วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

ศึกษาหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ที่ใช้กับแม่พิมพ์เป่า

Study the Shrinkage Percentage of Plastic Polyethylene Terephthalate (PET) Used with Make Blow Mold

ประสงค์ ก้านแก้ว[1*]

[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

บทคัดย่อ

การหดตัวของพลาสติก (Shrinkage) ขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์ และชนิดของพลาสติกที่นำมาใช้เป่า การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต เกรด N1. ที่ใช้กับแม่พิมพ์เป่าแบบสองขั้นตอน (Two stages) ได้ผลการทดลองดังนี้. เปอร์เซ็นต์การหดตัว(Shrinkage) ตามแนวยาวของชิ้นงาน(แกนZ) ร้อยละ 0.787 และเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Shrinkage) ตามแนวขวางของชิ้นงาน (แกนX,Y) ร้อยละ 2.13

Abstract

The shrinkage depended on the product shape and the type of plastic used in blow, This research aims to study the shrinkage percentage of plastic polyethylene terephthalate grade : N1 used with the make blow mold in 2 stages. The testing results were as follow. vertical shrinkage percentage (Z axis) was 0.787 percentage and horizontal shrinkage Percentage (X,Y axis) was 2.13 percentage

คำสำคัญ : เปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติก (PET) ที่ใช้กับแม่พิมพ์เป่า

Keywords : the shrinkage Percentage of plastic PET, used with the make blow mold

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

1. บทนำ

เพื่อสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมการผลิต โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์เป่า เช่น ขวดน้ำดื่ม, ขวดน้ำผลไม้, ขวดเครื่องสำอาง, ขวดน้ำมันพืช, ขวดน้ำปลา, ขวดน้ำอัดลม, ขวดบรรจุยาและเคมีภัณฑ์ต่างๆ การผลิตขวดพลาสติก ต้องกำหนดค่าการหดตัว(Shrinkage) ของพลาสติกลงในแบบ เพื่อใช้ในการสร้างแม่พิมพ์ การหดตัว (Shrinkage)ของพลาสติก ขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์ และชนิดของพลาสติกที่นำมาใช้เป่า การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต เม็ด PET (เพท) เกรด N1. กับขวดขนาด 500ml เป็นการเป่าแบบ Two -stage ตามทิศทางการเป่าและตั้งฉากกับทิศทางการเป่า การเผื่อระยะการหดตัวในการทำแม่พิมพ์ เพื่อที่จะได้ชิ้นงานที่มีขนาดอยู่ภายในค่าพิกัดความคลาดเคลื่อน(Tolerance) ที่ต้อง

อัตราการหดตัวของพลาสติกที่กำหนดไว้ในคู่มือของบริษัทผู้ผลิตได้มาจากผลของชิ้นงานทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเฉพาะ แต่ในทางปฏิบัติเมื่อนำมาใช้ในโรงงานผลิตค่าการหดตัวที่เกิดขึ้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปทรงหน้าตัดของชิ้นงานเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับสภาวะของเครื่องเป่าพลาสติกที่ใช้ในขณะนั้นด้วย สภาพแวดล้อม สภาพอากาศและอื่นๆ ดังนั้นค่าการหดตัวที่กำหนดไว้ในคู่มือกับค่าการหดตัวที่เกิดขึ้นจริงจึงมีค่าแตกต่างกัน การทดสอบจะต้องมีแม่พิมพ์ที่กำหนดเหมือนกับการเป่าชิ้นงานจริงทุกอย่าง เพื่อให้ได้ค่าการหดตัวที่ถูกต้องพร้อมที่จะใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบแม่พิมพ์เป่าครั้งต่อไปได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

2. พลาสติกที่ใช้ในการเป่า

ขวดพลาสติกชนิดใสมีอีกชื่อว่าขวด PET (เพท) ย่อมาจาก โพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Poly Ethylene Terephthalate)

