FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การพัฒนาคุณสมบัติวัสดุผสมพลาสติกรักษ์สิ่งแวดล้อม เพื่อใช้เป็นวัสดุแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยระบบสูญญากาศ

Development of Plastic Green composite for Vacuum mold process

อนุวิทย์ สนศิริ[1)]* ปราโมทย์ พลิคามิน[1)] และ นพดล อ่ำดี[2)]

Anuwit Sonsiri[1)*] Pramote Palicamin[1)] and Noppadon Amdee[2)]

[1)]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 10120

[2)]สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง 70150

[1)]Department of Industrial Engineering, Faculty of Technical Education,

Rajamangala University of Technology Krungthep 10120

[2)]Department of Manufacturing Technology, Faculty of Industrial Technology Management,

Muban Chombung Rajabhat University 70150

Received: 2 September 2019

Revised: 18 February 2021

Accepted: 22 February 2021

Available online: 14 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาวัสดุผสมพลาสติกรักษ์สิ่งแวดล้อม ระหว่าง วัสดุสังเคราะห์ ผสมรวมกับวัสดุธรรมชาติ ประกอบด้วย โพลีเอสเตอร์เรซินสภาวะของเหลว ผงอลูมิเนียม ผงทัลคัม และผงอิฐมอญ เพื่อให้ได้วัสดุชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติทางกล ด้านความแข็ง สำหรับนำไปใช้เป็นวัสดุ ของกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง แม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยสูญญากาศ โดยการปฏิบัติการผสม วัสดุผสมพลาสติกรักษ์สิ่งแวดล้อม ทำชิ้นงานทดสอบ(Specimen) จำนวน 32 ชิ้นทดสอบ กำหนดค่าน้ำหนักส่วนผสมแต่ละชิ้นเท่ากับ20กรัม และนำชิ้นงานทดสอบ ตรวจสอบหาค่าความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D2240(1990) ระดับความแข็ง Shor-D ซึ่งผลจากงานวิจัยพบว่า ส่วนผสมวัสดุผสมพลาสติกรักษ์สิ่งแวดล้อม อัตราส่วน โพลีเอสเตอร์เรซินสภาวะของเหลว 10 กรัม ผงอลูมิเนียม 2 กรัม ผงทัลคัม 4 กรัม และผงอิฐมอญ 4กรัม ระยะเวลาการแข็งของส่วนผสม 6 ชั่วโมง มีคุณสมบัติความแข็งดีที่สุด 84.6 Shor-D เหมาะสำหรับใช้สร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยสูญญากาศ เพื่อเพิ่มทางเลือกของวัสดุในการผลิต ภาคอุตสาหกรรมต่อไป

คำสำคัญ : พลาสติก เทอร์โมฟอร์มมิ่ง เรซิน ชิ้นงานทดสอบ

Abstract

This research presents a development of environmental-friendly plastic (EFP) composite material between synthetic materials mixed with natural materials, consisting of liquid polyester resin, aluminum powder, talcum powder and clay brick powder for use as a material create thermoforming process vacuum forming mold. The operating by mixed EFP composite material test specimen 32 pieces. Specify the weight of each ingredient equal to 20 grams and take the specimen check for hardness according to ASTM D2240(1990) Shor-D hardness level. Test results from the research found that mixed materials, EFP is 10 grams of liquid polyester resin, 2 grams of aluminum powder, 4 grams of talcum powder, 4 grams of brick and a setting time 6 hours powder with the best hardness of 84.6 Shor-D. Suitable for creating vacuum molds to increase the choice of materials in the production Industry sector.

