วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

ศึกษาหาเปอร์เซ็นต์การหดตัว(Shrinkage) ของพลาสติก HDPE โดยยึดตามมาตรฐาน ASTM D955 Standard Test Method

The study of shrinkage percentage HDPE based on the ASTM D955 Standard Test Method

ประสงค์ ก้านแก้ว[1*]

[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

บทคัดย่อ

การหดตัว (Shrinkage) ของพลาสติก ขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์และชนิดของพลาสติกที่นำมาใช้ฉีด อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอม ความเร็วฉีด การรักษาความดันฉีดย้ำ การหล่อเย็นแม่พิมพ์ สภาพแวดล้อมระหว่างฉีดที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การหดตัว (Shrinkage) ของพลาสติก แตกต่างกัน ทำให้ไม่ทราบค่าการหดตัว (Shrinkage) ของพลาสติก ที่แท้จริง ต้องทำงานแบบลองผิดลองถูก (Try Out and Error) ผลิตภัณฑ์ที่ฉีดออกมาไม่ได้ขนาดตามแบบที่กำหนด การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) ของพลาสติกโดยยึดตามมาตรฐาน ASTM D955 Standard Test Method จากพลาสติกที่มีโครงสร้างแบบมีผลึก (Partial Crystalline) ชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene) ซึ่งมีการหดตัวสูง ได้ผลการทดลองดังนี้ ชิ้นทดสอบขนาด 60x60 มม.หดตัวร้อยละ 2.57 ความหนา 2 มม.หดตัวร้อยละ 3.60 ชิ้นทดสอบขนาด 12.7x127 มม. หดตัวร้อยละ 2.76-2.91 ความหนา3.20มม.หดตัวร้อยละ 2.48 ชิ้นทดสอบวงกลมขนาด 100 มม. หดตัวร้อยละ 4.35-4.39 ความหนา 3.20 มม. หดตัวร้อยละ 2.56

Abstract

The shrinkage depended on the product shape and the type of plastic used in injection, melting temperature, injection speed, holding pressure, and mold cooling. Different surroundings during the injection resulted in differences shrinkage so the exact shrinkage value hadn’t been known. This was the cause of Try out and error work that produced Injection products that were not in correct size. This research aims to find the shrinkage percentage based on the ASTM D955 standard test method from high density polyethylene (HDPE) which has partial crystalline structure and high shrinkage. The results were as follows: The specimen size 60x60 mm shrinkage was at 2.57 percentage and with 2 mm thickness the shrinkage was 3.60 percentage. The specimen size 12.7x127 mm shrinkage was between 2.76 percentage and 2.91 percentage, with 3.20 mm thickness the shrinkage was 2.48 percentage. For the 100 mm circular specimen, the shrinkage was from 4.35 to 4.39 percentage and with 3.20 mm thickness the shrinkage was 2.56 percentage

คำสำคัญ : เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติก HDPE

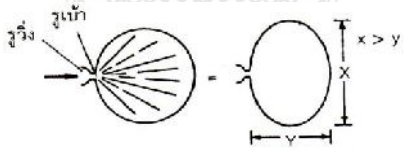
Keywords : shrinkage percentage, HDPE

ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ prasong.k@rmutp.ac.th โทร. 02-9132424 ต่อ 140, 141

1. บทนำ

การหดตัว (Shrinkage) พลาสติกหลอมที่ถูกฉีดเข้าไปในอิมเพรสชั่นเมื่อเย็นตัวลงจะแข็งตัวและหดตัว ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีขนาดเล็กกว่าขนาดของแม่พิมพ์ที่ทำไว้ ดังนั้นเมื่อออกแบบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์จากแบบชิ้นงานที่กำหนดให้ จะต้องเพิ่มค่าอัตราการหดตัวของวัสดุชิ้นงานไว้ด้วยเพื่อให้ได้ขนาดชิ้นงานที่ถูกต้อง พลาสติกต่างชนิดกันจะมีอัตราการหดตัวที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสอบถามหรือหารายละเอียดได้จากบริษัทผู้ผลิตพลาสติก ค่าอัตราการหดตัวที่กำหนดไว้เป็นค่าที่ได้จากการทดลองของบริษัทผู้ผลิตพลาสติก ภายใต้เงื่อนไขในการทดลองที่กำหนด แต่อัตราการหดตัวของพลาสติกเมื่อนำไปใช้ในโรงงานที่มีเงื่อนไขในการผลิตที่แตกต่างออกไป ค่าอัตราการหดตัวก็จะแตกต่างไปด้วย เงื่อนไขเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิของกระบอกฉีด อุณหภูมิของหัวฉีด อุณหภูมิของแม่พิมพ์ เป็นต้น ดังนั้นผู้ออกแบบแม่พิมพ์จึงควรจะจดบันทึกค่าอัตราการหดตัวของพลาสติกหลอมที่ได้จากการนำแม่พิมพ์ขึ้นทดลองฉีดในโรงงานทุกครั้งที่มีโอกาส และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับตารางที่ได้จากโรงงานผู้ผลิตพลาสติก ค่าอัตราการหดตัวที่บันทึกในโรงงานจะมีความน่าเชื่อถือได้มากกว่าและสามารถนำไปใช้ออกแบบในครั้งต่อไปได้

