

# ปัจจัยที่ส่งผลต่อการบวมตัวของไม้ประกอบพลาสติก

## Factors affecting the swelling of wood plastic composite

ชญานวิทย์ วิทยพันธ์ วิชา ศรีสืบสาย

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่ทำให้ไม้ประกอบพลาสติกเกิดการบวมตัวน้อยที่สุด โดยเริ่มต้นจากการออกแบบการทดลองด้วยวิธี  $2^{6-2}$  Fractional Factorial Design with Resolution IV เพื่อกรองปัจจัย 6 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของเม็ดไม้ประกอบพลาสติก, ความเร็วรอบในการหมุนของสกรู, อุณหภูมิที่ Feed Zone, อุณหภูมิที่ Center Barrel, อุณหภูมิที่ Front Barrel และอุณหภูมิที่ Die ให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการบวมตัวของไม้ประกอบพลาสติก จากนั้นทำการทดลองด้วยวิธี  $2^2$  และทำซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่ทำให้ไม้ประกอบพลาสติกเกิดการบวมตัวน้อยที่สุดโดยใช้ General Linear Model ทำการวิเคราะห์ จากนั้นทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อยืนยันผล โดยใช้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย ซึ่งพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการบวมตัวของไม้ประกอบพลาสติก คือ ชนิดของเม็ดไม้ประกอบพลาสติก และความเร็วรอบในการหมุนของสกรู ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นดังนี้ ใช้เม็ด HDPE+WPC 2.5%, ความเร็วรอบในการหมุนของสกรูที่ 2 RPM, อุณหภูมิที่ Feed Zone 140°C, อุณหภูมิที่ Center Barrel 175°C, อุณหภูมิที่ Front Barrel 175°C และอุณหภูมิที่ Die 185°C

คำสำคัญ : กระบวนการอัดรีด, ไม้ประกอบพลาสติก, แม่แบบ, การบวมตัว

### Abstract

The purpose of this research is to determine the optimal condition of factors which can minimize the swelling of wood plastic composite. The first experiment,  $2^{6-2}$  Fractional Factorial Design with Resolution IV is used to screen 6 factors which cause the significant affecting the swelling of wood plastic composite. Six factors are a type of WPC, screw speed, temperature in feed zone, temperature in center barrel, temperature in front barrel and temperature in die. After getting the result,  $2^2$  with 2 replicates design is used to define optimal condition of factors which can minimize the swelling of wood plastic composite by using General Linear Model for analysis. Then, the optimal conditions are used to assure for result of experiment by repeat 5 times. According to experiments above, the optimal condition in product manufacturing are as follow; HDPE+WPC 2.5%, screw speed 2 RPM, temperature in feed zone 140°C, temperature in center barrel 175°C, temperature in front barrel 175°C and temperature in die 185°C.

**Keywords :** Extrusion, Wood Plastic Composite, Die, Swelling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. บทนำ

ไม้ประกอบพลาสติก(Wood Plastic Composite :WPC) เป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในวงการอุตสาหกรรมไม้และพลาสติกในต่างประเทศมานานแล้ว แต่ยังคงค่อนข้างใหม่สำหรับประเทศไทย ซึ่ง WPC ถือได้ว่าเป็นการนำเอาความรู้ทั้งในวงการไม้ และวงการพลาสติกมาประสานรวมกัน ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้นมา โดย WPC มีข้อดี คือ ทนต่อสภาพแวดล้อม มีอายุการใช้งานนานขึ้น เมื่อเทียบกับไม้ตามธรรมชาติ โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อม[การประชุมการป่าไม้ ปี 2545] ซึ่งกระบวนการขึ้นรูป WPC นั้นต้องอาศัยส่วนผสมจากเศษไม้ ไม้เนื้ออ่อน มารวมกับพลาสติก เช่น Polystyrene (PS), Polyethylene (PE), Poly[vinyl chloride] (PVC) และ Polypropylene (PP) เป็นต้น มาใช้ในการขึ้นรูป สำหรับการขึ้นรูป WPC สามารถขึ้นรูปได้หลายวิธีการเช่นเดียวกับการขึ้นรูปพลาสติกโดยทั่วไป เช่น กระบวนการอัดรีด (Extrusion) เป็นต้น

