

## การควบคุมการผลิตเชิงสถิติในงานเป่าฟิล์มพีพี Statistical Process Control in PP-Blown Film Extrusion

ชัชวารวรรณ ม่วงงาม<sup>1</sup> ดาวัลย์ เพียรท่า<sup>2</sup> วีรศักดิ์ หมู่เจริญ<sup>1</sup> และ ชวลิต แสงสวัสดิ์<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

โครงการการควบคุมการผลิตเชิงสถิติในงานเป่าฟิล์มพีพีนี้ เกิดขึ้นจากการที่ผู้จัดทำพบปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตงานเป่าฟิล์มพีพี จึงมีแนวคิดที่จะนำความรู้และเทคนิคทางสถิติมาใช้ควบคุมในกระบวนการผลิต เพื่อควบคุมความหนาและความแข็งแรงของฟิล์มให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดและเพื่อลดปริมาณของเสีย โดยให้ความสำคัญกับตัวแปรความถี่ของมอเตอร์ที่ใช้หมุนสกรู ซึ่งผลการทดลองที่ได้คือ เมื่อทำการปรับลดค่าความถี่ของมอเตอร์ลงจากค่าความถี่เดิมที่ใช้อยู่เป็นประจำคือ 15.06 Hz. เหลือ 14.98 Hz. จะได้ฟิล์มพีพีที่มีความหนาและความแข็งแรงอยู่ในมาตรฐานที่ยอมรับได้และมีปริมาณของเสียที่ลดลงจากเดิม จากเดิม 7.25 % เหลือเพียง 3.12 %

คำสำคัญ: ความถี่ของมอเตอร์, การเป่าฟิล์มพีพีหล่อเย็นด้วยน้ำ, SPC, PP

### 1. บทนำ

ฟิล์มโพลิโพรพิลีน (PP) เป็นฟิล์มพลาสติกที่ใช้กันมากภายในประเทศ โดยส่วนใหญ่จะเน้นไปทางด้านตลาดบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน ตัวอย่างเช่น ถุง ซอง ซึ่งเมื่อเทียบกับฟิล์มโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) แล้วจะพบว่า พีพีจะมีสมบัติเด่นกว่าคือผิวหนังที่แข็งแรงกว่า และ

อุณหภูมิอ่อนตัวสูงกว่า ฟิล์มพีพีสามารถผลิตได้ทั้งการเป่า (Blowing) หรือการหล่อ (Casting) และสามารถทำการหล่อเย็นได้ทั้งการใช้ลูกกลิ้งหล่อเย็น (Chill roll) หรือใช้อ่างน้ำ ซึ่งจากการผลิตทั้ง 2 แบบทำให้ได้ฟิล์มพีพีที่มีการจัดเรียงโมเลกุลได้หลากหลาย ฟิล์มพีพีที่ผลิตได้จากการเป่าจะใสเช่นเดียวกับการหล่อฟิล์ม แต่ราคาต้นทุนต่ำกว่า และฟิล์มที่ได้จะเหนียวกว่า แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการเป่าฟิล์มลงน้ำหรือทางเทคนิคเรียกว่า Dow-taga-Process ต้องอาศัยเทคโนโลยีการผลิตอย่างถูกต้อง เนื่องจากกระบวนการนี้ลูกโป่งพีพีจะผ่านทะลุอ่างน้ำรูปร่างวงวนทำให้ลูกโป่งพลาสติกถูกเคลือบด้วยน้ำเย็นก่อนที่จะเคลื่อนเข้าสู่ชุดกระดานหุบเพื่อม้วนเก็บเข้าแกนต่อไป ตลอดกระบวนการผลิตมีตัวแปรที่ต้องถูกควบคุมให้หนึ่งและถูกต้องหลายชุด ตัวอย่างเช่น ความเร็วรอบสกรู ความดันลม อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ถ้ามีตัวแปรใดผิดเพี้ยนไปบ้างจะทำให้เกิดของเสียขึ้นอย่างมากมาในการผลิตจากปัญหาฟิล์มยับ ขุ่น ย่น หนานบางไม่สม่ำเสมอ