ภายในชิ้นงานเดียวกันที่ทำจากพลาสติกชนิดเดียวกันอาจจะเกิดการหดตัวในแต่ละจุดไม่เท่ากันทั้งนี้เนื่องจากการหดตัวในแนวขนานกับทิศทางการไหลของพลาสติกจะแตกต่างกับการหดตัวในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของพลาสติก ดังรูปที่ 1 และการหดตัวของชิ้นงานส่วนที่หนาจะมากกว่าส่วนที่บาง ทั้งนี้เพราะอัตราการหดตัวของพลาสติกจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดความหนาของชิ้นงานดังรูปที่ 1

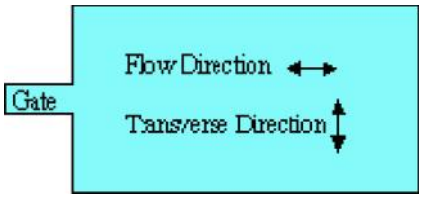


X = การหดตัวในทิศทางตั้งฉากกับการไหล
Y = การหดตัวในทิศทางการไหล

รูปที่ 1 การหดตัวเนื่องจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม

การหดตัวของชิ้นงานเป็นการหดตัวตามปริมาตรคือ เกิดการหดตัวทั้งขนาดด้านกว้าง ด้านยาวและด้านความหนาหรือความสูง ดังนั้นขนาดต่างๆ เหล่านี้จะต้องเพิ่มค่าอัตราการหดตัวไว้ทุกด้าน อัตราการหดตัวของพลาสติกจะกำหนดเป็น “มิลลิเมตร / มิลลิเมตร” (นิ้ว / นิ้ว)หรือกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การหดตัว(Shrinkage) ของพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene) ตามชิ้นทดสอบมาตรฐาน ASTM D955 Standard Test Method เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก ชิ้นทดสอบเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 12.70X127X3.20 มม. สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด60X60X2มม. และวงกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม. หนา 3.20 มม. ชิ้นทดสอบทั้งสามชิ้นอยู่ในแม่พิมพ์ฉีดชุดเดียวกัน ทดสอบโดยการฉีดเข้าแม่พิมพ์ ทิศทางการไหลของพลาสติกดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ทิศทางการไหลของพลาสติก

ค่าการหดตัวของพลาสติกตามทิศทางการไหลสามารถคำนวณได้จาก

$S_{low} = 100*(L_M - L_S)/L_M$ (1)

L_M คือความยาวในแนวตัดของเบ้าแม่พิมพ์

L_S คือความยาวในแนวตัดของชิ้นทดสอบที่เย็นตัวแล้ว

ค่าการหดตัวของพลาสติกตั้งฉากกับทิศทางการไหล

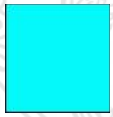
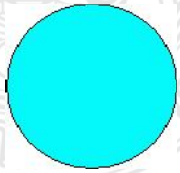
สามารถคำนวณได้จาก

$T_{ransverse} = 100 * (W_M - W_S) / W_M$ (2)