Keywords : Plastic: Thermoforming: Resin: Specimen

---

*ติดต่อ: a.sonsiri@gmail.com, เบอร์ 080-507-2223

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะพลาสติกของประเทศไทย เป็นเรื่องที่ต้องได้รับความสนใจเป็นพิเศษ ทั้ง ในภาครัฐ ภาคอุตสาหกรรม และประชาชนทั่วไป โดยหลายภาคส่วนมีความพยายามในการใช้วัสดุ พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง สำหรับอุตสาหกรรมพลาสติกของประเทศไทย ที่เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว โดยมีแผนพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกปี พ.ศ. 2559-2564 มุ่งขยายการส่งออกผลิตภัณฑ์สู่กลุ่มประเทศ CLMV ส่งผลให้นำเงินตราเข้าประเทศนับพันล้านบาทและมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี อีกทั้งยังเน้นการส่งเสริมนวัตกรรมเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก มุ่งเน้นพัฒนาเทคโนโลยีพลาสติกชีวภาพ ซึ่งกลุ่มผู้ผลิตพลาสติกชีวภาพได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [1] รวมถึงการนำวัสดุทดแทนมาใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มของงานผลิตพลาสติก ได้มีการใช้วัสดุโพลีเอสเตอร์เรซินซึ่งเป็นวัสดุสังเคราะห์ผสมรวมกับผงทัลคัม ผงอลูมิเนียม ที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อนำมาทดแทนการใช้งานของวัสดุประเภทโลหะ เนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีน้ำหนักเบา ราคาถูกกว่าโลหะตามสัดส่วนรูปร่าง สามารถแปรรูปได้ง่าย รวมไปถึงการช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดที่ใช้ในการแปรรูปอีกด้วย [2] อีกทั้งการพัฒนา ปรับปรุงโครงสร้างความเป็นผลึกวัสดุคอมโพสิตระหว่างเส้นใยปอจากวัสดุธรรมชาติผสมกับอีพ็อกซี่เรซิ่นใช้ระบบสูญญากาศ และสารเติมแต่งในการขึ้นรูป ช่วยให้คุณสมบัติเชิงกลเทียบเท่ากับเส้นใยคาร์บอนที่มีราคาต้นทุนสูงในการผลิต สามารถใช้ทดแทนเส้นใย

คาร์บอนที่ไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม เช่น การบิน ยานยนต์ ผลิตภัณฑ์สิ่งทอ เป็นต้น [3]

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาทดลองหาส่วนผสมของ โพลีเอสเตอร์เรซินสภาวะเหลว ผงอลูมิเนียม ผงทัลคัม ผงอิฐมอญผสมรวมและปล่อยแข็งตัว ให้ได้คุณสมบัติความแข็งมากกว่า 80 Shor-D ซึ่งมีความเหมาะสมเพื่อใช้เป็นวัสดุสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยระบบสูญญากาศเพื่องานบรรจุภัณฑ์พลาสติก

2. วิธีการวิจัย

ดำเนินการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุและวิธีการเพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

2.1 **วัสดุผสม** (Composite material) คือวัสดุที่ถูกสร้างขึ้นมาจากวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เพื่อใช้ประโยชน์เฉพาะงาน โดยไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ คุณสมบัติของวัสดุผสมที่ได้เป็นฟังชั่นหรือขึ้นกับคุณสมบัติและปริมาณของสารตั้งต้น รวมถึงรูปทรงทางเรขาคณิตของเฟสที่กระจายตัว และประเภทของวัสดุผสมแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยอนุภาค (particle-reinforced) วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใย (fiber-reinforced) วัสดุผสมโครงสร้าง (structural) [4]

2.2 **วัตถุดิบ** (Materials)

โพลีเอสเทอร์เรซิ่น สภาวะพลาสติกเหลว มีลักษณะค้นคล้ายน้ำมันเครื่อง กลิ่นฉุนแข็งตัวด้วยความร้อนสูง เป็นวัตถุไวไฟชนิดหนึ่ง มีอัตราการหดตัว 2% หลังเซทตัวเต็มที่ การแข็งตัวของโพลีเอสเทอร์เรซินสามารถแข็งตัวโดยใช้ตัวทำให้แข็ง(Hardener) + ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา (promote/accelerator) ที่อุณหภูมิระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส [4]

