

การวิเคราะห์อิทธิพลของการหล่อเย็นที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานฉีดพลาสติก

Investigate the Effect of Cooling on the Shrinkage of Plastic Injection Part

พิชิต อ่อนปรงค์^{1*}

¹สังกัดศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ศูนย์นนทบุรี อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000

Pichit Onprang^{1*}

¹Tool and Die Technology Center, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi Mueang Nonthaburi District Nonthaburi 11000

*Corresponding author Email: opichit@hotmail.com

(Received: August 1, 2022; Revised: December 26, 2022; Accepted: December 27, 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการหล่อเย็นที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานฉีดพลาสติกชนิด พอลิโพรพิลีนเกรด PP1100NK โดยใช้โปรแกรม Cadmould ในการวิเคราะห์ และเป็นเครื่องมือในการศึกษาปัจจัยต่างๆ ของการหล่อเย็นที่มีผลกระทบต่อ การหดตัวของชิ้นงาน โดยชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองมีความหนา 1.5 mm. ใช้น้ำในการหล่อเย็น เส้นผ่านศูนย์กลางของรูหล่อเย็น กรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ใช้ขนาด 6 mm. ตำแหน่งระยะห่างรูหล่อเย็นกับผิวชิ้นงานทั้ง 3 กรณี ใช้เท่ากับ 12 mm. ระยะห่างระหว่างรูหล่อทั้ง 3 กรณี ใช้เท่ากับ 30 mm. ในกรณีที่ 1 มีการหล่อเย็นที่ Core และ Cavity กรณีที่ 2 หล่อเย็นเฉพาะ Cavity และกรณีที่ 3 หล่อเย็นเฉพาะ Core ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cadmould พบว่าการออกแบบระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ที่ถูกต้องตามกรณีที่ 1 มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงานน้อยที่สุด คือ 2.056 % และเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปทดสอบการฉีดจริงด้วยแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก พบว่าได้ผลสำเร็จสอดคล้องตามการพยากรณ์ คือค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานทดสอบตามทิศทางกรไล (แกน Y) เท่ากับ 0.89 % และ 1.45 % ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกตามทิศทางขวางกรไล (แกน x) เท่ากับ 2.29 % และ 1.83 % และขนาดพิกัดความเผื่อชิ้นงานที่วัดได้ เป็นไปตามที่ออกแบบไว้สามารถนำไปใช้งานได้

คำสำคัญ: การหล่อเย็น การหดตัวพลาสติก งานฉีดพลาสติก

Abstract

The objective of this research is to investigate how cooling affects the shrinkage of a Plastic Injection Part. The analysis was performed with a Plastic Injection Part made of Polypropylene: PP1100NK grade. The experiments were carried out using water for cooling on the different cooling positions of the injection parts with a 1.5 mm thickness and were simulated by Cadmould program. The diameter of the cooling hole in Case 1, Case 2 and Case 3 were 6 mm. The distance between the coolant hole and the workpiece is 12 mm. for Case 1 and Case 2 and Case 3. The distance between the two coolant holes in Case 1 and Case 2 and Case 3

use 30 mm. Case 1 is Core and Cavity cooled, Case 2 is Cavity cooled and Case 3 is Core cooled. Results from software analysis revealed that the correct design of the cooling system mold according to Case 1 had the least shrinkage of the workpiece at 2.056% And when using such information to test the actual injection with a plastic injection mold. Found that the results were successful in accordance with the forecast. is the percentage shrinkage of the test specimen along the flow direction (Y axis) equal to 0.89 % and 1.45 %, the percentage shrinkage of the plastic along the flow direction (x axis) is 2.29 % and 1.83 % and the size of the for measurable workpiece as designed, can be used.

Keywords: Cooling, Plastic Shrinkage, Plastic Injection Part

1. บทนำ

การหล่อเย็นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการฉีดพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเภทเทอร์โมพลาสติก เพื่อให้พลาสติกเย็นตัวก่อนที่ทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เวลาในการหล่อเย็นยังมีผลต่อเวลาในการฉีด หากเวลาในการหล่อเย็นนานเกินไปก็ทำให้อัตราการผลิตต่ำ หากเวลาในการหล่อเย็นเร็วเกินไปก็อาจทำให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวและบิดเบี้ยวหลังจากปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ การจัดวางระบบการหล่อเย็นควรทำไปพร้อมๆ กับการออกแบบระบบอื่นๆ ในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพราะการหล่อเย็นเป็นสิ่งสำคัญมากในการทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ระบบการหล่อเย็นที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ชิ้นงานเสียหายได้ เช่น การออกแบบระบบหล่อเย็นให้เล็กเกินไปอาจทำให้รอบเวลาในการฉีด (Cycle Time) มากขึ้น ในทางปฏิบัติจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวางให้เหมาะสมเพื่อการหล่อเย็นจะได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำหล่อเย็น ความยาวและระยะห่างจากผิวท่อจะต้องเหมาะสม ผิวของท่อน้ำหล่อเย็นควรทำให้เรียบพอสมควรเพื่อให้ถ่ายความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การเกิดครั้นหรือสนิมในท่อทำให้ระบบการหล่อเย็นเลวลง และเนื่องจากในปัจจุบันเทคนิคการใช้ CAE จำลองและวิเคราะห์การไหลของพลาสติก มีความถูกต้องและมีความแม่นยำสูงและมีความรวดเร็วมากขึ้นมาก จึงได้มีการนำไปใช้กันในงานวิจัยอย่างกว้างขวาง ในการทำงานประยุกต์กรรมในกระบวนการทางด้านการผลิตขึ้นรูปพอลิเมอร์

1.1. วัตถุประสงค์

1.1.1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการหล่อเย็นที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานทั้งในทิศทางการไหลและทิศทางตั้งฉากการไหล

1.1.2. สร้างแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานกล่องอเนกประสงค์แบบฝาแยกชิ้นได้

1.2. ขอบเขต

1.2.1. แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเป็นแบบสามแผ่น (Three Plate Mold) จำนวน 2 Cavity รูเข้าแบบเข็ม (Pin-Point Gate)

1.2.2. ชิ้นงานเป็นกล่องอเนกประสงค์แบบฝาแยกชิ้นได้ ขนาด 65.28 mm. × 157.28 mm. × 12 mm.

