

การศึกษาระบบหล่อเย็นของฟิล์มเป่าด้วยสมการภาระทางความร้อน

A Study of Cooling System of Blown Film with Thermal Load Equation

วีรศักดิ์ หมู่เจริญ¹ จิรยุทธ รุ่งรัตนพงษ์พร¹ ลดาวัลย์ เพียรท่า¹ และ ชวลิต แสงสวัสดิ์¹

บทคัดย่อ

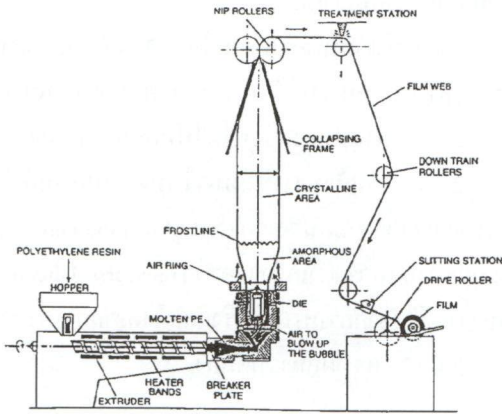
โครงการนี้เป็นการศึกษาการหล่อเย็น และสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์อย่างง่ายสำหรับงานเป่าฟิล์มพลาสติก โดยใช้สมการภาระทางความร้อนเป็นฐานในการคำนวณ การทดลองใช้เครื่องเป่าฟิล์มชนิดเป่าขึ้นวัตถุดิบคือพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นี้จะช่วยในการคำนวณหาระยะความสูงของแนวเย็นตัว (Frost line) ของฟิล์มพลาสติกที่ขนาดความกว้างของฟิล์มต่างๆ หรือในทำนองกลับกันก็สามารถคำนวณย้อนหาความกว้างฟิล์ม (Lay flat width) และปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในฟิล์มพลาสติกได้อีกด้วย ทำให้เกิดความสะดวกในการปรับตั้งเครื่องจักรประหยัดเวลาและวัตถุดิบ ในการทดลองได้ทำการเป่าฟิล์มพลาสติกที่ความหนา 0.04 มิลลิเมตร ในขนาดความกว้างแตกต่างกัน แล้ววัดแนวการเย็นตัวจากปากไคบันทึกลงแล้ววัดอุณหภูมิที่หัวไคและที่ลูกกลิ้งหนีบ (Nip roll) นำมาคำนวณสร้างความสัมพันธ์จากกราฟได้สมการเกิดขึ้นใหม่ที่มี 2 ตัวแปรด้วยกัน คือ ความกว้างฟิล์ม และความสูงของแนวเย็นตัว สุดท้ายพบว่าผลจากการคำนวณด้วยสมการที่เกิดขึ้นนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง

คำสำคัญ : การหล่อเย็นฟิล์ม, แนวเย็นตัว, ความกว้างฟิล์ม, ภาระทางความร้อน

1. บทนำ

ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปปกติจะผลิตโดยใช้กระบวนการเป่า โดยกระบวนการนี้จะทำการเป่าลมเข้าไปในพลาสติกเหลวที่ไหลออกมาจากไดของเครื่องอัดรีด ทำให้พลาสติกเหลวพองตัวออกไปและแข็งตัวเป็นลูกโป่ง จากนั้นจะทำการหนีบโดยลูกกลิ้งหนีบและพันเข้าม้วนเพื่อรอจำหน่าย ควบที่ 1 ทั้งนี้การผลิตฟิล์มพลาสติกโดยการเป่าให้ได้คุณภาพนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยการผลิตหลายปัจจัย ตัวอย่างเช่นความเร็วรอบสกรู ชนิดของเม็ดพลาสติก อัตราการเป่าต่างๆ แต่ทั้งนี้พบว่าปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อทั้งคุณภาพและลดการใช้พลังงานของโรงงานลงทำให้ประหยัดต้นทุนได้ก็คือ เทคนิคการหล่อเย็นลูกโป่งซึ่งทางโรงงานได้พยายามลองผิดลองถูกหาแนวทางในการปรับระบบหล่อเย็นด้วยตนเองแต่พบว่าเป็นการเสียเวลา เสียวัตถุดิบ และเสียค่าไฟฟ้าเป็นต้นทุนเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากปัญหาที่กล่าวมาตอนต้นทางบริษัทและผู้ดำเนินโครงการวิจัยจึงมีความคิดที่จะหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายมาช่วยในการคำนวณ เพื่อลดปัญหาการลองผิดลองถูก และสามารถนำค่าที่ได้ไปปรับตั้งระบบหล่อเย็นได้อย่างถูกต้องต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ



รูปที่ 1 เครื่องเป่าฟิล์มพลาสติก

2.1 ความสูงของแนวเส้นตัว [1]

ปกติการเป่าฟิล์ม พอลิเอทิลีน ควรใช้อุณหภูมิที่กระบอกอครีตประมาณ 140 - 190 °C กรณีนี้จะพบว่าที่อุณหภูมิต่ำแล้วใช้อัตราการผลิตเร็วแนวเส้นตัวจะไม่สูงจากหัวไดมากนัก ถ้าการหล่อเย็นของเครื่องเป่าฟิล์มพอเพียงก็สามารถเดินเครื่องอครีตพลาสติกพอลิเอทิลีน ได้สูงถึง 205 °C โดยทั่วไปแนวเส้นตัวจะสังเกตเห็นได้ยากเพราะความใสของพอลิเอทิลีน จึงมีข้อเสนอแนะให้กะเอาจากแนวที่พลาสติกเริ่มขยายเส้นผ่านศูนย์กลางที่ถือว่าใช้ได้ ความสูงของแนวเส้นตัวจะต้องปรับให้สัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่งให้ถูกต้องด้วย เช่น ถ้าขยายเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่งออกเรื่อยๆ จนถึง 90 cm ความสูงของแนวเส้นตัวก็จะอยู่ในช่วง 10 - 60 cm

การควบคุมความสูงของแนวเส้นตัวจะเป็นผลส่งต่อการควบคุมการเรียงตัวของพลาสติกในทิศทางรอบๆ ลูกโป่ง ความสูงของแนวเส้นตัวสามารถปรับตั้งโดยการควบคุมอัตราการไหลออกของพลาสติกหรือไม่ก็ปรับความเร็วของลูกกลิ้งตั้ง แต่วิธีที่นิยมมากกว่าก็คือปรับตั้งความสูงของแนวเส้นตัวโดยควบคุมปริมาณลมหล่อเย็น

ถ้าสังเกตให้ดีเมื่อเดินสกรูให้ความเร็วรอบสูงขึ้น จะทำให้ความสูงของแนวเส้นตัวสูงตามไปด้วย แต่เมื่อป้อนปริมาณลมเย็นให้มากขึ้นกลับทำให้ความสูงของแนว

เส้นตัวลดลง ในทำนองกลับกันถ้าลดปริมาณลมหล่อเย็นลงจะทำให้ความสูงของแนวเส้นตัวสูงขึ้นไปอีก

แนวเส้นตัวยิ่งสูงหมายความว่าเวลาก่อนที่พลาสติกจะแข็งตัวยิ่งมากส่งผลให้ฟิล์มมีผิวเรียบสม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตามถ้าแนวเส้นตัวสูงเกินไปก็จะทำให้การม้วนพับฟิล์มที่ลูกกลิ้งสุดท้ายเกิดการติดกันได้ ไม่แต่เท่านั้นอาจทำให้ฟิล์มพลาสติกเกิดการติดกันที่ลูกกลิ้งหนีบอีกต่างหาก

นอกจากนั้นแล้วความสูงของแนวเส้นตัวจะต้องสูงสม่ำเสมอรอบๆ ลูกโป่งพลาสติก ไม่เช่นนั้นแล้วฟิล์มพลาสติกจะหนาไม่เท่ากัน

2.2 สมการการคำนวณหาภาระทางความร้อน [8]

ภาระทางความร้อนของการเป่าฟิล์มพลาสติกที่เกิดขึ้นกับเครื่องอครีตที่มีชุดหัวไดและวงแหวนลมตามปกติได้รับการเสนอไว้โดย Richard R. Knittel และ Richard J. Dejonghe, Jr. จะแสดงไว้ดังสมการ (1) ด้านล่างดังนี้

$$LT = W_b \times [C_{pl} (T_b - T_f) + HF + C_{ps} (T_f - T_p)] \quad (1)$$

เมื่อ L_T = ภาระความร้อนทั้งหมด , Btu/lbs

C_{pl} = ความจุความร้อนก่อนแนวเส้นตัว, Btu/(lbs °F)

