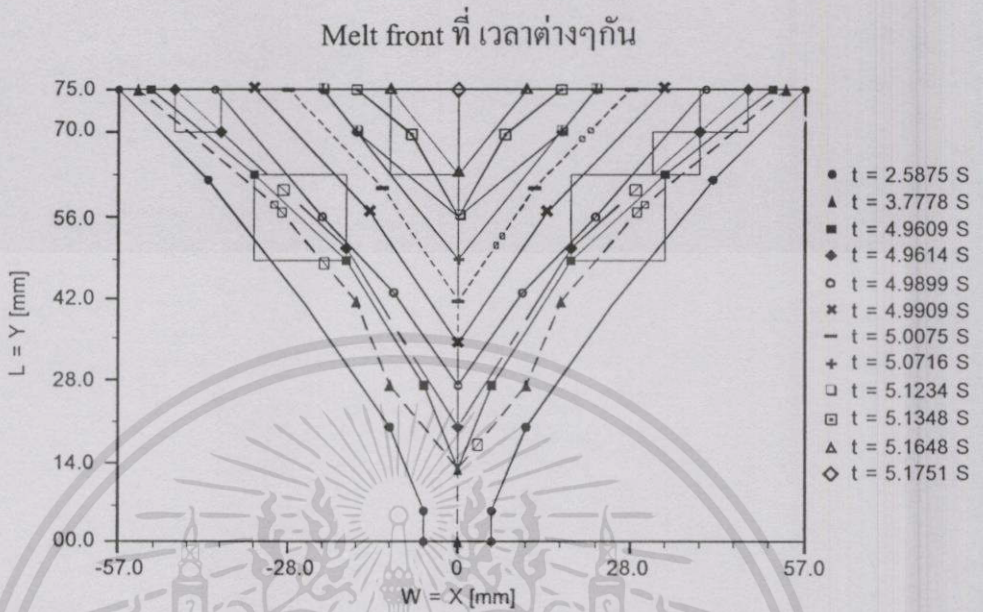
Example:

HDPE, LDPE, PP, PA, POM, PTFE, .

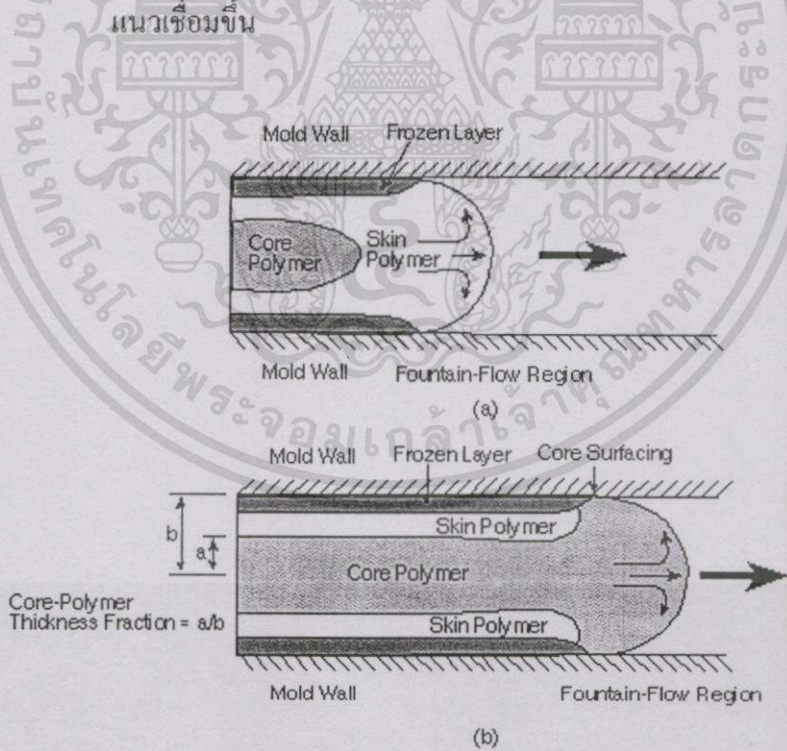
Example:

PC, PS, PVC, PMMA, ABS, .

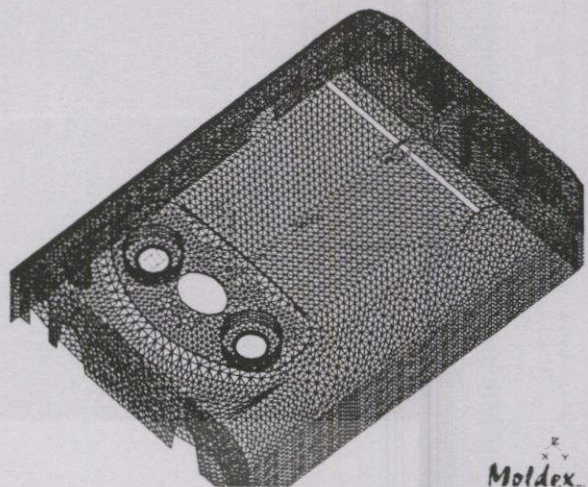
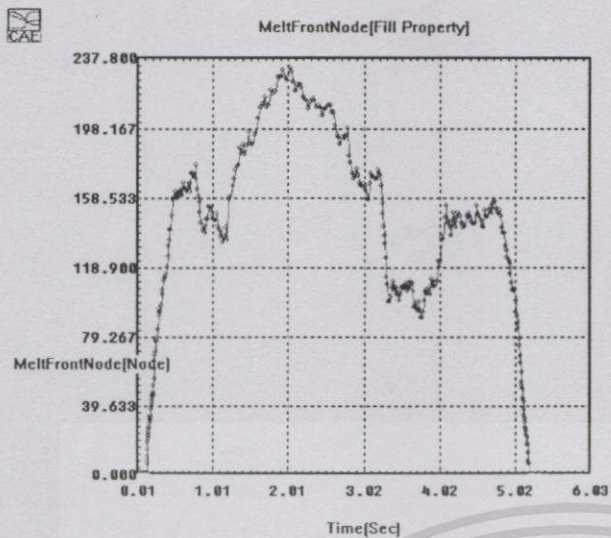
ภาคผนวก ง



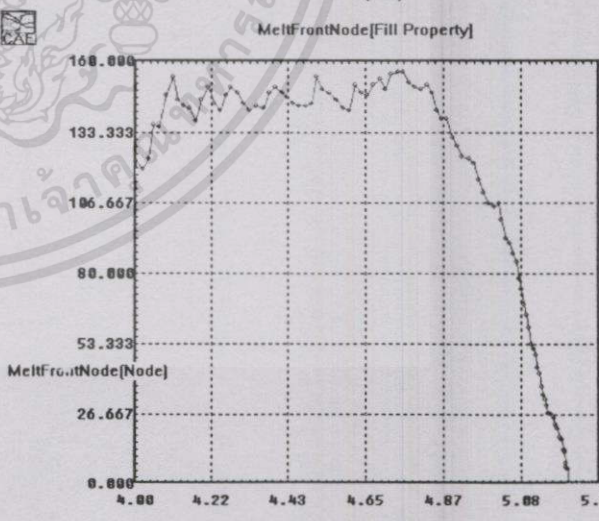
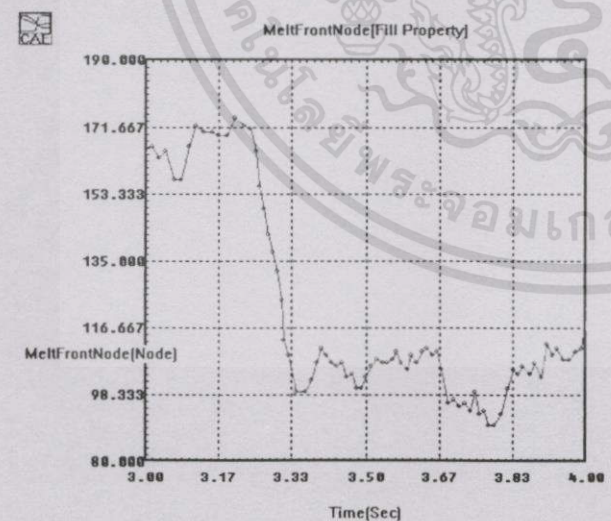
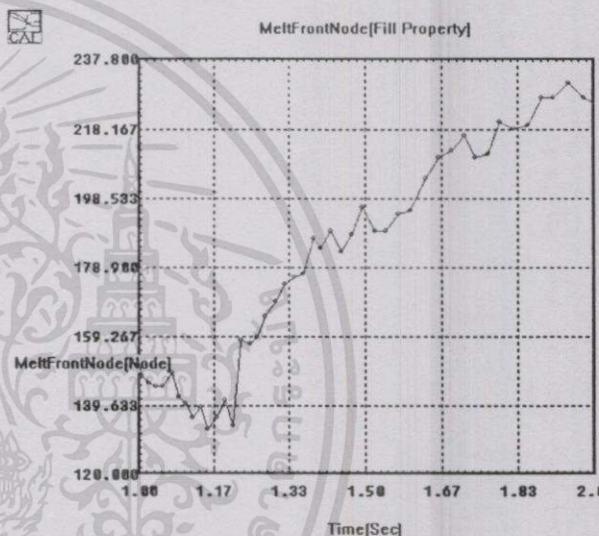
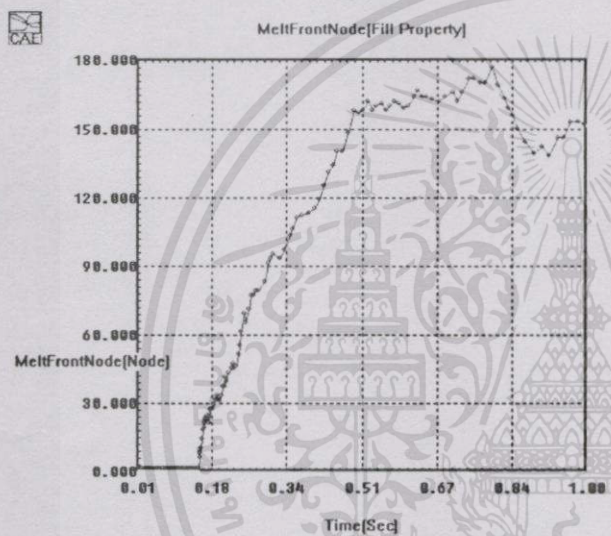
รูปที่ ง1. แสดงรูปแบบการหลอมรวมตัวกันของพลาสติกเหลวที่ส่งผลทำให้เกิดเส้น