ทัลคัม (Talcum) มีโครงสร้าง TOT เหมือนพวก Montmorillonite แต่ Al+3 ใน Octahedral sheet ถูกแทนที่ด้วย Mg+2 (Brucite sheet) แรงยึดกันระหว่างออกซิเจนของทัลคัม แต่ละชั้นไม่แข็งแรงจึงเป็นเหตุให้เกิดรอยแตกตามแนวตั้งฉากกับแกน C ได้ง่าย และเป็นเหตุทำให้มีเนื้อแร่อ่อนนิ่ม ส่วนประกอบทางเคมีตามทฤษฎี คือ 63.5% SiO_2, 31.7% MgO และ 4.8%H2O ทัลคัมมีคุณสมบัติพิเศษใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ อุตสาหกรรมกระเบื้องกรุฝาผนัง เนื่องจากมีคุณสมบัติป้องกันการเกิดการรานตัว (crazing) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวและมีคุณสมบัติต้านทานการเกิดการช็อคเนื่องจากความร้อน (thermal shock) อีกด้วย [5]

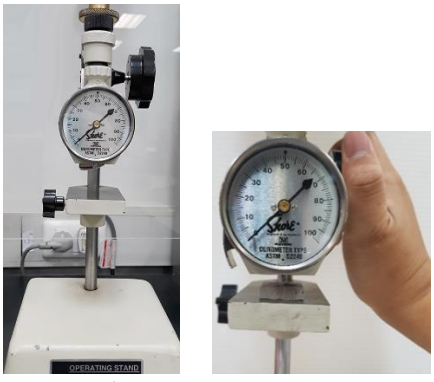
อลูมิเนียม (Aluminum) โลหะน้ำหนักเบาไม่สึกกร่อนโดยง่าย ทำปฏิกิริยากับกรดและด่างบางชนิดเท่านั้น เมื่อผสมโลหะอื่นบางชนิดลงไปในเนื้ออลูมิเนียม ได้โลหะผสมซึ่งแข็งแรง ทนทาน และเหนียวกว่าอลูมิเนียมบริสุทธิ์มาก ใช้ทำสิ่งของเครื่องใช้ได้อย่างดี คุณสมบัติของอลูมิเนียมมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.7 ขนาดผงอลูมิเนียม สามารถจำแนกกลุ่มตามขนาดอนุภาคของผงเป็นกลุ่ม ดังนี้ กลุ่มขนาดอนุภาคผงหยาบ มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 20-60 ไมครอน กลุ่มขนาดผงละเอียดมีขนาดอนุภาคเท่ากับ 6-20 ไมครอน กลุ่มขนาดอนุภาคผงละเอียดมาก มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 3-6 ไมครอน [6]

อิฐมอญ (Brick) เป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการนำดินเหนียวมาเผาเพื่อให้ได้วัสดุที่คงรูปและมีความแข็งแรง มีคุณสมบัติ แสดงในตารางที่ 1 [7]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติอิฐมอญ

รูปแบบกายภาพ	หน่วย
ราคาต่อหน่วย	0.6
ราคารวมต่อ ตร.ม(บาท)	100-190
ขนาด(Volume) (cm^2)	7x16x3.5
ความหนาแน่น(ก.ก/ตร.ม)	1615-1650
จำนวนก้อนต่อ ตร.ม(ก้อน)	145
น้ำหนักต่อ ตร.ม(Kg/m^2)	130
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม "Q" (Thermal Transfer) ($Watt/m^2$)	30-45
ค่าการนำความร้อน "K" (Conductivity-K value) (W/m.K)	0.473
ค่าการต้านทานความร้อน "R" (Resistivity-R Value) (m^2K/W)	0.15
ค่าการจุความร้อน "C" (Thermal Capacity) (J/Kg.K)	800-1000
การต้านทานแรงอัด(Kg/cm^2)	35

2.3 เครื่องทดสอบความแข็ง ดูโรมิเตอร์ แบบชอร์ (Shore durometer) ใช้ในการวัดความแข็งของโพลีเมอร์, อีลาสโตเมอร์และยางแสดงในรูปที่1. โดยค่าความแข็งคือค่าความต้านทานของพื้นผิวต่อการกระแทกของหัวกดภายใต้สภาวะที่ถูกกำหนดขึ้นมี 2 แบบคือ ชอร์ เอ (Shore A) สำหรับยางหรือพลาสติกที่นุ่ม ส่วน ชอร์ ดี (Shore-D) สำหรับยางหรือพลาสติกที่แข็งกว่า [8]