บริษัท เตชะ แอ็นค ซัน จำกัด เป็นโรงงานอุตสาหกรรมพลาสติกโรงหนึ่ง ที่มีกระบวนการเป่าฟิล์มแบบเป่ากว้างหล่อเย็นด้วยน้ำ และในกระบวนการผลิตก็เกิดของเสียขึ้นเช่นกัน ทางแก้ไขที่โรงงานทำอยู่ในปัจจุบันก็คือใช้ผู้มีประสบการณ์เข้าควบคุมหน้างาน ไม่ได้ใช้เทคนิคหรือหลักการทางวิศวกรรมใดๆ มาแก้ไขปัญหา ทั้งนี้เนื่องจากขาดความรู้ที่แท้จริงทางเทคโนโลยีพลาสติก

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

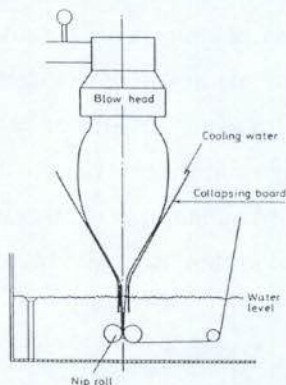
<sup>2</sup> บริษัท เตชะ แอ็นค ซัน จำกัด



และคณิตศาสตร์เชิงสถิติวิเคราะห์ จากเหตุที่กล่าวมาข้างต้น ทางบริษัทและผู้ดำเนินโครงการวิจัยจึงมีความคิดร่วมกันที่จะนำรูปแบบวิธีการควบคุมการผลิตเชิงสถิติ (SPC) มาใช้กับกระบวนการเป่าฟิล์มพีที เพื่อหาความถี่ของมอเตอร์หมุนสกรูที่เหมาะสมที่สุดในการเดินงานฟิล์มพีทีให้ได้คุณภาพมาตรฐาน เป็นที่ยอมรับของลูกค้า มีปริมาณของเสียลดลง และทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลงด้วย

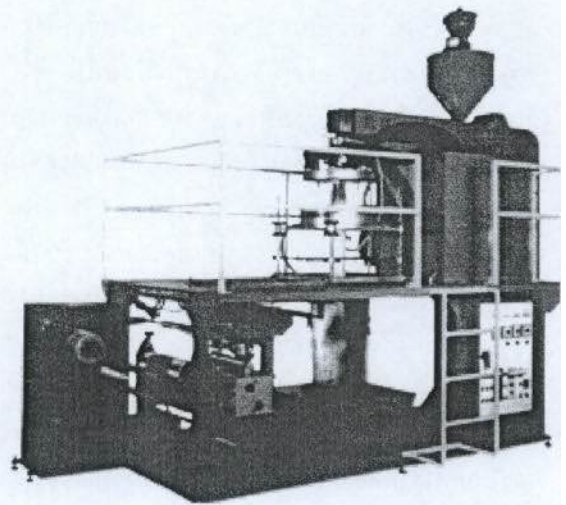
**2. กระบวนการเป่าฟิล์มพีทีหล่อเย็นด้วยน้ำ [1]**

เทคนิคการเป่าฟิล์มพีทีหล่อเย็นด้วยน้ำ จะทำให้ผลิตฟิล์มพีทีได้เช่นเดียวกับการหล่อฟิล์ม แต่ราคาค่าต้นทุนต่ำกว่าและฟิล์มที่ได้จะเหนียวกว่า ในการค้าจะผลิตเครื่องจักรออกมาในลักษณะแนวทึดตั้งรูปที่ 1 และเรียกกระบวนการนี้ว่า Shell Tubular Quench (TQ Process) โดยอาศัยหลักการอัดรีดลูกโป่งพลาสติกลงมาในแนวตั้ง แล้วทำการหล่อเย็นอย่างรวดเร็วที่กระดานหุบ ในขณะที่ยังคงใช้ลมดันภายในตามปกติ เพื่อให้ได้ฟิล์มหน้ากว้างและความหนาตามต้องการ น้ำที่ไหลลงมาตามกระดานหุบ จะทำให้ฟิล์มเย็นตัวลงทันทีทันใดทำให้เกิดผลึกอย่างรวดเร็ว แต่มีขนาดเล็ก ฟิล์มที่ได้จะใส การปรับเปลี่ยนอัตราการโป่งพองของฟิล์มพีทีชนิดนี้ก็จะช่วยเสริมสมบัติทางกลให้ดีขึ้นกว่าฟิล์มพีทีชนิดหล่อจากลูกกลิ้ง ถึงกระนั้นก็ตามค่าการจืดเรียงตัวโมเลกุลจากกระบวนการ TQ ยังคงน้อยกว่าการผลิต แบบ Biaxially oriented PP film (BOPP) ทำให้น้ำฟิล์ม TQ มาเทียบด้วยไม่ได้