1.2.3. ใช้โปรแกรม Cadmould จำลองการฉีด โดยใช้สภาวะการฉีดเหมือนกันทุกครั้ง และทุกกรณี

1.2.4. เงื่อนไขการจำลองการฉีดด้วยโปรแกรม Cadmould แบ่งออกเป็น 3 กรณี ทุกกรณีใช้เส้นผ่านศูนย์กลางรูหล่อเย็นขนาด 6 mm. โดย กรณีที่ 1 หล่อเย็นที่ตำแหน่ง Core และ Cavity

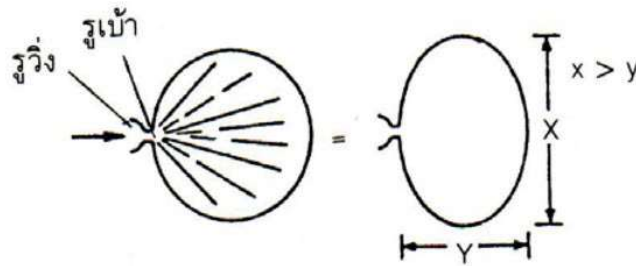
กรณีที่ 2 หล่อเย็นที่ตำแหน่ง Cavity

กรณีที่ 3 หล่อเย็นที่ตำแหน่ง Core

1.2.5. ใช้น้ำในการหล่อเย็นที่แม่พิมพ์ทั้ง 3 กรณี

1.2.6. ใช้เม็ดพลาสติกโพลีโพรพิลีน (PP) Polimaxx เกรด 1100NK บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) กับเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 65 ตันยี่ห้อ KRAUSS MAFFEL รุ่น KM 65 – 180 CX

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการหล่อเย็นที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานทั้งในทิศทางการไหลและทิศทางด้านฉากการไหล ดังแสดงรูปที่ 1 โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ Cadmould เป็นเครื่องมือในการศึกษาปัจจัยต่างๆ ของตำแหน่งการหล่อเย็นที่มีผลกระทบต่อ การหดตัวของชิ้นงาน เพื่อลดเวลาในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ และผลการทดลองที่ได้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก หรือออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกให้ได้ขนาดตามแบบที่กำหนด โดยขนาดรูของท่อน้ำหล่อเย็น และระยะห่างของท่อน้ำหล่อเย็นที่เหมาะสมหาได้ดังแสดงรูปที่ 2



X = การหดตัวในทิศทางด้านฉากกับการไหล

Y = การหดตัวในทิศทางการไหล

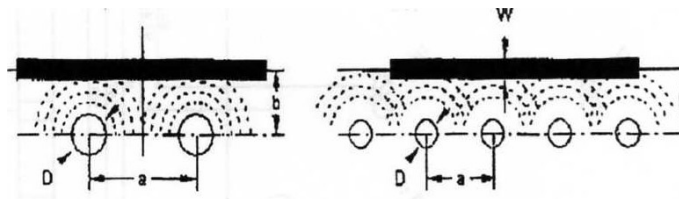
รูปที่ 1 การหดตัวตามทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม

ค่าการหดตัวของพลาสติก หาได้จากสูตร

$$\text{อัตราการหดตัว} = \left(1 - \frac{LF}{LW} \right) \times 100 \% \quad (1)$$

โดยที่ LF คือขนาดของชิ้นงาน

LW คือขนาดของแม่พิมพ์

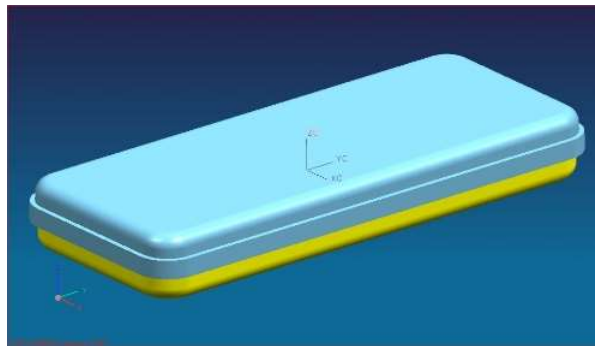


รูปที่ 2 ขนาดความโตและระยะห่างรูหล่อเย็นที่เหมาะสม [9]

1. ความหนาชิ้นงาน (W) < 2 mm. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) ท่อน้ำหล่อเย็นมีขนาด 8-10 mm.
2. ระยะห่าง b = 2-5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อน้ำหล่อเย็น (D)
3. ระยะห่าง a = 2-5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อน้ำหล่อเย็น (D)

2. วิธีทดลอง

2.1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ใช้ฉีดชิ้นงานเป็นแบบสามแผ่น (Three Plate Mold) จำนวน 2 Cavity รูเข้าแบบเข็ม (Pin-Point Gate) ชิ้นงานเป็นกล่องอเนกประสงค์แบบฝาแยกชิ้นได้ ขนาด 65.28 mm. x 157.28 mm. x 12 mm. ดังแสดงรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขนาดชิ้นงานกล่องแบบฝาแยกชิ้นแบบ 3 มิติ

2.2 พลาสติกที่ใช้ในการฉีดชิ้นงานจริง

เป็นพลาสติกพอลิโพรพิลีน (PP) Polimaxx เกรด 1100NK Homopolymer LOT 0221005035 บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) มีสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 1

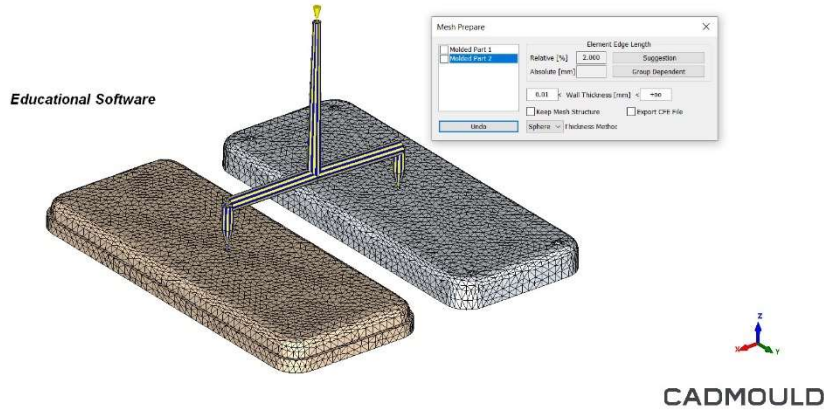
ตารางที่ 1 สมบัติพลาสติกพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในการฉีด

ชนิดพลาสติก	Polimaxx PP1100NK
การไหลตัว Melt Flow Index (2.16 kg/230 °C)	: 11 g/10min (ASTM D1238)
ความหนาแน่น	: 0.9 g/cm ³ (ASTM 792)
อัตราหดตัว	: 1.2 – 2.2 %
อุณหภูมิหลอมละลาย	: 190 - 240 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์	: 40 - 60 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ปลดชิ้นงาน	: 60 °C

2.3 การวิเคราะห์การฉีดด้วยโปรแกรม Cadmould

ใช้โปรแกรม Cadmould วิเคราะห์อิทธิพลของตำแหน่งการหล่อเย็นที่มีผลต่อการหดตัวของงานฉีดพลาสติก โดยจะทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของพลาสติกในระหว่างการขึ้นรูปชิ้นงานฉีด ตั้งแต่ช่วงเวลาในการฉีดพลาสติก (Filling) การฉีดอัด (Packing) และการเย็นตัว (Cooling) ลงจนถึงอุณหภูมิห้อง [10] เพื่อศึกษาค่าการหดตัวของชิ้นงานทั้งในทิศทางยาวและ

ทิศทางตั้งฉากการไหล ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการหดตัวของพลาสติกคือกล่องแบบฝาแยกชิ้นได้ มีทางเข้าของน้ำพลาสติกเป็นแบบ Pinpoint gate โมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ได้จากการสร้าง Solid Model ในโปรแกรม NX แล้วส่งเข้ามาในโปรแกรม Cadmould โดยแปลง Solid Model ให้อยู่ในรูปของ STL file และทำการสร้าง Mesh Model ดังแสดงรูปที่



รูปที่ 4 Mesh ที่ใช้ในการทดลอง

การวิเคราะห์อิทธิพลของตำแหน่งการหล่อเย็นที่มีผลต่อการหดตัวของงานฉีดพลาสติก ใช้น้ำในระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ โดยในการศึกษาจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำหล่อเย็นเท่ากันทุกกรณี แต่ตำแหน่งรูหล่อเย็นที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงตารางที่ 2 เพื่อศึกษาว่าตำแหน่งการหล่อเย็นที่แตกต่างกัน มีผลต่อการหดตัวและขนาดของชิ้นงานฉีดพลาสติกอย่างไร

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการหล่อเย็น

รายการ	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
ความหนาชิ้นงาน (w) mm.	1.5	1.5	1.5
ความโตรูหล่อเย็น (D) mm.	6	6	6
ระยะห่างรูหล่อเย็นกับผิวชิ้นงาน (b) mm.	12	12	12
ระยะห่างระหว่างรูหล่อเย็นกับรูหล่อเย็น (a) mm.	30	30	30
หล่อเย็นทั้ง Core และ Cavity	✓		
หล่อเย็นเฉพาะ Cavity		✓	
หล่อเย็นเฉพาะ Core			✓
ระบบหล่อเย็น	น้ำ	น้ำ	น้ำ
ค่าพารามิเตอร์ในการฉีด (เหมือนกันทุกกรณี)	✓	✓	✓
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น (V/min)	8.0	8.0	8.0
อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (°C)	30	30	30
อุณหภูมิห้องที่ใช้ทดลอง (°C)	30	30	30

3. ผลการทดลอง

3.1 พลาสติกที่ใช้การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cادمould

พลาสติกที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรด BE677AI BOREALIS มีสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพลาสติก Polimaxx เกรด 1100NK Homopolymer LOT 0221005035 บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) ที่ใช้ในการฉีดขึ้นงานจริง

ตารางที่ 3 สมบัติพลาสติกพอลิโพรพิลีน เกรด BE677AI จากโปรแกรม Cادمould

ชนิดพลาสติก	Polimaxx PP1100NK
การไหลตัว Melt Flow Index (2.16 kg/230 °C)	: 14 g/10min
ความหนาแน่น	: 0.9 g/cm ³
อัตราการหดตัว	: 1.2 – 2.2 %
อุณหภูมิหลอมละลาย	: 200 - 260 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์	: 20 - 60 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ปลดชิ้นงาน	: 120 °C

3.2 ค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cادمould มีรายละเอียดดังแสดงตารางที่ 4

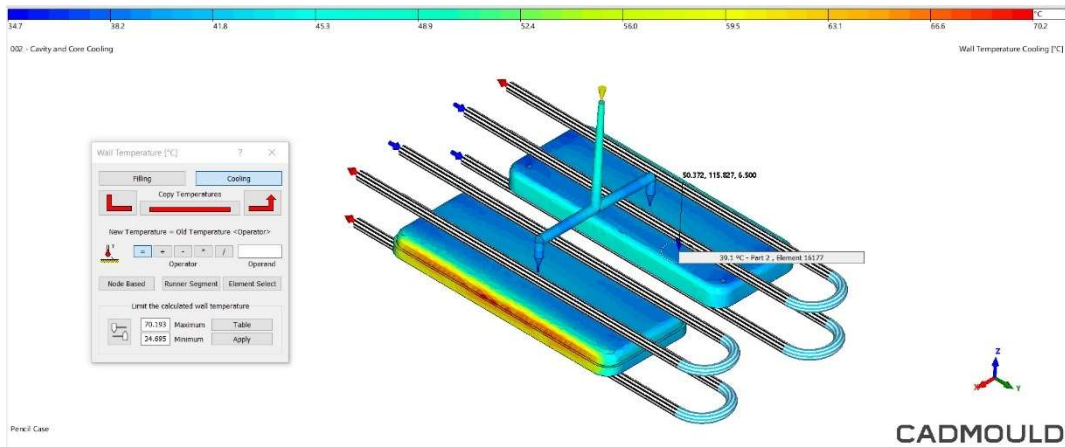
ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cادمould

Process Parameter	
Filling Time (s)	= 0.93
Pressure (bar)	= 339.1
Melt Temperature (°C)	= 230
Wall Temperature (°C)	= 40
Ejection Temperature (°C)	= 120
Packing Time (s)	= 7
Cooling Time (s)	= 15
Cycle Time (s)	= 20.9