C_{ps} = ความจุความร้อนหลังแนวเส้นตัว, Btu/(lbs °F)

HF = ความร้อนของการหลอมเหลว, Btu/lbs

W_b = อัตราการไหลของมวล, lb/hr

T_f = อุณหภูมิหลอมละลาย, °F

T_p = อุณหภูมิของฟิล์มที่ลูกกลิ้งหนีบลูกแรก, °F

T_b = อุณหภูมิของเหลวบัลค์, °F

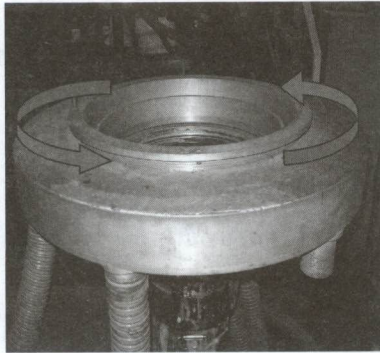
2.3 วัตถุประสงค์และเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง

จะใช้เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เกรด 1210 G1 ของบริษัท Dow Plastics มาทดลองเป่าฟิล์มผ่านเครื่องเป่าฟิล์มยี่ห้อ A.R. Product Ltd. Part จำกัด รุ่น AL-55

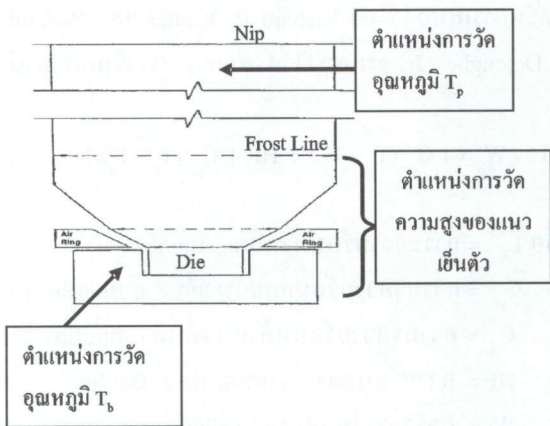
2.4 การทดสอบ

2.4.1 ทำการเป่าฟิล์มให้มีขนาดความกว้าง 435-480 มิลลิเมตร และหนา 0.04 ± 0.01 มิลลิเมตร

2.4.2 ปรับตั้งความสูงของแนวเย็นตัวโดยการหมุนแหวนลมหล่อเย็น ไปที่ละน้อยจนกว่าแหวนลมไม่สามารถปรับได้อีก



รูปที่ 2 ทิศทางการหมุนแหวนลมหล่อเย็น



รูปที่ 3 การวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ

2.4.3 วัดอุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลวที่ไหลออกมาจากได, T_b

2.4.4 วัดอุณหภูมิฟิล์มพลาสติกที่ตำแหน่งลูกกลิ้งหนีบ, T_p

2.4.5 วัดความสูงของแนวเย็นตัวที่เกิดขึ้นบนฟิล์มเหนือปากไดโดยวัดเฉลี่ยอย่างน้อย 3 ครั้ง

2.4.6 นำค่าต่างๆ ที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าภาระทางความร้อน (L_T) ดังสมการที่ (1)

2.4.7 หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า L_T กับค่าความสูงของแนวเย็นตัวจากกราฟ

2.4.8 และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า L_T กับค่าความกว้างของฟิล์มจากกราฟ

2.4.9 นำผลลัพธ์ที่ได้จากข้อ 4.7 และ 4.8 มาหาความสัมพันธ์ร่วมกันจนได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.4.10 นำแบบจำลองที่ได้ไปทดลองคำนวณ

2.4.11 เก็บตัวอย่างฟิล์มนำไปทดสอบสมบัติด้านการทนต่อแรงดึงตามแนวเครื่องจักร (Machine Direction; MD) และตามแนวขวางเครื่องจักร (Transverse Direction; TD) ทั้งจากที่ได้จากการเป่างานจริงและที่ได้จากการคำนวณ