รูปที่ 1 กระบวนการเป่าฟิล์มแบบ TQ

สำหรับในตลาดฟิล์มพีทีประเทศไทย ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการ Dow-Taga-Process ซึ่งในกระบวนการนี้ลูกโป่งพีที จะผ่านทะลวงน้ำรูปร่างแหวน ทำให้ลูกโป่งพลาสติกถูกเคลือบด้วยน้ำเย็นที่ไหลออกมาจากวงแหวนอย่างสม่ำเสมอ ก่อนจะผ่านเข้าสู่กระดานหุบ ดังนั้นอ่างน้ำรูปร่างแหวนต้องมีหลายขนาดเพื่อให้เหมาะสมกับอัตราโป่งพองที่ต่างกันไปในขณะที่กระบวนการ TQ ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ ถ้าต้องมีการเปลี่ยนขนาดลูกโป่ง



รูปที่ 2 เครื่องเป่าฟิล์มแบบเป่าคว่ำหล่อเย็นด้วยน้ำ

โดยเครื่องเป่าฟิล์มแบบหล่อเย็นด้วยน้ำจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

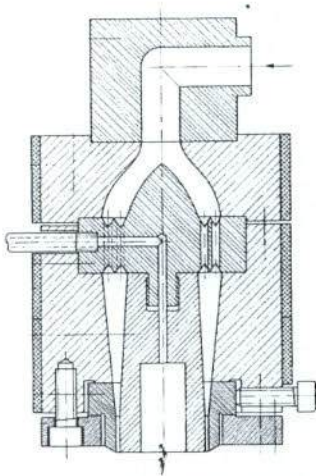
**2.1 เครื่องอัดรีดพลาสติก**

เครื่องอัดรีดพลาสติกที่ใช้ในการเป่าฟิล์มส่วนใหญ่จะเป็นชนิดสกรูเดี่ยว หน้าที่ของเครื่องอัดรีดพลาสติก คือทำให้เม็ดพลาสติกหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน มีอุณหภูมิคงที่ และให้มีความดันมากพอที่จะทำให้พลาสติกเหลวไหลผ่านหัวใดด้วยความเร็วสม่ำเสมอ

**2.2 หัวใด**

สำหรับการเป่าฟิล์มพีที จะใช้ใดชนิดคว่ำลง ประกอบกับจานลมที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิของ

พลาสติกเหลวที่ไหลทะลักออกจากปากไดตามปกติหัวไดเป่าฟิล์มที่พึมีหลายแบบ แต่แบบที่สร้างง่ายและนิยมใช้ในประเทสไทยเป็นชนิดปรับแต่งความหนาบางของฟิล์มโดยการไขปรับสลักเกลียวที่ปากได สำหรับร่องปากไดที่เหมาะสมอยู่ที่ 1.0-1.5 มม. สำหรับหัวไดขนาด 50-100 มม.



