



รหัสโครงการ SUT7-702-56-12-54

รายงานวิจัย

การศึกษารวมวิธีการขึ้นรูปแบบเย็นของวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีน (Study of Cold Forming Processes on Recycled Materials from Waste Melamine)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รหัสโครงการ SUT7-702-56-12-54

รายงานวิจัย

การศึกษากรรมวิธีการขึ้นรูปแบบเย็นของวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีน (Study of Cold Forming Processes on Recycled Materials from Waste Melamine)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร.วรรณนัช ปุ่งสุต

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

สำนักวิชาวิศวกรรมการผลิต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นางสาวจันทร์จิรา อภิรักษ์เมธาวงศ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ.2556

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ตุลาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความร่วมมือของคณะผู้วิจัย, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และบุคลากรศูนย์เครื่องมือที่ให้ความรู้ทางด้านการใช้เครื่องมือตลอดจนอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือเป็นอย่างดีที่ได้อำนวยความสะดวกการทำวิจัย

ขอขอบคุณบริษัทศรีไทยซูเปอร์แวร์จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในส่วนของวัสดุในการทำวิจัย เครื่องมือการขึ้นรูปชิ้นงานตลอดจนบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในการขึ้นรูปวัสดุ มาให้ความรู้และช่วยเหลือในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นทดสอบ

นอกจากนี้ในการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ผู้วิจัย

ตุลาคม 2558

บทคัดย่อ

เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์เรซิน (Melamine-Formaldehyde Resins) เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมเซต มีการใช้งานอย่างกว้างขวางและเป็นที่ทราบโดยทั่วไปว่าไม่สามารถนำกลับมาหลอมให้อ่อนตัวซ้ำได้ ซึ่งในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์เมลามีน จะใช้เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์เรซิน เป็นวัตถุดิบ ซึ่งในกระบวนการผลิตจะเกิดเศษครีปและผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียจำนวนหนึ่งไม่สามารถนำมาขึ้นรูปซ้ำได้อีก งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเชิงทดลอง โดยคาดว่าจะช่วยเพิ่มมูลค่าเศษผลิตภัณฑ์เมลามีนนี้โดยการนำเอาเศษครีปที่เหลือจากกระบวนการผลิต ตกแต่งและผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียมาผสมกับผงเมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์เรซิน ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป โดยจะทดลองวิธีการขึ้นรูปสองวิธีคือ ขึ้นรูปด้วยการอัดพร้อมกับให้ความร้อน (Compression Molding) และขึ้นรูปด้วยการอัดและให้ความร้อนภายหลังการอัด (Cold Molding) ซึ่งคาดว่าจะวิธีที่สองจะใช้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า และศึกษาการกำหนดปริมาณส่วนผสมเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติเชิงกลเบื้องต้น ผลการศึกษาพบว่า การอัดและให้ความร้อนภายหลังการอัด หรือเรียกอีกชื่อว่าการอัดแบบแม่พิมพ์เย็น ให้ความแข็งแรงของวัสดุที่น้อยกว่า เนื่องจากข้อด้อยของวิธีการขึ้นรูปที่มีประสิทธิภาพการบรรจุอนุภาคสาร (Packing) ต่ำกว่า จากการหาขอบเขตการขึ้นรูปเย็นพบว่า ขอบเขตการขึ้นรูปเย็นที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือหลังจากอัดด้วยแม่พิมพ์เย็น Pre-heating ที่ 100°C 15 ชั่วโมง จากนั้นอบด้วยอุณหภูมิ 160°C 1 ชั่วโมง

Abstract

Melamine–formaldehyde resin is one of thermosetting plastics that are widely used in kitchen ware production industries. In the manufacturing processes, scrap and waste of formed melamine cannot be reformed or reused. Therefore, this study aims to investigate the proper proportion of virgin melamine powder and waste melamine in order to increase values of those plastic products. For experiment methodology, the melamine powder and waste melamine are compounded and formed as newly reformed products by hot compression molding and cold compression molding for mechanical property testing. Compressive test, bending test and impact test are used for evaluating mechanical properties of above mentioned products. For experimental results, the mechanical properties of cold molding products are relatively lower than hot molding products due different melamine molecular packing. It was found that the pre–heating at 100°C for 15 hours and heating at 160°C for 1 hour is the appropriate condition for cold forming.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ณ

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์เรซิน (Melamine-Formaldehyde Resins)	3
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.3.1 การขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดร้อน (Hot Compression Molding)	4
2.3.2 การขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเย็น (Cold Compression Molding)	6
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	9
3.1 กล่าวนำ.....	9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2	วัสดุที่ใช้ทำการวิจัย	10
3.3	เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	10
3.4	วิธีการทดลอง	10
4	ผลลัพธ์และการอภิปรายผล	19
4.1	กล่าวนำ.....	19
4.2	ผลการทดสอบการหาวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเย็น ของเมลามีนใหม่.....	19
4.2.1	ผลกระทบของเวลาในการ Pre-Heating ต่อความแข็งแรงดัด	19
4.2.2	ผลกระทบของเวลาและอุณหภูมิในการอบ (Heating) ต่อความแข็งแรงดัด.....	21
4.2.3	ผลกระทบของเวลาในการอบต่อความแข็งแรงดัด	25
4.3.	ผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของเมลามีนใหม่ที่ขึ้นรูปด้วยการอัดร้อน และอัดเย็น	27
4.3.1	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)	27
4.3.2	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope)	28
5	สรุปและข้อเสนอแนะ	31
5.1	สรุปผล.....	31
5.2	ข้อเสนอแนะ	32
	รายการอ้างอิง	33
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	35
	ประวัติผู้วิจัย	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะทางกายภาพของเมลามีน	4
3.1 อัตราส่วนการผสมวัตถุดิบ	14
3.2 มาตรฐานต่าง ๆ ของการทดสอบ	33
4.1 ขอบเขตของการทดสอบเวลาในการ Pre-Heating	21
4.2 ผลการทดสอบแบบ One Sample T – Test ของ ($H_0: \mu=90.12$) vs ($H_1: \mu \neq 90.12$) ด้วยความเชื่อมั่น 95%	22
4.3 ขอบเขตของการทดสอบอุณหภูมิและเวลาในการอบ	23
4.4 ผลการคำนวณทางสถิติด้วย Two – Way ANOVA ที่ความเชื่อมั่น 95% ของตัวแปรอุณหภูมิและเวลา	24
4.5 ขอบเขตของการทดสอบเวลาในการอบ	26

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของเครื่องกดอัด	5
2.2 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัด	6
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานโดยสังเขป	9
3.2 ผลการทดสอบการวัดขนาดเฉลี่ยของผงเมลามีนใหม่	11
3.3 ลักษณะผงเมลามีนใหม่	11
3.4 แผนผังกระบวนการเตรียมเศษเมลามีน	12
3.5 ผลการทดสอบการวัดขนาดเฉลี่ยของเศษเมลามีน	13
3.6 ลักษณะเศษเมลามีน	13
3.7 ขั้นตอนทดสอบแรงคัด	15
3.8 กระบวนการขึ้นรูปเมลามีนแบบอัดร้อน	16
3.9 แผนผังการขึ้นรูปแบบอัดเย็น	16
3.10 กลไกของแม่พิมพ์อัดเย็น	17
3.11 ขั้นตอนทดสอบแรงคัด แรงอัดและแรงกระแทก	18
4.1 แผนผังการทดสอบขึ้นรูปแบบอัดเย็น	20
4.2 ขั้นตอนทดสอบที่ขึ้นรูปด้วยการอัดแบบแม่พิมพ์เย็น	21
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงแรงคัดและเวลาที่ใช้ Pre-Heating	22
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และเวลาอบที่มีผลต่อความแข็งแรงแรงคัด	23
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และเวลาอบที่มีผลต่อความแข็งแรงแรงคัด	24
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และเวลาอบที่มีผลต่อความแข็งแรงแรงคัด	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงคัดและเวลาในการอบ.....	26
4.8 วัสดุที่ผสมเศษเมลามีน 0%	27
4.9 วัสดุที่ผสมเศษเมลามีน 20%	28
4.10 วัสดุที่ผสมเศษเมลามีน 50%	28
4.11 ภาพตัดขวางของวัสดุเมลามีนใหม่.....	29
4.12 ภาพตัดขวางของวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีน 40%.....	29
4.13 ภาพตัดขวางของวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีน 50%.....	30

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$T\text{-value}$	=	ค่าที่ใช้พิจารณาใน T – Distribution
$P\text{-value}$	=	ค่าสถิติที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05
H_0	=	สมมุติฐานหลัก (Null hypothesis)
H_1	=	สมมุติฐานรอง / สมมุติฐานทางเลือก (Alternative hypothesis)
μ	=	ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดที่สนใจ
S	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)
$R\text{-sq}$	=	Coefficient of determination
DF	=	องศาอิสระ (Degree of freedom)
SS	=	ผลรวมความเบี่ยงเบนกำลังสอง (Sum of square)
MS	=	ค่ากลางกำลังสอง (Mean square)
$F\text{-value}$	=	ค่าที่ใช้พิจารณาใน F – distribution

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลาสติกเป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือ เทอร์โมพลาสติก เป็นพลาสติกที่สามารถหลอมเหลวโดยการให้ความร้อน และสามารถนำไปขึ้นรูปใช้งานใหม่ได้ และอีกประเภทหนึ่ง คือ เทอร์โมเซตติงพลาสติก เป็นพลาสติกที่สามารถหลอมเหลวมาใช้ใหม่มาโดยการให้ความร้อน เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเชื่อมโยงกันแบบเป็นร่างแหจับกันแน่นทำให้เกิดความแข็งแรงมาก

เมลามีนฟอรัลดีไฮด์เรซิน (Melamine-Formaldehyde Resins) เป็น พอลิเมอร์กลุ่มเทอร์โมเซต มีองค์ประกอบหลักคือ ผลึกเมลามีน ฟอรัลดีไฮด์ และอัลฟาเซลลูโลส สมบัติของเมลามีนฟอรัลดีไฮด์เรซิน คือ สามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดี สามารถทนต่อความร้อนได้สูง มีอัตราการรั่วซึมต่ำ ดังนั้นจึงนิยมนำมาขึ้นรูปทำผลิตภัณฑ์ในการบรรจุอาหาร เช่น แก้วน้ำ จาน ชาม ช้อน เป็นต้น

ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารนั้น เมื่อทำการอัดขึ้นรูปจะได้ผลิตภัณฑ์เมลามีนและเศษครีบที่เกิดจากกระบวนการอัด เศษครีบที่เกิดขึ้นนี้ถือว่าเป็นของเสียเพราะไม่สามารถนำมาหลอมเพื่อใช้ได้อีก โดยเศษครีบเหล่านี้จะถูกกำจัดด้วยวิธีการเผา หรือฝังกลบ ซึ่งสิ่งที่ตามมาจากการกำจัดก็คือค่าใช้จ่าย รวมไปถึงการทำลายทรัพยากรธรรมชาติทางอ้อม

จากข้างต้นจะเห็นว่าหากสามารถนำเศษครีบที่เกิดขึ้นมารีไซเคิลได้ก็จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดและไม่สร้างมลพิษให้กับธรรมชาติได้อีกด้วย ดังนั้นจึงคิดที่จะนำเศษเมลามีนมาใช้อีกครั้ง โดยการนำมาใช้เป็นสารตัวเติมสำหรับเมลามีนใหม่ แต่อย่างไรก็ตามกรรมวิธีที่ใช้ในการขึ้นรูปเมลามีนนั้นจะอัดขึ้นรูปโดยปราศจากการให้ความร้อน แล้วจึงเผาให้ความร้อนภายหลังอัด ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่เคยนำมาใช้ในการอัดขึ้นรูปเมลามีนมาก่อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษากรรมวิธีการขึ้นรูปแบบเย็น โดยคาดว่าจะสามารถขึ้นรูปขึ้นงานได้ และคาดว่าวิธีดังกล่าวจะใช้พลังงานน้อยกว่าอัดขึ้นรูปร้อน เนื่องจากสามารถนำชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูปเย็นมาเผาพร้อมกันได้ครั้งละจำนวนมาก ๆ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษากรรมวิธีการขึ้นรูปแบบเย็นของวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปแบบเย็นของวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอบไล่ความชื้น (Pre-heat) ในกระบวนการขึ้นรูป
- 1.3.2 ศึกษาอุณหภูมิเผาและเวลาที่ส่งผลต่อกระบวนการขึ้นรูปแบบเย็น
- 1.3.3 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างเมลามีนใหม่และเศษเมลามีน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 มีองค์ความรู้ และเข้าใจกระบวนการขึ้นรูปแบบเย็นของวัสดุรีไซเคิลจากเมลามีน
- 1.4.2 มีองค์ความรู้ และเข้าใจปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปแบบเย็นของวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีน เพื่อนำวัสดุรีไซเคิลไปเพิ่มมูลค่าของชิ้นงานจากวัสดุรีไซเคิลในอนาคต

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เย็น และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เย็นที่ใช้สำหรับขึ้นรูปวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีน โดยการทำการทดลอง นั้นจำเป็นต้องเข้าใจถึงกระบวนการและรายละเอียดของข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น สมบัติพื้นฐาน ของวัสดุที่ใช้ซึ่งก็คือ เมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์เรซิน การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ร้อน และแบบแม่พิมพ์ เย็นที่ใช้กันในปัจจุบัน รวมไปถึงการทดสอบสมบัติของวัสดุที่ผ่านการขึ้นรูปของสองวิธีการข้างต้น เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการ รวมถึงทราบผลกระทบปัจจัยที่ศึกษา เป็นต้น

2.2 เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์เรซิน (Melamine-Formaldehyde Resins)

เมลามีน $C_3H_6N_6$ นำมาใช้กับฟอรัมาลดีไฮด์ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์เรซิน (Melamine-Formaldehyde Resins) หรือเมลามีน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์เทอร์โมเซต ประเภทอะมิโน (Amino) มีน้ำหนักมากกว่าพลาสติกทั่ว ๆ ไปเล็กน้อย คือมีความถ่วงจำเพาะ ระหว่าง 1.47 – 1.52 รับแรงดึงได้ดีพอสมควร รับแรงอัดและแรงบิดได้ดีมาก ทนความร้อนได้ดี เนื้อแข็งแรงทนการขีดข่วนได้ดีไม่เหมาะกับการใช้ภายนอก ถูกแสงแดดจะซีดและเสื่อมคุณภาพมีสี ต่าง ๆ มีทั้งสีฟ้าและทึบแสงชนิดฝ้ากระจายแสงได้ดีมาก

คุณสมบัติทางไฟฟ้า เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีกับกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำ ไม่เหมาะกับการใช้ กับกระแสไฟฟ้าความถี่สูง ใช้ทำอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดที่เกิดไฟอาร์คแทนการใช้พลาสติกชนิด ฟีนอลิก

คุณสมบัติทางด้านเคมี ทนกรดต่างชนิดอ่อนได้ ไม่ทนกรดต่างชนิดแก่ ทนสารเคมีอื่น ๆ เช่นผงซักฟอก น้ำมัน ไขมัน ทินเนอร์ ดูดซึมน้ำได้บ้าง

การอัดขึ้นรูปเมลามีน โดยปกติเมลามีนขึ้นรูปโดยการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) โดยแม่พิมพ์จะถูกยัดระหว่างแผ่นให้ความร้อนของแท่นประกบไฮโดรลิก จากนั้นคอมปาว์ซึ่งมี ลักษณะเป็นผงในปริมาณที่เตรียมไว้จะถูก Pre-heating เพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 90 – 110 °C จากนั้นใส่คอมปาว์ไปในแม่พิมพ์ที่มีความร้อนเท่ากับอุณหภูมิขึ้นรูป ซึ่งวางอยู่ในแท่นประกบ แท่นจะปิดด้วยความดันเพียงพอที่จะป้องกันการเกิดครีปที่เส้นแบ่งแยกแม่พิมพ์ ในกระบวนการ