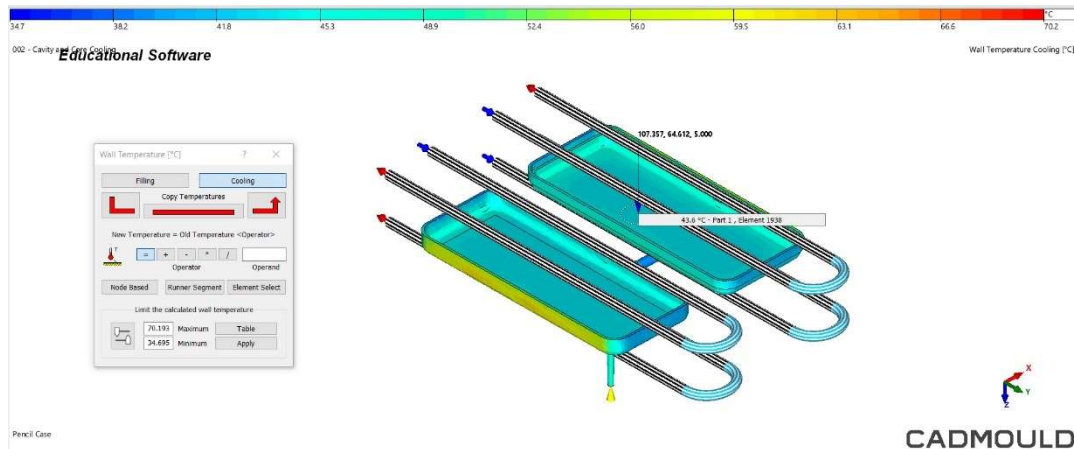
3.3 ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์เงื่อนไขการหล่อเย็น กรณีที่ 1

ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์การจำลองการฉีดด้วยด้วยโปรแกรม Cادمould ตามเงื่อนไขการหล่อเย็นแบบกรณี 1 โดยมีการหล่อเย็นที่ตำแหน่ง Core และ Cavity ได้ผลดังแสดงรูปที่ 5-6 อุณหภูมิของชิ้นงานอยู่ในช่วง 34.7 – 70.2 °C อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของชิ้นงานอยู่ที่ประมาณ 39.1 °C เนื่องจากมีการหล่อเย็นทั้งด้าน Core และ Cavity มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) มากสุดเท่ากับ 2.056 % ค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) ในแนวแกน Y มากสุดเท่ากับ 1.683 mm. และค่าการบิดตัว

(Warpage) ในแนวแกน Y มากที่สุดคือ 0.472 mm. ดังแสดงตารางที่ 5



รูปที่ 5 ค่าอุณหภูมิด้าน Cavity การหล่อเย็นแบบกรณีที่ 1



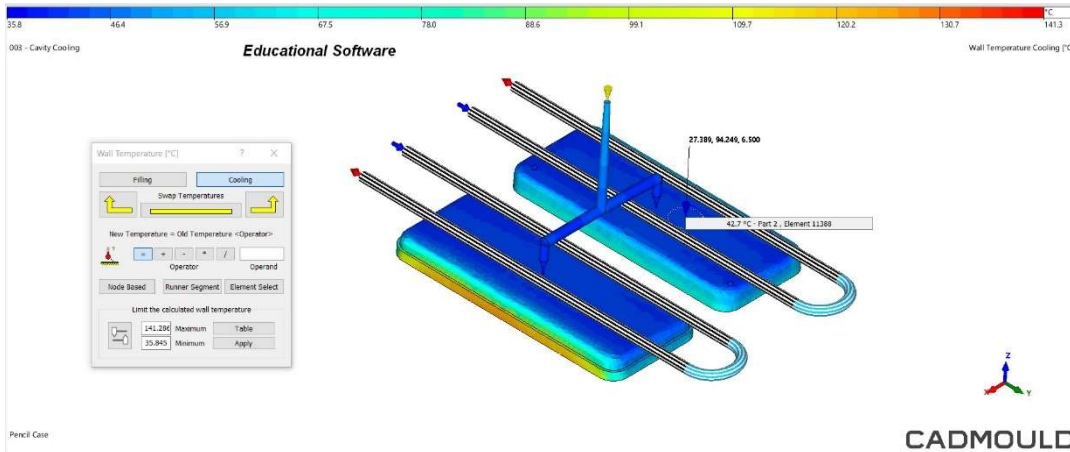
รูปที่ 6 ค่าอุณหภูมิด้าน Core การหล่อเย็นแบบกรณีที่ 1

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์เงื่อนไขการหล่อเย็น กรณีที่ 1

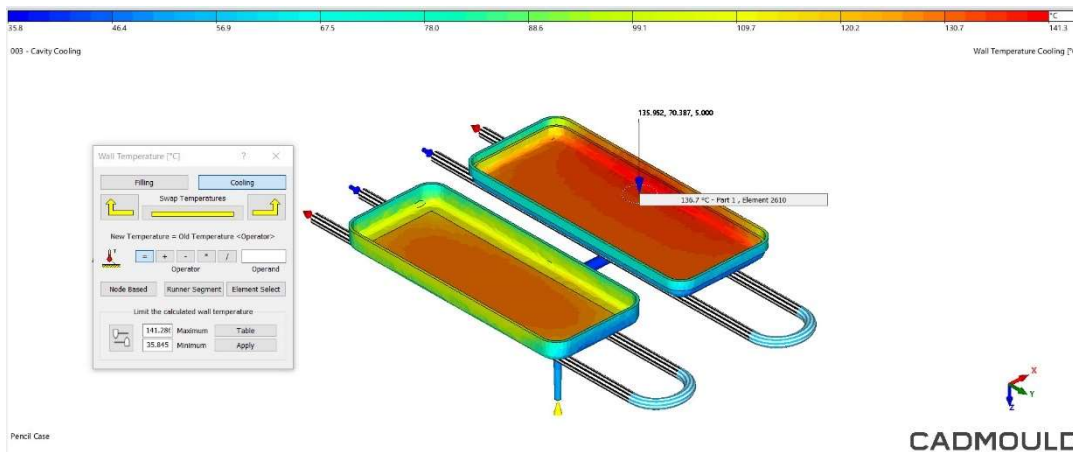
รายละเอียด	ค่าที่ได้
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงานมากที่สุด	= 2.056 %
ค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) ในแนวแกน X มากสุด	= 0.900 mm.
ค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) ในแนวแกน Y มากสุด	= 1.683 mm.
ค่าการบิดตัว (Warpage) ในแนวแกน X มากสุด	= 0.391 mm.
ค่าการบิดตัว (Warpage) ในแนวแกน Y มากสุด	= 0.472 mm.
ค่า Reynolds number มากสุด	= 35418
ค่าอัตราการไหลของความร้อน (Heat Flux) มากสุด	= 29618 W/m ²