ปัจจุบัน WPC เข้ามามีบทบาทสำคัญในวงการอุตสาหกรรมขึ้นรูปพลาสติกเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความต้องการที่จะนำวัสดุที่เหลือจากการแปรรูปไม้กลับมาใช้ประโยชน์ และต้องการที่จะนำ WPC มาทดแทนการใช้ไม้จริง เพื่อความคงทนของผลิตภัณฑ์ และคงสภาพสวยงามเสมือนไม้จริง ซึ่งการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีดนั้นเป็นกระบวนการที่เป็นที่นิยมมาก แต่อย่างไรก็ตาม การขึ้นรูป WPC ด้วยวิธีกระบวนการอัดรีดก็เหมือนกับการขึ้นรูปพลาสติกด้วยกระบวนการอัดรีดโดยทั่วไป ซึ่งมีปัญหา คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการอัดรีด มักมีขนาดและรูปร่างไม่ตรงกับที่กำหนด นอกจากนี้การควบคุมการอัดรีดด้วย WPC ยังยุ่งยากกว่า เมื่อเทียบกับการอัดรีดด้วยพลาสติกแต่เพียงอย่างเดียว เนื่องจากสมบัติการไหลของ WPC ต่างจากพลาสติก ดังนั้นโครงการนี้เป็นการศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการบวมตัวของ WPC เพื่อช่วยในการกำหนดสภาวะการทำงานที่เหมาะสมต่อการ

ผลิตให้มีความสามารถรองรับปัญหาของกระบวนการอัดรีดที่เกิดจากการใช้ WPC ดังกล่าว

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การขึ้นรูปไม้ประกอบพลาสติก

เป็นการนำเม็ดคอมพอสิตมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปชนิดต่างๆ ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างตามความต้องการ ซึ่งกระบวนการที่นิยมใช้ในการขึ้นรูป WPC คือ กระบวนการอัดรีด สำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการอัดรีด เรียกว่าเครื่องอัดรีด (Extruder) ซึ่งเครื่องอัดรีดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่ เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว(Single Screw Extruder) และเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่(Twin Screw Extruder) แต่ในการขึ้นรูปชิ้นงานของอุตสาหกรรมพลาสติกส่วนใหญ่จะใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว เนื่องจากจากราคาถูก ใช้งานง่าย และมีต้นทุนสูงเมื่อเทียบกับเครื่องอัดรีดชนิดอื่น สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว เนื่องจากเป็นเครื่องที่นำมาใช้ในการทดลองปฏิบัติจริง[1,2]



รูปที่ 1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว

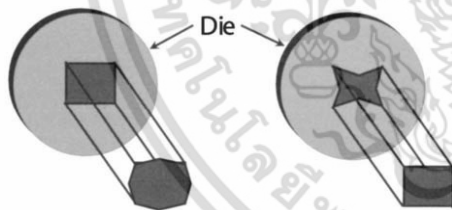
กระบวนการอัดรีดเริ่มจากการเติมผงพลาสติก (Powder) หรือเม็ดคอมพอสิต(Pellets) ลงไปในกรวยเติม (Hopper) จากนั้นเม็ดคอมพอสิตจะไหลลงไปในกระบอกทึด (Barrel) ของเครื่องอัดรีด ซึ่งเม็ดคอมพอสิตจะเคลื่อนตัวไปตามแนวการหมุนของสกรูเข้าสู่ส่วนแรกของสกรู ซึ่งเรียกว่า Feed zone และจะหลอมเหลวเมื่อเข้าสู่ส่วนกลางของสกรู ซึ่งเรียกว่า Transition zone และพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอมเหลวนั้นจะไหลเข้าสู่ส่วนสุดท้ายของสกรู ซึ่งเรียกว่า Metering zone จากนั้นคอมพอลิเมอร์หลอมเหลวจะไหลผ่านแม่แบบ(Die) ที่มีรูปร่างตามลักษณะของชิ้นงานที่ต้องการผลิต ซึ่งคอมพอลิเมอร์จะแข็งตัวเมื่อออกจาก Die เนื่องจากการหล่อเย็น สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป WPC ด้วยกระบวนการอัดรีดจะต้องมีค่าไม่เกิน 200 °C เนื่องจากการขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงเกินไปจะก่อให้เกิดควันและทำให้คอมพอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพ หรือไหม้ได้ [3]