นี้คอมปาวนซ์จะอ่อนตัวและไหลไปตามรูปร่างของแม่พิมพ์ และหลังจากที่อุณหภูมิสูงพอที่จะเกิดการบ่ม (Cure) ของวัสดุในแม่พิมพ์จากนั้นชิ้นงานก็จะถูกนำออกจากแม่พิมพ์

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของเมลามีน

ลักษณะทางกายภาพ ของ Melamine–Formaldehyde Resins	
อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต	149 – 204°C
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	1.47 – 1.52
ทนแรงดึง (Tensile Strength)	34 – 90 MPa
ทนแรงอัด (Compressive Strength)	227 – 310 MPa
ทนแรงดัด (Flexural Strength)	62 – 110 MPa
Flexural Modulus	7.58 GPa
ทนแรงกระแทก (Impact Energy)	13.3 J/m
ความแข็ง (Hardness)	M115 – M125

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษากรรณวิธีการขึ้นรูปแบบพิมพ์เย็นสำหรับวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีนนี้ ในช่วงแรกจะเป็นการศึกษาระบวนการขึ้นรูป รวมไปถึงการศึกษาวิธีการขึ้นรูปเมลามีนที่ใช้ในปัจจุบัน นั่นก็คือ การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ร้อน หลังจากนั้นจะทำการศึกษาปัจจัยในการการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เย็น โดยจะเปรียบเทียบความสามารถในการขึ้นรูปของวิธีการในปัจจุบัน เทียบกับวิธีการที่ศึกษาขึ้นมาใหม่ โดยการเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุที่ได้จากการขึ้นรูปจาก 2 วิธีการข้างต้นที่วัสดุรีไซเคิลที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะเป็นทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการขึ้นรูปในปัจจุบัน (การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ร้อน) รวมไปถึงการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุ อีกด้วย

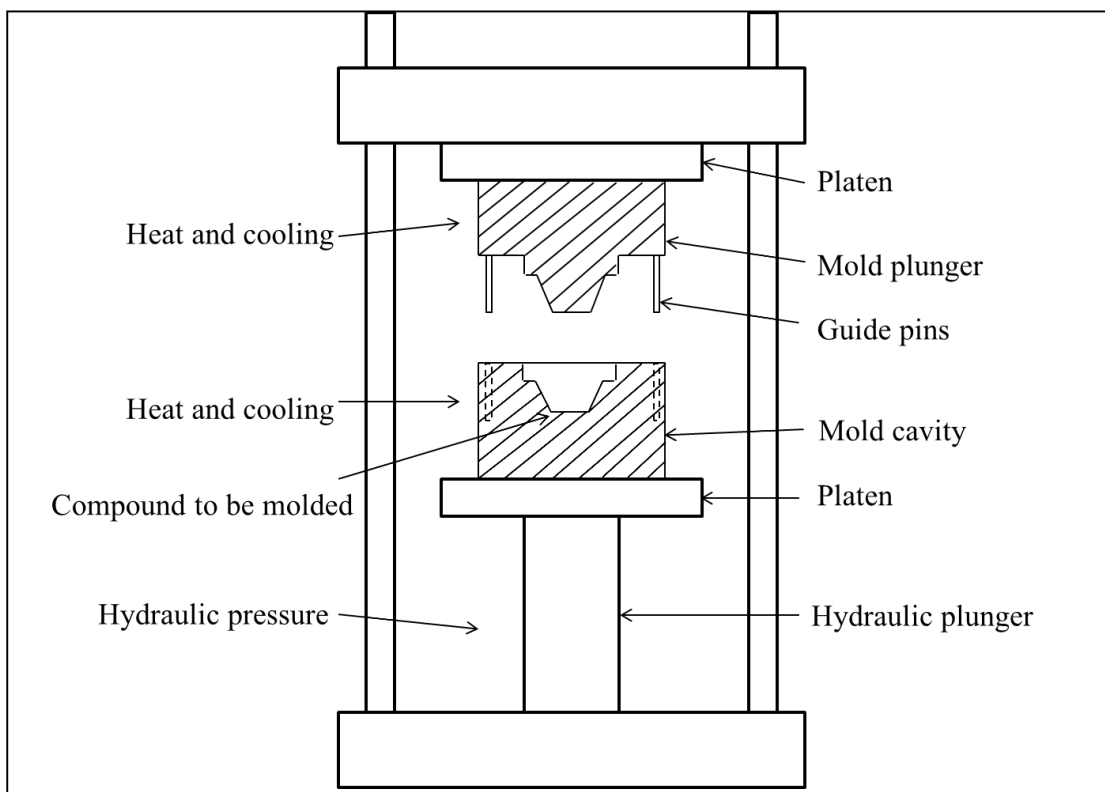
2.3.1 การขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดร้อน (Hot Compression Molding)

เทคนิคการอัดร้อน (Hot Compression Molding) เป็นเทคนิคการขึ้นรูปที่เก่าแก่ที่สุดเทคนิคหนึ่ง แต่ก็ยังมีการใช้ในการแปรรูปพลาสติกอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันก็ยังมีการใช้เทคนิคการอัดพลาสติกกลุ่มเทอร์โมเซต และยาง

สำหรับเครื่องอัดในการแปรรูปพอลิเมอร์นั้นเริ่มต้นประมาณศตวรรษที่ 19 โดยนักอุตสาหกรรมชื่อ Thomas Hancock ใช้อัดเบ้ายาง กระบวนการแปรรูปนี้ถูกจดลิขสิทธิ์ครั้งแรก

ในประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1870 โดยนักวิทยาศาสตร์สองคนชื่อ John Wesley Hyatt และ S. Hyatt กระบวนการแปรรูปโดยการอัดประยุกต์ใช้กับพลาสติกครั้งแรกหลังจาก Bakeland ค้นพบวิธีการสังเคราะห์เรซินฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ในปี ค.ศ. 1980 ปัจจุบันกระบวนการแปรรูปนี้ยังใช้กันอย่างแพร่หลาย

ส่วนประกอบหลักของเครื่อง คือ แผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวน 2 ชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ อีกแผ่นจะถูกยึดติดกับด้านที่ทำการปิดเปิดเบ้าได้ เนื่องจากเบ้าถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กทั้งสองแผ่นนี้ ส่วนประกอบอื่น ๆ คืออุปกรณ์ให้ความร้อน ระบบไฮดรอลิกและอุปกรณ์หล่อเย็น ลักษณะเครื่องแสดงดังรูปที่ 2.1 วิธีการขึ้นรูปทำได้โดยนำวัสดุผสมเข้าไปในเบ้า และให้ความร้อนขณะทำการอัด จากนั้นใช้ระบบหล่อเย็นโดยใช้น้ำไหลหมุนเวียนเข้าสู่ระบบท่อใกล้ช่องว่างของเบ้า



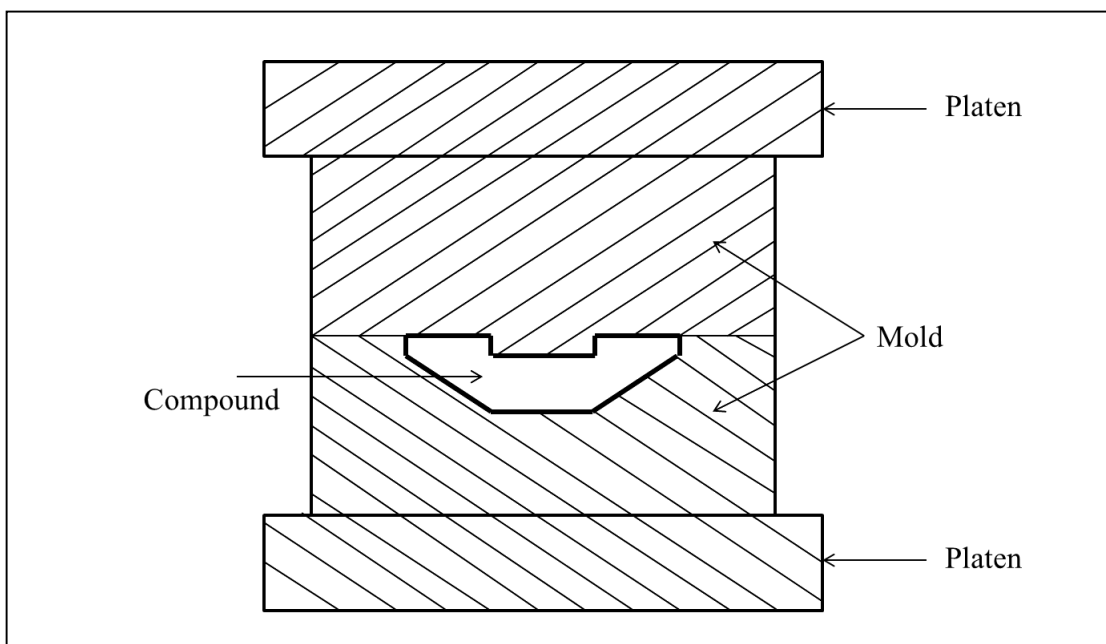
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของเครื่องกดอัด

ความดันที่ใช้ในการอัดเบ้าต้องใช้น้อยที่สุด แต่มากพอที่ทำให้พลาสติกไหลเต็มช่องว่างของเบ้า แต่ไม่สูงจนทำให้พลาสติกรั่วไหลออกจากรอยแยกเบ้า ระดับความดันที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาของชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูป

2.3.2 การขึ้นรูปด้วยการอัดเย็น (Cold Compression Molding)

การขึ้นรูปด้วยการอัดเย็นเป็นกรรมวิธีที่ดัดแปลงมาจากกรรมวิธีการผลิตในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาใช้เพียงแรงอัดอย่างเดียว ไม่ใช้ความร้อนทำให้หลอมละลาย กรรมวิธีทั่วไปเหมือนกับแบบอัดร้อนแต่ทำได้เร็วกว่า เพราะไม่ต้องรอให้หลอมละลายก่อน เมื่ออัดก้อนแล้วจึงนำไปเข้าเตาอบในปริมาณมากพร้อม ๆ กันอีกครั้ง ซึ่งขั้นตอนการผลิตมีดังนี้

- 1) นำเอาส่วนผสมของพลาสติกเหลวกับวัสดุผสมอื่น เช่น ใยหิน ที่มีลักษณะอ่อนตัวได้ในแม่แบบเครื่องอัด
- 2) ผลกดแม่แบบโดยใช้แรงอัด 13.7 – 27.5 MPa ความเร็วที่กดแล้วแต่ชนิดของเครื่องและความสะดวกสบาย
- 3) นำชิ้นงานออกจากแม่แบบ
- 4) นำชิ้นงานไปเข้าเตาอบซึ่งมีอุณหภูมิ 232°C ปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของเตา ใช้ระยะเวลาประมาณ 72 ชั่วโมง จะทำให้พลาสติกสุกและแข็งตัว
- 5) นำชิ้นงานที่อบแล้วออก



รูปที่ 2.2 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัด

ชนิดของพลาสติกเป็นพวกเทอร์โมเซตติง และนิยมใช้เฉพาะฟีนอลิก (Phenolic) เท่านั้น ก่อนนำฟีนอลิกน้ำไปผสมกับใยหินให้มีลักษณะอ่อนตัว วัสดุอื่นนอกจากพลาสติกที่ใช้ผลิตด้วยกรรมวิธีแบบนี้มี พวกบิตุเมน (เช่นยางแอสฟัลท์หรือที่เรียกกันว่ายางมะตอย) กับวัสดุผสมอื่นเช่นใยหิน ส่วนชนิดของผลิตภัณฑ์ใช้ทำพวกอุปกรณ์ไฟฟ้าราคาถูกที่รับแรงน้อย ๆ ปุ่ม และมือจับ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากการวิจัยวัสดุคอมโพสิตจากเศษเมลามีนและการทดสอบคุณสมบัติทางกลมีความคล้ายคลึงกันกับงานวิจัยการนำเศษพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตกลับมาใช้ใหม่ รวมทั้งงานวิจัยวัสดุคอมโพสิตจากวัสดุอื่น ๆ จึงขอนำเสนอการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยข้างต้น ซึ่งจะได้ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย

Pickering, S.J. (2006) ได้ศึกษาการนำขยะพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตนำกลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาผสมเป็นวัสดุคอมโพสิตเพื่อให้เศษเทอร์โมเซตนี้เป็นวัสดุช่วยเสริมแรงโดยทำการทดลองทั้งขยะเทอร์โมเซตที่เป็นอนุภาคและเส้นใย จากผลการวิจัยพบว่า ขยะเทอร์โมเซตที่มีลักษณะเป็นผงทำให้ความหนาแน่นและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุลดลง ส่วนขยะเทอร์โมเซตที่มีลักษณะเป็นเส้นใยมีศักยภาพสามารถเสริมแรงได้ มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น หากเทียบกับวัสดุที่ไม่มีการเสริมแรง แต่มีคุณสมบัติเชิงกลด้อยลงมาเมื่อเทียบกับวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ยังไม่ผ่านการขึ้นรูปมาก่อน

Panyakapo, P., and Panyakapo, M. (2008) ได้ศึกษาการนำเอาขยะเมลามีน มาเป็นส่วนประกอบของคอนกรีตมวลเบา โดยมีการศึกษาปริมาณสัดส่วนของส่วนประกอบต่าง ๆ ในคอนกรีตมวลเบาโดยอ้างอิงจากความแข็งแรงกดและความหนาแน่นเพื่อให้ตรงตามมาตรฐานอิฐมวลเบา ผลการวิจัยพบว่าเศษเมลามีนสามารถช่วยลดความหนาแน่นซึ่งหมายถึงน้ำหนักที่น้อยลงด้วย เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตที่ต่ำลง แต่น้ำหนักของคอนกรีตก็ยังไม่ตามมาตรฐานแต่ความแข็งแรงกดนั้นสามารถรับแรงได้ตรงตามมาตรฐาน

Durand, J.M., Vardavoulis, M., and Jeandin, M. (1995) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างวัสดุคอมโพสิตจากโลหะและพอลิเมอร์ โดยใช้ผงเซรามิกเป็นอนุภาคเสริมแรงในวัสดุ และทดสอบการสึกหรอ ผลการวิจัยพบว่า วัสดุโลหะผสมกับอนุภาคเซรามิกมีความต้านทานการสึกหรอที่ดีขึ้น ส่วนวัสดุพอลิเมอร์ผสมกับอนุภาคเซรามิกมีความต้านทานการสึกหรอน้อยลงกว่าวัสดุที่ไม่ผสมอนุภาค และขนาดอนุภาคขนาดต่ำกว่า $20\text{ }\mu\text{m}$ ทำให้ความต้านทานการสึกหรอลดลง ในทาง

กลับกันอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 20 μm ทำให้ความต้านทานการสึกหรอดีขึ้น และในปริมาณอนุภาค 20% โดยปริมาตรมีศักยภาพในการต้านทานการสึกหรอมากที่สุด

Zhang et al. (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างวัสดุคอมโพสิตที่ผสมระหว่างโลหะกับอนุภาคอะลูมินาและนำมาทดสอบความแข็งแรงกดและศึกษาโครงสร้างของวัสดุ ผลการวิจัยพบว่าโลหะที่ผสมอนุภาคอะลูมินาสามารถเพิ่มความแข็งแรงกดได้ เนื่องจากพันธะที่แข็งแรงระหว่างโลหะและอนุภาคทำให้แรงกดสามารถถ่ายเทลงไปที่อนุภาคของผงอะลูมินาได้ และโครงสร้างของวัสดุนั้นพบว่าเป็นโครงสร้างของวัสดุเปราะ