3.4 ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์เงื่อนไขการหล่อเย็น กรณี 2

ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์การจำลองการฉีดด้วยด้วยโปรแกรม Cadmould ตามเงื่อนไขการหล่อเย็นแบบกรณี 2 โดยมีการหล่อเย็นที่ตำแหน่ง Cavity ด้านเดียว ได้ผลดังแสดงรูปที่ 7-8 อุณหภูมิของชิ้นงานอยู่ในช่วง 35.8 – 141.3 °C อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของชิ้นงานอยู่ที่ประมาณ 42.7 °C จุดที่มีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ด้านในของชิ้นงานเนื่องจากไม่มีการหล่อเย็น มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) มากสุดเท่ากับ 3.516 % ค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) มากสุดอยู่ในแนวแกน X เท่ากับ 4.971 mm. และค่าการบิดตัว (Warpage) มากสุดอยู่ในแนวแกน X คือ 4.277 mm. ดังแสดงตารางที่ 6



รูปที่ 7 ค่าอุณหภูมิด้าน Cavity การหล่อเย็นแบบกรณีที่ 2



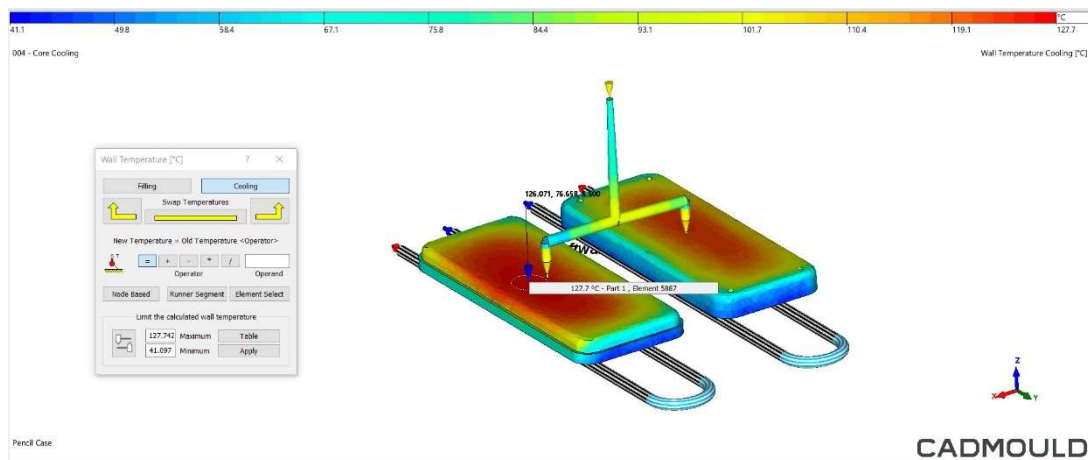
รูปที่ 8 ค่าอุณหภูมิด้าน Core การหล่อเย็นแบบกรณีที่ 2

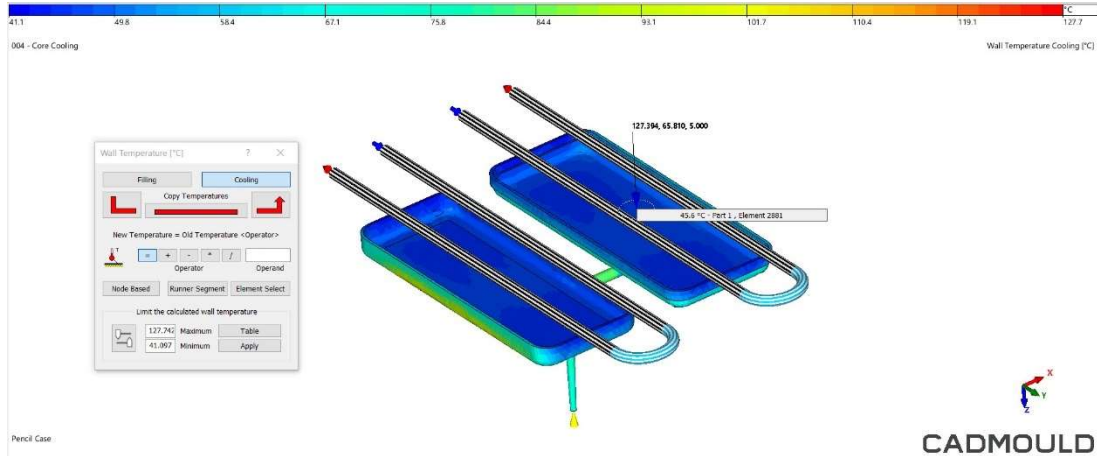
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์เงื่อนไขการหล่อเย็น กรณีที่ 2

รายละเอียด	ค่าที่ได้
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงานมากที่สุด	= 3.516 %
ค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) ในแนวแกน X มากที่สุด	= 4.971 mm.
ค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) ในแนวแกน Y มากที่สุด	= 3.602 mm.
ค่าการบิดตัว (Warpage) ในแนวแกน X มากที่สุด	= 4.277 mm.
ค่าการบิดตัว (Warpage) ในแนวแกน Y มากที่สุด	= 1.718 mm.
ค่า Reynolds number มากที่สุด	= 35490
ค่าอัตราการไหลของความร้อน (Heat Flux) มากที่สุด	= 39083 W/m ²

3.5 ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์เงื่อนไขการหล่อเย็น กรณี 3

ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์การจำลองการฉีดด้วยด้วยโปรแกรม Cadmould ตามเงื่อนไขการหล่อเย็นแบบกรณี 2 โดยมีการหล่อเย็นที่ตำแหน่ง Core ด้านเดียว ได้ผลดังแสดงรูปที่ 9-10 อุณหภูมิของชิ้นงานอยู่ในช่วง 41.1 – 127.7 °C อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของชิ้นงานอยู่ที่ประมาณ 45.6 °C จุดที่มีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ด้านบนของชิ้นงานเนื่องจากไม่มีการหล่อเย็น มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) มากที่สุดเท่ากับ 2.870 % ค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) มากที่สุดอยู่ในแนวแกน Y เท่ากับ 2.017 mm. และค่าการบิดตัว (Warpage) มากที่สุดอยู่ในแนวแกน X คือ 2.197 mm. ดังแสดงตารางที่ 7