2.4.12 สรุปผลการทดลอง

3. ผล

3.1 ผลจากการคำนวณ

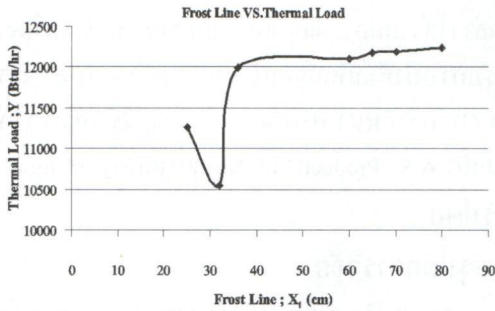
ผลการคำนวณภาระทางความร้อน พร้อมทั้งตัวแปรและค่าที่วัดได้ จะแสดงไว้ดังตารางที่ 1 เมื่อทราบค่าคงที่ของพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำดังต่อไปนี้

เมื่อ $C_{pl} = 0.65 \text{ Btu / (lbs}^\circ\text{F)}$ [10]
 $C_{ps} = 0.55 \text{ Btu / (lbs}^\circ\text{F)}$ [12]
 $HF = 62 \text{ Btu / lbs}$ [7]

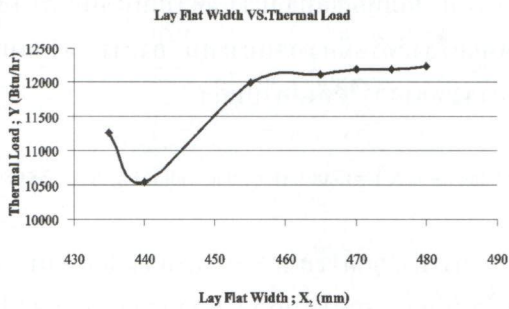
ตารางที่ 1 ตัวแปรและค่าต่างๆ ที่วัดได้จากการทดลองพร้อมค่าภาระทางความร้อน

ตัว อย่าง ที่	Lay Flat Width; X_1 (mm)	W_b lb/hr	T_r ($^\circ\text{F}$)	T_p ($^\circ\text{F}$)	T_b ($^\circ\text{F}$)	Frost Line; X_2 (cm)	Thermal Load ;Y (Btu/hr)
1	435	60.9	230	113	320	25	11,257.365
2	440	60.9	230	113	302	32	10,544.835
3	455	60.9	230	122	349	36	11,994.255
4	465	60.9	230	122	351	60	12,103.860
5	470	60.9	230	117	347	65	12,183.050
6	475	60.9	230	117	347	70	12,192.180
7	480	60.9	230	118	349	80	12,237.855

เมื่อนำค่าภาระทางความร้อนมาพลอตกราฟคู่กับความสูงของแนวเย็นตัว จะได้เส้นโค้งดังรูปที่ 4 และถ้ามาพลอตกราฟคู่กับความกว้างของฟิล์ม จะได้เส้นโค้งตามรูปที่ 5



รูปที่ 4 กราฟแนวเข็นตัวกับภาระทางความร้อน



รูปที่ 5 กราฟความกว้างฟิล์มกับภาระทางความร้อน

ทั้งนี้สามารถปรับเส้นโค้ง(Curve Fitting) [4] ได้สมการ (2) จากรูปที่ 4 และ สมการ (3) จากรูปที่ 5 ดังต่อไปนี้

$$Y_c = 7,416.033 + 2,593.760 \log X_1 \quad (2)$$

$$Y_c = -78,402.321 + 33,876.885 \log X_2 \quad (3)$$

เมื่อรวมความสัมพันธ์ของสมการทั้งสองจะได้สมการใหม่ที่เหลือแค่สองตัวแปรดังนี้

$$\log X_1 = 13.061 \log X_2 - 33.086 \quad (4)$$

โดย $\log X_1 = FL$, ความสูงแนวเข็นตัว (cm)

$\log X_2 = LW$, ความกว้างฟิล์ม (mm)

ตารางที่ 2 เป็นผลการเปรียบเทียบความสูงของแนวเข็นตัวที่ใช้กันอยู่ตามปกติภายในโรงงานกับความสูงของแนวเข็นตัวที่ตั้งสภาวะไปตามการคำนวณจากสมการ (4) โดยกำหนดหน้ากว้างของฟิล์มจาก 435 mm ไปถึง 480 mm ที่ความหนา 0.04 ± 0.01 mm