รูปที่ ง2. แสดงภาพตัดขวางของพลาสติกเหลวที่ไหลภายในแม่พิมพ์



Moldex

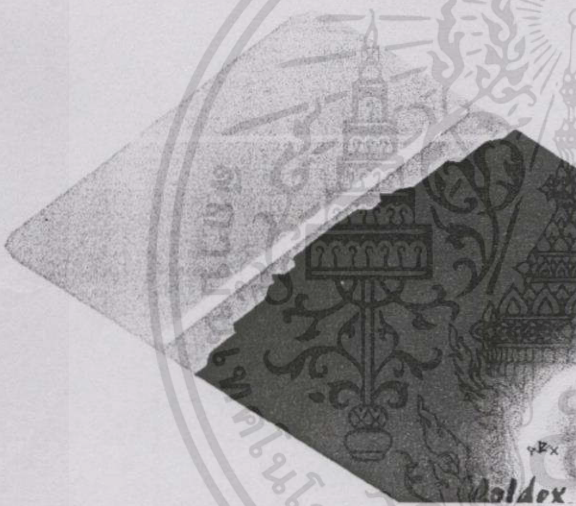
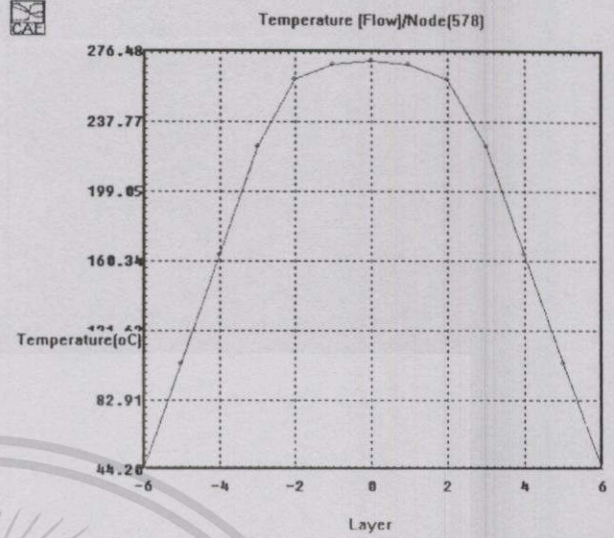


รูปที่ 3. แสดงถึง Node ต่างๆที่พลาสติกเหลวไหลผ่านขณะทำการฉีดพลาสติกจนเต็มแม่พิมพ์ที่ เวลา 0 – 5.3 sec

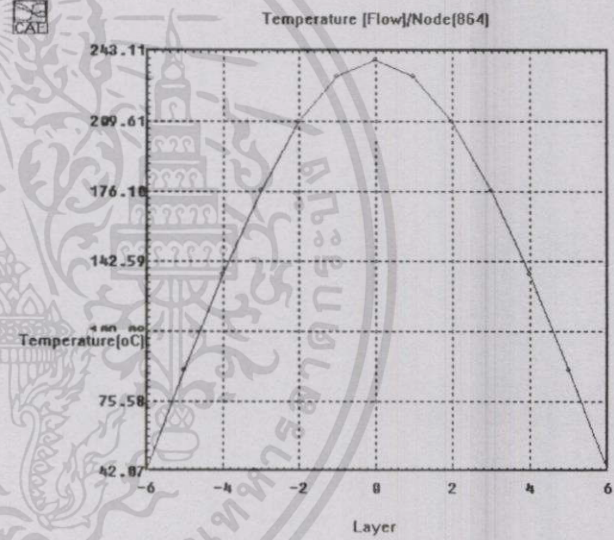
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



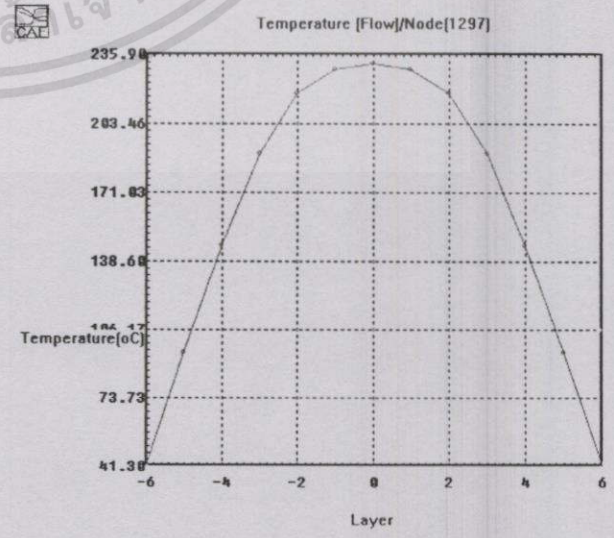
MF@t 2.5875



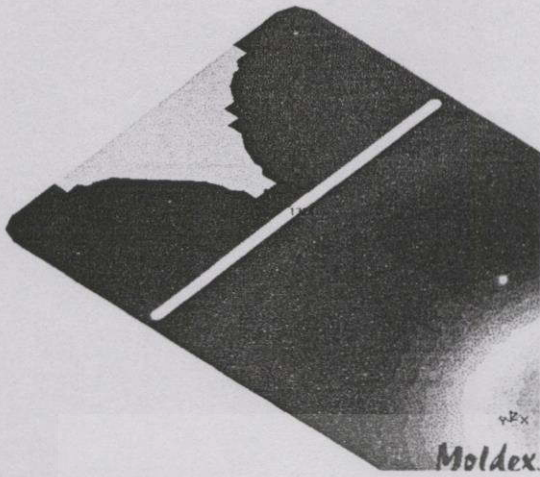
MF@t 3.7778



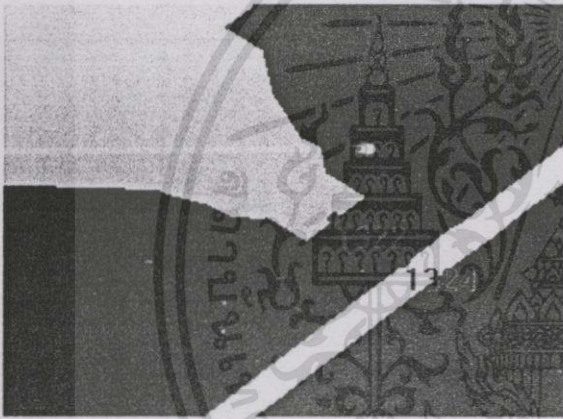
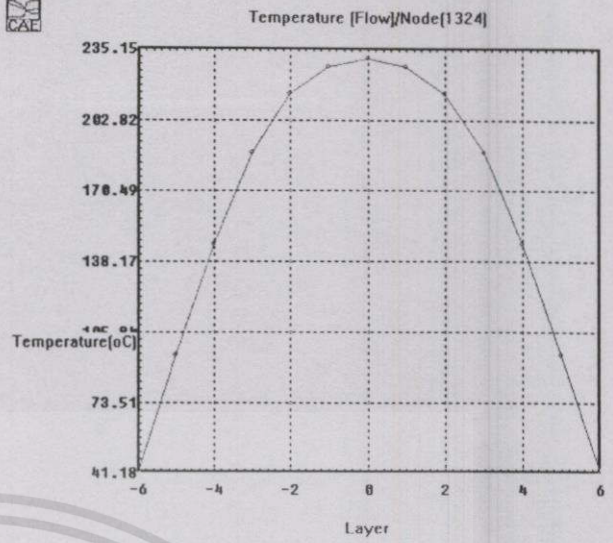
MF@t 4.9609