รูปที่ 1 ขวดพลาสติกชนิดใสที่ทำเม็ด PET

มีขบวนการผลิตดังนี้ เริ่มจากการนำเม็ด PET (เพท) มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 160-170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา ประมาณ 7-8 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับชนิดและความชื้นของเม็ด พลาสติก โดยปกติเม็ดพลาสติก PET มักมีความชื้นประมาณ 0.05% จึงต้อง อบไล่ความชื้นในเม็ดพลาสติกให้เหลืออยู่ไม่สูงเกิน 0.005% ก่อนถูกทำให้หลอมเพื่อฉีดเป็นพรีฟอร์ม ในขั้นตอนการเปลี่ยนรูปร่างของพรีฟอร์มให้เป็นขวด เริ่มจากทำให้พรีฟอร์มร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 100-110 องศาเซลเซียส จนพรีฟอร์มเริ่มอ่อนตัวก่อนนำเข้าสู่กระบวนการเป่าแบบดึงยืดใน 2 ทิศทาง เพื่อให้ผนังฟรีฟอร์มขยายตัวไปกระทบผนังแม่พิมพ์รูปขวด เมื่อพลาสติกเย็นตัวลงจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นขวดพลาสติกใส การควบคุมปริมาณผลึกในพรีฟอร์มและขวดเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ได้ขวดที่มีสมบัติตามต้องการ บริเวณคอร์และตัวของพรีฟอร์มควรใสและเป็นอสัณฐาน

2.1 กระบวนการผลิตขวดโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate) PETดังรูปที่ 2 ถึง รูปที่ 5 ประกอบด้วย

1. ปั๊มลมและถังเก็บลมความดันสูง (35-40บาร์)
2. ชุดกรองอากาศ
3. แม่พิมพ์เป่า

4. หลอด Pre-form
5. ขวดทีเป่าเสร็จแล้ว

รูปที่ 2 โครงสร้างเครื่องมืออุปกรณ์ในการผลิต

รูปที่ 3 พรีฟอร์ม(Pre-form) PET ใช้ในการเป่า

รูปที่ 4 กระบวนการขึ้นรูปเป่าขวด PET

รูปที่ 5 ขั้นตอนสุดท้าย

2.2 ปัจจัยหลักในการเป่า

มีอยู่ 4 ข้อได้แก่

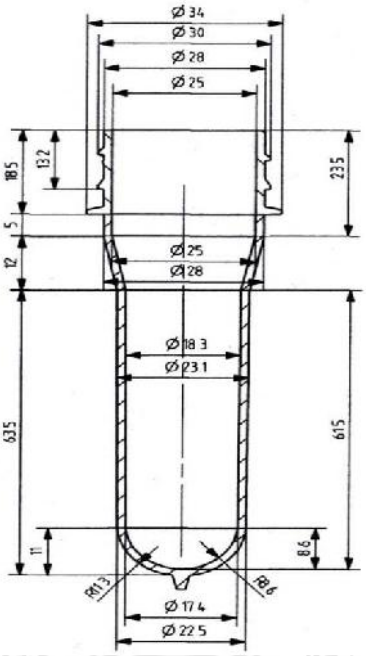
1. อุณภูมิของหลอดพรีฟอร์ม (Pre-form) ก่อนเป่า
2. ความดันลมที่ใช้ในการเป่า
3. อุณหภูมิของแม่พิมพ์เป่า
4. คุณภาพของหลอดพรีฟอร์ม (Pre-form)

สมบัติของพลาสติกที่นำมาใช้ในการฉีดพรีฟอร์ม คือ พลาสติก PET ดังรูปที่ 6

- Resin Grade : N1
- เลขที่ผลิต : 2112G003
- วันที่ผลิต : 14/07/2012

รูปที่ 6 พลาสติก PET Resin Grade : N1

ขนาดส่วนต่างๆของหลอด Pre-form ที่ใช้ในการทดลองหาคาเปอร์เซ็นต์การหดตัวดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 พรีฟอร์ม(Pre-form)

วัสดุแต่ละชนิดมีอัตราส่วนการดึงยืดโดยธรรมชาติเป็นที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะเป็นอัตราส่วนระหว่างขนาดของวัสดุที่ยังไม่ได้รับแรงดึงยืดกับขนาดของวัสดุที่มีขีดจำกัดของการแตกหัก อัตราส่วนการดึงยืดโดยธรรมชาติจะพร้อมกับอุณหภูมิที่ใช้ในการจัดเรียงตัว

2.3 การคำนวณเกี่ยวกับกระบวนการเป่าขนาดขวด 500 ML แบบ Two-stage

มาตรฐานการรับน้ำหนักของขวดจะรับได้ 10 kg

ช่วงก้นของ Pre-form จะบางกว่าลำตัวอยู่ประมาณ

ความหนา $\frac{Preform}{2}$ (1)

PET อัตราส่วนการขยาย ด้าน Hoop ratio และ Axial ratio จะได้ 4:4 =16

การคำนวณหาการพองตัวของ Pre-form

$= \frac{D_2}{D_1} \times \frac{L_2}{L_1} = BUP = \frac{T_1}{T_2}$ (2)

D2 = ความโตของขวด

D1 = ความโตนอกของ Pre-form

Hoop ratio, $H = \frac{D_1}{D_2}$ (3)

T1 = ความหนาของหลอด Pre-form

T2 = ความหนาของขวด

D1 = 22.50 mm.