Thirumal et al. (2010) ได้ศึกษาการนำเมลามีน โพลีฟอสเฟส (MPP) และเมลามีนไฮดรอกไซด์ (MC) มาผสมเป็นสารหน่วงไฟในโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PUF) และทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและประสิทธิภาพการหน่วงไฟ ผลการวิจัยพบว่าโพลี PUF ที่เติม MPP มีคุณสมบัติเชิงกลที่ลดลง ส่วนโพลี PUF ที่เติม MC มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ส่วนคุณสมบัติทางด้านการหน่วงไฟทั้ง MPP และ MC ที่เติมลงไปใน PUF มีคุณสมบัติทางด้านการหน่วงไฟที่ดีขึ้น แต่ MPP จะให้ประสิทธิภาพการหน่วงไฟที่ดีกว่า

Gnjidic, Z., Bozic, D., and Mitkov, M. (2001) ได้ศึกษาการสร้างวัสดุคอมโพสิตระหว่างโลหะและเซรามิก และทำการทดสอบแรงกด จากผลการวิจัยพบว่าอนุภาคเซรามิกที่เติมเข้าไปช่วยเพิ่มค่าความเค้นคราก (Yield Strength) และค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (Elastic Modulus) แต่จะลดค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) และความเหนียวของวัสดุ อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ (33 μm) ทำให้คุณสมบัติเชิงกลลดลง

Bauri, R., and Surappa, M.K. (2009) ได้ศึกษาทดลองสร้างวัสดุคอมโพสิตจาก Al – Li alloys เป็นเนื้อ Matrix ผสมกับอนุภาค Silicon Carbide (SiC) เพื่อเป็นอนุภาคเสริมแรงและทำการทดลองความแข็งแรงกด (Compressive Strength) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอนุภาคทำให้ความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้นจนถึงในปริมาณหนึ่งที่จะมีความแข็งแรงสูงสุดและเมื่อเพิ่มปริมาณเศษต่อไปความแข็งแรงจะลดลง

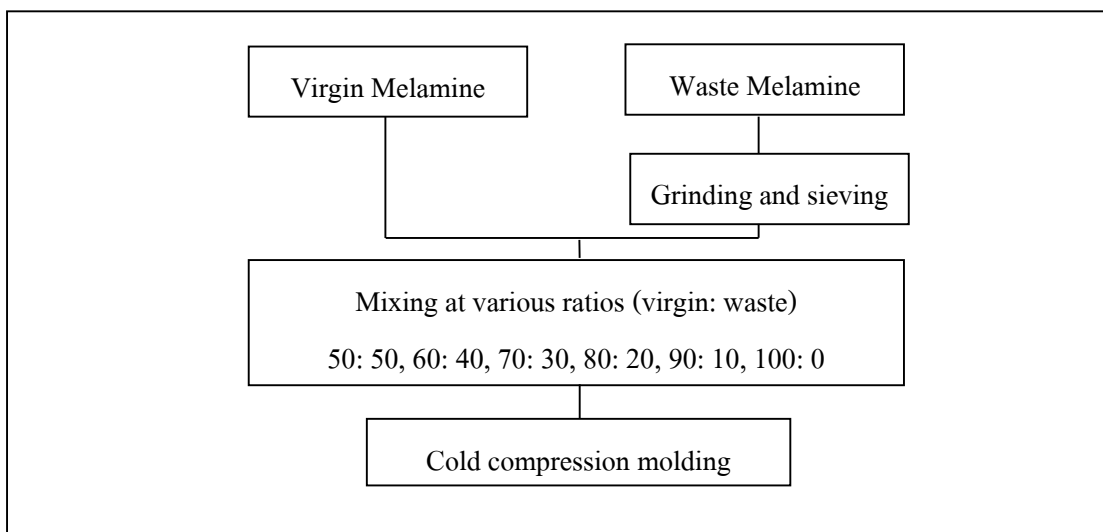
Damadzadeh et al. (2010) ได้ทำการศึกษาทดลองในการสร้างวัสดุคอมโพสิต 2 วัสดุจาก Poly – L – lactic acid และ Poly – L – lactic – co – glycolic acid เป็นเนื้อสาร (Matrix) ผสมกับอนุภาค Hydroxyapatite (HAP) และทดสอบความแข็งแรงดัด (Flexural Strength) พบว่าเมื่อเติมสารตัวเติมแบบอนุภาคทำให้ความแข็งแรงดัดลดลงแปรผันตรงตามปริมาณอนุภาค เนื่องจากสารตัวเติมแบบอนุภาคไม่สามารถต้านรอย Crack ของวัสดุได้เหมือนกับสารตัวเติมแบบเส้นใย

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 กล่าวนำ

การศึกษาวิจัยการขึ้นรูปวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีน เป็นการศึกษาเพื่อหาวิธีทางลดปริมาณเศษขยะเมลามีนและเพื่อหาวิธีการขึ้นรูปเมลามีนที่ช่วยลดการใช้พลังงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเย็น เป็นวิธีที่ประยุกต์มาจากการขึ้นรูปเครื่องปั้นดินเผาและใช้ในการขึ้นรูปฟีนอลิก จากนั้นทำการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลจากการขึ้นรูปแบบอัดร้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเริ่มต้นด้วยการศึกษาวิธีการขึ้นรูป เตรียมเครื่องมือสำหรับขึ้นรูป เตรียมวัตถุดิบ และขึ้นรูป ดังแผนผังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานโดยสังเขป

ในบทนี้จะประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษาวิจัย ดังนี้

- 1) วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย
- 2) เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย
- 3) วิธีการขึ้นรูปแบบเย็น

3.2 วัสดุที่ใช้ทำการวิจัย

- 1) เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ เรซิน (Melamine-Formaldehyde Resins) ทั้งแบบเศษจากการขึ้นรูปแล้ว (Melamine Waste) และผงแบบสารประกอบ (Melamine Compound)
- 2) เหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติก M200
- 3) น้ำกลั่น (Distilled Water)
- 4) สารดูดความชื้น (Silica gel)

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) เครื่องบดเศษพลาสติก
- 2) ตะแกรงร่อนแยกขนาด
- 3) เครื่องบดผสมแบบลูกบอลล (Ball Mill)
- 4) เครื่องอัดขนาด 60 ตัน
- 5) เครื่องอัดร้อน (Compression Forming Machine) รุ่น Long Chang ขนาด 200 ตัน
- 6) แม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูปเย็น
- 7) เครื่องเลื่อยสายพาน
- 8) เต้าเผา
- 9) กระดาษทรายเบอร์ 600, 800, 1000, 1500, 2000
- 10) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 11) ถุงซิปล (Zip Lock Back)
- 12) เครื่องชั่ง
- 13) ถังมือกันความร้อน
- 14) เวอร์เนียร์

3.4 วิธีการทดลอง

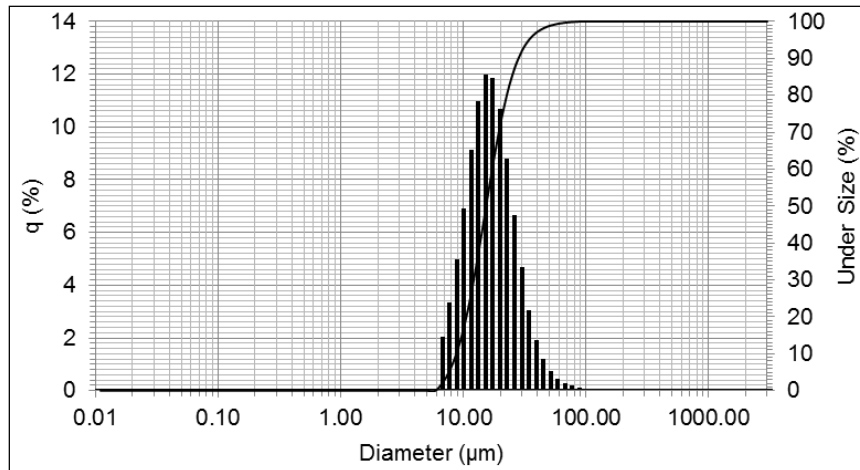
3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบสำหรับอัดขึ้นรูป (Molding Compound)

วัตถุดิบในการขึ้นรูปจะใช้เพียงผงเมลามีนใหม่ (Melamine Molding Compound) และเศษเมลามีนที่บดเป็นผง ใช้ในการขึ้นรูปทั้งอัดร้อนและอัดเย็น

1) ผงเมลามีนใหม่ (Melamine Molding Compound)

เป็นผงเมลามีนที่ใช้ในอุตสาหกรรมที่ผสมเยื่อกระดาษเพื่อความแข็งแรงและผสมสีเพื่อให้ทึบแสงซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการในผลิตภัณฑ์เมลามีน โดยเมลามีนที่ใช้

จะกำหนดสีเดียวกันและชุดการผลิตเดียวกันทั้งหมด ขนาดเฉลี่ยของผงเมลามีนที่นำมาใช้ในการทดลองทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle Size Analysis) พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ $17.05\ \mu\text{m}$ ดังรูปที่ 3.2 และมีลักษณะที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงดังรูปที่ 3.3

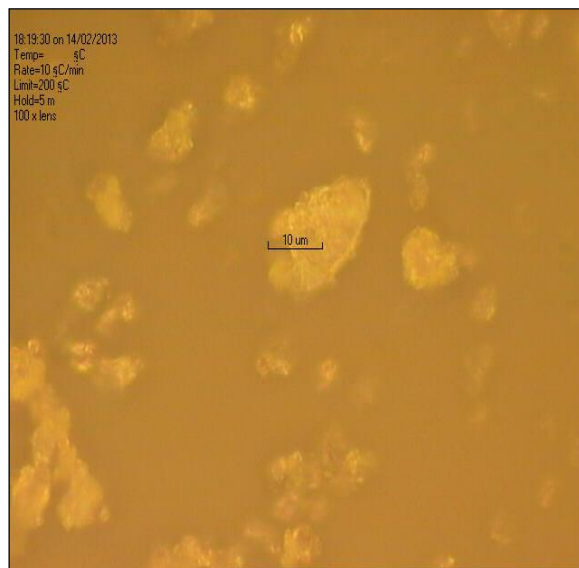


รูปที่ 3.2 ผลการทดสอบการวัดขนาดเฉลี่ยของผงเมลามีนใหม่

Median size: $14.97\ \mu\text{m}$

Mean size: $17.05\ \mu\text{m}$

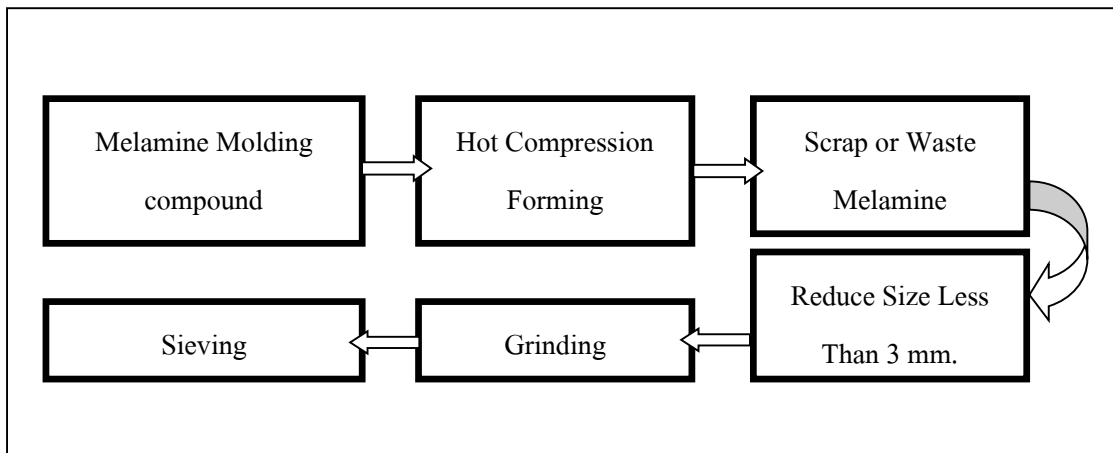
Standard derivative: $8.89\ \mu\text{m}$



รูปที่ 3.3 ลักษณะผงเมลามีนใหม่

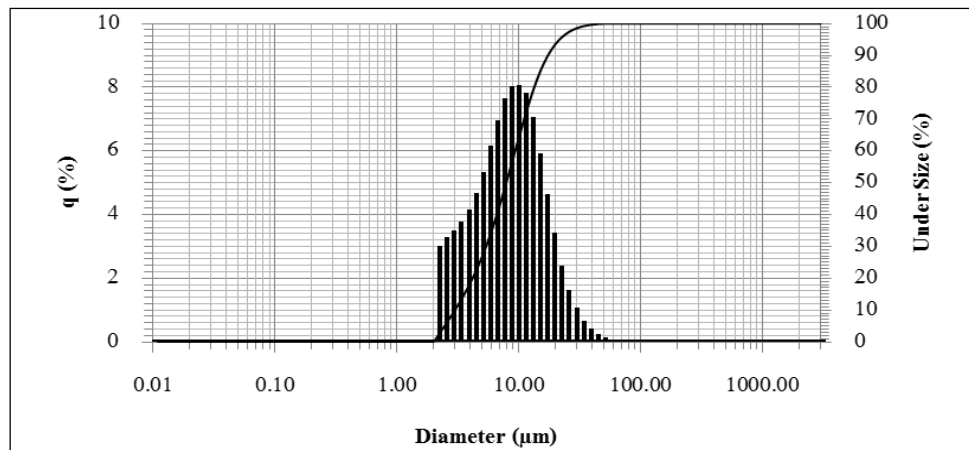
2) เศษเมลามีน (Melamine Waste)

เศษเมลามีนได้จากเมลามีนที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการตกแต่งเมลามีนซึ่งจะเกิดเศษครีบหลังจากกระบวนการอัดดังรูปที่ 3.4 จากนั้นเศษเมลามีนจะถูกลดขนาดด้วยเครื่องลดขนาดพลาสติกเหลือขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดผสมด้วยลูกบอลและกรองแยกขนาด



รูปที่ 3.4 แผนผังกระบวนการเตรียมเศษเมลามีน

ขนาดเฉลี่ยของเศษเมลามีนที่นำมาใช้ในการทดลองถูกทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle Size Analysis) พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ $9.39\ \mu\text{m}$ ดังรูปที่ 3.5 และมีลักษณะที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงดังรูปที่ 3.6