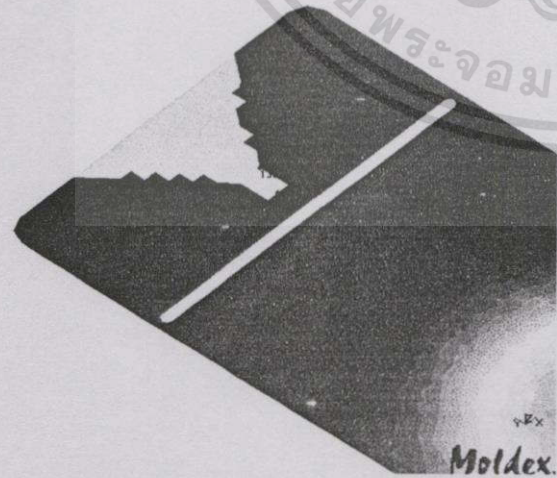
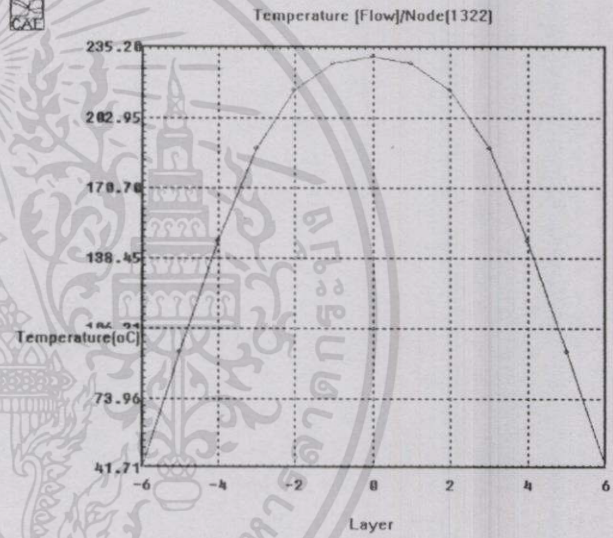
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



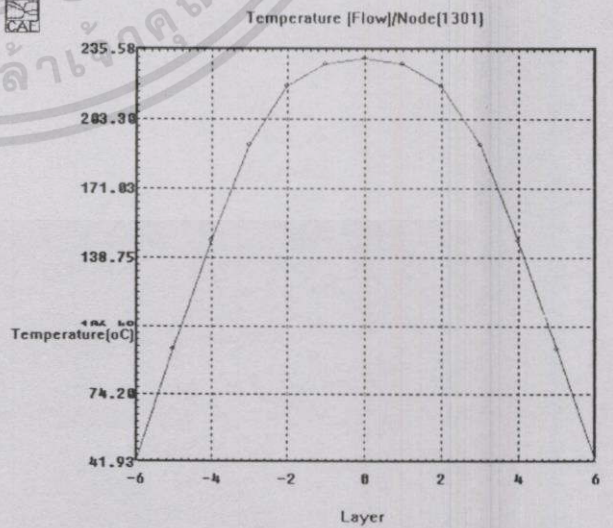
MF@t 4.9614



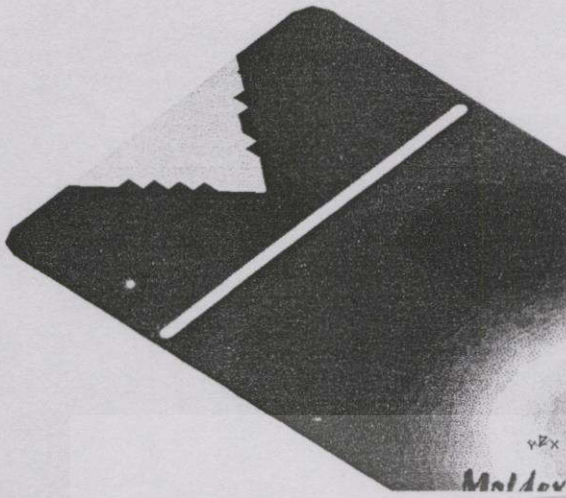
MF@t 4.9614



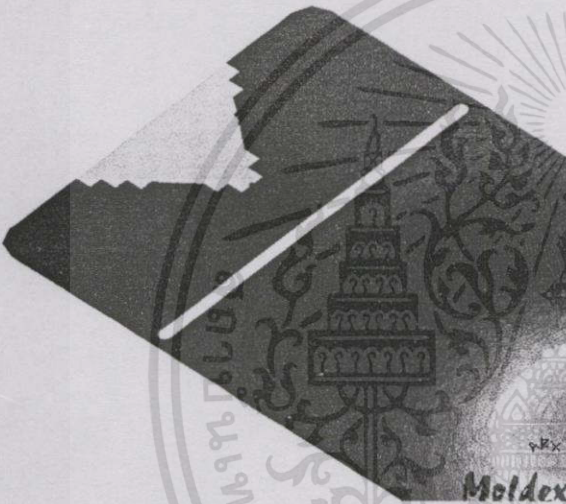
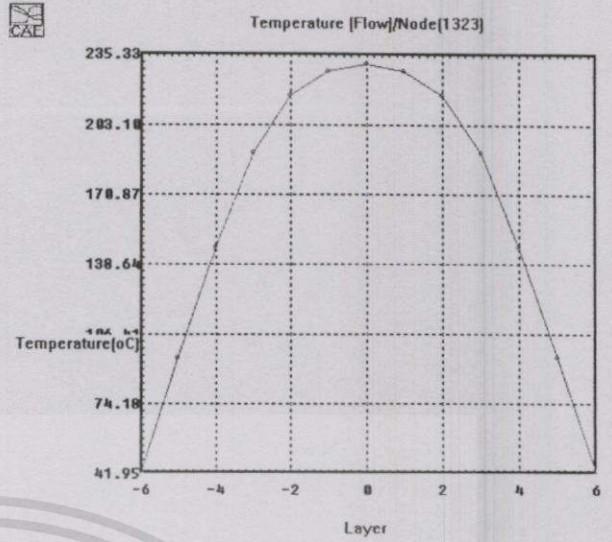
MF@t 4.9899



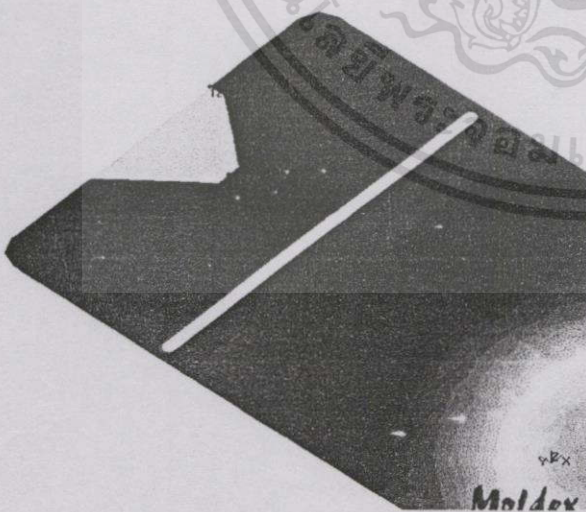
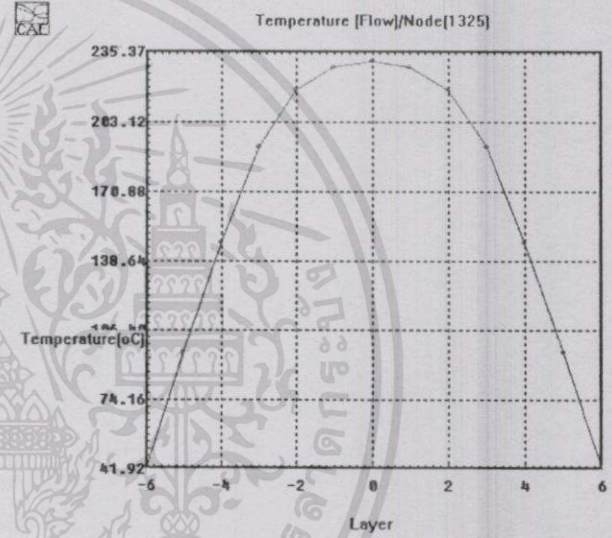
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