T1 = 2.40 mm.

Hoop ratio, $H = \frac{D_1}{D_2}$ (4)

D1 = 22.5 mm.

Hoop ratio, ด้านนอกสูงสุด D2=65/ D1=22.5 =2.88

d=ความโตด้านในของ Pre-form

d = 17.4 mm.

Hoop ratio, ด้านในสูงสุด D2=62/ d=17.4

= 3.56

Axial ratio, $A = \frac{L_1}{L_2}$ (5)

L1 = 75.5mm.

L2 = 194.5mm.

194.5/75.5 = 2.57

จะได้อัตราส่วนการพองตัวรวมดังนี้

Blowup ratio, $BUR = H \times A = \frac{D_1}{D_2} \times \frac{L_1}{L_2}$ (6)

BUR = H x A = 3.56x 2.57 = 9.14

PET อัตราส่วนการขยาย ด้าน Hoop ratio และ Axial ratio จะได้ 4 : 4 =16 ไม่ควรเกินนี้

$BUP = \frac{T_1}{T_2}$ (7)

9.14/T1 = T2

T2 = 2.4/9.14

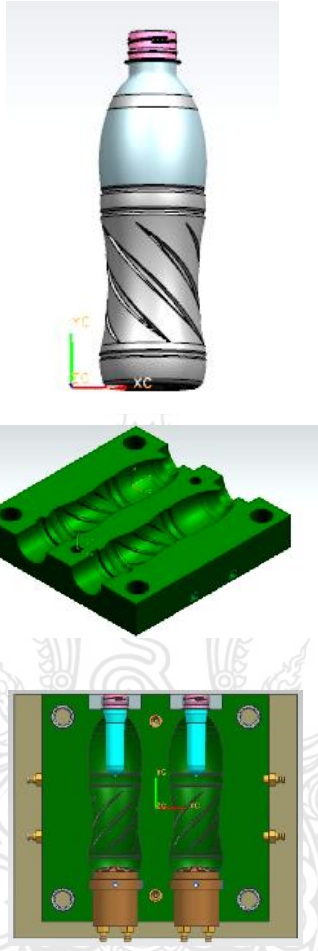
ความหนาของขวด = 0.26 mm.

ความหนาของขวดน้ำทั่วไปจะอยู่ประมาณ

0.15 - 0.50 mm.

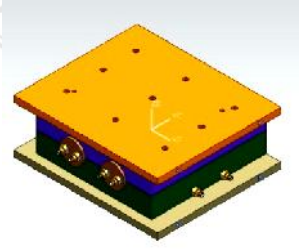
2.4 การออกแบบแม่พิมพ์เป่าพลาสติก

2.4.1 แบบขวดพลาสติก



รูปที่ 8 แบบแม่พิมพ์เป่าขวดพลาสติก

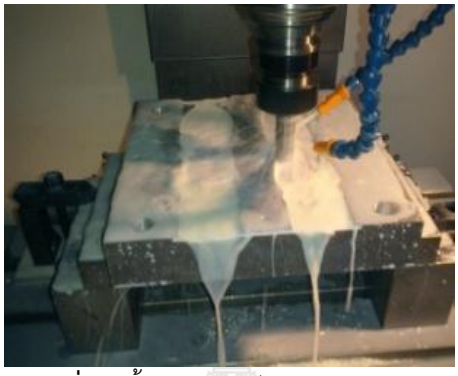
2.4.2 การออกแบบภาพประกอบของแม่พิมพ์



รูปที่ 9 ภาพประกอบแม่พิมพ์

2.5 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์เป่าขวดพลาสติกสำหรับใช้กับการทดลอง

2.5.1 การขึ้นรูปแม่พิมพ์เป่าขวดพลาสติก



รูปที่ 10 ขึ้นรูปแม่พิมพ์เป่าขวดพลาสติก

2.5.2 แม่พิมพ์เป่าที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว

รูปที่ 11 แม่พิมพ์เป่า

2.6 ขั้นตอนการทดลองเป่าขวดพลาสติกเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของ พลาสติกโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET)

1. จับยึดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องเป่า

รูปที่ 12 การจับยึดแม่พิมพ์

2. พรีฟอร์ม(Pre-form) ขนาด 19 กรัม ที่ใช้สำหรับเป่า

รูปที่ 13 พรีฟอร์ม(Pre-form) ขนาด 19 g

3. ในขั้นตอนการเปลี่ยนรูปร่างของพรีฟอร์มให้เป็นขวด เริ่มจากทำให้พรีฟอร์มร้อนที่อุณหภูมิ 100 -110 องศาเซลเซียส จนพรีฟอร์มเริ่มอ่อนตัวก่อนนำเข้าสู่กระบวนการเป่าแบบดึงยืดใน 2 ทิศทาง