รูปที่ 9 ค่าอุณหภูมิด้าน Core การหล่อเย็นแบบกรณีที่ 3



รูปที่ 10 ค่าอุณหภูมิด้าน Core การหล่อเย็นแบบกรณีที่ 3

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์เงื่อนไขการหล่อเย็น กรณีที่ 3

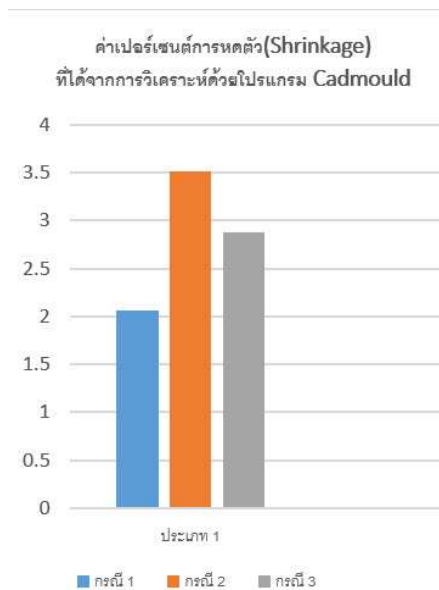
รายละเอียด	ค่าที่ได้
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงานมากที่สุด	= 2.870 %
ค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) ในแนวแกน X มากสุด	= 1.483 mm.
ค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) ในแนวแกน Y มากสุด	= 2.017 mm.
ค่าการบิดตัว (Warpage) ในแนวแกน X มากสุด	= 2.197 mm.
ค่าการบิดตัว (Warpage) ในแนวแกน Y มากสุด	= 0.697 mm.
ค่า Reynolds number มากสุด	= 35549
ค่าอัตราการไหลของความร้อน (Heat Flux) มากสุด	= 41904 W/m ²

3.6 สรุปผลการวิเคราะห์วิเคราะห์เงื่อนไขการหล่อเย็นทั้ง 3 กรณี

จากการจำลองการฉีดขึ้นงานโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cadmould โดยมีเงื่อนไขตำแหน่งการหล่อเย็นที่แตกต่างกัน 3 กรณี ได้ผลสรุปดังแสดงตารางที่ 8 ค่าที่ได้จากกรณีที่ 1 จะมีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 โดยค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) ของการหล่อเย็นแบบกรณีที่ 1 มีค่าต่ำสุดคือ 2.056 % ดังแสดงรูปที่ 11

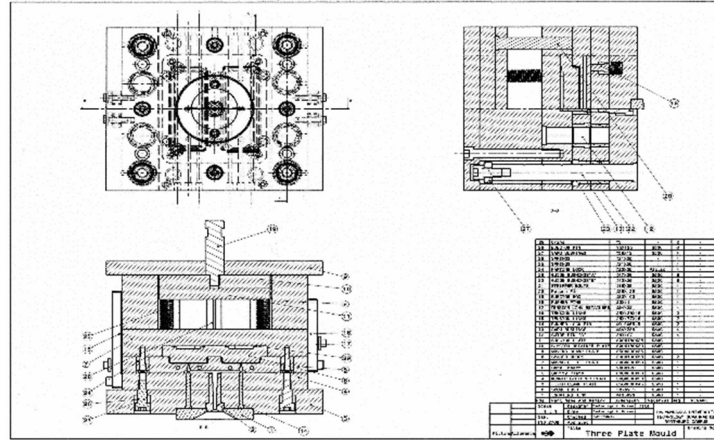
ตารางที่ 8 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cadmould ของการหล่อเย็น 3 กรณี

รายการ	ผลการจำลองการฉีดที่มีการหล่อเย็นโดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cadmould		
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงานมากที่สุด (%)	2.056	3.516	2.870
ค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) ในแนวแกน X มากสุด (mm.)	0.900	4.971	1.483
ค่าการเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation) ในแนวแกน Y มากสุด (mm.)	1.683	3.602	2.017
ค่าการบิดตัว (Warpage) ในแนวแกน X มากสุด (mm.)	0.391	4.277	2.197
ค่าการบิดตัว (Warpage) ในแนวแกน Y มากสุด (mm.)	0.472	1.718	0.697
ค่า Reynolds number มากสุด	35418	35490	35549
ค่าอัตราการไหลของความร้อน (Heat Flux) มากสุด (W/m ²)	29618	39083	41904

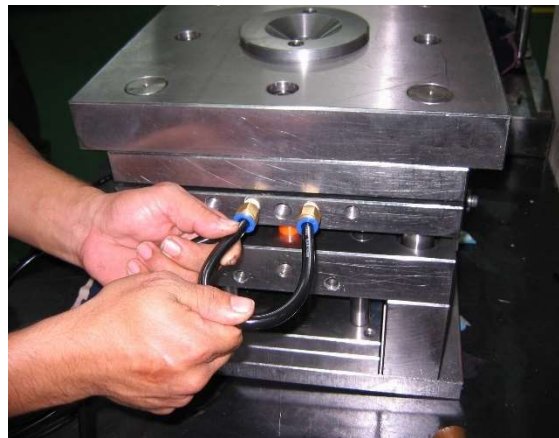

รูปที่ 11 ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) ของการหล่อเย็นทั้ง 3 กรณี

3.7 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์

จากผลการทดลองตามตารางที่ 8 ของการหล่อเย็นทั้ง 3 กรณี ค่าที่ได้จากกรณีที่ 1 จะมีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 และผลที่ได้รับนี้เราสามารถนำไปเป็นแนวทางเพื่อการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ต่อไปดังแสดงรูปที่ 12-13



รูปที่ 12 การออกแบบแม่พิมพ์



รูปที่ 13 การสร้างแม่พิมพ์

3.8 การทดลองการฉีดจริง

หลังจากที่สร้างแม่พิมพ์โดยใช้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cadmould ตามกรณีที่ 1 โดยได้แม่พิมพ์ดังแสดงรูปที่ 13 เราจึงนำแม่พิมพ์มาทดลองการฉีดด้วยเครื่องฉีดพลาสติก ขนาด 65 ตัน ยี่ห้อ KRAUSS MAFFEL รุ่น KM 65 – 180 CX ดังแสดงรูปที่ 14 และมีข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องดังแสดงตารางที่ 9