รูปที่ 1 เครื่องทดสอบความแข็งและการกดหาค่า

อนุชิต และ จิตติวัฒน์ [9] ได้ทำการวิจัยพบว่าค่าความต้านทานการรับแรง ดึง ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น อุณหภูมิการดัดงอเนื่องจากความร้อนของคอมโพสิตที่ใช้สารช่วยผสานไวนิลไตรเมททอกซี่ไซเลน (PP/SCG-VTMS) มีค่าสูงที่สุด ส่วนคอมโพสิตที่มี ค่าความต้านทานแรงกระแทก และค่าความแข็งสูงที่สุดคือ PP/SCG-MA ที่ใช้พอลิโพรพิลีน-กราฟท์-มาเลอิก แอนด์ไฮไดรด์เป็นสารช่วยผสาน ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยา ของรอยแตกหักที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกชี้ให้เห็นว่าการใช้สารไวนิลไตรเมททอกซี่ไซเลน (VTMS) และพอลิโพรพิลีน-กราฟท์-มาเลอิกแอนด์ไฮไดรด์เป็น สารช่วยผสาน ทำให้พอลิโพรพิลีนที่เป็นเมทริกซ์เข้ากันได้กับ กากกาแฟที่เป็นฟิลเลอร์เพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านความเค้น (stress transfer) ของเมทริกซ์ให้สูงขึ้น จึงมีคุณสมบัติทางกล ที่สูงกว่าคอมโพสิตที่ไม่เติมสารช่วยผสาน

2.4 วิธีการดำเนินงาน

ศึกษาคุณลักษณะของวัสดุผสม โพลีเอสเตอร์เรซิน สภาวะเหลว ผงอลูมิเนียม ผงทัลคัม ผงอิฐมอญ และดำเนินงานตามขั้นตอน ดังนี้

2.4.1 ปฏิบัติการสุ่มผสมวัสดุผสม

สร้างชิ้นทดสอบกำหนดน้ำหนัก 20 กรัม จำนวน 32 ชิ้น แยกสัดส่วนด้วยโปรแกรม Excel หาส่วนผสมที่มีคุณสมบัติความแข็งมากที่สุด เพื่อสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นพลาสติกด้วยสูญญากาศ มีส่วนประกอบของวัสดุผสม คือ โพลีเอสเตอร์เรซินสภาวะเหลว เบอร์ 355E ผสมโคบอล และตัวเร่งปฏิกริยา 1.5% ผงทัลคัมขนาด 325 Mesh ผงอลูมิเนียมขนาด 325 Mesh ผงอิฐขนาด 325 Mesh (325 Mesh = 44 Microns) ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 วัตถุดิบของ วัสดุผสม