**2.2 พฤติกรรมการบวมตัวของคอมพอลิเมอร์หลอมเหลวบริเวณทางออกของ Die**

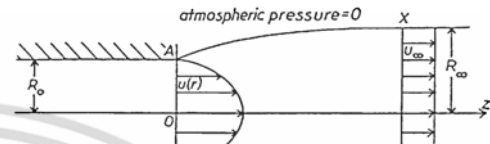
จะเห็นได้ว่า Die เป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องอัดรีด เพราะจะเป็นตัวกำหนดว่าผลิตภัณฑ์มีรูปร่างอย่างไร ซึ่งปัญหาสำคัญของกระบวนการอัดรีด คือการที่ของเหลวพลาสติกหรือคอมพอลิเมอร์ที่ออกมาจาก Die มีลักษณะรูปร่างที่เปลี่ยนไปจากขนาดและรูปร่างของ Die เดิม ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเกิดการบวมตัวออก (Swelling) ของคอมพอลิเมอร์ โดยเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Extrudate swell หรือ Die swell ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 Die swell [4]

การบวมตัวของคอมพอลิเมอร์เป็นผลมาจากการเปลี่ยนความเร็วของของเหลวในเครื่องอัดรีดสู่บรรยากาศภายนอก และผลจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของของเหลวเอง โดยรูปแบบความเร็วของของเหลวใน Die จะเปลี่ยนจากพาราโบลาไปเป็นความเร็วเท่ากันทุกจุด เมื่อของเหลวไหลออกไปข้างนอก ดังแสดงในรูปที่ 3 ถ้าพิจารณาที่ตำแหน่งตรงกลางของ Die ของไหลจะมีความเร็วสูง แต่เมื่อออกมาข้างนอกของไหลจะมีการลดความเร็วลง ซึ่งจะทำให้ของไหลต้องขยายตัวออก เพื่อให้ปริมาตรการไหลเท่าเดิม

และสาเหตุอีกประการของการบวมตัวของคอมพอลิเมอร์ คือการขยายตัวของโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ถูกบีบอัดตัวอยู่ใน Die ดังนั้นการทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อการบวมตัวของคอมพอลิเมอร์จะช่วยในการกำหนดสภาวะการทำงานที่เหมาะสมต่อการผลิตให้มีความสามารถรองรับการเกิดปัญหาการบวมตัวของคอมพอลิเมอร์ดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3 รูปแบบความเร็วขณะของเหลวออกจาก Die [5]

**3. ขั้นตอนการดำเนินงาน**

ในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิค 2<sup>6-2</sup> Fractional Factorial Design with Resolution IV ทำการทดลองเพียงครั้งเดียว(Single replicate) เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านวัสดุในการทดลอง และช่วยลดจำนวนการทดลองลงในระดับที่สามารถทดลองได้จริง โดยให้ผลเหมือนกับเทคนิค Full Factorial Design และมีการสุ่มลำดับการทดลอง(Randomized) ซึ่งใช้เทคนิคนี้ในการกรองปัจจัยต่างๆ ให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการบวมตัวของ WPC เท่านั้น ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นปัจจัยที่ใช้ในการปรับตั้งค่าเครื่องอัดรีดทั้งหมด 6 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ซึ่งแต่ละระดับปัจจัยได้อ้างอิงมาจากสภาวะที่ WPC เริ่มหลอมเหลว และเริ่มเสื่อมสภาพ[6] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัย และระดับของปัจจัย

Factor	Low level	High level	หน่วย
A : ชนิดเม็ด WPC	HDPE+WPC 2.5%	HDPE+WPC 5%	-
B : ความเร็วรอบของสกรู	2	20	RPM
C : อุณหภูมิที่ Feed Zone	140	150	°C
D : อุณหภูมิที่ Center Barrel	175	185	°C
E : อุณหภูมิที่ Front Barrel	175	185	°C
F : อุณหภูมิที่ Die	185	200	°C

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดียวในการอัดรีดเม็ด WPC ให้ออกจากเครื่องอัดรีดโดยผ่าน Die ลักษณะวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร(mm) เมื่อ