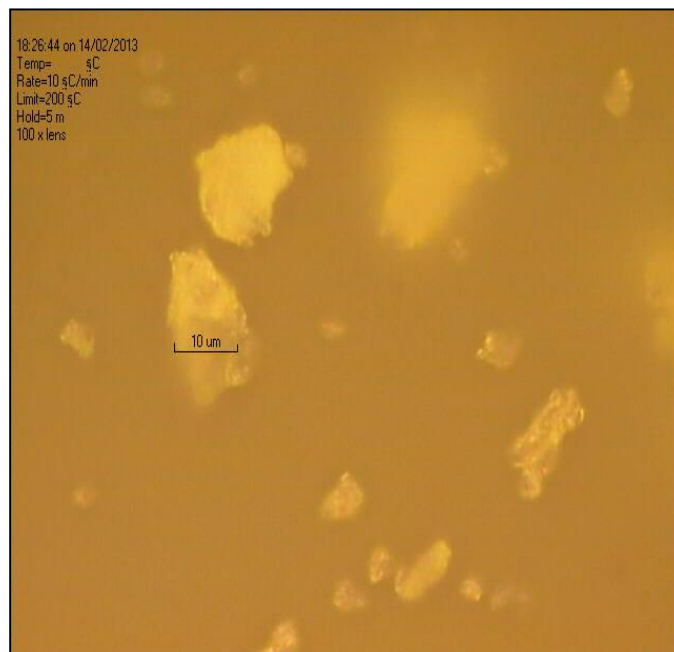


รูปที่ 3.5 ผลการทดสอบการวัดขนาดเฉลี่ยของเศษเมลามีน

Median size: 7.89 μm

Mean size: 9.39 μm

Standard derivative: 6.40 μm



รูปที่ 3.6 ลักษณะเศษเมลามีน

3.4.2 การผสม

การผสมจะเป็นการผสมในสถานะของแข็งโดยใช้เครื่องบดผสมแบบลูกบอล (Ball Mill) แต่จะไม่ใส่ลูกบอลลงไปเนื่องจากแรงกระแทกของลูกบอลอาจทำให้ผงบางส่วนอัดแน่นเป็นก้อนจนทำให้การผสมไม่เข้ากัน และจะผสมครั้งละเพียง 50 กรัม เพื่อให้วัตถุดิบเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด ซึ่งจะผสมครั้งละ 20 นาที ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการผสมวัตถุดิบ

Sample	% Melamine	% Waste Melamine
1	100	0
2	90	10
3	80	20
4	70	30
5	60	40
6	50	50

3.4.3 การกำหนดปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบอัดเย็น

ปริมาณสารที่กำหนดในขั้นตอนทดสอบที่ขึ้นรูปด้วยการอัดเย็นแต่ละชิ้นอ้างอิงจากมาตรฐานการขึ้นรูปขั้นตอนทดสอบจากเมลามีน ASTM D704 โดยใช้เท่ากับ $1,425 \text{ kg/m}^3$ เมื่อทำการคำนวณจากสูตร

$$m = \rho v$$

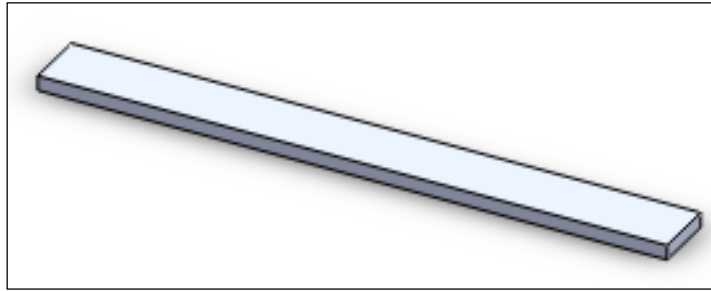
เมื่อ m คือมวลของวัสดุ

v คือปริมาตรของวัสดุ

ρ คือความหนาแน่นของวัสดุ

จะสามารถคำนวณหามวลหรือน้ำหนักของเมลามีนที่ต้องใช้ในแต่ละขั้นตอนทดสอบ ซึ่งจะแสดงตัวอย่างดังนี้

ปริมาณของวัตถุดิบสำหรับขึ้นรูปขั้นตอนทดสอบแรงดัดดังแสดงรูปที่ 3.7 คำนวณจากความหนาแน่น X ปริมาตร = $1425 \text{ kg/m}^3 \times 6429.38 \text{ mm}^3 = 9.16 \text{ gram}$ และปริมาตรเพิ่มอีก 10% จะได้น้ำหนักวัตถุดิบก่อนอัดเป็น $9.16 + 0.91 = 10.07 \text{ gram}$



รูปที่ 3.7 ชิ้นทดสอบแรงดัด (3 – Point Bending Specimen)

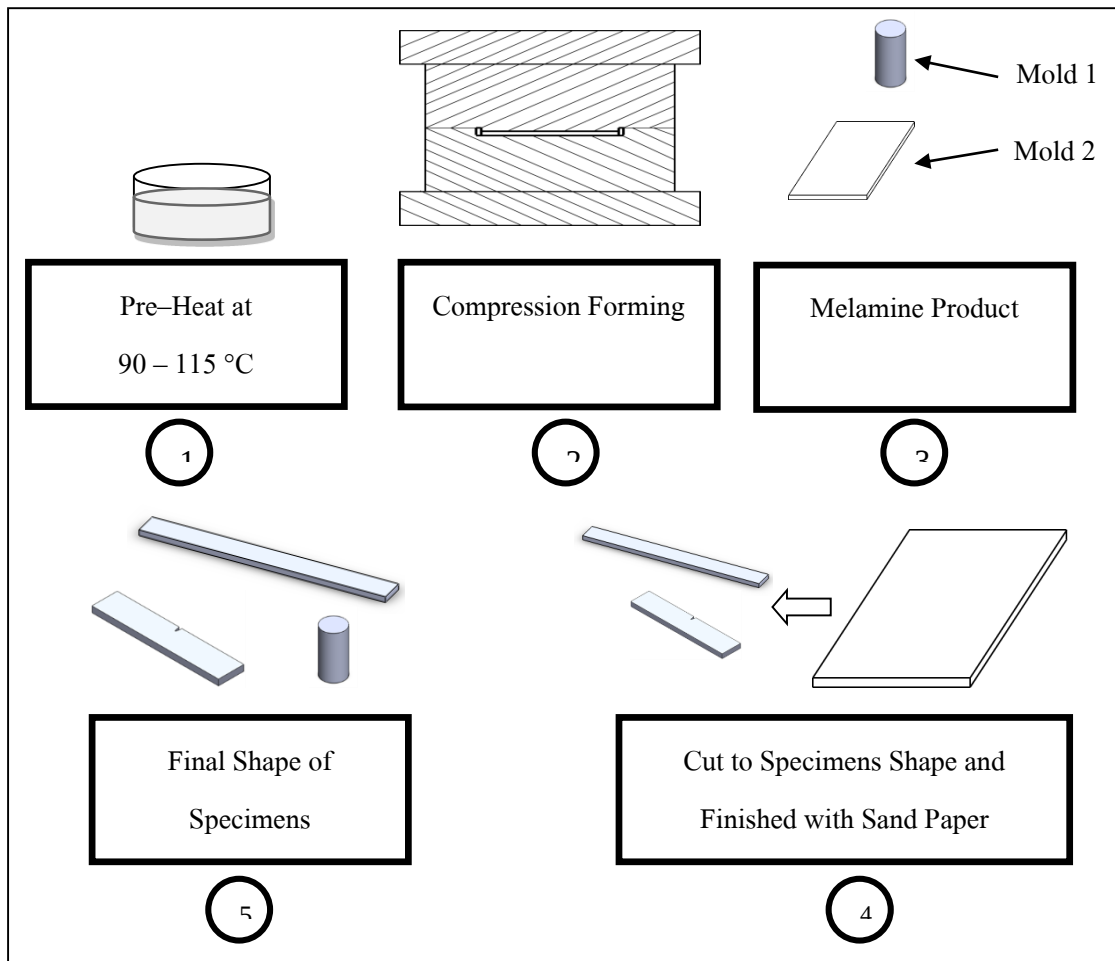
3.4.4 การขึ้นรูป (Forming)

1) การขึ้นรูปร้อน

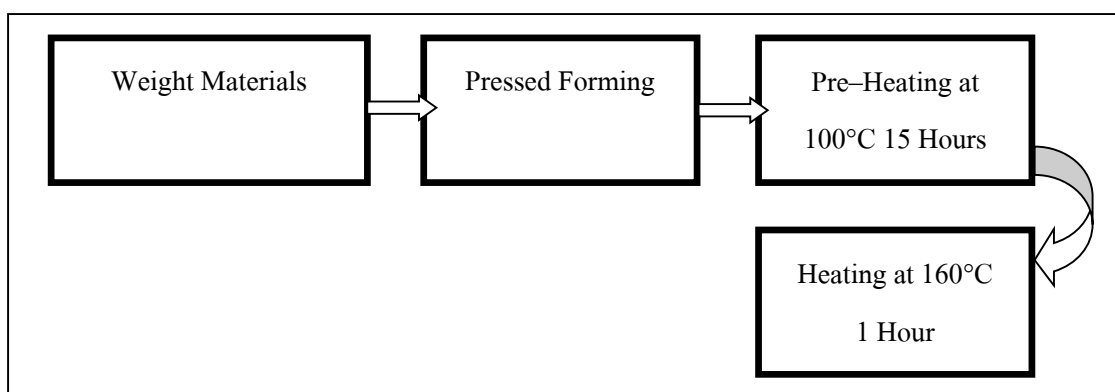
การขึ้นรูปร้อนแบ่งการขึ้นรูปเป็น 2 แม่พิมพ์ คือ 1. ขึ้นรูปเป็นลักษณะแผ่นหนา 2.6 ± 1 มิลลิเมตร ขนาดประมาณ 140×50 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาตัดด้วยเครื่องเลื่อยสายพานเป็นรูปชิ้นทดสอบแรงดัดและแรงกระแทกและขัดตกแต่งขอบชิ้นงานเพื่อให้มีผลต่อการทดสอบคุณสมบัติทางกลน้อยที่สุด 2. ขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM D695 ซึ่งกระบวนการอัดร้อนในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 3.8

2) การขึ้นรูปเย็น

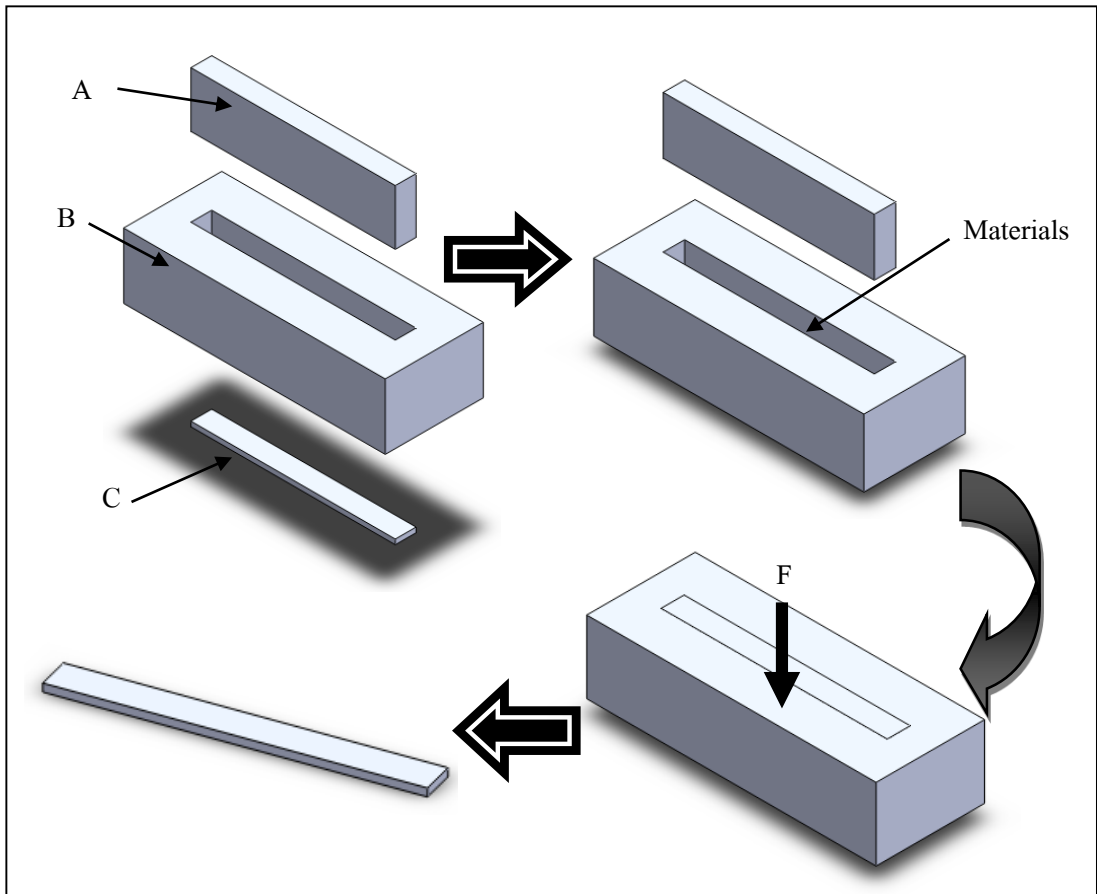
เนื่องจากวิธีการอัดเย็นมีขั้นตอนการขึ้นรูปดังแผนผังในรูปที่ 3.9 โดยปกติไม่ได้ใช้ในการอัดเมลามีน จึงมีการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ใหม่ทั้งหมดซึ่งมีส่วนประกอบและกลไกของแม่พิมพ์ดังรูปที่ 3.10 ส่วนขั้นตอนการอัดเย็นนั้นจะเริ่มจากใส่แผ่นรองส่วน C ดังรูปที่ 3.12 จากนั้นใส่วัตถุดิบลงไปแม่พิมพ์และใส่ส่วนกด A ลงไป กดด้วยแรงประมาณ 25 ตัน ชิ้น A จะเรียบเสมอกับหน้าตัดแม่พิมพ์ ซึ่งข้างในจะมีช่องว่างพอดีกับขนาดชิ้นทดสอบ จากนั้นนำชิ้นทดสอบออกมาเก็บไว้ในถุงซิปล็อกกันความชื้น



รูปที่ 3.8 กระบวนการขึ้นรูปเมลามีนแบบอัดร้อน



รูปที่ 3.9 แผนผังการขึ้นรูปแบบอัดเย็น



รูปที่ 3.10 กลไกของแม่พิมพ์อัดเย็น

เมื่อได้ชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการอัดมาแล้วจะมีลักษณะจับตัวเป็นชิ้นทดสอบแต่ความแข็งแรงไม่มากนัก มีลักษณะดังรูปที่ 3.11

เมื่อได้ชิ้นทดสอบที่ผ่านการอัดมาแล้วจากนั้นนำไป Pre-Heating ไล่ความชื้นที่ 100°C 15 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบ (Heating) ที่ 160°C อีก 1 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิ Pre-Heating อ้างอิงจากอุณหภูมิที่ใช้โดยปกติในการขึ้นรูปร้อน ส่วนเวลาในการ Pre-Heating อบและอุณหภูมิในการอบได้ทำการศึกษาวิจัยซึ่งได้แสดงผลการวิจัยในบทต่อไป



รูปที่ 3.11 ชิ้นทดสอบแรงค้ำ แรงอัดและแรงกระแทก

บทที่ 4

ผลลัพธ์และการอภิปรายผล

4.1 กล่าวนำ

การทดลองในงานวิจัยจะศึกษาหาวิธีการขึ้นรูปด้วยการอัดเย็นจากวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีน โดยการขึ้นรูปวัสดุรีไซเคิลด้วยการอัดเย็นเทียบกับวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยการอัดร้อน เริ่มจากการทดลองศึกษาผลกระทบของการ Pre-Heating ซึ่งประกอบด้วยเวลาที่ใช้ในการ Pre-Heating อุณหภูมิและเวลาที่ใช้อบ (Heating) จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลเบื้องต้นของชิ้นทดสอบทั้งที่ขึ้นรูปด้วยการอัดเย็นและการอัดร้อนเพื่อเปรียบเทียบในด้านของวิธีการขึ้นรูป