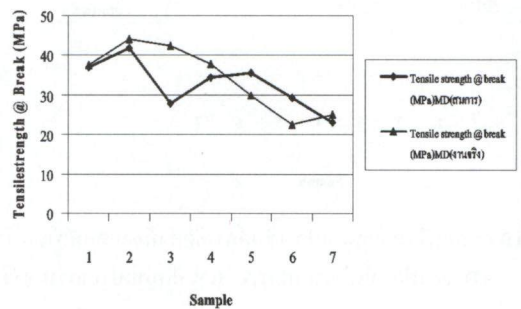
ตารางที่ 2 แนวเข็นตัวที่ได้จากการคำนวณ, $\log X_1$ และแนวเข็นตัวที่ได้จากการปฏิบัติจริง, X ตามหน้ากว้างของฟิล์ม, $\log X_2$ ขนาดต่างๆ

Lay Flat Width ; $\log X_2$ (mm)	Frost Line ; $\log X_1$ (cm)	Frost line ; X (cm)
435	24	23
440	28	30
455	43	40
465	57	60
470	65	65
475	75	78
480	86	90

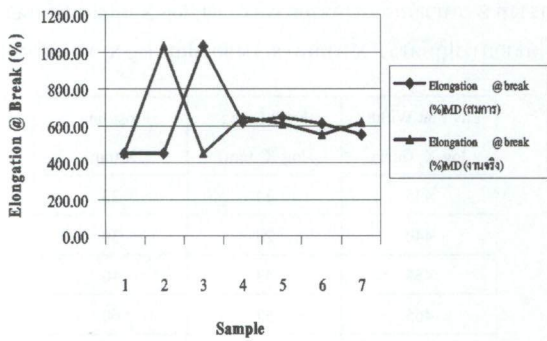
จากตารางที่ 2 พบว่าค่าแนวเข็นตัว(Frost Line; Log X_1) ที่ได้จากสมการ และค่าแนวเข็นตัว (Frost Line; Log X) ที่ได้จากการปฏิบัติงานเป่าฟิล์มจริงของการเป่าฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เกรด 1210 G1 ที่ความหนา 0.04 ± 0.01 mm ที่ความกว้างฟิล์มในช่วง 435 - 480 มิลลิเมตร พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยยืนยันได้จาก Independent-Sample T Test ที่ $\alpha = 0.05$ พบว่ามีความเชื่อมั่นได้ 95 %

3.2 ผลการทดสอบสมบัติ

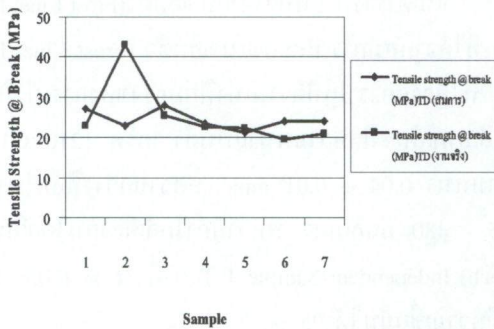
ผลการทดสอบสมบัติด้านการทนแรงดึงของฟิล์มพลาสติกที่ตั้งค่าแนวเข็นตัวไปตามปกติที่ใช้กันอยู่จริงภายในโรงงานเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ตั้งค่าแนวเข็นตัวไปตามการคำนวณ จะแสดงไว้ในรูปที่ 6 - รูปที่ 9



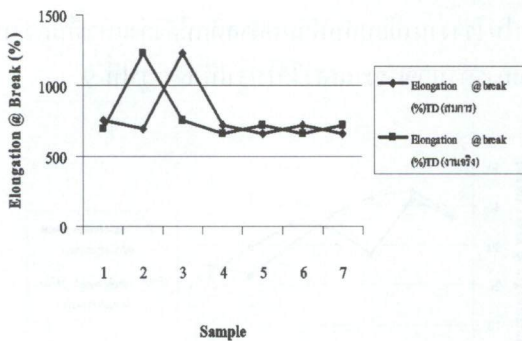
รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบค่าการทนต่อแรงดึงของฟิล์มใน MD ของฟิล์มที่เป่าจากสมการ และฟิล์มที่เป่าจากงานจริง



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดแตกหักในแนว MD ของฟิล์มที่เป่าจากสมการ และฟิล์มที่เป่าจากงานจริง



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบค่าการทนต่อแรงดึงของฟิล์มในแนว TD ของฟิล์มที่เป่าจากสมการ และฟิล์มที่เป่าจากงานจริง



รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดแตกหักในแนว TD ของฟิล์มที่เป่าจากสมการ และฟิล์มที่เป่าจากงานจริง

จะพบว่าสมบัติด้านการทนแรงดึงของฟิล์มทั้งสองสถานะมีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟไปในทิศทางเดียวกันทั้งสองกรณี ดังนั้นจึง