รูปที่ 3 ไดเป่าฟิล์มที่พึชนิดช่องทางไหลอยู่ตรงกลาง

2.3 ชุดลูกกลิ้งดึง

ตามปกติสำหรับการผลิตฟิล์มบางๆ และมีขนาดของลูกโป่งไม่ใหญ่นัก ความเร็วของลูกกลิ้งดึงจะเป็น 10- 90 เมตร/นาที ซึ่งจะรวมไปถึงฟิล์มที่บางมากๆ ระดับ 9 ไมครอนซึ่งใช้ทำถุงห่อเสื้อผ้าซักแห้งด้วย สิ่งที่ต้องสังเกตอย่างหนึ่งก็คือถ้าเป็นฟิล์มที่มีความหนามากขึ้นก็ต้องการใช้ความเร็วของลูกกลิ้งดึงให้สูงขึ้น ทำให้ต้องใช้ปริมาณลมเย็นผ่านแหวนลมมากตามไปด้วย และควรเน้นปริมาณลมในขณะที่ใช้ความเร็วลมต่ำ

2.4 ตัวแปรที่มีผลต่อความหนาของฟิล์ม

ตัวแปรที่ต้องปรับเครื่องให้ถูกต้องได้แก่ อัตราเร็วพลาสติก ความถี่ของมอเตอร์สกรู อุณหภูมิทั้งที่กระบอกอัดรีดและหัวได อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ทั้งหมดนี้จะมีผลกระทบต่อความหนาของฟิล์ม อีกอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ร่องได แต่ตัวแปรที่สำคัญมากต่อความหนาและความสม่ำเสมอของฟิล์มก็คืออัตราการดึงฟิล์ม

3. การคำนวณสำหรับการทดลอง [2]

สำหรับการคำนวณทางสถิติจะใช้สมการดังนี้

3.1 ค่าเฉลี่ย  $\bar{X}$

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} \tag{1}$$

เมื่อ

$\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$x_i$  = ตัวแปรค่าแต่ละตัว

$\sum$  = ผลรวม

$n$  = จำนวนตัวแปรค่าหรือจำนวนข้อมูล

3.2 พิสัย  $R$

$$R = X_{max} - X_{min} \tag{2}$$

เมื่อ

$R$  = พิสัย

$X_{max}$  = ค่าสูงสุด

$X_{min}$  = ค่าต่ำสุด

3.3 ค่า UCL , LCL ของ Control Chart [5]

UCL คือ ค่าจำกัดควบคุมสูงสุด

LCL คือ ค่าจำกัดควบคุมต่ำสุด

3.3.1  $\bar{X}$  Chart

$$UCL = \bar{X} + A_2 \bar{R} \tag{3}$$

$$LCL = \bar{X} - A_2 \bar{R} \tag{4}$$

3.3.2 R Chart

$$UCL = D_4 \bar{R} \tag{5}$$

$$LCL = D_3 \bar{R} \tag{6}$$

โดยที่  $A_2 = 0.233$  ,  $D_3 = 0.347$  ,  $D_4 = 1.653$

สำหรับการคำนวณค่าความต้านทานแรงดึง

3.4 ค่าความต้านทานแรงดึง [4]

$$\text{Tensile Stress} = \frac{\text{Maximum Load (N)}}{\text{Area (m}^2\text{)}}$$



#### 4. การทดลอง

เลือกศึกษาและให้ความสำคัญกับตัวแปรความถี่ของมอเตอร์สกรู ซึ่งเป็นตัวแปรส่งผลกระทบต่อความหนาของฟิล์มเพื่อหาความถี่ของมอเตอร์หมุนสกรูที่เหมาะสมที่สุดในการเดินงานฟิล์มพีพี ให้ได้คุณภาพมาตรฐานเป็นที่ยอมรับของลูกค้า มีปริมาณของเสียที่ลดลง ทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลง

4.1 ปฏิบัติงานเป่าฟิล์มพีพีด้วยความถี่ของมอเตอร์สกรูที่โรงงานไอซ์อยู่เป็นประจำคือที่ 15.06 Hz.