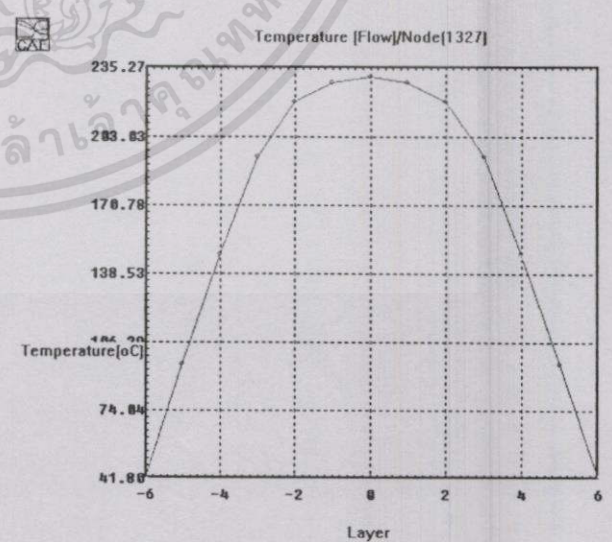
MF@t 4.9909



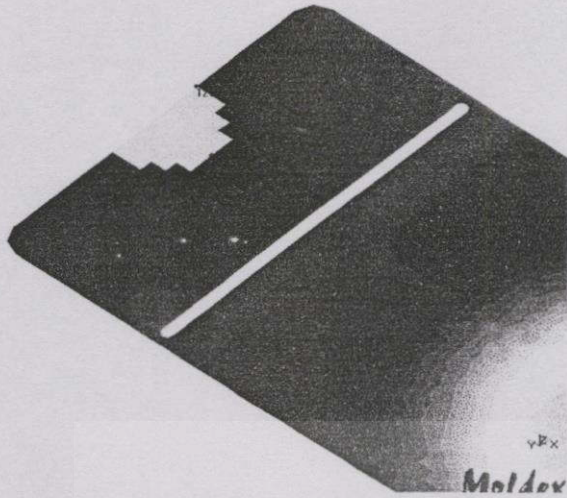
MF@t 5.0075



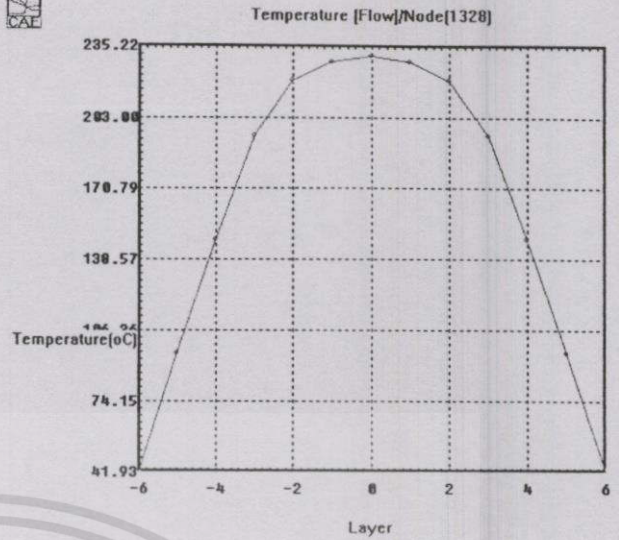
MF@t 5.0716



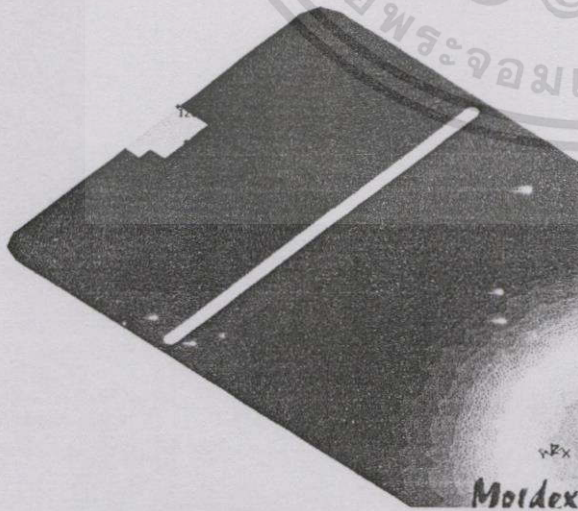
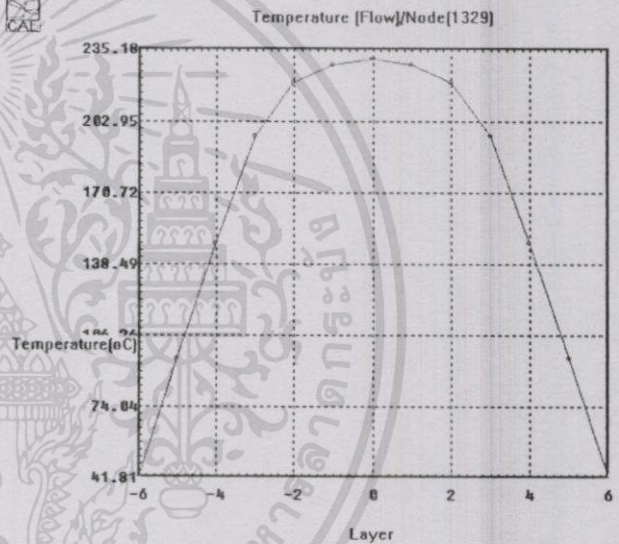
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



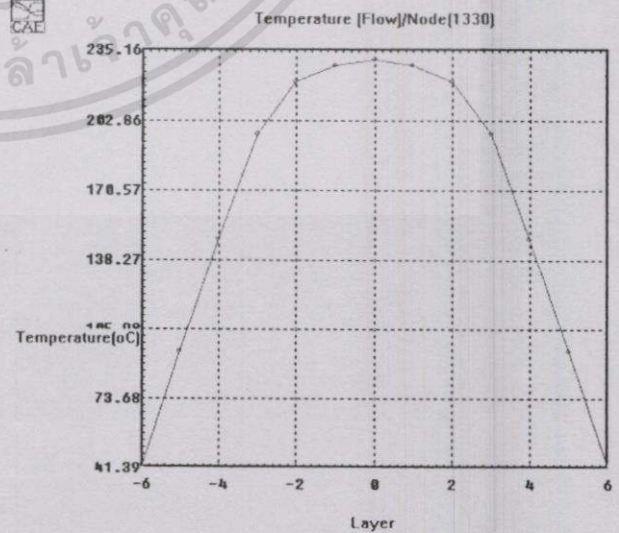
MF@t 5.1234



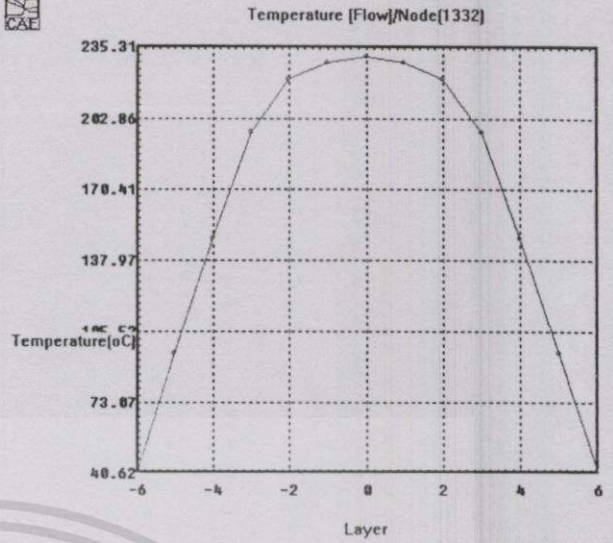
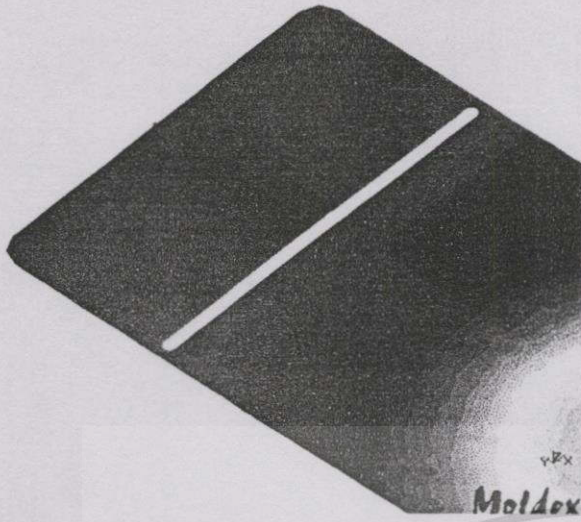
MF@t 5.1348