รูปที่ 14 เครื่องฉีดพลาสติกที่ใช้ในการฉีดจริง

ตารางที่ 9 สมบัติเครื่องฉีดพลาสติก

ข้อมูลเครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อ KRAUSS MAFFEL รุ่น KM 65 – 180 CX Screw	
ความโตสกรูฉีด	: 30 mm.
ปริมาตรการฉีดสูงสุด	: 85 cm ³
แรงปิดแม่พิมพ์มากที่สุด	: 650 KN
ขนาดแม่พิมพ์ที่ฉีดได้	: 610x610
แรงดันฉีดสูงสุด	: 2025 bar
ความเร็วฉีดสูงสุด	: 106 cm ³ /s

3.9 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการฉีดจริง

ในการทดลองฉีดชิ้นงาน พลาสติกที่ใช้คือพอลิโพรพิลีน (PP) Polimaxx เกรด 1100NK Homopolymer LOT 0221005035 บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) มีสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการฉีดดังแสดงตารางที่ 10 และได้ชิ้นงานดังแสดงรูปที่ 15

ตารางที่ 10 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการฉีดจริง

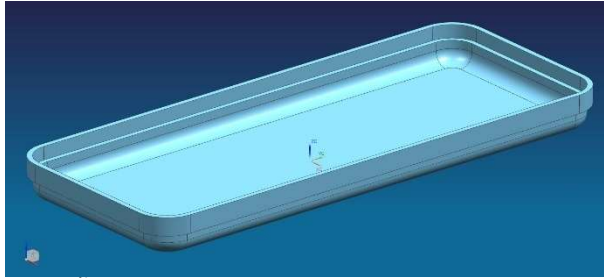
Process Parameter	
Filling Time (s)	= 1.92
Pressure (bar)	= 100
Melt Temperature (°C)	= 185-215
Wall Temperature (°C)	= 40
Ejection Temperature (°C)	= 120
Packing Time (s)	= 1
Cooling Time (s)	= 13.25
Cycle Time (s)	= 22.69


รูปที่ 15 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดจริง

3.10 การวัดค่าการหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงาน

หลังจากฉีดชิ้นงานแล้วนำชิ้นงานมาวัดขนาดว่าได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ เนื่องจากพลาสติก PP มีค่าการหดตัวอยู่ที่ 1.2-2.2 % ซึ่งในขั้นตอนออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ได้ทำการเผื่อค่าการหดตัวของเม็ดพลาสติกโพรพิลีน (PP) Polimaxx เกรด1100NK Homopolymer LOT 0221005035 บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) มีสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 1 ไว้เท่ากับ 2 % เพื่อให้เราได้ขนาดของชิ้นงานตามที่เราได้ออกแบบไว้ โดยค่าการหดตัวของพลาสติกที่ได้จากการฉีดแล้ว สามารถคำนวณได้จาก

ตำแหน่งการวัดชิ้นทดสอบที่ 1



รูปที่ 15 ชิ้นงานฝาปิดกล่องขนาด 65.28 mm. x 157.28 mm. x 12 mm.

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกตามทิศทางการไหล (แกน Y) ดังแสดงรูปที่ 15

$$\text{อัตราการหดตัว} = 1 - \frac{LF}{LW} \times 100$$

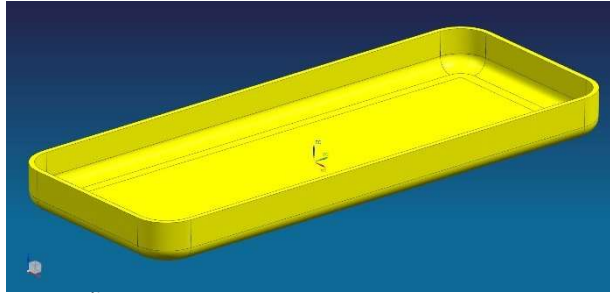
โดยที่ LF = ขนาดของชิ้นงาน (แกน Y)
 LW = ขนาดของแม่พิมพ์
 = $1 - (156.50/157.91) \times 100$
 = 0.89 %

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกตามทิศทางขวางการไหล (แกน x) ดังแสดงรูปที่ 15

$$\text{อัตราการหดตัว} = 1 - \frac{LF}{LW} \times 100$$

โดยที่ LF = ขนาดของชิ้นงาน (แกน x)
 LW = ขนาดของแม่พิมพ์
 = $1 - (64.80/66.32) \times 100$
 = 2.29 %

ตำแหน่งการวัดชิ้นทดสอบที่ 2



รูปที่ 16 ชิ้นงานฐานกล่องขนาด 62.15 mm. × 154.00 mm. × 12 mm.

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกตามทิศทางการไหล (แกน Y) ดังแสดงรูปที่ 16

$$\text{อัตราการหดตัว} = 1 - \frac{LF}{LW} \times 100$$

โดยที่ LF = ขนาดของชิ้นงาน (แกน Y)
 LW = ขนาดของแม่พิมพ์
 = 1 - (153.90/156.18) × 100
 = 1.45 %

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกตามทิศทางขวางการไหล (แกน x) ดังแสดงรูปที่ 16

$$\text{อัตราการหดตัว} = 1 - \frac{LF}{LW} \times 100$$

โดยที่ LF = ขนาดของชิ้นงาน (แกน x)
 LW = ขนาดของแม่พิมพ์
 = 1 - (62.00/63.16) × 100
 = 1.83 %

ตารางที่ 11 ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงาน

รายการ	ตามทิศทางการไหล(แกน Y)	ตามทิศทางขวางการไหล(แกน x)
ชิ้นงานฝาปิดกล่อง	0.89 %	2.29 %
ชิ้นงานฐานกล่อง	1.45 %	1.83 %