4.2 ปฏิบัติงานเป่าฟิล์มพีพีด้วยความถี่ของมอเตอร์สกรูที่ปรับเพิ่ม-ลดลง  $\pm 0.08$  Hz. (เป็นค่า  $\pm$  ที่โรงงานพอจะปรับได้จากชุดควบคุมมอเตอร์โดยลูกโป่งไม้ลิ้มหรือขาด)

4.3 เก็บตัวอย่างฟิล์มที่ปฏิบัติได้จากทุกความถี่ของมอเตอร์สกรูแล้ววัดค่าความหนาของฟิล์มที่ได้

4.4 หาค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยความหนาของแต่ละตัวอย่างฟิล์มเพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าความหนาของตัวอย่างฟิล์มพีพี ที่ได้จากการปฏิบัติงานเป่าฟิล์มด้วยความถี่ของมอเตอร์ที่เปลี่ยนไปอยู่ในมาตรฐานการยอมรับของโรงงานและลูกค้าหรือไม่ ด้วยการสร้าง Control Chart ขึ้นมาโดยเลือกใช้  $\bar{X}$  - Chart เพื่อตรวจสอบว่าค่าความหนาของตัวอย่างฟิล์มพีพีที่ปฏิบัติได้จากกระบวนการเป่าฟิล์มทุกความถี่ของมอเตอร์ อยู่ระหว่างเส้นขีดจำกัดควบคุมสูงสุด (UCL) และขีดจำกัดควบคุมต่ำสุด (LCL) หรือไม่ และเลือกใช้ R-Chart เพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการตรวจเก็บข้อมูล [3]

4.5 ทดสอบความต้านทานแรงดึง เพื่อดูความแข็งแรงของฟิล์ม

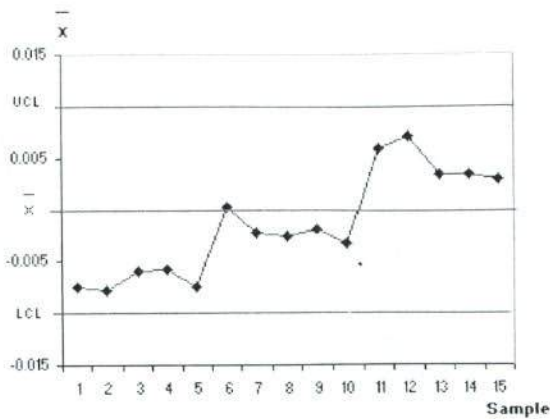
#### 5. ผลการทดลอง

##### 5.1 ผลการวัดความหนาของฟิล์ม

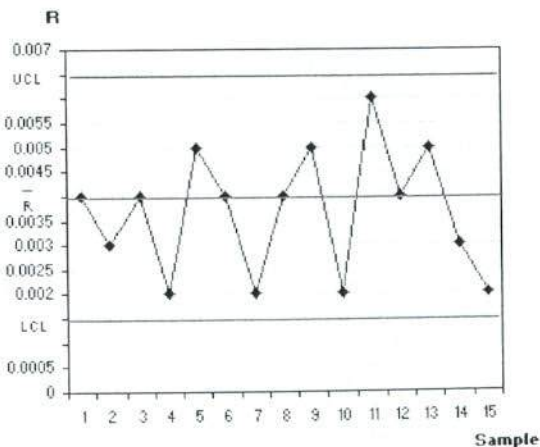
ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและพิสัยของฟิล์ม (มม.) ที่วัดได้จากแต่ละความถี่ของมอเตอร์

ความถี่ของมอเตอร์	$\bar{X}$	R
14.98 Hz.	-0.0062	0.007
	-0.0084	0.003
	-0.0066	0.003
	-0.0058	0.002
	-0.0074	0.002
15.06 Hz.	0.0000	0.002
	-0.0024	0.001
	-0.0026	0.004
	-0.0020	0.005
15.14 Hz.	-0.0032	0.002
	0.0060	0.006
	0.0072	0.004
	0.0034	0.005
15.14 Hz.	0.0034	0.003
	0.0030	0.002

จากตารางที่ 1  $\bar{X}$  เป็นค่าเฉลี่ยความหนาของตัวอย่างฟิล์มที่สุ่มวัดมาจากการปฏิบัติงานด้วยความถี่มอเตอร์ทั้ง 3 ค่า และ R เป็นค่าพิสัยในการวัดความหนาของฟิล์มตัวอย่างแต่ละตัวอย่าง ซึ่งสามารถนำข้อมูลจากตารางที่ 1 มาจัดทำเป็นกราฟควบคุมได้ดังนี้