ไม่ผ่านการใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทำงานครบ 1 นาทีแล้วจะตัด WPC ออกจากนั้นจึงเปลี่ยนเงื่อนไขการทดลองใหม่ โดยใช้เวอร์เนียร์ที่ผ่านการสอบเทียบจากสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)ในการวัดขนาดของ WPC ที่ออกมาจาก Die ในหน่วย mm ซึ่ง จะทำการวัดขนาด 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัว ส่วนกลาง และ ส่วนปลายเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ย จากนั้นนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติโดยใช้โปรแกรม MINITAB 15 เพื่อเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการบวมตัวของ WPC อย่างมีนัยสำคัญ โดยเปรียบเทียบจากค่า P-Value กับค่าของ Alpha จากนั้นจึงเอาปัจจัยคัดกรองแล้วไปหาสภาวะที่เหมาะสมอีกทีหนึ่ง

**4. ผลการทดลอง**

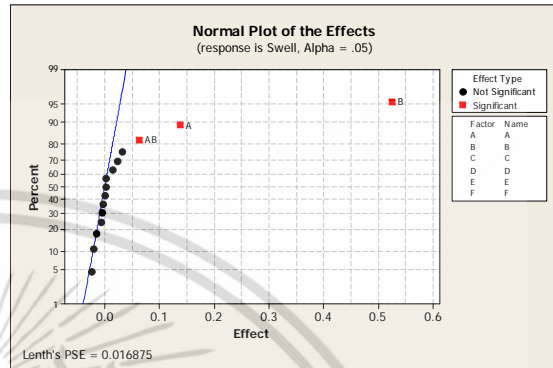
**4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น**

ในขั้นตอนนี้เลือกใช้เทคนิค  $2^{6-2}$  Fractional Factorial Design with Resolution IV เพื่อทำการประเมินปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบสนอง และคัดแยกปัจจัยที่มีความสำคัญไว้ทำการศึกษาต่อไป ซึ่งผลการทดลองเป็นขนาดของ WPC ที่ผ่านการอัดรีดออกมาจาก Die ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลอง  $2^{6-2}$  Fractional Factorial Design with Resolution IV

Std Order	Run Order	A	B	C	D	E	F	Swell (mm)
5	1	2.5	2	150	175	185	200	4.74
3	2	2.5	20	140	175	185	200	5.22
12	3	5	20	140	185	175	185	5.45
4	4	5	20	140	175	175	200	5.4
7	5	2.5	20	150	175	175	185	5.2
11	6	2.5	20	140	185	185	185	5.15
14	7	5	2	150	185	175	185	4.86
8	8	5	20	150	175	185	185	5.35
16	9	5	20	150	185	185	200	5.4
2	10	5	2	140	175	185	185	4.8
13	11	2.5	2	150	185	185	185	4.73
10	12	5	2	140	185	185	200	4.81
9	13	2.5	2	140	185	175	200	4.73
15	14	2.5	20	150	185	175	200	5.23
6	15	5	2	150	175	175	200	4.78
1	16	2.5	2	140	175	175	185	4.75

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของขนาดการบวมตัวของ WPC ซึ่งจากการทดลองไม่มีการทำซ้ำ จึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ไม่มีผลต่อการบวมตัวของ WPC โดยการสร้างกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal probability plot) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Normal probability plot ของ  $2^{6-2}$  Fractional Factorial Design with Resolution IV

จาก Normal probability plot พบว่าปัจจัยหลัก ได้แก่ ชนิดเม็ด WPC(A), ความเร็วรอบของสกรู(B) และอันตรกิริยาระหว่างชนิดเม็ด WPC กับความเร็วรอบของสกรู (AB) มีผลต่อการทำให้ขนาด WPC บวมตัวที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลด้วยตาราง ANOVA เพื่อยืนยันว่าผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับ Normal probability plot ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ ANOVA

Factorial Fit: Swell versus A, B						
Estimated Effects and Coefficients for Swell(coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		4.62500	0.040374	114.55	0.000	
A	0.04889	0.02444	0.010214	2.39	0.034	
B	0.03750	0.01875	0.002841	6.60	0.000	
A*B	0.00556	0.00278	0.000719	3.87	0.002	
S = 0.0323393 PRESS = 0.0223111						
R-Sq = 98.96% R-Sq(pred) = 98.15% R-Sq(adj) = 98.70%						
Analysis of Variance for Swell (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	1.17813	0.05922	0.029609	28.31	0.000
2-Way Interactions	1	0.01563	0.01563	0.015625	14.94	0.002
Residual Error	12	0.01255	0.01255	0.001046		
Pure Error	12	0.01255	0.01255	0.001046		
Total	15	1.20630				