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการวัดค่าการหดตัวของชิ้นงานหลังการฉีดจริงจากแม่พิมพ์ที่ออกแบบระบบหล่อเย็นถูกต้อง และเหมาะสมตามเงื่อนไขกรณีที่ 1 โดยใช้เงื่อนไขระบบหล่อเย็นเดียวกันกับการใช้โปรแกรม Cadmould จำลองการฉีดดังแสดงตารางที่ 11 ปรากฏว่าชิ้นงานฝาปิดกล่องดังแสดงรูปที่ 15 มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกตามทิศทางการไหล (แกน Y) เท่ากับ 0.89 % และค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกตามทิศทางขวางการไหล (แกน x) มีค่าเท่ากับ 2.29 % และชิ้นงานฐานกล่องดังแสดงรูปที่ 16 มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกตามทิศทางการไหล (แกน Y) เท่ากับ 1.45 % และค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกตามทิศทางขวางการไหล (แกน x) มีค่าเท่ากับ 1.83 % ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้นนี้ มีค่าต่างกันเนื่องจากชิ้นงานมีรูปร่าง ขนาดและปริมาตรต่างกัน ซึ่งค่าการหดตัวที่ได้จากการฉีดชิ้นงานนี้ไม่ต่างจากค่าที่ได้จากการจำลองการฉีดด้วยโปรแกรม Cadmould มากนัก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.056 % ขนาดชิ้นงานที่วัดได้จากการฉีดจริงนี้อยู่ในพิสัยที่ได้ออกแบบไว้สามารถนำไปใช้งานได้ แสดงว่าการออกแบบระบบหล่อเย็นถูกต้องเหมาะสม ส่งผลให้การหดตัวของชิ้นงานน้อย ทำให้ลดปัญหาเรื่องชิ้นงานมีการหดตัวไม่สม่ำเสมอ ชิ้นงานไม่ได้ขนาด และลดปัญหาชิ้นงานเกิดการบิดเบี้ยว (Warpage) สาเหตุของความแตกต่างของค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย Software กับค่าที่ได้จากการฉีดจริงมีดังนี้

1. เม็ดพลาสติกที่ใช้ฉีดจริงกับเม็ดพลาสติกที่ใช้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cadmould ไม่ใช่ผู้ผลิตเดียวกัน ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้
2. ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องที่ใช้ฉีดจริง แตกต่างจากการใช้โปรแกรม Cadmould ในบางรายการ ผลที่ได้คลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อย ค่าความแตกต่าง ดังแสดงตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการฉีดจริงเปรียบเทียบกับค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cadmould

Process Parameter	ค่าการฉีดจริง	ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์	ความแตกต่าง
Filling Time (s)	1.92	0.93	51.56 %
Pressure (bar)	100	339.1	70.51 %
Melt Temperature (°C)	185-215	200-230	-
Wall Temperature (°C)	40	40	-
Ejection Temperature (°C)	120	120	-
Packing Time (s)	1	7	85 %
Cooling Time (s)	13.25	15	11.66 %
Cycle Time (s)	22.69	20.9	7.88 %

5. สรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของการหล่อเย็นที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานฉีดพลาสติกชนิด Polypropylene โดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cadmould พบว่าการออกแบบระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ที่ถูกต้องตามกรณีที่ 1 มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงานน้อยที่สุด คือ 2.056 % และจากการฉีดจริงมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานฝาปิดและฐานกล่องตามทิศทางการไหล (แกน Y) เท่ากับ 0.89 % และ 1.45 % ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานฐานกล่องตามทิศทางขวางการไหล (แกน x) เท่ากับ 2.29 % และ 1.83 % ซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องกันกับวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cadmould

สรุปได้คือ

1. ขนาดและตำแหน่งรูหล่อเย็นที่ถูกต้อง อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เหมาะสม และการหล่อเย็นที่สม่ำเสมอทั่วชิ้นงานจะทำให้ชิ้นงานมีการหดตัวน้อย หดตัวอย่างสม่ำเสมอ และลดการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน
2. คุณภาพของชิ้นงานขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของอุณหภูมิแม่พิมพ์ในขณะที่หล่อเย็น
3. การนำเอาเทคโนโลยีด้าน CAE มาช่วยวิเคราะห์การฉีดงาน ช่วยทำให้ลดเวลาในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ได้จริง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่สนับสนุนงบประมาณ และเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] D. E. Dimla, M. Camilotto, and F. Miani, "Design and Optimization of Conformal Cooling Channels in Injection Moulding Tools," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 164–165, pp. 1294–1300, 2005.
- [2] A. R. Nalla, M. Fuqua, J. Glancey, and B. Lelievre, "A Multi-Segment Injection Line and Real-Time Adaptive, Model-Based Controller for Vacuum Assisted Resin Transfer Molding," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 38, no. 3, pp. 1058–1069, 2007.
- [3] D. Heider, P. Simacek, A. Dominauskas, H. Deffor, S. Advani, and J. W. Gillespie, "Infusion Design Methodology for Thick-Section, Low-Permeability Preforms Using Inter-Laminar Flow Media," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 38, no. 2, pp. 525–534, 2007.
- [4] J. M. Lawrence, P. Fried, and S. G. Advani, "Automated Manufacturing Environment to Address Bulk Permeability Variations and Race Tracking in Resin Transfer Molding by Redirecting Flow with Auxiliary Gates," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 36, no. 8, pp. 1128–1141, 2005.
- [5] R. A. Harris, H. A. Newlyn, R. J. M. Hague, and P. M. Dickens, "Part Shrinkage Anomolies from Stereolithography Injection Mould Tooling," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 43, no. 9, pp. 879–887, 2003.
- [6] S. Rojananan, "Analyze the Influence of Inlet Type and Injection Speed on Shrinkage of Polypropylene Injected Parts by Finite Element Method," *The 1st Academic Conference on Energy, Environment and Materials, The Twin Hotel, Bangkok Tower 31 August 2007, 2007*. (In Thai)
- [7] K. Iamsaat, "Overflow Cooling System in Hollow Molds by Layer-By-Layer Filling Method," *The 27th Meeting of the Mechanical Engineering Network of Thailand 16–18 October 2013, 2013*. (In Thai)
- [8] P. Boonprasom, "Flow of Plastic Water in The Injection Molding of The Hemostasis," *Rajamangala Academic Conference on Production Technology and Management 28–29 July 2016 Phra Nakhon Si Ayutthaya*, pp. 71–76, 2016. (In Thai)

- [9] P. Somnuek and P. Kasikam, “Plastic Injection Mold Design Basics,” *Article in press*, 2010. (In Thai)
- [10] W. Techawinyutham, “Plastic Injection Engineering,” *Technology Promotion Association (Thailand-Japan)*, 2010. (In Thai)
- [11] C. Kaewduang et al., “Plastic Injection Mold,” *Supporting Industry Development Bureau*, 2006. (In Thai)