MF@t 5.1648



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MF@t 5.1751



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย

ME-NETT

Y2000

14th Conference

Jan-Dec 2000

30th Anniversary

Faculty of Engineering, Chiang Mai University

2 - 3 พฤศจิกายน 2543
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่ม Thermo - Fluids

	บทความ	หน้า
1.	Unsteady Convective Heat Transfer over a Bluff Rectangular Plate Anotai Suksangpanomrung	1
2.	สภาพการถ่ายเทความร้อนของของไหลผ่านกลุ่มท่อภายใต้สนามไฟฟ้า สุจินต์ จิระชีวะนันท์, จีวรธรรม เคียรต์สุวรรณ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	8
3.	พฤติกรรมเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงความถี่สูงแบบ Helmholtz อัครเดช สีนรุภัก, จำลอง ปราบแก้ว และ นายปราโมทย์ เรืองฤทธิ์	15
4.	การลดทอนเสียงรบกวนย่านความถี่ต่ำ ในท่อนำคลื่นเสียงที่มีอากาศไหลโดยใช้ แหล่งกำเนิดเสียงควบคุม, อัครเดช สีนรุภัก, ทวี เทศเจริญ และ บัญชา วิเชียรชม	20
5.	แบบจำลองการฉีดพลาสติกในสภาวะของเหลว จารุวัตร เจริญสุข และ เมธิ์ ใบงาม	26
6.	การจำลองการไหลและการถ่ายเทความร้อนสำหรับการทำนายการหดตัวและการ บิดงอของพลาสติกในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด จารุวัตร เจริญสุข และ อภินิษฐ์ สอนตระกูล	34
7.	การประเมินภาระทางอากาศพลศาสตร์บนใบพัดกังหันลมด้วยวิธีพหุ นิระพงษ์ สงเคราะห์ และ อุดมเกียรติ นนทแก้ว	40
8.	การคำนวณการไหลหมุนวนแบบอนุกรมกึ่งที่ในเตาเผาโดย Algebraic Reynolds stress Model พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ ปรีญา รววมภักติกุล	47
9.	ค่าโพรงอากาศที่มีผลกระทบต่อการคำนวณสมรรถนะของใบจักรเรือ : ตอน(1) หาจุดเหมาะสม อัครเดช สีนรุภัก และ จารุพันธ์ หนูสมดม	53
10.	Experimental Investigation of Temperature Reduction in a Ranque - Hilsch Vortex Tube Smith Eiamsa - ard Lerkiat Vongsarnpigoon and Pongjet Promvonge	60
11.	การศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลแบบปั่นป่วน ในช่องที่มีการฉีดด้านข้าง พงษ์เจต พรหมวงศ์, ชินรักษ์ เรือรพงษ์ และ สมชาย ศรีพัฒนพิพัฒน์	66

แบบจำลองการฉีดพลาสติก ในสภาวะของเหลว Simulation Polymer Molding in Filling Stage

ดร. จารุวัตร เจริญสุข และ เมธี ไบงาม

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร (02) 326-9987, โทรสาร (02) 326-9053

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอ การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการจำลองการไหล และการกระจายตัวของพลาสติกเหลว ในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ตัวแปรที่สนใจศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ พลาสติกเหลว, อุณหภูมิแม่พิมพ์, ความดันฉีด และความเร็ว สกรูฉีด ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรม ในการไหลของพลาสติกเหลวที่เงื่อนไขต่าง ๆ กัน รวมถึงการ เกิด Weld line ในแม่พิมพ์ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญ ค่าที่เหมาะสม ของตัวแปรที่สนใจศึกษาได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ ในขั้นตอน การฉีดพลาสติกจริง โดยผลลัพธ์ที่ได้เมื่อเทียบกับการ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีความสอดคล้องกัน มาก และช่วยลดเวลาในขั้นตอนการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม ด้วยการทดลองฉีดจริงแบบ Trial and error ได้มาก

Abstract

This paper presents the use of CAE software to simulate flow of plastic in liquid stage on injection molding process. The parameter considered in this work are melting temperature, mold temperature, pressure and speed of screw feed. The results obtained in this work show the characteristic of flow at different condition. Also, the reasons of weld line problem are investigated. The suitable value of the parameters are applied in the real molding process. The result obtained at this stage consistent with the results obtained by using CAE software and helps cut down time consuming in finding the suitable parameter by trial and error in real experiment.

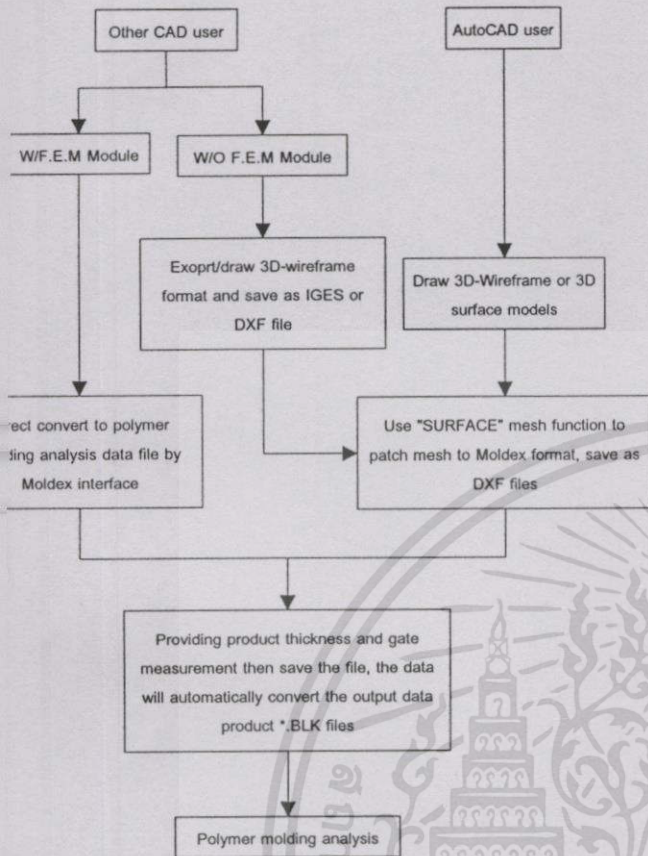
1. บทนำ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์พลาสติกมีบทบาทมากขึ้น ต่อชีวิตประจำวัน โดยในอุตสาหกรรม ได้มีการผลิตสินค้าให้เพียงพอ ต่อผู้บริโภค ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องเกิดความเสียหายน้อยที่สุด และหนึ่งในปัญหาที่พบบ่อยคือ การเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line ในชิ้นงาน โดยในงานวิจัยที่ได้นำเสนอต่อไปนี้มุ่ง เน้นแก้ปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line ในชิ้นงาน เครื่องทำน้ำอุ่น และพลาสติกที่ใช้คือ (ABS Acrylonitrile Butadiene Styrene) ในการฉีดพลาสติกแต่ละครั้ง จะมีตัวแปรควบคุมคือ อุณหภูมิหลอมเหลวพลาสติก, อุณหภูมิแม่พิมพ์, ความดันฉีด และ ความเร็ว Screw feed เดิมการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ หนึ่งในจะใช้วิธีการทดลอง ซ้ำๆ Trial error จนกว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความเสียหาย น้อยที่สุด ซึ่งวิธีดังกล่าวจะเสียเวลานาน และยังสิ้นเปลือง วัสดุเป็นจำนวนมาก โดยในงานวิจัยนี้ได้้นำโปรแกรม คอมพิวเตอร์ช่วยในส่วนของ การสุ่มทดลอง Trial error เพื่อ หาค่าตัวแปรควบคุมที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line น้อยที่สุด

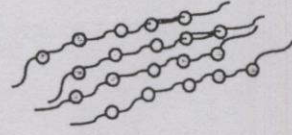
วัตถุประสงค์

1. ลดวัสดุก่อนทำการผลิตจริงเนื่องจากการ สุ่มทดลอง Trial error
2. หาเวลาที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้น
3. กำหนดค่าตัวแปรควบคุมที่เหมาะสมเช่น อุณหภูมิ, ความเร็วสกรู, และ ความดัน
4. ลดปัญหาการเกิด รอยแนวเชื่อมของพลาสติก Weld line กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิต