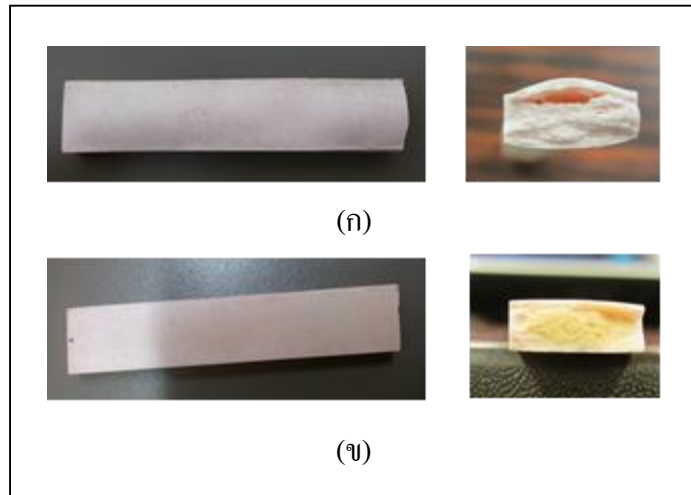
ในบทนี้จะเป็นผลลัพธ์และการอภิปรายผล ที่ได้ทำการศึกษาไว้ในบทที่ 3 ประกอบด้วยหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ผลการทดสอบการหาวิธีการขึ้นรูปด้วยการอัดเย็นของเมลามีนใหม่
 - ผลกระทบของเวลาในการ Pre-Heating ต่อความแข็งแรงดัด
 - ผลกระทบของเวลาและอุณหภูมิในการอบต่อความแข็งแรงดัด
 - ผลกระทบเวลาในการอบต่อความแข็งแรงดัด
- 2) ผลการศึกษาฐานฐานวิทยาของวัสดุ
 - ผลการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)
 - ผลการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope)

4.2 ผลการทดสอบการหาวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเย็นของเมลามีนใหม่

4.2.1 ผลกระทบของการ Pre-Heating

จากการทดลองโดยการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เย็นแล้วนำไปเผาให้ความร้อนภายหลังพบว่าชิ้นทดสอบพอง บวม และ โกง ซึ่งเกิดจากความชื้นที่คงค้างในชิ้นงานเมื่อถึงกระบวนการให้ความร้อนความชื้นเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำที่มีแรงดันสูงพยายามดันออกมาภายนอกชิ้นงานจึงทำให้ชิ้นงานบวม ดังนั้นจึงทำการมีการศึกษาการ Pre-Heating หรือการอบไล่ความชื้น โดยการนำชิ้นทดสอบที่ผ่านการขึ้นรูปไปอบไล่ความชื้นซึ่งจะพบว่า ชิ้นทดสอบไม่เกิดการบวม หรือ โกงตัว ดังรูปที่ 4.1 จากผลการศึกษาดังกล่าวจึงเลือกศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการ Pre-Heating ต่อไป



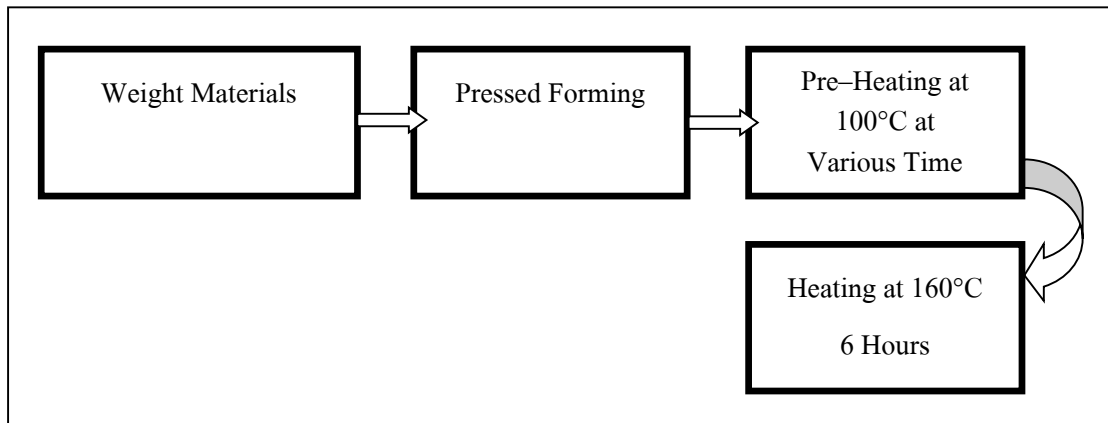
รูปที่ 4.1 ชิ้นทดสอบที่ขึ้นรูปด้วยการอัดแบบแม่พิมพ์เย็น

(ก) ชิ้นทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการ Pre-Heating

(ข) ชิ้นทดสอบที่ผ่านการ Pre-Heating

4.2.2 ผลกระทบของเวลาในการ Pre-Heating ต่อความแข็งแรงดัด

การทดลองนี้มีกระบวนการขึ้นรูปดังรูปที่ 4.2 โดยมีขั้นตอนเริ่มจากชั่งน้ำหนักเมลามีนตามที่ได้กำหนดไว้ โดยมีปริมาณเฝือ 10% ที่อาจสูญเสียระหว่างกระบวนการอัดขึ้นรูปเย็น จากนั้น Pre-Heating ที่อุณหภูมิ 100°C ที่เวลาต่าง ๆ เพื่อศึกษา จากนั้นกำหนดอุณหภูมิอบ 160°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งเวลาและอุณหภูมิในการอบนั้นเป็นการกำหนดขึ้นมาเพื่อหาเวลา Pre-Heating ที่เหมาะสม แต่ยังไม่ใช่ว่าขอบเขตที่ดีที่สุดซึ่งจะได้ศึกษาในส่วนถัดไป

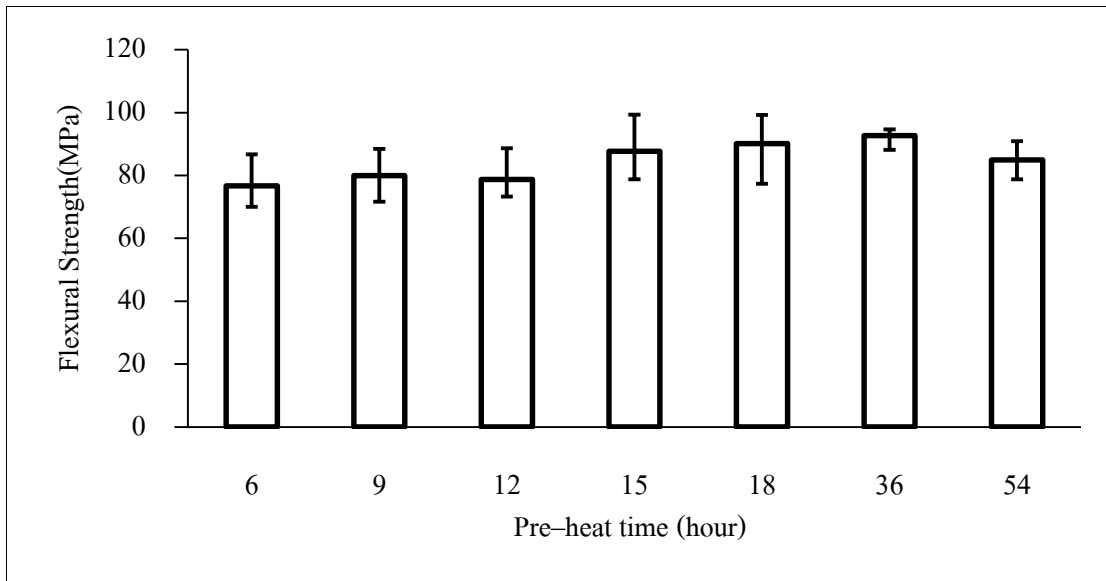


รูปที่ 4.2 แผนผังการทดสอบขึ้นรูปแบบอัดเย็น

จากผลการทดสอบความแข็งแรงคัดของเมลามีนใหม่ที่เกิดขึ้นรูปด้วยการอัดเย็นดังขอบเขตในตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงคัดของชิ้นงานที่ Pre-Heating ในเวลาต่างๆ ในกราฟแสดงค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุด – ต่ำสุด ดังรูปที่ 4.3 พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงมากที่สุดอยู่ที่เวลา Pre-Heating 36 ชั่วโมง แต่หากเปรียบเทียบทางสถิติตามตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าที่เวลา 18 และ 15 ชั่วโมงนั้น ไม่ต่างกับกับ 36 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญ ($P - \text{value} > 0.05$) เราจึงเลือกใช้ที่ 15 ชั่วโมงเพื่อเป็นการประหยัดเวลาและต้นทุนในการผลิตต่อไป

ตารางที่ 4.1 ขอบเขตของการทดสอบเวลาในการ Pre-Heating

Specimen No.	Pre-Heat Condition.		Heating Condition	
	Temp.	Time	Temp	Time
1	100°C	0	160 °C	6 hr.
2		6		
3		18		
4		36		
5		54		
6	100°C	9	160 °C	6 hr.
7		12		
8		15		



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดัดและเวลาที่ใช้ Pre-Heating

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบแบบ One Sample T – Test ของ ($H_0: \mu = 90.12$) vs ($H_1: \mu \neq 90.12$) ด้วยความเชื่อมั่น 95%

Specimen No.	Pre-Heat Time	Mean	St. Dev.	T	P-Value	Difference
2	6	76.62	6.84	- 4.69	0.018	No significant
6	9	79.94	6.87	- 3.70	0.034	No significant
7	12	78.41	7.48	- 4.26	0.013	No significant
8	15	87.66	9.18	- 1.09	0.357	Significant
3	18	90.12	3.09	- 1.64	0.200	Significant
4	36	92.6	4.29	Ref.	-	-
5	54	84.73	2.80	- 6.93	0.001	No significant

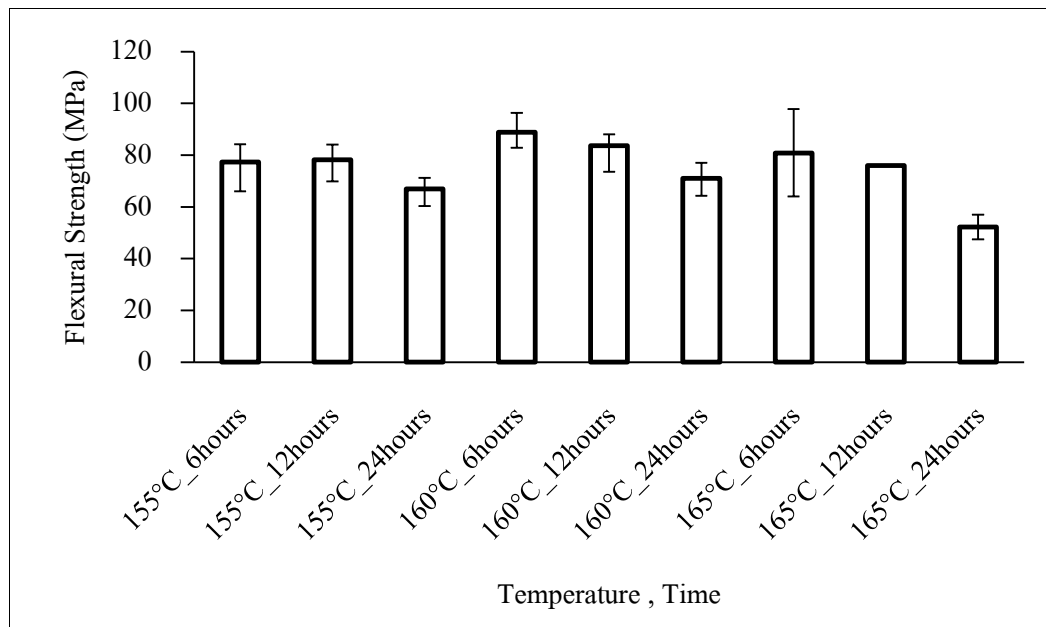
4.2.3 ผลกระทบของเวลาและอุณหภูมิในการอบ (Heating) ต่อความแข็งแรงดัด

เมื่อเราได้เวลาที่เหมาะสมในการ Pre-Heating แล้วขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นการหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบเพื่อดูผลกระทบของทั้งสองตัวแปรต่อความแข็งแรงดัด โดยเบื้องต้นจะเลือกทดสอบ 3 อุณหภูมิ 3 เวลา รวมเป็น 9 ขอบเขตดังตารางที่ 4.3 และนำไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อออกแบบการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4.3 ขอบเขตการทดสอบอุณหภูมิและเวลาในการอบ

Specimen No.	Pre-Heat Condition.		Heating Condition	
	Temp. (°C)	Time (hr.)	Temp.(°C)	Time (hr.)
1	100	15	155	6
2			155	12
3			155	24
4			160	6
5			160	12
6			160	24
7			165	6
8			165	12
9			165	24

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4 เห็นได้อย่างค่อนข้างชัดเจนว่าเวลานั้นมีผลกับความแข็งแรง และเมื่อได้ทดสอบทางสถิติทำให้เห็นผลชัดเจนยิ่งขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.4

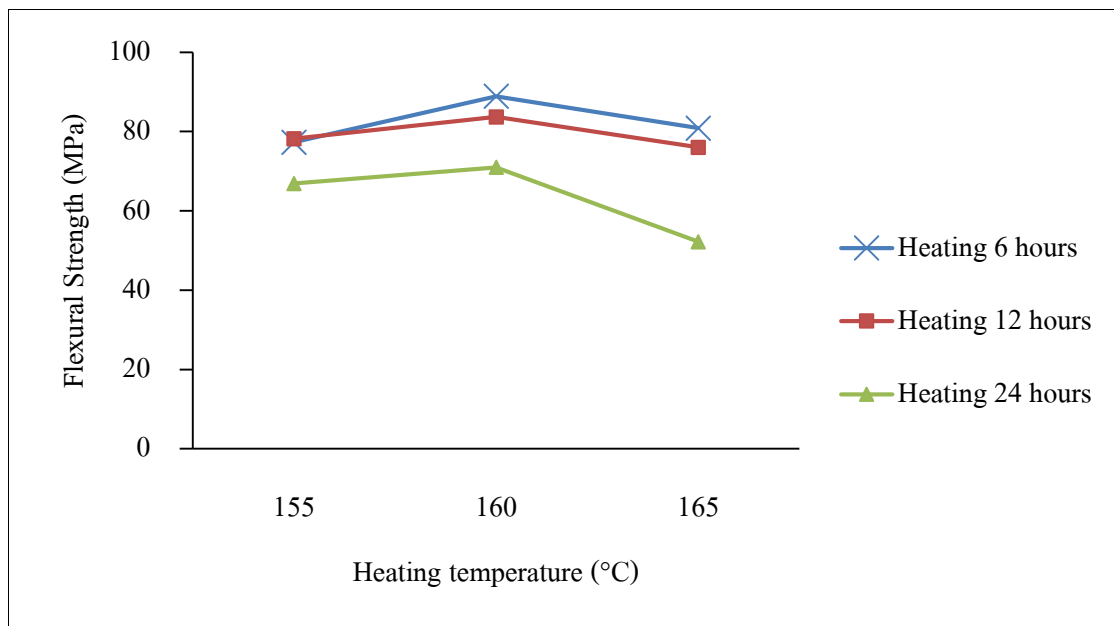


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาอบที่มีผลต่อความแข็งแรงคด

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณทางสถิติด้วย Two – Way ANOVA ที่ความเชื่อมั่น 95% ของตัวแปร อุณหภูมิ (Temperature) และเวลา (Time)