W_M คือความกว้างในแนวตัดของเบ้าแม่พิมพ์

W_S คือความกว้างในแนวตัดของชิ้นทดสอบที่เย็นตัวแล้ว

ชิ้นทดสอบมาตรฐานสามแบบที่ใช้กำหนดค่าการหดตัวมีแบบที่ 1 แบบที่ 2 และแบบที่ 3 เปอร์เซ็นต์การหดตัวขึ้นอยู่กับทิศทางการไหล ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดชิ้นทดสอบกับขนาดแม่พิมพ์ชิ้นทดสอบ ISO 294-4 แสดงดังใน **ตารางที่ 1**

ชนิดชิ้นทดสอบ	รูปร่าง	ขนาดของชิ้นทดสอบ	การวัดการหดตัว
1	สี่เหลี่ยมจัตุรัส	60x60x2 mm 	ทิศทางการไหลกับขวางทิศทางการไหล
2	สี่เหลี่ยมผืนผ้า	12.7x127x3.20 mm	ทิศทางการไหล
3	วงกลม	100 mm diameter, 3.20 mm thick 	ทิศทางการไหลกับขวางทิศทางการไหล

2. วิธีการทดลอง

ศึกษาสมบัติของพลาสติกที่มีโครงสร้างแบบมีผลึก (Partial Crystalline) ชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene) ซึ่งมีการหดตัวสูงสมบัติพลาสติก HDPE แสดงดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2

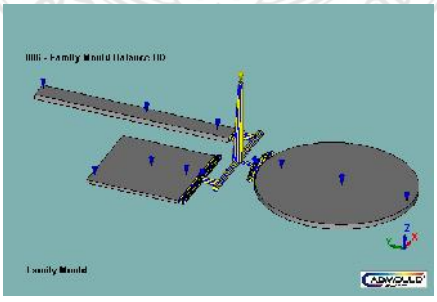
ชนิดของพลาสติก	Inno Plus HD1600J
- เลขที่ผลิต	: H0208905C
- วันที่ผลิต	: 07.07.2010
- การไหลตัว (MFR2.16kg)	: 12.2g/10min(ASTM D1238)
- ความหนาแน่น	: 0.957 g/cm^3(ASTM D1505)
- อัตราการหดตัว	: 2 - 4%
- อุณหภูมิแม่พิมพ์	: Min 20-Max 40^{o}C
- อุณหภูมิหลอมละลาย	: Min 190-Max 280^{o}C
- อุณหภูมิปลดชิ้นงาน	: 75^{o}C
- อุณหภูมิแม่พิมพ์	: 20 - 40^{o}C
- ค่านำความร้อนเฉลี่ยของพลาสติก	: 0.092 mm^2/s

ข้อมูลเครื่องฉีด Maker= Jetmaster C Serise JM168-C/ESที่ใช้ในการฉีดชิ้นทดสอบแสดงดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูฉีด	: 52 mm
- ความเร็วรอบของสกรูฉีด	: 170 rpm
- อัตราการฉีด	: 204 cm^3/s
- ความดันฉีดจำเพาะ	: 1470kgf/cm^2
-น้ำหนักของชิ้นงานที่สามารถฉีดได้	: 396.20 g
- ระยะหัวฉีด	: 300 mm
- แรงกดที่หัวฉีด	: 6 t
- ความจุความร้อนของกระบอกฉีด	: 13.30 kW C

2.1 การวิเคราะห์ปริมาณการฉีด (Shot Weight) การฉีดชิ้นทดสอบโดยใช้โปรแกรม CAD Mold ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ปริมาณการฉีด (Shot Weight) HDPE

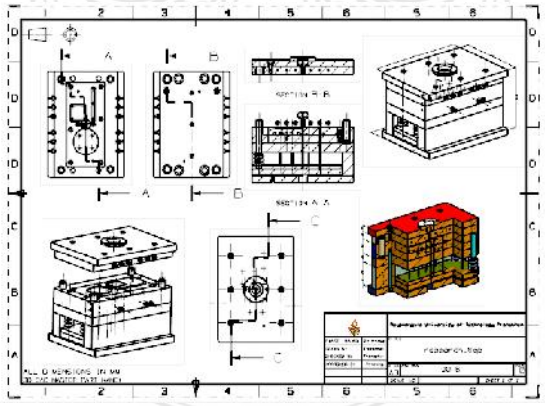
ในการคำนวณหาปริมาณการฉีดของเครื่องต้องบวกค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่อง 10%
น้ำหนักของระบบป้อน = 3.53g
ปริมาณการฉีด (Shot Weight)
= 4.85g +6.77g+23.6g +3.53g
= 38.75 g + 10%
= 42.62 g ≈ 43 g
เครื่องฉีดที่ใช้ฉีดต้องมีปริมาณการฉีด (Shot Weight) HDPE ตั้งแต่ 43 g ขึ้นไป