2. ขั้นตอนการสร้าง 3D Mesh สำหรับ Moldex



ยึดเหนี่ยวของโมเลกุลมีลักษณะไม่ถาวร เช่น แอสเซทอล, อะคริลิก, ฟลูออโรคาร์บอน ฯลฯ



รูปที่ 2 แสดงถึงลักษณะเส้นใย Thermoplastics

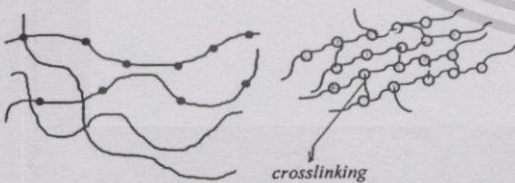
ตารางที่ 1 แสดงถึง Layer Control ในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ด้วย

AutoCAD

Type	Element Type	Definition for layer name	Color	
POINT	Entrance Melt	EM\$	Green	
	Entrance Gas	EG\$	Green	
	Entrance Coolant	EC\$	Green	
LINE	Runner Cold	RC\$1000X RC\$1000-2000X	Red	
	Runner Hot	RH\$1000X RH\$1000-2000X	Red	
	Channel Melt	CM\$1000X CM\$1000-2000X	Red	
	Channel Gas	CG\$1000X CG\$1000-2000X	Red	
	Channel Coolant	CC\$1000X	Red	
	3DFACE	Face Cavity	FC\$1000X FC\$1000-2000-3000-4000X	Not define
		Face Base	FB\$	Not define

3. คุณสมบัติของ เม็ดพลาสติก

3.1 Thermosetting คือ พลาสติกที่มีรูปร่างถาวรเมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้ความร้อน Heat และแรงอัด Compression หรือผ่านกรรมวิธีการผลิตประเภทหล่อพลาสติก Casting ซึ่งจะไม่สามารถหลอมละลายนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น อามิโน อีพอกซี, ฟีนอลิก, โพลีเอสเตอร์, ซิลิโคน, ยูเรเทน ฯลฯ



รูปที่ 1 แสดงถึงลักษณะเส้นใยพลาสติกแบบ Thermosetting

3.2 Thermoplastic คือ พลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลังจากนำไปหล่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากแรง

4. พารามิเตอร์ที่สำคัญในการฉีด

เพื่อให้ชิ้นงานที่ทำการฉีดมีคุณภาพที่ดี จะต้องคำนึงถึงเงื่อนไขที่สำคัญในการฉีด โดยทั่วไป จะพิจารณาเงื่อนไขดังนี้

4.1 อุณหภูมิพลาสติกเหลว

อุณหภูมิพลาสติกเป็นอุณหภูมิของพลาสติกเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดในขณะที่ทำการฉีด อุณหภูมิของพลาสติกเหลวที่ใช้ในการฉีดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกซึ่ง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้พลาสติก (ABS Acrylonitrile Butadiene Styrene) ซึ่งมีอุณหภูมิหลอมเหลวอยู่ในช่วง [9] 200 °C – 270 °C

4.2 อุณหภูมิแม่พิมพ์

เราสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของน้ำหรือน้ำมันที่ไหลเข้าหมุนเวียนอยู่ในแม่พิมพ์ ซึ่งอุณหภูมิในการปรับตั้งก็ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ [9] พลาสติก (ABS Acrylonitrile Butadiene Styrene) อุณหภูมิแม่พิมพ์อยู่ในช่วง 50-90 °C

4.3 เวลาในการฉีด

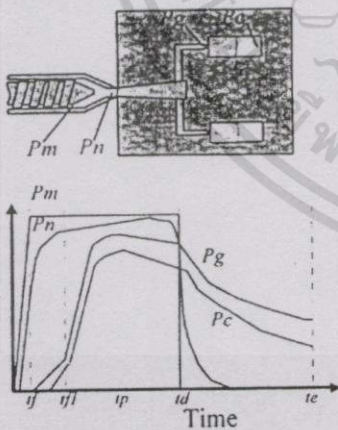
เวลาที่ใช้ในการฉีดพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์ ผู้ปฏิบัติการไม่สามารถจะปรับตั้งค่าได้โดยตรงที่ตัวเครื่องฉีด เพราะจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของ Screw Feed (ความเร็วฉีด) และระยะทางของพลาสติกเหลวที่อยู่หน้าตัวป้อน

4.4 ความเร็วในการฉีด

ความเร็วในการฉีด เป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของ Screw feed เพื่อดันพลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายเกลียวหนอนให้ไหลเข้าแม่พิมพ์ ความเร็วในการฉีดจะเกิดควบคู่ไปกับความดันฉีด เพราะดันกำลังขับมาจากจุดเดียวกัน ความเร็วในการฉีดจะเป็นตัวควบคุมความดันฉีด กล่าวคือถ้าเราใช้ความเร็วฉีดสูงขึ้นความดันฉีดก็จะมากขึ้นตาม แต่จะไม่เกินค่าสูงสุดที่เราตั้งไว้ให้กับเครื่องความดันฉีด

4.5 ความดันในการฉีด

ความดันฉีดเป็นความดันที่เกิดขึ้นได้ในหลายส่วน ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงถึงความดันที่เกิดขึ้นขณะฉีดพลาสติก ณ ตำแหน่งต่างๆ

P_m คือความดันเริ่มต้น ซึ่งจะอยู่บริเวณ Screw ฉีด
 P_n คือความดันที่เกิดขึ้นบริเวณ ช่องแคบก่อนฉีดเข้าแม่พิมพ์

P_g คือความดันที่เกิดขึ้น บริเวณท่อทางไหลของพลาสติก
 P_c คือความดันที่เกิดขึ้นภายในตัวแม่พิมพ์ ขณะทำการฉีด

5. สมการที่ใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของพลาสติก สำหรับ Moldex

Newtonian fluid	$\eta = \eta_0$
Power law	$\eta = B \exp\left(\frac{T_b}{T}\right) \dot{\gamma}^{n-1}$
Modified cross model (01)	$\eta = \frac{\eta_0}{1 + C\left(\eta_0 \dot{\gamma}\right)^{1-n}}$ $\eta_0 = B \exp\left(\frac{T_b}{T} + D \cdot P\right)$
Modified cross model (02)	$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\eta_0 \dot{\gamma} / \tau_s\right)^{1-n}}$ $\eta_0 = B \exp\left(\frac{T_b}{T} + D \cdot P\right)$
Modified cross model (03)	$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\eta_0 \dot{\gamma} / \tau_s\right)^{1-n}}$ $\eta_0 = D_1 \exp\left(\frac{-A_1(T - T_c)}{A_2 + T - T_c}\right)$ $T_c = D_2 + (D_3 \cdot P)$ $A_2 = A_{2b} + (D_3 \cdot P)$
Constant sepc. Volume	$V = V_0$
Spencier Gilmore	$V = V_0 + \frac{RT}{P + P_0}$
Tait Model	$V = V_0 \left(1 - C \ln\left(1 + \frac{P}{BT}\right)\right)$ $V_0 = b_1 \exp(-b_2 T)$ $BT = b_3 \exp(-b_4 T)$
Modified Tait Model (01)	$V = V_0 \left(1 - C \ln\left(1 + \frac{P}{BT}\right)\right)$ $V_0 = b_1 + b_2 T_{bar}$ $BT = b_3 \exp(-b_4 T_{bar})$ $T_{bar} = T - T_i$ $T_i = b_5 + b_6 P$
Modified Tait Model (02)	$V = V_0 \left(1 - C \ln\left(1 + \frac{P}{BT}\right)\right) + V_2$

$$T_b = T - b_5$$

$$T_2 = b_3 + b_6 P$$

if $(T \geq T_2)$

$$V_0 = b_{11} + b_{21} T_b$$

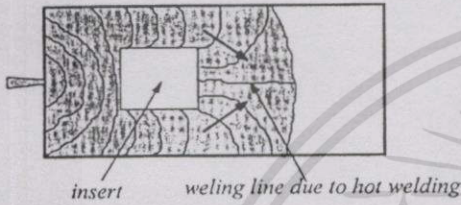
$$BT = b_{31} \exp(-b_{41} T_b)$$

$$V_2 = 0 \text{ else } V_0 = b_{15} + b_{25} T_b$$

$$BT = b_{35} \exp(-b_{45} T_b)$$

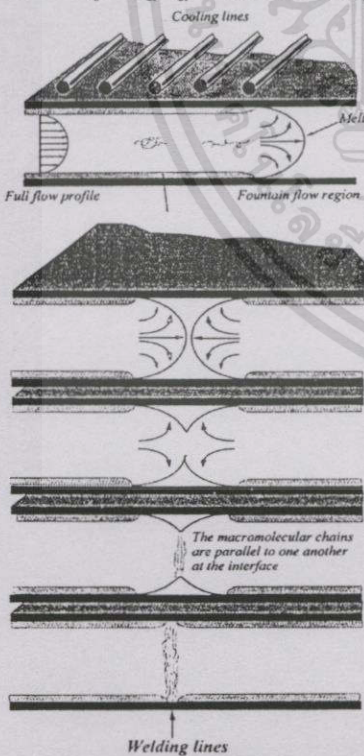
$$V_2 = b_7 \exp(b_8 T_b - b_9 P)$$

6. พฤติกรรม ที่ส่งผลทำให้เกิด เส้นแนวเชื่อม (Weld line)