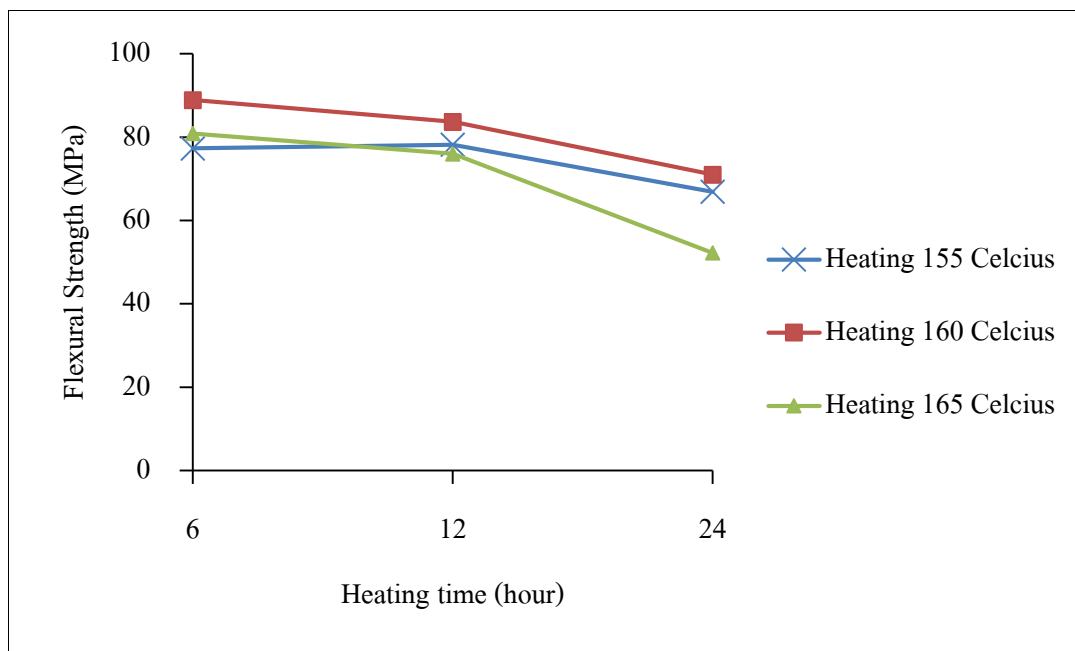
Source	DF	SS	MS	F	P
Temperature	2	201.461	100.731	4.23	0.103
Time	2	623.641	311.820	13.09	0.018
Error	4	95.720	23.818	–	–
Total	8	920.372	–	–	–
S = 4.880, R – sq = 89.65%, R – sq (adj) = 79.30%					

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าที่อุณหภูมิอบ 160°C นั้นให้ความแข็งแรงสูงสุด ไม่ว่าจะใช้เวลาอบเท่าใด และที่อุณหภูมิ 155°C และ 165°C จะมีความแข็งแรงน้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกที่อุณหภูมิ 160°C นี้เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบ



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาอบที่มีผลต่อความแข็งแรงคัด

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าความแข็งแรงลดลงเมื่อเวลาในการอบเพิ่มมากขึ้น จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเวลาในการอบที่ 6 ชั่วโมงนั้นดีที่สุด จึงออกแบบการทดลอง ที่เวลาอบต่ำกว่า 6 ชั่วโมงต่อไปเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมโดยกำหนดอุณหภูมิอบที่ 160°C



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาอบที่มีผลต่อความแข็งแรงดัด

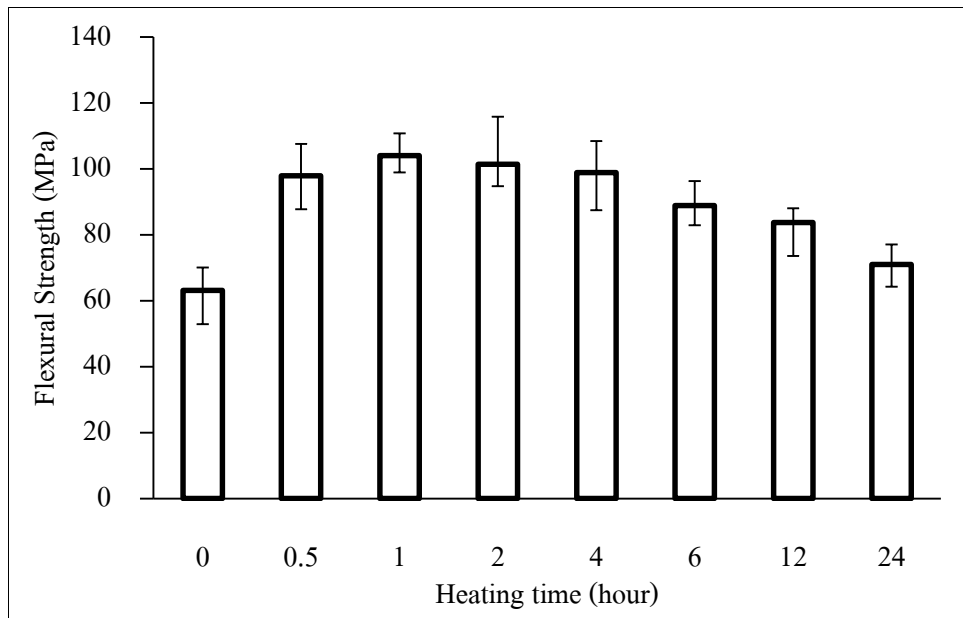
4.2.4 ผลกระทบเวลาในการอบต่อความแข็งแรงดัด

สืบเนื่องจากการทดลองที่ผ่านมา ผลการทดลองหาเวลาที่เหมาะสมยังไม่สามารถสรุปได้ จึงออกแบบการทดลองเพิ่มเติมตามขอบเขตดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ขอบเขตการทดสอบเวลาในการอบ

Specimen No.	Pre-Heat Condition.		Heating Condition	
	Temp. (°C)	Time (hr.)	Temp.(°C)	Time (hr.)
1	100	15	160	0
2			160	0.5
3			160	1
4			160	2
5			160	4
6			160	6
7			160	12
8			160	24

จากผลการทดลองดังรูปที่ 4.7 ก็จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าความแข็งแรงสูงสุดอยู่ที่ 1 ชั่วโมง และที่เวลาต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นจึงเลือกเวลาอบที่ 1 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เหมาะสมในการอบ

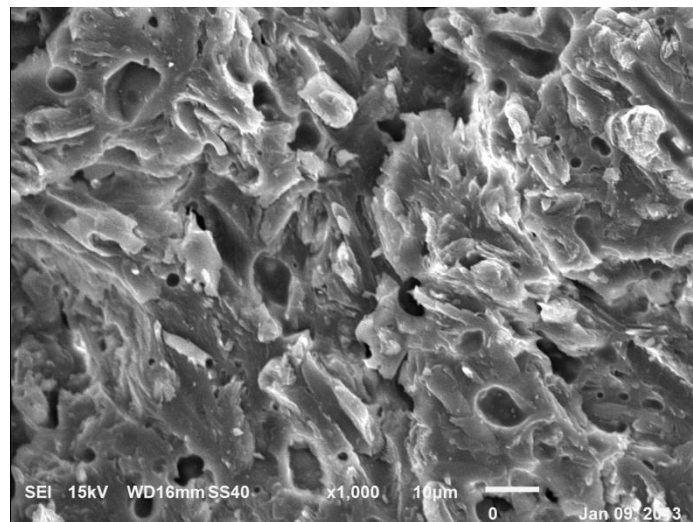


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดัดและเวลาในการอบ

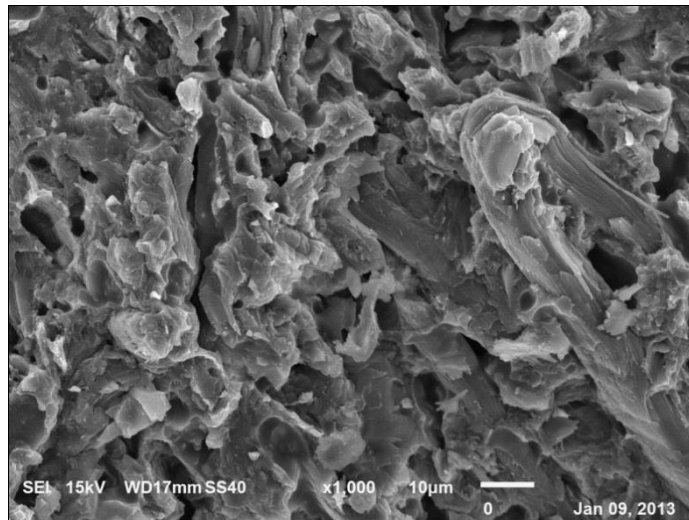
4.3 ผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของเมลามีนใหม่ที่เกิดขึ้นรูปด้วยการอัดร้อนและอัดเย็น

4.3.1 จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

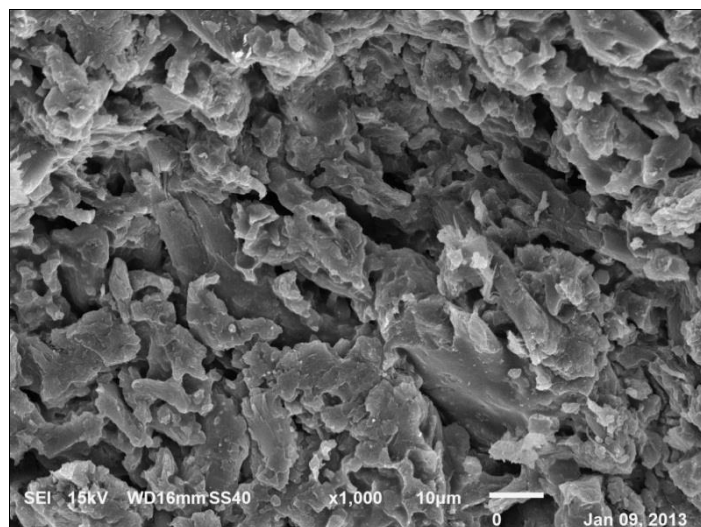
จากรูปการตรวจด้วย SEM ดังรูปที่ 4.8 – 4.10 จะเห็นว่าภายในวัสดุเกิดช่องอากาศและรอยต่อระหว่างเนื้อวัสดุ เมื่อเพิ่มปริมาณอนุภาคทำให้ลักษณะความต่อเนื่องของเนื้อวัสดุมีน้อยลงเกิดรอยต่อระหว่างเนื้อวัสดุมากขึ้น เกิดการยึดเหนี่ยวของพันธะที่ไม่แข็งแรง เป็นจุดกำเนิดการ Crack ของวัสดุเมื่อได้รับแรง



รูปที่ 4.8 วัสดุที่ผสมเศษเมลามีน 0%



รูปที่ 4.9 วัสดุที่ผสมเศษเมลามีน 20%



รูปที่ 4.10 วัสดุที่ผสมเศษเมลามีน 50%

4.3.2 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope)

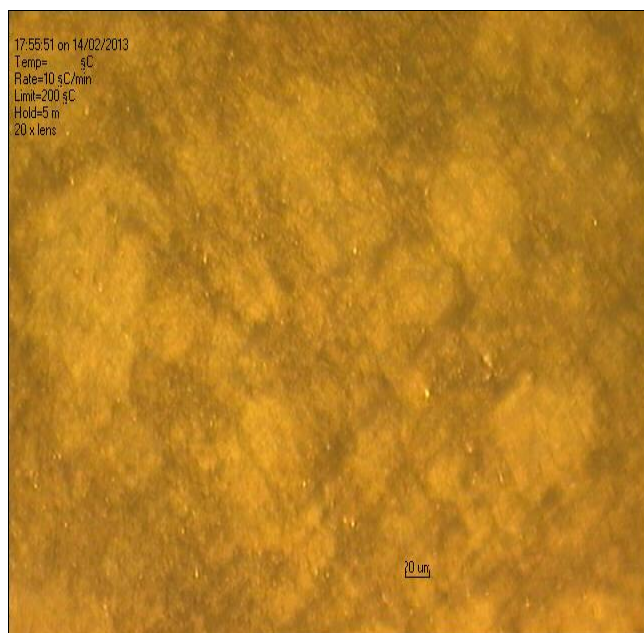
จากผลการตรวจด้วยจุลทรรศน์แบบใช้แสง ดังแสดงในรูป 4.11 – 4.13 จะพบว่าอนุภาคไม้ได้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับ Matrix เป็นลักษณะที่อนุภาคฝังและกระจายตัวอยู่ใน Matrix ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเศษเมลามีนให้มากขึ้นทำให้เกิดโอกาสที่อนุภาคจะรวมกลุ่มกันเองและเกิดพันธะที่ไม่แข็งแรงก็มีเพิ่มมากขึ้นไปด้วย



รูปที่ 4.11 ภาพตัดขวางของวัสดุเมลามีนใหม่



รูปที่ 4.12 ภาพตัดขวางของวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีน 40%



รูปที่ 4.13 ภาพตัดขวางของวัสดุไทเทเนียม 50%

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษากรรมวิธีขึ้นรูปแบบเย็นของวัสดุรีไซเคิลจากเศษเมลามีน เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เย็น สามารถสรุปผลและประมวลข้อเสนอแนะของการศึกษาวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 การ Pre-Heating หรือการอบไล่ความชื้นภายหลังกระบวนการขึ้นรูป มีความจำเป็นสำหรับกระบวนการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เย็น เนื่องจากหากไม่มีการอบไล่ความชื้นจะทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการบวม และการโก่งตัว ซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบไม่สามารถใช้งานได้

5.1.2 ปัจจัยของกระบวนการหลังการขึ้นรูปขึ้นทดสอบแบบแม่พิมพ์เย็นที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของเศษได้แก่

- เวลาการอบไล่ความชื้นมากจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มดีขึ้น แต่อย่างไรเมื่อใช้เวลาอบไล่ความชื้นมากกว่า 15 ชม. สมบัติเชิงกลไม่เปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญ

- เวลาในการอบมากขึ้นส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลง

- อุณหภูมิในการอบช่วงที่ศึกษาไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลอย่างมีนัยสำคัญ

5.1.3 ปัจจัยของกระบวนการภายหลังขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เย็นที่เหมาะสม คือ อบไล่ความชื้นเวลา 15 ชม. ที่อุณหภูมิ 100°C และหลังจากนั้นอบด้วย อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 6 ชม.