รูปที่ 14 กระบวนการอุ่นพรีฟอร์ม(Pre-form)

4. การใส่พรีฟอร์ม (Pre-form) เข้ากับแม่พิมพ์เป่า

รูปที่ 15 พร้อมเป่า

5. กระบวนการเป่าแบบดึงยืดใน 2 ทิศทาง ใช้ความดันลมในการเป่า 35 บาร์ และเวลาที่ใช้ในกระบวนการเป่าขึ้นรูปขวดพลาสติก 4.70 วินาที

รูปที่ 16 ความดันลมเป่าและเวลาที่ใช้เป่า

6. เป่าเสร็จแล้วเปิดแม่พิมพ์เป่าออก

รูปที่ 17 เปิดแม่พิมพ์เป่า

7. ขวดพลาสติกที่ขึ้นรูปจาก พรีฟอร์ม(Pre-form) PET

รูปที่ 18 ขวดพลาสติกที่ขึ้นรูปแล้ว

2.7 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด

2.7.1 หลอด Pre-form ขนาด 19 กรัม

2.7.2 อุณหภูมิที่ใช้อุ่น Pre-form ก่อนเป่าแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงคอร์ใช้อุณหภูมิ 110 องศา ช่วง กลางใช้อุณหภูมิ 105 องศาช่วงก้นใช้อุณหภูมิ 100 องศา

2.7.3 เวลาที่ใช้อุ่น Pre-form 2 นาที

2.7.4 แรงลมที่เป่าจากถัง 30 - 35 บาร์

2.7.5 เวลาที่ใช้ในการเป่า 4.7 วินาที ต่อ 2 ขวด

2.7.6 อุณหภูมิแม่พิมพ์ 30-35 องศา

2.7.7 เป็นการเป่าแบบ Two-stage

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

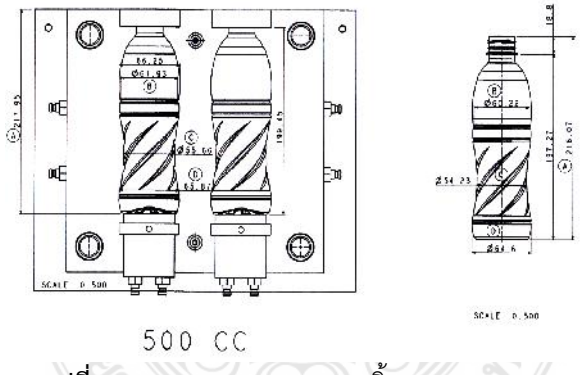
หลังจากการตรวจสอบขนาดของขวดแล้วพบว่าขนาดของขวดยังมีความคลาดเคลื่อนจากขนาดของขวดที่ออกแบบไว้ ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทำแม่พิมพ์ หลังจากการเป่าขวดพลาสติกแล้ววัดขนาดของขวดตามจุดที่กำหนดได้ค่าต่างๆแสดงดังตารางที่1-1

สำหรับด้านขนาดบรรจุรูปทรงและการใช้งาน สามารถบรรจุน้ำได้ตามขนาดที่กำหนดคือ 500ml ส่วนการใช้งานสามารถใช้งานประกอบเข้ากับฝาปิดได้เป็นอย่างดีไม่มีการรั่วซึมของน้ำสามารถใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การกำหนดจุดตรวจสอบขนาดในการตรวจสอบขนาดของขวดจะแบ่งขวดออกเป็น 4 ส่วนคือ

1. ส่วนที่เป็นความสูงขวด = A
2. ส่วนที่เป็นลำตัวขวด = B
3. ส่วนที่เป็นก้นขวด = C
4. ส่วนที่เป็นความสูงของขวด = D

ในการตรวจสอบขนาดของขวดจะตรวจสอบบริเวณที่เป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดส่วนที่เล็กที่สุดและส่วนที่ยาวที่สุดโดยกำหนดดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 แสดงจุดตรวจสอบขนาดชิ้นงานขวด 500ml

ตารางที่ 1-1 แสดงการตรวจสอบขนาดระหว่างแม่พิมพ์กับชิ้นงานขวดขนาด 500 ml

จุดที่วัด	ขนาดพิมพ์(mm)	ขนาดขวด(mm)	การหดตัว
A	217.95	216.24	0.787%
B	61.93	60.54	2.24%
C	55.66	53.71	3.35%
D	65.87	65.34	0.80%