รูปที่ 4 แสดงถึงลักษณะของการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line เนื่องจากอุณหภูมิสูง

เส้นแนวเชื่อม Weld line เกิดขึ้นจากการไหลของพลาสติกเหลวผ่านช่องว่างหรือ Insert มาบรรจบกันโดยที่พลาสติกเหลวนั้นมีอุณหภูมิสูง ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4

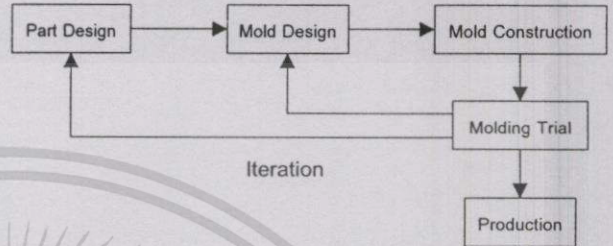


รูปที่ 5 แสดงถึงลักษณะของการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line เนื่องจาก Molecular chain ที่วางตัวขนานกัน

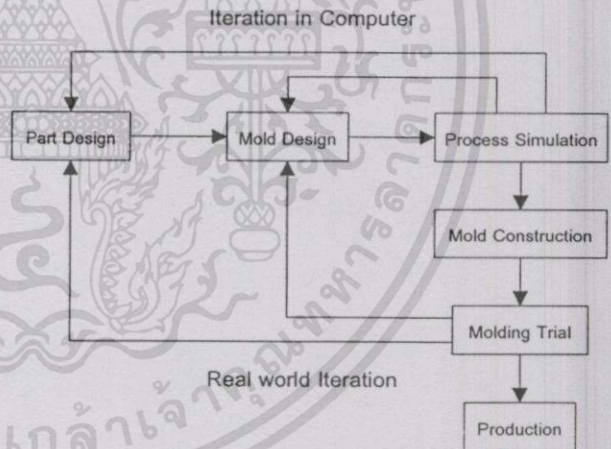
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากการไหลรวมตัวกัน ของพลาสติกเหลวขณะฉีด บริเวณที่เริ่มหลอมรวมกันทำให้โครงร่างของ Molecular chain เรียงตัวในแนวขนาน เมื่อพลาสติกเย็นตัวลงบริเวณดังกล่าว จะทำให้เกิดรอยขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5

7. ขั้นตอนการทดสอบ



ทดลองหลังจากสร้าง Mold เสร็จแล้ว ในการหาค่าตัวแปรควบคุมก่อนนำไปผลิตจริง ใช้เวลาในการทดลองต่อแม่พิมพ์หนึ่งชิ้นประมาณ 18 - 20 ชั่วโมง สิ้นเปลืองวัสดุในการสุ่มทดลอง Trial error 100 - 150 กิโลกรัม

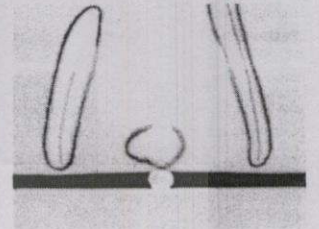
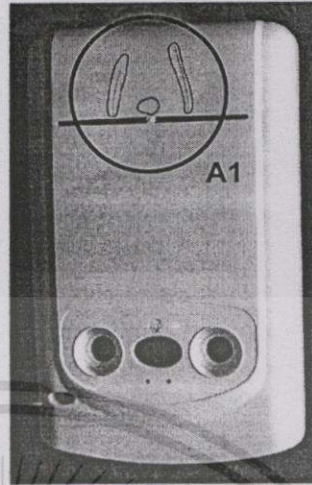


ทดลองด้วยโปรแกรมก่อนสร้าง Mold ในการหาค่าตัวแปรควบคุมก่อนนำไปผลิตจริง ใช้เวลาในการทดลองต่อแม่พิมพ์หนึ่งชิ้นประมาณ 10 - 15 ชั่วโมง ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมนำไปสุ่มทดลองจริงสิ้นเปลืองวัสดุในการทดลอง 20 - 50 กิโลกรัม และผลิตภัณฑ์ที่ทำการสุ่มทดลอง Trial error ผ่านตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

8. ผลการทดสอบ

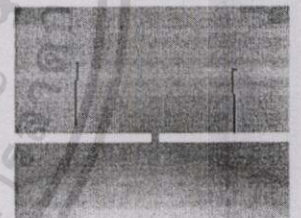
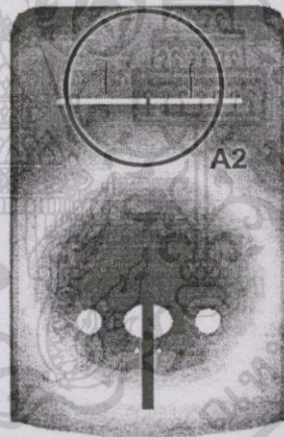


รูปที่ 6 หน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่น



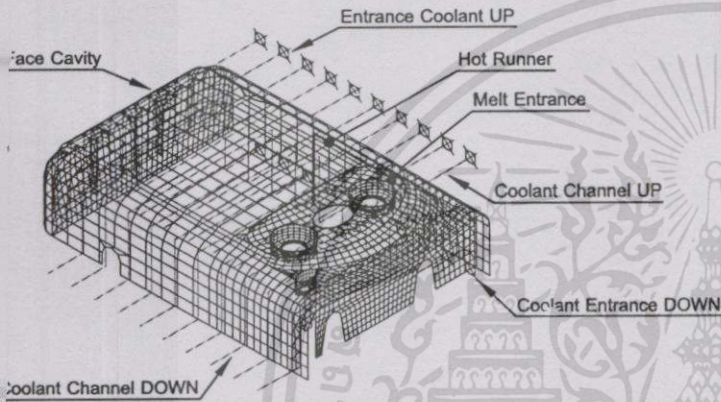
รายละเอียด A1

รูปที่ 9 ผลลัพธ์ที่มีปัญหา เกิด Weld line ก่อนทำการแก้ไข



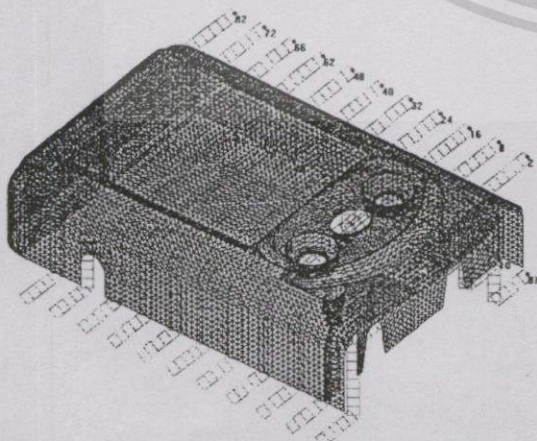
รายละเอียด A2

รูปที่ 10 ผลลัพธ์ที่วิเคราะห์ด้วย CAE



รูปที่ 7 แสดงลักษณะโครงสร้างของ Face Cavity หน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย AutoCAD

การสร้างพื้นผิว Surface 3 D หน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่น ก่อนทำการ Mesh ในโปรแกรม Moldex สร้างขึ้นจาก AutoCAD โดยมีข้อกำหนดตามเงื่อนไขที่ได้รับไว้ใน Layer control ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วย Face cavity, Cool channel, Hot runner, Cool entrance และ Melt entrance ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7

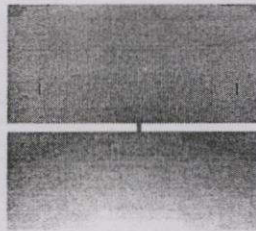
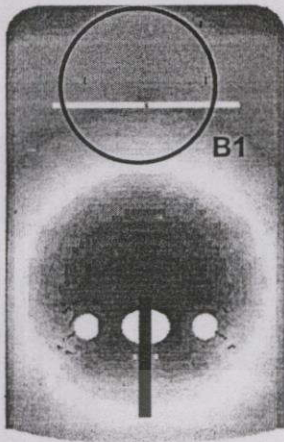