รูปที่ 4  $\bar{X}$  - Chart ของความหนาฟิล์ม

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่า  $\bar{x}$  ของฟิล์มที่สุ่มวัดได้ทุกค่า อยู่ภายใต้เส้นควบคุม โดยที่ความถี่ของมอเตอร์ 14.98 (ตัวอย่าง 1-5)  $\bar{x}$  จะอยู่ด้านล่างของเส้นกลาง ที่ความถี่มอเตอร์ 15.06 (ตัวอย่างที่ 6-10)  $\bar{x}$  จะมีค่าสูงขึ้นอยู่ใกล้เส้นกลาง และที่ความถี่มอเตอร์ 15.14 (ตัวอย่างที่ 11-15)  $\bar{x}$  จะมีค่าสูงขึ้นกว่าค่ากลาง การที่กราฟมีลักษณะเพิ่มขึ้นต่อเนื่องในลักษณะนี้เรียกว่า Trend ซึ่งในที่นี้เกิดจากการที่เราปรับเพิ่มความถี่มอเตอร์ขึ้น



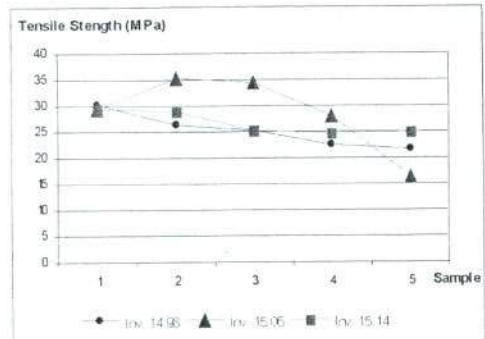
รูปที่ 5 R-Chart ของข้อมูลความหนา

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าเส้นกราฟมีลักษณะขึ้นและลงสลับกัน ความผิดปกติรูปแบบนี้เรียกว่า Systematic Variable ซึ่งอาจเกิดจากการวัด หรืออุปกรณ์การวัด แต่จุดทุกจุดของ R-Chart ยังอยู่ในภายใต้การควบคุม

## 5.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง

ตารางที่ 2 ความต้านทานแรงดึงหน่วยเป็น MPa ตามแนวขวาง เครื่องจักรของฟิล์มหนา 0.1 + 0.01 mm

ตัวอย่างที่	ความถี่ของมอเตอร์ ( Hz. )		
	14.98	15.06	15.14
1	30.25	29.45	29.56
2	26.31	35.21	28.84
3	25.30	34.48	25.40
4	22.49	28.13	24.71
5	21.60	16.26	25.00



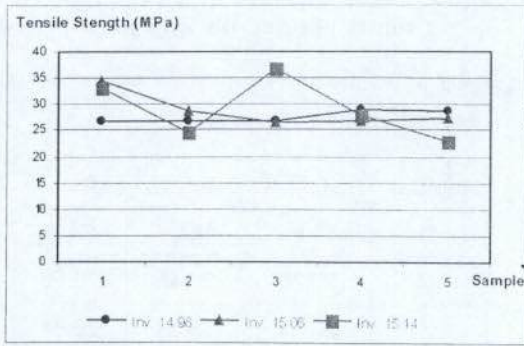
รูปที่ 6 ความต้านทานแรงดึงหน่วยเป็น MPa ตามแนวขวางเครื่องจักรของฟิล์มหนา 0.1 + 0.01 mm

จากตารางที่ 2 และรูปที่ 6 จะเห็นว่า ฟิล์มที่ได้จาก ความถี่ของมอเตอร์ทั้ง 3 ค่า มีความต้านทานต่อแรงดึงในแนวขวางเครื่องจักรอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3 ความต้านทานแรงดึงหน่วยเป็น MPa ตามแนวแรง เครื่องจักรของฟิล์มหนา 0.1 + 0.01 mm