ค่าพารามิเตอร์แม่พิมพ์ที่ใช้ในโปรแกรม CAD Mold
แสดงดังในตารางที่ 4

ตารางที่ 4

ค่าพารามิเตอร์เม็ดพลาสติก	HDPE
- Melt Temperature	= 190-220°C
- Mold Temperature	= 25°C
- Eject Temperature	= 75°C
- Cooling Time	= 8 s
- Density23°C	= 0.94 g/cm^3
- ปริมาณการฉีด (Shot Weight)	= 43 g

จากข้อมูลทั้งหมดนำมาออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบแม่พิมพ์ฉีด

การขึ้นรูปแม่พิมพ์โดยนำเหล็กขนาด 320.20x150.2x30.20 มม. มาขึ้นรูปด้วยเครื่องกัด (Milling) ให้ได้ขนาด320x150x30 มม.พร้อมกับขึ้นรูปเบ้า (Cavity) ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 ขึ้นรูปแม่พิมพ์

2.2 กรรมวิธีฉีดพลาสติก

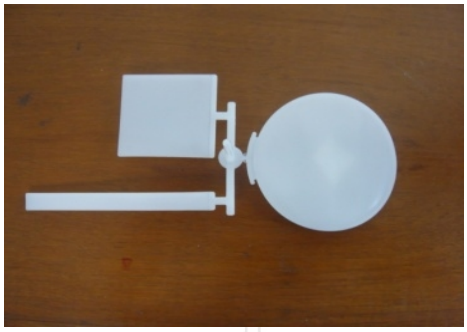
พลาสติกซึ่งเป็นเม็ดในกรวยเติม (Hopper) จะถูกเกลียวหนอนหมุนส่งไปยังด้านหน้าของกระบอกสูบ ซึ่งมีแผ่นความร้อนอยู่ จะทำให้พลาสติกหลอมเหลว หลังจากนั้นจะเคลื่อนเกลียวหนอนให้ดันพลาสติกผ่านหัวฉีดไปเข้าแม่พิมพ์ซึ่งปิดอยู่ แม่พิมพ์หล่อเย็นอย่างดีจะทำให้ชิ้นงานเย็นและแข็งตัว สามารถถอดออกจากแบบได้ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งขณะที่พลาสติกแข็งตัวก่อนเปิดแม่พิมพ์จะทำการหมุนเกลียวหนอนพร้อมทั้งถอยหลังเพื่อหลอมพลาสติกไว้สำหรับการฉีดครั้งต่อไป
ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 เครื่องฉีดพลาสติก

ค่าพารามิเตอร์ในการฉีดแสดงดังในตารางที่ 5

ตารางที่ 5

ค่าพารามิเตอร์	ข้อมูลจาก เครื่องฉีด
อุณหภูมิฉีด	210 (^{o}C)
อุณหภูมิแม่พิมพ์	25 (^{o}C)
เวลาในการฉีด	6 (s)
เวลาการฉีดย้ำ	5 (s)
เวลาในการหล่อเย็น	8 (s)
แรงดันฉีด	1,200 (psi)
แรงดันฉีดย้ำ	1,200 (psi)
ระยะถอยหลังกลับของสกรู	30 (mm)



รูปที่ 8 แสดงชิ้นงานที่ได้จากการฉีด HDPE

รูปที่ 9 แสดงภาพการวัดขนาดความหนาของชิ้นงาน

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก จำเป็นจะต้องพิจารณาถึงการหดตัว ซึ่งจะมีการหดตัวเกิดขึ้น 2 ครั้ง ด้วยกัน

1. การหดตัวครั้งแรก เป็นการหดตัวที่เกิดขึ้นในขณะที่พลาสติกหลอมถูกทำให้เย็นตัวลงโดยระบบหล่อเย็น เรียกว่าการหดตัวในแม่พิมพ์ (Mold Shinkage)

2. การหดตัวภายหลัง เป็นการหดตัวที่เกิดขึ้นภายหลังที่ชิ้นงานถูกดันปลดจากแม่พิมพ์ ซึ่งมีช่วงเวลาเกิดการหดตัวได้นานถึง 48 -72 ชั่วโมง