รูปที่ 8 แสดงลักษณะของการ Mesh Face Cavity

ตารางที่ 2 Traditional Approach to a New Produce

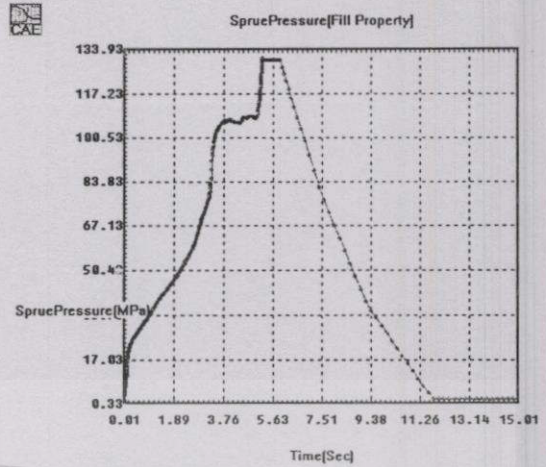
Stage	Description	Parameter	Units
Flow	Fill Time	5.000	Second
	Melt Temp	260.000	Celsius
	Mold Temp	60.000	Celsius
	Injection Pressure	200.000	Mpa
Pack	Pack Time	8.000	Second
	Pack Pressure	120.000	Mpa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายละเอียด B1

รูปที่ 11 ผลลัพธ์ที่วิเคราะห์ด้วย CAE

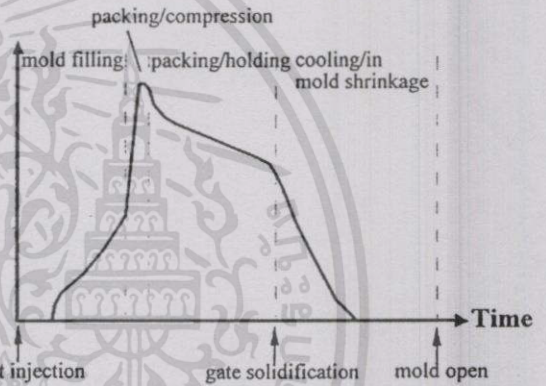


รูปที่ 13 กราฟแสดง Cycle การฉีดพลาสติกด้วย CAE Software



รายละเอียด B2

Cavity pressure



รูปที่ 14 กราฟแสดง Cycle การฉีดพลาสติกทางทฤษฎี

รูปที่ 12 ผลลัพธ์ที่ได้แก้ไขปัญหาเส้นแนวเชื่อมแล้ว

ตารางที่ 3 แสดงถึง CAE Approach Concurrent Engineering

Stage	Description	Parameter	Units
Flow	Fill Time	5.000	Second
	Melt Temp	265.000	Celsius
	Mold Temp	70.000	Celsius
	Injection Pressure	180.000	Mpa
Pack	Pack Time	10.000	Second
	Pack Pressure	130.000	Mpa

จากกราฟที่แสดงไว้ข้างต้นในรูปที่ 13 แสดงถึงขั้นตอนการฉีดพลาสติกซึ่งแบ่งออกได้ 3 ส่วนคือในส่วนของ การฉีด Mold fill จะใช้เวลาอยู่ระหว่าง 0.01 - 3.76 Sec ในส่วนของ การอัดความดัน Packing/Compression จะใช้เวลาอยู่ระหว่าง 3.76 - 5.63 Sec และในส่วนของ Packing/holding จะใช้เวลาอยู่ระหว่าง 5.63 -15.01 Sec โดยในส่วนของ การหล่อเย็น Cooling ไม่ได้นำเสนอไว้ เพราะในปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อม Weld line จะมีผลเกิดขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะ Mold Filling และ Packing/Holding

จากกราฟในรูปที่ 14 ได้แสดงขั้นตอนการฉีดพลาสติกในทางทฤษฎีโดยแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนคือ Mold filling, Packing compression, Packing/holding and Cooling

8. แนวทางแก้ไขสำหรับปัญหาการเกิดเส้นแนวเชื่อม

Weld line

ตารางที่ 4 แสดงถึงสาเหตุและการแก้ไขปัญหา การเกิดเส้นแนวเชื่อม

ส่วนที่แก้ไข	สาเหตุที่ส่งผลให้เกิด Weld line	การแก้ไข
เครื่องฉีด และขั้นตอนการฉีด	การหลอมละลายพลาสติกไม่ดี	ปรับความเร็วในการฉีดพลาสติกให้สูงขึ้น
		ปรับการฉีดในช่วง Holding ให้สูงขึ้น
		ปรับอุณหภูมิของพลาสติกให้สูงขึ้น
		ปรับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ให้สูงขึ้น
	พลาสติกไม่ได้อุณหภูมิ	ปรับความดัน Packing/Hold ให้สูงขึ้น
		ลดความเร็วรอบของ Screw feed
		เพิ่มระยะเวลาในการหล่อเย็น
	การระบายอากาศไม่ดี	ขั้นตอนสุดท้ายของความเร็วในการฉีดช่วงแรกให้ช้าลง ปรับแรงดันแม่พิมพ์ให้น้อยลง
		ทำความสะอาดแม่พิมพ์
	มีวัตถุอื่นอยู่ตรงจุดเชื่อมต่อ	อย่าพ่นน้ำยาหล่อลื่นแม่พิมพ์มากเกินไป
		เพิ่มระยะเวลาในการอบเม็ดพลาสติกให้เพียงพอ
	แม่พิมพ์ และวัตถุดิบ	-
ปรับทางเข้าช่อง Runner ให้เหมาะสม		
ปรับการระบายอากาศให้ดี		
ปรับการไหลของพลาสติกให้ดี		

6. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แล้วนำค่าที่ได้ไปผลิตจริงจะเห็นได้ว่าจำนวนของ Weld line ได้มีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัดดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 12 ซึ่งก่อนและหลังการแก้ไขค่าตัวแปรที่สนใจได้แสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบเวลาและน้ำหนักของวัสดุที่เสียไป

Description	Times of trial and error [Hour]	Material Lost [Kg]
Traditional Approach	18 - 20	100 - 150
CAE Approach	10 - 15	20 - 50

และจากผลลัพธ์ดังกล่าวที่ช่วยลดปัญหาการเกิด Weld line แล้วยังช่วยลดวัสดุและประหยัดเวลาในขั้นตอนทดลอง Trial error ก่อนฉีดจริงโดยได้แสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 6 ค่าตัวแปรที่สนใจก่อนการฉีด

Description	Traditional Approach	CAE Approach	Units
Machine capacity	350.00	350.00	Tons(m)
Melt Temp	260.00	265.00	Celsius
Mold Temp	60.00	70.00	Celsius
Resin (Hot resistant)	ABS	ABS	-
Fill Time	5.00	5.00	Second
Hold Time	8.00	10.00	Second
Open Time	3.00	3.00	Second
Eject Time	8.00	8.00	Second

จากเวลาที่ลดลงและจำนวนวัสดุที่สูญเสียลดลง เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ต่อบริษัทผู้ผลิตในการช่วยลดต้นทุนการผลิต และยังสามารถผลิตสินค้าสู่ท้องตลาดอย่างมีคุณภาพ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ยุทธนา ธนุสร สำหรับข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้ บิดา ,มารดา และเพื่อนคู่ใจที่ให้อกำลังใจและช่วยเหลือเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] William S. Janna. " Introduction to fluid mechanics ". Third edition, Boston : PWS Publishing, 1993
- [2] A.J.Baker. " Finite element Computational Fluid Mechanics ". Second edition, New York: McGraw-Hill, 1985
- [3] SAS IP, Inc, " ANSYS Theory reference. Eighth Edition "
- [4] Advanced CAE Technology, Inc. 3D-C-MOLD QUICKFILL,1987-1999
- [5] Saeed Moaveni " Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS " Prentice-Hall, Inc. 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [6] A.J. Baker " Finite Element Computational Fluid Mechanics " McGraw-Hill, Inc 1985
- [7] John D. Anderson, Jr. " Computational Fluid Dynamics " McGraw-Hill, Inc 1995
- [8] Frank M. White " Fluid Mechanics " McGraw-Hill, Inc New-York 1986
- [9] HsinChu. "Moldex Theoretical Guide" Coretech Corporation, Inc. 1995 - 1996
- [10] พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. " พลาสติก ". พิมพ์ครั้งที่ 9, กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์, 2532
- [11] วิโรจน์ เตชะวิญญธรรม. " งานฉีดพลาสติก ". กรุงเทพมหานคร : เม็ดทรายพริ้งดิ่ง, 2540



ประวัติผู้เขียน

นายเมธี ไบงาม เกิดเมื่อวันที่ 29 มกราคม 2517 สำเร็จการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ในปีการศึกษา 2538 และเริ่มศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2540

ปัจจุบันทำงานตำแหน่งอาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้