เปอร์เซ็นต์การหดตัว = (ขนาดของแม่พิมพ์ - ขนาดของชิ้นงาน) / ขนาดของแม่พิมพ์ X100

จุด A =(217.95-216.24)/217.95X100

เปอร์เซ็นร์การหดตัวแนวการวัดตามยาว (แนวแกนZ)

= 0.785 %

จุด B =(61.93-60.54)/61.93X100 = 2.24 %

จุด C =(55.66-53.71)/55.66X100 = 3.35 %

จุด D =(65.87-65.34)/65.87X100 = 0.80 %

ค่าการหดตัวเฉลี่ยจุด B,C,และจุดD=2.24+3.35+0.80/3

เปอร์เซ็นร์การหดตัว แนวการวัดตามขวาง (แนวแกนX,Y) ร้อยละ2.13

4. สรุป

4.1 ผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

ศึกษาหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกโพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ที่ใช้กับแม่พิมพ์เป่าขวดขนาด 500 ML การหดตัวของวัสดุแตกต่างกัน ทั้งทิศทางการเป่า และตั้งฉากกับทิศทางการเป่า กำหนดให้การหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงานเพื่อทำแม่พิมพ์ก่อนการทดลอง แกน Z ร้อยละ 1 แกนX,Y ร้อยละ 2.5 ได้ผลการทดลองดังนี้

1. การหดตัว (Shrinkage) ตามทิศทางการเป่าชิ้นงาน (แกนZ) ร้อยละ 0.787
2. การหดตัว (Shrinkage) ตั้งฉากกับทางการเป่า (แกนX,Y) ร้อยละ 2.13

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. ผลการทดลองหาค่าหดตัว(Shrinkage)ที่ได้เป็นการทดลองจากแม่พิมพ์อลูมิเนียมเกรด5083จะได้ค่าการหดตัว(Shrinkage)อย่างที่ทดลองหรือไม่ต้องมีการทดลองทำแม่พิมพ์จากวัสดุอื่นๆ
2. การทดลองครั้งนี้ใช้ชิ้นงานเป็นขวดกลมครั้งต่อไปควรเปลี่ยนเป็นเหลี่ยมหรือรูปทรงอื่นและทดลองทำซ้ำ
3. จากตารางที่ 1-1 การทดลองจุด C เป็นจุดที่มีเป็นเซ็นต์การหดตัวมากที่สุดเนื่องจากเป็นจุดที่อยู่ตรงกลางขวดมีความบางและอ่อนตัวทำให้ได้ค่าการวัดที่ไม่คงที่ควรปรับปรุงหรือเปลี่ยนจุดวัดใหม่

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้เพราะรับการสนับสนุนงบประมาณจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สถานที่ทดลองคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์เป็นอย่างดียิ่งจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

Crawford, R.J. 2005. **Plastics Engineering**. 3rd ed. Oxford : Elsevier Butterworth - Heinemann.

Griskey, R.G. 1995. **Polymer Process Engineering**. New York : Chapman & Hall.

Gruenwald, G. 1998. **Thermoforming : A Plastics Processing Guide**. 2nd ed. Lancaster : Technomic Publishing Company, Inc.

Hernandez, R.J, Selke, S.E.M. and Culter, J.D. 2000. **Plastic Packaging : Properties, Processing, Applications, and Regulation**. Munich : Carl Hanser Verlag. Michaeli, W. 1995. **Plastics Processing : An Introduction**. Munich : Carl Hanser Verlag.

Osswald, T.A. 1998. **Polymer Processing Fundamentals**. Munich : Carl Hanser Verlag.

Rao, N.S. and Schumacher, G. 2004. **Design Formulas for Plastics Engineers**. 2nd ed Carl Hanser Verlag.

Rosato Donald, V. and Rosato Dominick. V. 1990. **Plastics Processing Data Handbook**. New York : Van Nostrand Reinhold.

Throne, J.L. 1996. **Technology of Thermoforming**. Munich: Carl Hanser Verlag

Ottmar Brandau. 2003. Vol 3. **Stretch Blow Moulding A Hands-on Guide**. Heidelberg, Germany : PET planet Publisher GmbH.

David W. Brooks, and Geoff A. Giles. 2002. **PET PACKAGING TECHNOLOGY**. Sheffield: Sheffield Academic Press Ltd.

Norman C. Lee, P.E. 1990**. PLASTIC BLOW MOLDING HANDBOOK**. New Yor Chapman & Hall.

ชวลิต แสงสวัสดิ์. 2551. **กระบวนการผลิตเทอร์โมพลาสติก 2**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี :แผนกเอกสารการพิมพ์ คณะวิศกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.