ดังนั้นในการออกแบบชิ้นงานควรกำหนดค่าพิกัดความเผื่อให้กว้างหรือมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในการออกแบบจะต้องพิจารณาถึงรอยเชื่อม และรอยเส้นทางการไหลที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานด้วย ผนังชิ้นงานควรออกแบบให้หนามีรัศมีโค้ง และมุมลาดเอียงที่เหมาะสม หลีกเหลี่ยงชิ้นงานที่มีความหนาไม่สม่ำเสมอเพราะอาจจะทำให้เกิดการเบี้ยว การบิดงอและการแตกร้าว การยุบหรือรอยบุ๋ม การเกิดความเครียด (Strain) ในชิ้นงานเนื่องจากความหนาของผนังชิ้นงานที่แตกต่างกันจะเป็นผลให้เกิดการหดตัวที่ไม่เท่ากัน

3.2 ความสำคัญการหดตัว(shrinkage)

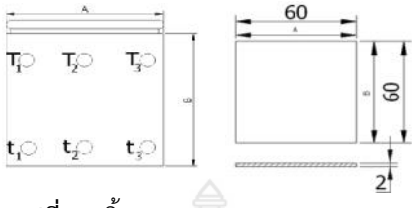
ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักอยู่ 3 ข้อได้แก่

1. ความดัน การฉีดแช่ ถ้าหากเพิ่มความดันในการฉีดแช่ให้สูงขึ้น ทำให้การหดตัวลดลง

2. เวลาในการฉีด ถ้าหากใช้เวลาในการฉีดนานขึ้นพลาสติกจะหดตัวน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามย่อมมีข้อจำกัด คือ เมื่อเนื้อพลาสติกเต็มพิมพ์แล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าการหดตัวได้อีก

3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ ถ้าหากอุณหภูมิแม่พิมพ์สูงขึ้น จะทำให้การหดตัวเพิ่มมากขึ้น แต่จะทำให้ชิ้นงานมีผิวที่สวย ถ้าหากใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ต่ำ จะทำให้การหดตัวน้อยลง แต่อาจจะเกิดการหดตัวหลังการฉีด (Post Shrinkage) ได้เนื่องจากภายในชิ้นงาน อาจจะยังไม่เย็นตัวลง โดยเฉพาะชิ้นงานที่หนา ดังนั้นเมื่อถอดออกจากพิมพ์ แล้วนำไปแช่น้ำทันทีอาจจะช่วยลดการหดตัวได้

ตำแหน่งการวัดชิ้นทดสอบชิ้นที่ 1



รูปที่ 10 ชิ้นทดสอบขนาด60x60x2 มม.

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกตามทิศทางการไหล

100*(A - a) /A=% (3)

A = ขนาดของแม่พิมพ์

A = ขนาดของชิ้นงานเฉลี่ย

= 100*(60.13-58.58)/60.13

= 2.570%

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกขวางทิศทางการไหล

100*(B - b) / B = % (4)

B = ขนาดของแม่พิมพ์

B = ขนาดของชิ้นงานเฉลี่ย

= 100*(60.12 - 58.57)/60.12

= 2.577%

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกส่วนที่หนา

100 * (T - t) / T = % (5)

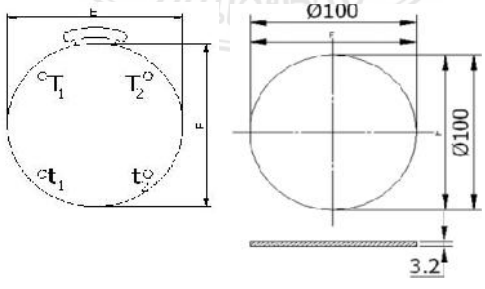
T = ขนาดของแม่พิมพ์

T = ขนาดของชิ้นงานเฉลี่ย

= 100 * (2.054 - 1.98) / 2.054

= 3.60%

ตำแหน่งการวัดชิ้นทดสอบชิ้นที่ 2



รูปที่ 11 ชิ้นทดสอบวงกลมโต100x3.20 มม.