ตัวอย่างที่	ความถี่ของมอเตอร์ ( Hz. )		
	14.98	15.06	15.14
1	26.77	34.38	33.19
2	26.62	28.58	24.49
3	29.08	26.39	36.66
4	29.08	26.65	27.76
5	28.81	27.29	23.01





รูปที่ 7 ความต้านทานแรงดึงหน่วยเป็น MPa ตามแนวแรงเครื่องจักรของฟิล์มหนา 0.1 ± 0.01 m

และจากตารางที่ 3 และรูปที่ 7 จะเห็นว่าฟิล์มที่ได้จากความถี่ของมอเตอร์ทั้ง 3 ค่า ก็มีความต้านทานต่อแรงดึงในแนวแรงเครื่องจักร อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าฟิล์มทั้งหมดสามารถนำไปใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพพอๆ กัน

### 5.3 ปริมาณของเสีย

ในการเริ่มต้นกระบวนการผลิตจะมีของเสียในช่วงการปรับงาน ซึ่งเมื่อนำปริมาณของเสียที่ออกมาเทียบกับปริมาณของดีที่ผลิตได้ทั้งหมด จะได้ดังนี้

ตารางที่ 4 ปริมาณของเสียของการเดินงาน

ความถี่ของมอเตอร์ [ Hz.]	%ของเสีย
14.98	3.12
15.06	7.25

## 6. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองปรับเพิ่มลดความถี่ของมอเตอร์สกรูที่ใช้ปฏิบัติงานเป่าฟิล์มที่พบว่า เมื่อทำการปรับลดความถี่ของมอเตอร์สกรูลงจากเดิมที่โรงงานใช้ปฏิบัติงานอยู่เป็นประจำที่ 15.06 Hz. ให้เหลือ 14.98 Hz. หรือเหลือเพียง 99.46% ของความถี่เดิม ฟิล์มที่ที่ได้จะมีความหนาและความแข็งแรงอยู่ในมาตรฐานตามที่โรงงานและลูกค้ายอมรับ อีกทั้งยังมีปริมาณของเสียที่ลดลงจากเดิม 7.25% เหลือเพียง 3.12% แต่ถ้าเพิ่มความถี่ของมอเตอร์เป็น 15.14 Hz. หรือ 100.53% ของความถี่เดิม ฟิล์มที่ได้จะมีความหนามากขึ้น จะไม่เป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิต จึงไม่เลือกใช้ความถี่นี้

## 7. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เนื่องจากได้รับความเมตตาและช่วยเหลือจากบุคคลต่างๆ ดังนี้ บิฑามารดา ผู้เป็นกำลังใจในการทำโครงการวิจัย ผศ.ชวลิต แสงสวัสดิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท เป็นผู้ที่เกี่ยวข้องตลอดเวลา เปิดโอกาสให้นักศึกษาได้ทำโครงการวิจัย ให้ความรู้และคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ จนโครงการวิจัยสำเร็จ อาจารย์ วีรศักดิ์ หมูเจริญ ผู้ให้คำแนะนำแนวทางการทำงาน การวางแผนการทำงาน และติดตามผลการทำงานจนผลงานสำเร็จลุล่วง รวมถึง คุณศดาวัลย์ เพ็ชรท่า ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือระหว่างการดำเนินงาน สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2549 ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนในการทำโครงการ

### เอกสารอ้างอิง

- [1] ชวลิต แสงสวัสดิ์. เอกสารประกอบการอบรมเรื่อง เทคนิคการขึ้นรูปในกระบวนการผลิตฟิล์มพี.พี. ปทุมธานี : คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2547
- [2] ทรงเกียรติ วิสุทท์ทักษ์กุล. การใช้สถิติเพื่อการปรับปรุงกระบวนการ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2545
- [3] เทวินทร์ สิริโชคชัยกุล. เอกสารประกอบการอบรมเรื่อง การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคด้านสถิติสำหรับผู้บริหาร. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2549
- [4] Hoechst Celanese. Designing with Plastic The Fundamentals. USA : Hoechst AG, 1989
- [5] Rauwendal, C. Statistical Process Control In Injection Molding and Extrusion. Cincinnati : HanserPublisher, 2000