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยตาราง ANOVA แล้วพบว่าผลที่ได้สอดคล้องกับ Normal probability plot ดังนั้นแล้วจึงตัดปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบต่อ การบวมตัวของ WPC ออก คือ อุณหภูมิที่ Feed Zone(C), อุณหภูมิที่ Center Barrel(D), อุณหภูมิที่ Front Barrel(E) และอุณหภูมิที่ Die(F)

**4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย**

ทำการออกแบบการทดลองด้วยเทคนิค 2<sup>2</sup> และทำซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่ทำให้ WPC เกิดการบวมตัวน้อยที่สุด ในการทดลองนี้จะใช้ General Linear Model ทำการวิเคราะห์ปัจจัย ได้แก่ ชนิดเม็ด WPC(A), ความเร็วรอบของสกรู(B) ซึ่งผลการวิเคราะห์ ความแปรปรวน และกราฟค่าความผิดพลาด(Residual Plot) ดังแสดงในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ผลการวิเคราะห์ General Linear Model

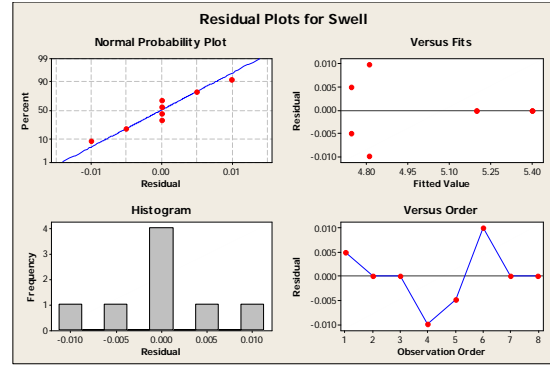
General Linear Model: Swell versus %WPC, RPM						
Factor	Type	Levels	Values			
%WPC	fixed	2	2.5, 5.0			
RPM	fixed	2	2, 20			

Analysis of Variance for Swell, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
%WPC	1	0.03511	0.03511	0.03511	561.80	0.000
RPM	1	0.54601	0.54601	0.54601	8736.20	0.000
%WPC*RPM	1	0.00911	0.00911	0.00911	145.80	0.000
Error	4	0.00025	0.00025	0.00006		
Total	7	0.59049				

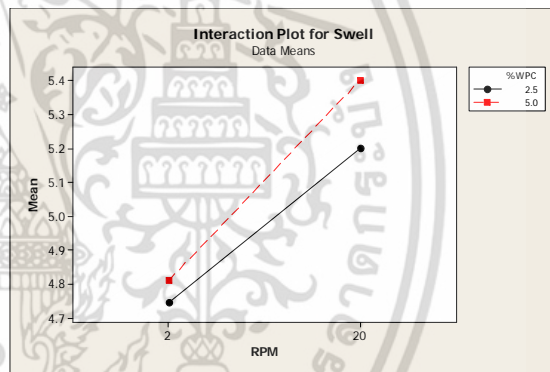
S = 0.00790569 R-Sq = 99.96% R-Sq(adj) = 99.93%

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ชนิดเม็ด WPC(A), ความเร็วรอบของสกรู(B) และอันตรกิริยาระหว่างชนิดเม็ด WPC กับความเร็วรอบของสกรู(AB) มีผลต่อการทำให้ขนาด WPC บวมตัวที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และจากการพิจารณา Residual Plot ตามรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่ากราฟ Residual Plot ไม่พบสิ่งผิดปกติ โดยตรวจสอบดังนี้ การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normality Test) จากกราฟ Normal Probability Plot มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ , การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Test) จากกราฟ Residuals vs Order ลักษณะของข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน เนื่องจากการกระจายไม่มีรูปแบบ, การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability Test) จากกราฟ Residuals vs Fitted Value ไม่มีการกระจายตัวที่มีลักษณะผิดปกติ แสดงว่าความแปรปรวนคงที่ ดังนั้น General Linear Model นี้มีความเพียงพอและมีความเหมาะสมต่อการนำมาวิเคราะห์ (Model Adequate)