5.1.4 การเพิ่มอนุภาคเศษเมลามีนเข้าไปในเมลามีนใหม่ทำให้ความแข็งแรงดัด (Flexural Strength) ลดลง

5.1.5 วิธีการขึ้นรูปเย็นในงานวิจัยนี้ช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้ หากออกแบบให้สามารถใช้ความร้อนทั้งจากกระบวนการผลิตเมลามีนด้วยการอัดแบบแม่พิมพ์ร้อน มาใช้ในขั้นตอนการอบไล่ความชื้นในการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เย็น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำการศึกษาเรื่องความชื้นของเมลามีนในขั้นตอนก่อนอัดเย็น

5.2.2 ควรทำการศึกษาขอบเขตใหม่หากมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างความหนาแน่นของชิ้นงานเนื่องจากมีผลต่ออุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม

5.2.3 การกำหนดวิธีการขึ้นรูปควรวิเคราะห์ถึงผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์ให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น เช่น ราคาวัสดุทำแม่พิมพ์ ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยจริง ราคาในการสร้างที่แปรตามลักษณะชิ้นงาน

รายการอ้างอิง

- บรรเลง ศรีนิล (2525). เทคโนโลยีพลาสติก. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) พิมพ์ครั้งที่ 15, 425 หน้า
- ปรีชา พหลเทพ (2535). โพลีเมอร์ **high polymers**. มหาวิทยาลัยรามคำแหง พิมพ์ครั้งที่ 6, 423 หน้า
- ปรีดา พิมพ์ขาว (2547). เซรามิกส์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ครั้งที่ 5, 562 หน้า
- พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์ (2542). พลาสติก. กองบริการอุตสาหกรรม พิมพ์ครั้งที่ 15, 311 หน้า
- มานพ ดันตระบันฑิตย์ (2546). งานทดสอบวัสดุอุตสาหกรรม. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) พิมพ์ครั้งที่ 6, 308 หน้า
- Bauri, R., and Surappa, M.K. (2009). Processing and compressive strength of Al–Li–SiCp composites fabricated by a compound billet technique. **Journal of Materials Processing Technology**, Vol.209, No.4, February 19, 2009. pp.2077–2084.
- Damadzadeh, B., Jabari, H., Skrifvars, M., Airola, K., Moritz, N., and Vallittu, P.K. (2010). Effect of ceramic filler content on the mechanical and thermal behaviour of poly-L-lactic acid and poly-L-lactic-co-glycolic acid composites for medical applications. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, Vol.21, No.9, June 15, 2010. pp.2523–2531.
- Durand, J.M., Vardavoulas, M., and Jeandin, M. (1995). Role of reinforcing ceramic particles in the wear behaviour of polymer-based model composites. **The 10th Conference on Wear of Materials**, Vol.181–183, Part 2, March 1995. pp.833–839.
- Gindl, W., Zargar-Yaghubi, F., and Wimmer, R. (2003). Impregnation of softwood cell walls with melamine-formaldehyde resin. **Bioresource Technology**, Vol.87, No.3, May 2003. pp.325–330.
- Gnjidic, Z., Bozic, D., and Mitkov, M. (2001). The influence of SiC particles on the compressive properties of metal matrix composites. **Materials Characterization**, Vol.47, No.2, August 2001. pp.129–138.
- Goodman, S.W. (1998). **Handbook of Thermoset Plastics**. (2nd Edition), Raytheon Systems Company EI, Segundo, California.

- Hu, J.F., Chen, H.Q., and Zhang, Z. (2009). Mechanical properties of melamine formaldehyde microcapsules for self-healing materials. **Materials Chemistry and Physics**, Vol.118, No.1, November 15, 2009. pp.63–70.
- Panyakapo, P., and Panyakapo, M. (2008). Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete, **Waste Management**, Vol.28, No.9, pp.1581–1588.
- Pickering, S.J. (2006). Recycling technologies for thermoset composite materials – current status. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, The 2nd International Conference: Advanced Polymers Composites for Structural Applications in Construction**, Vol.37, No.8, August 2006. pp.1206–1215.
- Rahaman, M.N. (2007). **Ceramic Processing**. CRC/Taylor & Francis, U.S.A., 473pp.
- Salaün, F., and Vroman, I. (2008). Influence of core materials on thermal properties of melamine-formaldehyde microcapsules. **European polymer Journal**, Vol.44, No.3, March 2008. pp.849–860.
- Shah, V. (1998). **Handbook of Plastics Testing Technology**. Performance Engineered Products. Inc, Pomona, California.
- Thirumal, M., Khastgir, D., Nando, G.B., Naik, Y.P., and Singha, N.K. (2010). Halogen-free flame retardant PUF: Effect of melamine compounds on mechanical, thermal and flame retardant properties. **Polymer Degradation and Stability**, Vol.95, No.6, June 2010. pp.1138–1145.
- Zhang, X.J., Zhan, Y.Z., Mo, H.L., Huang, Q.X., and Zhang, G.H. (2009). Microstructure and compressive properties of in situ synthesized Ti – Si alloy composites reinforced with La_2O_3 particles. **Materials Science and Engineering: A**, Vol.526, No.1-2, November 25, 2009. pp.185–189.

ภาคผนวก ก
บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

Siwadamrongpong, S., Mahai, M., and Wonglane, K., (2012). **Study on properties of recycled materials from waste melamine**. South East Asian Technical University Consortium (SEATUC 2012). 6-7 March. KMUTT. Bangkok Thailand.

Siwadamrongpong, S., Boongsod, W., Mahai, M., and Wonglane, K., (2013). **Influence of pre-heating in cold forming of melamine**. South East Asian Technical University Consortium (SEATUC 2013). 4-6 March. ITB. Bandung Indonesia.

STUDY ON PROPERTIES OF RECYCLED MATERIALS FROM WASTE MELAMINE

Somsak Siwadamrongpong^{1*}, Metinee Mahai², Krittiya Wonglane²

¹School of Manufacturing Engineering, ²School of Mechanical Engineering

Institute of Engineering, Suranaree University of Technology,

111 Suranaree District, Muang, Nakhonrachasima, 30000

*E-mail:somsaksi@sut.ac.th, 0-4422-4236, 0-4422-4411

ABSTRACT

Melamine formaldehyde resin is one of the thermosetting plastics that are widely used in kitchen ware production industries. In the manufacturing processes, scrap and waste of formed Melamine cannot be reformed or reused. Therefore, this study aims to investigate the proper proportion of virgin Melamine powder and waste Melamine in order to increase values of those plastic products. For experiment methodology, the Melamine powder and waste Melamine are compounded and formed as newly-reformed products for mechanical property testing. Heat-compressive test, bending test and roughness test are used for evaluating mechanical properties of abovementioned products. For experimental results, the mechanical properties of reused Melamine products are relatively lower than virgin Melamine products. The part which its waste Melamine is not over 30 % has effective flexural and compressive strengths in the proper range of virgin Melamine property. Surface roughness of the formed parts decrease when amount of waste Melamine increases.

1. INTRODUCTION

Plastic is the bio-chemical substance that is popularly used to produce low cost plastic products instead of natural materials. Nowadays, plastic products are widely used in several countries. So, the increase of the use of plastic products will increase the amount of waste, which will have an influence on environment and climate change. Plastic and Foam waste is about 14 percent of all product waste, 1.9 million tons in 1999. In 2001, the amount of plastic product waste increased about 16 percent, to 2.3 million tons. Lastly, it increased by about 2.7 million tons in

2008 (Pollution Control Department). Because of increasing populations, the use of plastic products and waste consequently increases. Plastic materials can be divided into two types.

1. Thermoplastics, i.e. Polyethylene terephthalate (PET), Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS) and Polyvinyl chloride (PVC), can be reused in the plastic reproduction process.

2. Thermosetting, i.e. PUR, Epoxy, Phenolic and Melamine, these types cannot be reused due to cross linking among the polymer chains. Thermosetting has more durability on high temperature resistance and it will be immediately diluted when the melting temperature reaches the critical point. Normally, high temperatures combined with high compressive forces can form this material well to the required shape.

The used plastic products can be disposed of by various methods, such as burial, landfill, incineration and recycling processes. The recycle processes are the best method. The advantages of recycle processing are reducing pollution and cost of reproduction. So, this method is interesting for studying the increase in values of the used plastic materials.

Melamine formaldehyde resin is mostly used to produce dishes and table wear, spoons etc. for food preparation. It has a specific weight about 1.45-1.52 (Pichit Liampipat, 1996) with high strength and hardness. This Melamine formaldehyde powder is not suitable for outside surface coating because it is fades easily. For electric conductivity, it is an electrical resistor and is unmatched with high electrical frequency. However, it is popularly made for some electric devices instead of Phenolic. The mechanical properties of Melamine are shown in Table1 (Sidney H. Goodman, 1998).

Several fields of material forming research studied on plastic recycle and plastic deformation.

Especially, S.J. Pickering (2005) who carried out studies on technologies for recycling thermoset composite materials. Mechanical and Thermal recycling techniques involve the use of grinding techniques to comminute the scrap material for reuse as fillers or partial reinforcement in new composite material. There are technologies that can be used to produce powder and fibrous recyclates that have potential for reuse back into thermoset compounds. However they have lower density and lower mechanical properties. The fibrous recyclates have some potential as reinforcement materials, but they are not as good as the virgin reinforcement. Phaiboon Panyakapo and Malika Panyakapo (2007) have carried out studies on lightweight concrete - Melamine waste combination. For their research result, that product has a low density and weight because of the reduced specific gravity.

This research uses thermosetting material to form the example parts (specimen) by using compression process, including heat input. Finally, the mechanical properties of those specimens are evaluated by compressive test, bending test and roughness test.

Table 1 Properties of Melamine.

Melamine properties	
Tensile strength	35-90 MPa
Compression strength	228-310 MPa
Flexural strength	62-110 MPa
Flexural modulus	7.58 GPa
Hardness	M115-M125

2. EXPERIMENT

2.1 Material

2.1.1 Melamine powder. Industrial grade Melamine powder (ready mixed with cellulose and formaldehyde).

2.1.2 Melamine waste. Defected parts of Melamine products (scrap and scratch parts) are used. This Melamine waste is ground and filtered by sieve shaker machine, with 90-150 micron.

2.2 Combination

The virgin Melamine was mixed with waste Melamine powder at ratio virgin: waste 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 and 100:0 which compounded by ball mill, 10 minutes of running machine. Grinding mill (diameter = 1 cm.) is used to mix, 250 g a times.

2.3 Specimen preparation

Specimens for test are formed by LONG CHANG 200TON from Srithai Superware public company limited, Nakhonratchasima, Thailand. Temperature input of 160 Celsius and compression force of 200 bar with running time of 150 second is performed.

2.4 Experiments

The specimens are finished with sand papers (numbers 600, 1000, 1500 and 2000) and are machined by a belt saw and milling machine. Then was finished again by sand papers (numbers 1000, 1500 and 2000)

2.4.1 Bending test. Dimensions of standard specimens (ASTM D790) are 6 mm.X6 mm. X 100 mm, support distances (span length) = 90 mm. Universal Testing Machine, INSTRON Load cell with 5 kN tension force, speed ratios = 2.0 mm / minute at room temperature is used. Five specimens per testing condition are performed. The specimens are bent under three - point bending.

2.4.2 Compressive test. Dimensions of standard specimens (ASTM D695) are 6 mm X 6 mm X 12 mm. Universal Testing Machine, INSTRON Load cell with 50 kN tension force, speed ratios = 1.33 mm / minute at room temperature is used. Five specimens per testing condition are performed.

2.4.3 Surface roughness test. The specimens are tested on surface of a square bar dimensions of bar = 6 mm. X 6 mm. X 100 mm. Mitutoyo SURFTEST SA-400, 600 micron, distance testing point = 3.5 cm. edge distance = 1.5 cm. at room temperature is used for testing. One specimen per testing condition is performed. Measurements are taken of four sides and the average taken.

3. EXPERIMENTAL RESULTS

3.1 Result of part forming

Four of all ratios (i.e. 100:0, 90:10, 80:20, 70:30) can be prepared for testing. The remaining parts (i.e. 60:40, 50:50) are thick and shown in Fig. 1. Due to flow instability during compressing, heating, and increased hardness caused by many Melamine wastes, flow ability of material consequently decreases at the same compression and heat input. Moreover, tools may be damaged if compression force increases.

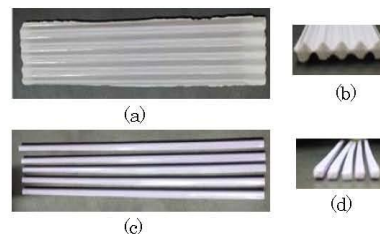


Fig. 1 (a), (b) Unusable specimens or defect part (Mixing ratio, 60:40, 50:50).
(c), (d) Usable specimens (Mixing ratio, 100:0, 90:10, 70:30).

3.2 Bending test

The flexural strength (Fig. 2) has highest at 0% waste Melamine. When waste Melamine increases the flexural strength is reduced by 13.05%, 15.06% and 26.74%, respectively. Flexural modulus (Fig. 3) at 0% waste Melamine (8.17GPa) is the highest value and slightly reduced by 1.53%, 7.69% and 11.59%, respectively when waste Melamine increases. However, the flexural strengths at almost all the test are close to Melamine properties (7.58 GPa). Flexural modulus, the minimum value found is 7.23 GPa. Therefore recycling can be used for bending load.

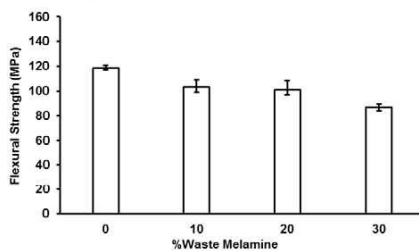


Fig. 2 Flexural strength of recycled Melamine.

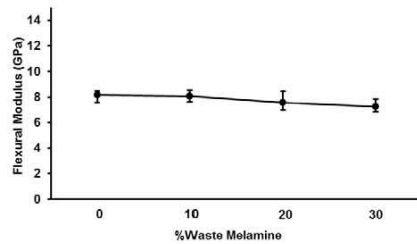


Fig. 3 Flexural modulus of recycled Melamine.

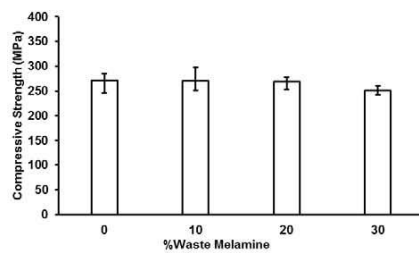


Fig. 4 Compressive strength of recycled Melamine.

3.3 Compression test

The compressive strength showed in Fig. 4. The highest value at 0% waste Melamine (262.57 MPa) and slightly reduced to 0.43%, 1.05% and 7.37%, respectively, when waste Melamine increases.

The minimum compressive strength found was 251.25 MPa which is in the range of Melamine properties. In addition, the compression strength of recycled Melamine can be replaced with other materials such as Phenolic, Urea, etc.

As the waste Melamine increases it causes a decrease of matrix which has a continuous phase effect to the flexural and the compressive strengths which are reduced.

3.4 Roughness

The result of surface roughness showed in Fig. 5. The surface roughness was lowest at 0% waste Melamine (0.4054 μm). The waste melamine causes an increase of the roughness and reaches about 93%, 123%, and 139% respectively.

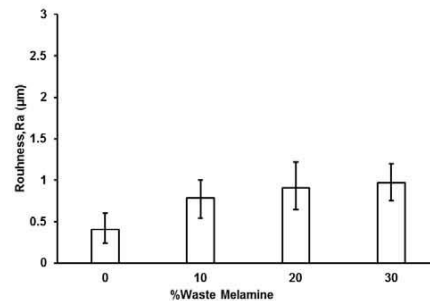


Fig. 5 Roughness of recycled Melamine.

CONCLUSION

From the combination of waste Melamine and virgin Melamine, it is found that over 30 % of waste Melamine (40%, 50%) causes decrease of flow ability of reused material during forming. So, the formed parts are thick and are not suitable for use as specimens. In contrast, the part with waste Melamine not over 30 % was found to have the flexural strength and furthermore the compressive strength of material obtained from experimental results and they are in the proper range of virgin Melamine property. For flexural modulus, the formed part with waste Melamine at 10 %, 20%, and 30% has flexural modulus close to virgin Melamine. On the other hand, surface roughness of the formed parts increase when the amount of waste Melamine increases which may cause more friction resulting in the formation of corrosion or damage.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors actually appreciate and thank to Srithai Superware public company limited that give us raw materials and compression forming machine, The Center for scientific and technological equipment, Suranaree University of Technology that give us the experimental apparatus and useful information.

REFERENCES

ASTM D790 standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials.

ASTM D695 standard test methods for compressive properties of rigid plastics.

Phaiboon Panyakapo, Mallika Panyakapo, Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete, *Waste Management*, no.28, pp.1581-1588, 2008

Pichit Liampipat, *Plastics*, Bangkok, 1996

S.J. Pickering, Recycling technologies for thermoset composite materials-current status, *Composite Part A*, no. 37, pp. 1206-1215, 2006

Sidney H. Goodman, *Handbook of Thermoset Plastics Second Edition*. Raytheon Systems Company EI Segundo, California, 1998

OS Number ____06____

INFLUENCE OF PRE-HEATING IN COLD FORMING OF MELAMINE

Somsak Siwadamrongpong^{1*}, Wanwanut Boongsood¹, Methini Mahai², Kritiya Wonglane²^{1*}School of Manufacturing Engineering, ²School of Mechanical Engineering.