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกตามทิศทางการไหล

100*(E-e) / E=% (6)

E = ขนาดของแม่พิมพ์

E = ขนาดของชิ้นงานเฉลี่ย

= 100*(100.05-95.6498)/100.05

= 4.398%

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกขวางทิศทางการไหล

100*(F-f) / F=% (7)

F = ขนาดของแม่พิมพ์

F = ขนาดของชิ้นงานเฉลี่ย

= 100*(100.03-95.6756)/100.03

= 4.353%

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกส่วนที่หนา

100*(T - t) / T = % (8)

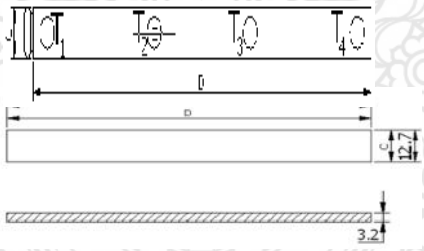
T = ขนาดของแม่พิมพ์

T = ขนาดของชิ้นงานเฉลี่ย

= 100*(3.257-3.1735) / 3.257

= 2.563%

ตำแหน่งการวัดชิ้นทดสอบชิ้นที่ 3



รูปที่ 12 ชิ้นทดสอบขนาด127x12.7x3.20 มม.

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกตามทิศทางการไหล

100*(D-d) /D=% (9)

D = ขนาดของแม่พิมพ์

D = ขนาดของชิ้นงานเฉลี่ย

= 100*(127.23-123.53)/127.23

= 2.91%

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกขวางทิศทางการไหล

100*(C-c) /C=% (10)

C = ขนาดของแม่พิมพ์

C = ขนาดของชิ้นงานเฉลี่ย

= 100*(12.66-12.31)/12.66

= 2.76%

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกส่วนที่หนา

100*(T-t) /T=% (11)

T = ขนาดของแม่พิมพ์

T = ขนาดของชิ้นงานเฉลี่ย

= 100*(3.256-3.175)/3.256

= 2.48%

เปอร์เซ็นต์การหดตัวของHDPEที่ได้จากการฉีดชิ้นทดสอบมาตรฐาน ASTM D955 แสดงดังในตารางที่ 6

ตารางที่ 6

ขนาดชิ้นทดสอบ(มม.)	ตามทิศทาง	ตั้งฉากทิศทาง	หนา
1. ชิ้นทดสอบ 60x60x2	2.57%	2.57%	3.60%
2. ชิ้นทดสอบ 100x3.20	4.40%	4.35%	2.56%
3. ชิ้นทดสอบ 12.70x127x3.20	2.91%	2.76%	2.48%

4. สรุป

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวการหดตัวชิ้นงานฉีด โดยเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ ข้อมูลการหดตัวใช้เพื่อเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุ เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกที่กำหนดมาให้ ขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงานมากที่สุด, ความไม่สลับซับซ้อนของแม่พิมพ์, และเงื่อนไขการปฏิบัติงาน

การหดตัวตามทิศทางการไหลจะมีการหดตัวมากกว่าทิศทางที่ตั้งฉากกับการไหลของพลาสติก ชิ้นทดสอบขนาด 60x60 มม.หดตัวร้อยละ 2.57 ความหนา 2 มม.หดตัวร้อยละ 3.60 ชิ้นทดสอบขนาด 12.70x127 มม. หดตัวร้อยละ 2.76-2.91 ความหนา3.20มม.หดตัวร้อยละ 2.48 ชิ้นทดสอบวงกลมขนาด 100 มม. หดตัวร้อยละ 4.35-4.39 ความหนา 3.20 มม. หดตัวร้อยละ 2.56

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สถานที่ทดลองคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

ชาลี ตระการกูล. 2536. **การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด 1.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

บรรเลง ศรนิล. 2537. **เทคโนโลยีพลาสติก**. พิมพ์ครั้ง ที่ 9. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. 2555**. วิศวกรรมการฉีดพลาสติก.** พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

Mannesmann Demag Kunststofftechnik. 1997. **Injection Mould Pocketbook**. Germany.

Bayer Engineering Thermoplastic. 1998. **Processing DaTa for the Injection Moulder.** 8th ed Germany.

Glanvill, A. B. 1974. **The Plastic Engineering's Data Book.** American Edition. 3rd printing. Brightion : Machinery Puplishing.

Moton-Jones, D. H. 1993. **Polymer Processing.** london : Chapmann & Hall. Crawford, R. J. 1998. **Plastic Engineering**. 3rd ed. Oxford : Linacre Houes, Jordan Hill.