**รูปที่ 5** Residual Plot ของผลตอบสนองการบวมตัวของ WPC

จากรูปที่ 6 แสดงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยเม็ด WPC(A) และความเร็วรอบของสกรู(B) พบว่า ขนาดการบวมตัวที่เม็ด WPC ชนิด HDPE+WPC 2.5% และความเร็วรอบสกรูที่ 2 RPM ทำให้ WPC ที่ออกมาจากเครื่องอัดรีดมีขนาดการบวมตัวน้อยที่สุด



**รูปที่ 6** ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยชนิดเม็ด WPC(A) และความเร็วรอบของสกรู(B)

**4.3 การทดลองบนค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย เพื่อยืนยันผล**

ทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองเป็นการทดลองบนค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อการทำให้ WPC เกิดการบวมตัว โดยจะทดลองทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** เปรียบเทียบค่าของผลตอบสนอง และยืนยันผล

ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย						ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
A	B	C	D	E	F					
2.5	2	140	175	175	185	4.74	4.75	4.75	4.76	4.75

จากตารางที่ 6 ค่าที่ได้จากการขึ้นชั้นผลซ้ำ 5 ครั้งมีค่าใกล้เคียงกันทั้งหมดซึ่งเป็นผลที่น่าพึงพอใจ และเหตุที่กำหนดให้ค่าอุณหภูมิที่ Feed Zone มีค่า 140 °C, อุณหภูมิที่ Center Barrel มีค่า 175 °C, อุณหภูมิที่ Front Barrel มีค่า 175 °C และอุณหภูมิที่ Die มีค่า 185 °C เนื่องจากพอลิโพรพิลีนให้อุณหภูมิที่สูงกว่านี้แล้วทำให้ WPC มีอาการไหม้ และมีควันออกมาจากปาก Die เนื่องจากค่าอุณหภูมิความร้อนมีค่ามากเกินไป

## 5. สรุป

จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการบวมตัวของ WPC ไปนั้น ในเบื้องต้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาการบวมตัวของ WPC ได้ ตลอดจนช่วยให้ผลิตผลิตภัณฑ์ได้ในสภาวะที่เหมาะสม โดยการกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว ดังนี้ ใช้เม็ด HDPE+WPC 2.5%, ความเร็วรอบในการหมุนของสกรูที่ 2 RPM, ค่าอุณหภูมิที่ Feed Zone 140 °C, อุณหภูมิที่ Center Barrel 175 °C, อุณหภูมิที่ Front Barrel 175 °C และอุณหภูมิที่ Die 185 °C

## 6. งานที่จะทำต่อไปในอนาคต

ในการศึกษาครั้งนี้ก็ยังไม่ครอบคลุม และยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการบวมตัวของ WPC ได้ทั้งหมด เนื่องจากข้อจำกัดของการใช้งานเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวที่ใช้ และรูปแบบของ Die ที่ใช้ซึ่งไม่หลากหลายพอ ดังนั้น แนวทางในการพัฒนาต่อไปทำได้โดยการออกแบบ Die ให้มีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับสภาพการไหลของคอมพอสิตเหลว ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยนำสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวนี้ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวต่อไป

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chris Rauwendaal, “Polymer Extrusion Revised 4<sup>th</sup> edition”, Hanser, 2001.
- [2] M.F. Carol Barry, A. Stephen Orroth, and R. Nick Schott, “Experiment for Plastics Laboratories I”, University of Massachusetts Lowell : Department of Plastics Engineering, 2003.
- [3] ปิ่นสุภา ปิติรักษ์สกุล, “คอมโพสิตไม้ - พลาสติกวัสดุใหม่สำหรับงานก่อสร้าง”, วารสารรามคำแหง ฉบับวิศวกรรมศาสตร์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 1, 20-25, 2551.
- [4] F. Harold Giles, J.R. John Wagner, and I.M. Eldridge Mount, “Extrusion : the definitive processing guide and handbook”, William Andrew, 2005.
- [5] J.L. Ditter and C.W. Hirt, “The Fountain Effect and Die Swell Phenomena”, Flow Science, p.1-11, 1992.
- [6] C. Douglas Montgomery, “Design and Analysis of Experiments 7<sup>th</sup> Edition”, John Wiley&Sons, 2009
- [7] A. Anatole Klyosov, “Wood-plastic composites”, John Wiley&Sons, 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้