Institute of Engineering, Suranaree University of Technology.

111 University Avenue, Muang District, Nakhonratchasima 30000, Thailand.

^{1*}E-mail: somsaksi@sut.ac.th. Tel: 0-4422-4566, Fax: 0-4422-4494

ABSTRACT

Melamine formaldehyde resin is one of the thermosetting plastics that are widely used in kitchen ware production industries. Melamine is normally formed by hot compression molding, which requires high energy input. The ultimate goal of this study was to form recycled materials from waste melamine. It is desired to use cold compression molding, which consumes lower energy consumption in the forming processes. One important step in the cold processes is pre-heating process. Therefore, this study aims to investigate the influence of pre-heating in cold forming of melamine. The specimens are formed by cold compression molding, pre-heated for several time and sintered in the shape of 3-point bending test sample. The flexural strength and moisture content of the specimen were measured. It was found that the pre-heating at 100 degree Celsius for 15 hours is the appropriate condition for elimination of the moisture. The specimens of such conditions are well formed in shape with good surface appearance. It is recommended to form and test the specimens which are mixed between waste and virgin Melamine for further work.

1. INTRODUCTION

Plastic is the substance that is popularly used to produce low cost products instead of natural materials. Nowadays, plastic products are widely used in several countries and lead to the increase of plastic waste amount. Consequently, there are an influence on environmental impact and climate change. In a period of 10 years, plastic and foam waste is about 18 percent of all product waste, 1.65-2.84 million tons a year in 2000-2009 (Pollution Control Department).

Because of increasing populations, the use of plastic products and waste consequently increases. Normally, plastic materials can be divided into two types.

1. Thermoplastics, i.e. Polyethylene terephthalate (PET), Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS) and Polyvinyl chloride (PVC), can be reused in the plastic reproduction process.
2. Thermosetting, i.e. PUR, Epoxy, Phenolic and Melamine, these types cannot be reused due to cross linking among the polymer chains. Thermosetting has more durability, high temperature resistance and it will be immediately melted when reaches the melting point. It is usually formed with high temperatures and high compressive forces, simultaneously, in the mold of desired shape.

The used thermosetting plastic products can be disposed by land filling. Due to the plastic is durable and takes a hundred of years to decompose. So, the recycle processes are the most interesting method to face this problem. The advantages of recycle processing are reducing pollution and environmental impact.

Melamine formaldehyde resin is mostly used to produce dishes, table ware and spoons etc. It has a specific weight about 1.45-1.52 (Pichit Liampipat, 1996) with high strength and hardness. For electric conductivity, it is an electrical insulator and is unmatched with high electrical frequency. However, it is popularly made for some electric devices instead of Phenolic. The mechanical properties of melamine are shown in Table 1 (Sidney H. Goodman, 1998).

Table1 Properties of Melamine.

Melamine properties	
Tensile strength	35-90 MPa
Compression strength	228-310 MPa
Flexural strength	62-110 MPa
Flexural modulus	7.58 GPa
Hardness	M115-M125

Typically, melamine product was formed by hot compression molding. The processes of forming consist of pre-heating and hot pressing processes. In the hot pressing process, the compound will be melted and flowed to form into shape in the mold. Then, the mold is opened and Melamine product is removed from the mold.

Several fields of material forming research studied on plastic recycle and plastic deformation. S.J. Pickering (2005) carried out studies on technologies for recycling thermoset composite materials. Mechanical and Thermal recycling techniques involve the use of grinding techniques to comminute the scrap material for reuse as fillers or partial reinforcement in new composite material. There are technologies that can be used to produce powder and fibrous recyclate that have potential for reuse. However the recycled materials usually have lower density and mechanical properties than the original fresh material. The fibrous recyclates have some potential as reinforcement materials, but they are not as good as the virgin reinforcement. Phaiboon Panyakapo and Mallika Panyakapo (2007) have carried out studies on lightweight concrete- waste melamine combination. They have been reported that the waste melamine could be reused in some type of lightweight concrete.

The ultimate goal of this study was to use cold compression molding, which consumes lower energy consumption in the forming processes, to form the recycled melamine. In this stage, the cold forming condition of pure melamine was investigated. One important step in the cold processes is pre-heating process. Therefore, this study aims to investigate the influence of pre-heating in cold forming process of pure melamine.

The melamine powders are formed by cold compression molding, pre-heated for several time and sintered in the shape of 3-point bending test sample. The flexural strength and moisture content of the specimen were measured. It is recommended to form and test the specimens which are mixed between waste and virgin Melamine for further work.

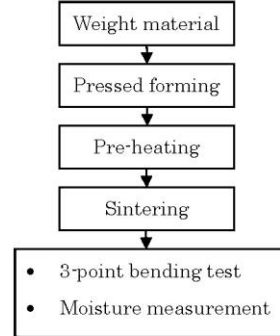


Fig. 1 Experiment procedure.

2. EXPERIMENT

2.1 Melamine powder

Industrial grade melamine powder (ready mixed with cellulose and formaldehyde).

2.2 Specimen forming

Melamine powder was weighted in calculated amount from volume of specimen using density of 1.425 kg/m³ (reference from specimen that formed by hot compression molding). The specimen was formed by hydraulic press without heat. Then, pre-heat at various time periods was carried out. The forming condition is shown in table 2. After that, the formed specimen was sintered and tested the flexural strength.

Table2 Forming conditions

Specimen No.	Pre-heat condition.		Sintering condition	
	Temp.	Time	Temp	Time
1	100 °C	0	160 °C	6 hr.
2		6		
3		18		
4		36		
5		54		
6	100 °C	9	160 °C	6 hr.
7		12		
8		15		

2.3 Measurements

2.3.1 Bending test

Dimensions of standard specimens (ASTM D790) are 125 mm.X 12.7 mm.X 3.2 mm, supported distances (span length) 51.2 mm. Universal Testing Machine, INSTRON Load cell 5 kN, speed 2.0 mm / minute at room temperature is used. Six specimens for each testing condition are performed. The specimens are bent under three - point bending.

2.3.2 Moisture measurement

After the sintering process, specimens were weighed to the reference value. Then, the specimen was ground to reduce size for easier elimination of moisture. The reduced size specimen was baked at 100 °C for 24 hours. Then, cooling down in the desiccators and weighed again to achieve the moisture amount .

3. EXPERIMENTAL RESULTS

3.1 Result of specimen forming

Specimen no.1 was pressed and sintered at 160 °C (follow to the normal forming temperature of Melamine) without pre-heating. The specimens of such conditions cannot be formed in shape compared to specimen with pre-heating as show in Fig. 2. It could be considered that might cause by moisture remaining in the specimen. On the sintering process, the moisture changes into vapor phase with high pressure while the surface of the specimen was already cured. It results the bending and crack of specimen surface as shown in Fig. 2. The specimens no. 2-8 are well formed in shape with good surface appearance.

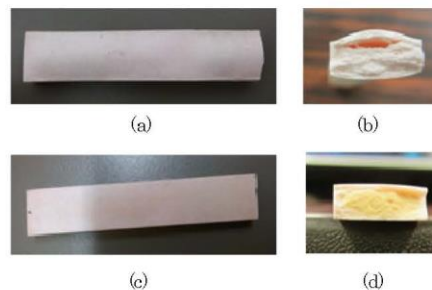


Fig. 2 (a), (b) Specimen without pre - heating.
(c), (d) Specimen with pre - heating.

3.2 Influence of pre-heated time

The flexural strength results of specimen no. 2, 3, 4, 5 was shown in Fig.3. It was found that specimen no. 4 is the highest flexural strength. However, the statistical hypothesis test at the 95% confidence level, shown in Table 3, was indicated that there are not significantly different between specimen no 3 and 4. It was implied that the appropriate pre-heating time should be located between 6-18 hours.

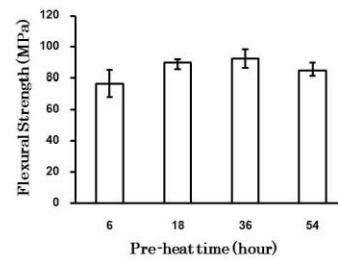


Fig. 3 Flexural strength of specimen no. 2- 5.

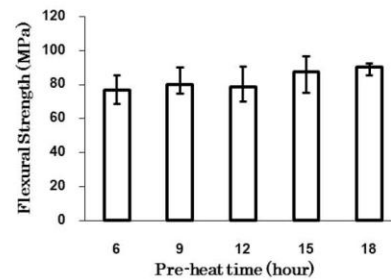


Fig. 4 Flexural strength of specimen no.2, 3, 6, 7, 8.

Figure 4 showed the flexural strength of specimen no. 2, 3, 6, 7 and 8 which was pre-heating for 6, 9, 12, 15 and 18 hours respectively. From these results, it was statistically discussed and selected to pre-heat the specimen for 15 hours (specimen no. 3) due to it was significantly no different between pre-heating time 18 hours. The results of hypothesis testing was shown in Table 3. It was obvious that the lower pre-heating time than 15 hours yielded the significantly different flexural strength from the specimen no. 3.

Table3 The result of one sample t-test of ($H_0: \mu = 90.12$) vs ($H_1: \mu \neq 90.12$) with confidence level 95%.

Specimen No.	Pre-heat time	St. Dev.	SE Mean	95% CI	T	P-value
2	6	9.74	4.87	(57.72, 88.71)	-3.47	0.040
6	9	7.63	3.11	(72.58, 88.59)	-3.06	0.028
7	12	10.37	4.64	(63.54, 89.29)	-2.96	0.042
8	15	5.75	2.87	(85.04, 103.34)	1.42	0.252
3	18	3.09	1.54	(85.21, 95.03)	Ref.	-
4	36	4.95	2.48	(84.76, 100.53)	1.02	0.383
5	54	3.09	1.38	(81.06, 88.74)	-3.77	0.020

3.3 Moisture measurement

The remaining moisture content in the specimens no. 2, 3, 4, 5 were decreased as increasing of pre-heating time. The exponential function was proposed to predict the remaining moisture content in the specimen after sintering as follow;

$$y = 2.9958e^{-0.008x}$$

with $R^2 = 0.9889$). Therefore, pre-heat time was concluded to strongly related to the remaining moisture content in the specimen. The approximated of remaining moisture content in the specimen that pre-heated for 15 hours was calculated to be 2.657% moisture.

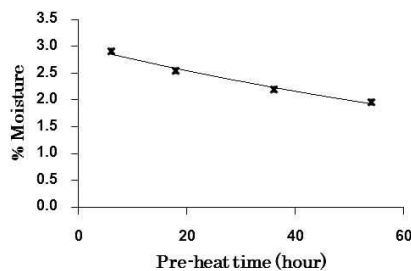


Fig. 5 Remaining moisture content of specimen no. 2-5.

4. CONCLUSION

This study aims to study influence of pre-heating on the cold forming process of melamine. The specimens were formed by various pre-heating time periods. The specimens were tested the flexural strength and remaining moisture content. It was found that the pre-heating at 100 degree Celsius for 15 hours might be the appropriate condition elimination of the moisture which, remaining moisture content in the specimen was approximately 2.657%. The specimens of such conditions are well formed in shape with good surface appearance. It could be concluded that the cold forming process with pre-heating has the

potential to form the melamine product. It is recommended to form and test the specimen which is mixed between waste and virgin melamine for the further study.

ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to thank The Thailand Research Fund (TRF) for financial support, Srithai Superware PLC. for material and forming machine, Suranaree University of Technology for facility support.

REFERENCES

- ASTM D790 standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials.
- Phaiboon Panyakapo, Mallika Panyakapo, Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete, *Waste Management*, no.28, pp.1581-1588, 2008
- Pichit Liampipat, *Plastics*, Bangkok, 1996
- S.J. Pickering, Recycling technologies for thermoset composite materials: current status, *Composite Part A*, no. 37, pp. 1206-1215, 2006
- Sidney H. Goodman, *Handbook of Thermoset Plastics Second Edition*. Raytheon Systems Company El Segundo, California, 1998

ประวัติผู้วิจัย



Biographical Data

School of Manufacturing Engineering
Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology
111 University Avenue, Muang District,
NakhonRatchasima 30000
THAILAND
Tel: 66 4422 4676 FAX: 66 4422 4413



wanwanut@sut.ac.th
3 4099 00803 06 1

Wanwanut Boongsood

- Education:**
- 2008-2012 Ph.D. (Manufacturing Engineering), University of Liverpool, Liverpool, UK
 - Thesis Title: Design and Modeling of a Miniaturized Ultrasonic Machining System
 - Advisors: **Prof.Dr. Bermard Hon**
Prof.Dr. Hugh Clare
 - Elected as the president of Liverpool Thai Student Society 2008/2009
 - 2003-2006 M.Eng (Industrial Engineering), Thammasat University, Rangsit Campus, PathumThani, Thailand
 - Thesis Title: Development of tool for evaluating technical requirements in QFD using fuzzy numbers
 - Advisors: **Assoc.Prof.Dr. Montalee Sasananan**
Asst.Prof.Dr. Busaba Phruksaphanrat
 - 1995-1999 B.Eng (Industrial Engineering), KhonKaen University, KhonKaen, Thailand
 - Project Title: Detecting of defects by nondestructive testing
 - Advisors: **Dr. Michael Loveless**
 - Elected as the secretary of IE35-KKU student's association
- Present Position:** 2006-Present Lecturer, School of Manufacturing Engineering
- Work Experiences:**
- 1999-2004 Design Engineer
Mitsubishi Electric Automation (Thailand) Co.,Ltd.,
 - Member, project of centrifugal pumps improvement (WCH, WCM and WCL-series; 0.37, 0.75, 1 and 2 kW)
 - Increased pressure and flow rate
 - Decreased motor temperature
 - Leader, project of new submersible pump development (SSP and SSV-series; 0.25, .0.4, 0.75, 1.5 kW)
 - 20% Total cost decreased and improved the efficiency compared with equivalent models

- 2005 Engineer
 V.S. Elevator and Engineering Co.,Ltd., Bangkok
- Dealt with subcontractors
 - Prepared and distributed drawing to workers

Academic Works:

Wanwanut B., Montalee S. and Bussaba P., “Development of Tool for Evaluating Technical Requirements in Quality Function Deployment using Fuzzy number ”, Operation Research Conference 2006, 31 August – 1 September 2006, Bangkok, Thailand (in Thai)

Wanwanut B., Montalee S. and Bussaba P., “Development of Tool for Evaluating Technical Requirements in Quality Function Deployment using Fuzzy number ”, Thammasat Journal of Science and Technology, 2007 (in Thai)



แบบประวัติส่วนตัว

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง
จังหวัดนครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 0 4422 4411 โทรสาร 0 4422 4613



Sanepmaf_nok@hotmail.com

จันทร์จิรา อภิรักษ์เมธาวงศ์

Janjira Aphirakmethawong

84302 88015 40 3

การศึกษา/คุณวุฒิ	2554	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมการผลิต) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
	2548	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนขัติยะวงษา จังหวัดร้อยเอ็ด
	2544	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนท่าบ่อ จังหวัดหนองคาย
ตำแหน่งปัจจุบัน		นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต (ระดับปริญญาโท) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ประวัติการฝึกงาน	2554	บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด (บางปะอิน) ตำแหน่ง ผู้ช่วยวิศวกร แผนก Solution Provider and Scrap Prevention (SP ²) หน้าที่ที่รับผิดชอบ หาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต HSA และ HDD และหาวิธีแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้น
งานที่สนใจ		Process improvement
		Material properties