อาจกล่าวได้ว่าสมการที่เกิดขึ้นใหม่นี้สามารถใช้งานได้จริง สำหรับการเป่าฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเกรด 1210 G1 ความหนา 0.04 ± 0.01 mm. ใช้กับเครื่องเป่าฟิล์มยี่ห้อ A.R. Product Ltd.Part ขนาดสกรู 55 mm

4.สรุปผล

4.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยพบว่าการใช้สมการภาวะทางความร้อนของ Knitell และ DeJonghe เข้าศึกษาระบบหล่อเย็นของการเป่าฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เป่าขึ้นจากเครื่องอัดรีดมีความเหมาะสม สามารถเขียนแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้ดังต่อไปนี้คือ

$$(Frost\ line,\ log\ X_1) = 13.061 (Lay\ flat\ width,\ log\ X_2) - 33.086$$

การประยุกต์ใช้สมการการคำนวณที่เกิดขึ้นนี้ มีประโยชน์สามารถกำหนดความสูงของแนวเย็นตัวได้อย่างพอเหมาะ ลดการเสียดเวลา วัสดุคืบ และค่าไฟฟ้าลงได้ เนื่องจากการลองผิดลองถูกของพนักงานที่เริ่มปฏิบัติงานเป่าฟิล์มใหม่ ๆ อีกทั้งยังส่งผลให้ฟิล์มพลาสติกที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้า ยกประสิทธิภาพของโรงงานได้ต่อไป

4.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การวิจัยสมบูรณ์มากขึ้น เราควรจะทดลองการศึกษาระบบหล่อเย็นของฟิล์มเป่าด้วยสมการภาวะทางความร้อนนี้กับพลาสติกชนิดอื่นๆ หรือกับเครื่องเป่าฟิล์มเครื่องอื่นๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นอีก จากนั้นก็ควรใช้หลักการทางสถิติในระดับสูงกว่านี้เข้าวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อให้เกิดความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้มากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้จัดการ บริษัท เตชะ แอ็นด ชัน จำกัด คุณประเสริฐ เตชะรัชต์กิจ ที่ให้ความอนุเคราะห์เมื่อดพลาสติก และใช้เครื่องเป่าฟิล์มในการทดลอง รวมถึงคุณดาววัลย์ เพียรทำ วิศวกร บริษัท เตชะ แอ็นด ชัน จำกัด ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทดลอง และขอ

ขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชภัฏธนบุรี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำโครงการงาน
เอกสารอ้างอิง

- [1] ชวลิต แสงสวัสดิ์. กระบวนการเป่าฟิล์ม.
ปทุมธานี : ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมอุตสาหกรรม
พลาสติก สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. 2540.
- [2] ธานินทร์ ศิลป์จารุ. การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล
ทางสถิติด้วย SPSS. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ :
โรงพิมพ์ วี. อินเตอร์ พริน จำกัด, 2548.
- [3] บรรณแดง ศรีนิล. เทคโนโลยีพลาสติก. พิมพ์
ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริม
เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.
- [4] สมจิต วัฒนาชยากุล. สถิติวิเคราะห์เบื้องต้น.
กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2545.
- [5] Belofsky, H. **Plastics: Product Design and
Process Engineering.** Munich : Hanser Publishers,
1995.
- [6] Hensen, Friedhelm. **Plastics Extrusion
Technology.** : Carl Hanser Verlag, Munich
Vienna New York, 1997.
- [7] J. Brandrup .and E.H. Immergut. **POLYMER
HANDBOOK.** 3th ed. United States of America
: simultaneously, 1989.
- [8] Kanai, T. and G. A. Campbell. **Film Processing.**
: Germany : Carl Hanser Verlag Munich, 1999.
- [9] Levy, Sidney and Carley, James F. **Plastics
Extrusion Technology Handbook.** : United
States of America, 1989.
- [10] Naranjo C, Alberto. Maria del Pilar Norlega
E. Juan Diego Sierra M. Juan Rodrigo Sanz.
Extrusion Processing Data. Munich Hanser
Publishers,
- [11] Vargas, Chairman. **FILM EXTRUSION
MANUAL.** :TAPPI PRESS, 1992.
- [12] V.Rosato,Donald and V.Rosato, Dominick.
Plastics Processing Data Handbook. New York.
: Van Nostrand Reinhold, 1990.