2.4.2 การสร้างชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติทางกล

ส่วนผสมคอมโพสิต สำหรับชิ้นงานทดสอบในการวิจัยนี้ประยุกต์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง[2]โดยการใช้สารตัวเติมธรรมชาติและสารช่วยผสาน ที่เพิ่มผงอิฐมอญให้สมบัติทางกลด้านความแข็ง และสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตที่เหมาะต่อการในไปใช้เป็นแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกด้วยสูญญากาศ สัดส่วนของโพลีเอสเตอร์เรซินคงที่เท่ากับ 10 กรัมส่วนผสมอื่นผันแปรไป ให้ได้ส่วนผสมแต่ละชิ้น มีน้ำหนัก 20 กรัม ซึ่งดำเนินการสุ่มส่วนผสม กระจายแจกแจงบัญชีความแตกต่างของส่วนผสมด้วยโปรแกรม Excel [10]แสดงใน ตารางที่ 2 จากนั้นทำการผสมแต่ละชิ้นงานทดสอบ โดยการผสมกวนในภาชนะและเทลงแบบ ขนาด 6x25x25 มิลลิเมตร แสดงในวงกลมของรูปที่ 3. ปล่อยทิ้งให้แข็งเซ็ทตัวที่อุณหภูมิระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 สัดส่วนวัสดุผสม ชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานทดลอง (Specimen)	เรซิ่น (Resin)	ผงอลูมิเนียม (Al)	ผงทัลคัม (Tc)	ผงอิฐมอญ (B)	ส่วนผสมรวม (กรัม)
No.1	10	5	4	1	20
No.2	10	5	1	4	20
No.3	10	5	3.5	1.5	20
No.4	10	5	1.5	3.5	20
No.5	10	5	4.5	0.5	20
No.6	10	5	0.5	4.5	20
No.7	10	5	3	2	20
No.8	10	5	2	3	20
No.9	10	4	5	1	20
No.10	10	4	4	2	20
No.11	10	4	3.5	2.5	20
No.12	10	4	2.5	3.5	20
No.13	10	4	3	3	20
No.14	10	4	4.5	1.5	20
No.15	10	4	1.5	4.5	20
No.16	10	4	1	5	20
No.17	10	3	5	2	20
No.18	10	3	2	5	20
No.19	10	3	4	3	20
No.20	10	3	3	4	20
No.21	10	3	4.5	2.5	20
No.22	10	3	2.5	4.5	20
No.23	10	3	3.5	3.5	20
No.24	10	3	1.5	5.5	20
No25	10	2	5	3	20
No.26	10	2	3	5	20
No.27	10	2	4	4	20
No.28	10	2	4.5	3.5	20
No.29	10	2	3.5	4.5	20
No30	10	2	2.5	5.5	20
No.31	10	2	2	6	20
No.32	10	2	1.5	6.5	20

2.4.3. การทดสอบหาค่าความแข็ง ชิ้นงานทดสอบ

นำชิ้นงานทดสอบจำนวน 32 ชิ้น จากข้อที่ 2.4.2 ทดสอบวัดค่าความแข็ง (Hardness testing) ดำเนินการทดสอบในชิ้นงานทดสอบ ที่บ่งบอกถึงความต้านทานต่อรอยกด ตามมาตรฐาน ASTM D2240(1990) ด้วยเครื่อง Shore hardness tester ของบริษัท Instron จำกัด รุ่นShore instruments, S/N 108817 แสดงในรูปที่ 1. สภาวะปรับสภาพ

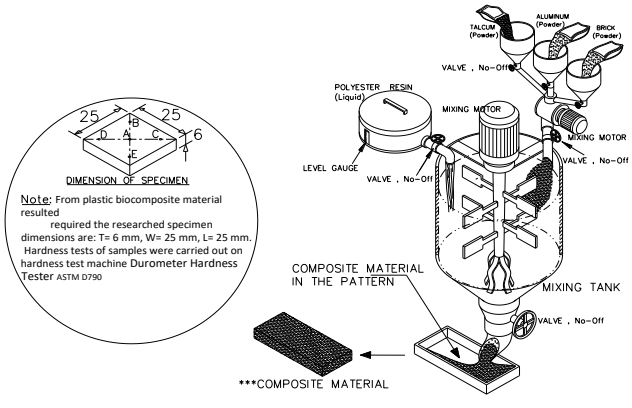
ชิ้นงานทดสอบ ควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5% R.H. สภาวะน้ำหนักกด 5 กิโลกรัม จำนวน 5 จุดกดต่อ 1ชิ้นทดสอบ แสดงในวงกลมรูปที่ 3. อ่านผลทดสอบ

ภายใน 3 วินาที ต่อ1จุดกด [11] ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 3. หาค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์ความแข็งของชิ้นทดสอบดังนี้

สูตรหาค่าเปอร์เซ็นต์ ของค่าความแข็ง Shor-D

$$\frac{A+B+C+D+E}{5} = \% \qquad (1)$$

2.4.4 การผลิตแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยสูญญากาศและผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อการบรรจุภัณฑ์ โดยนำอัตราส่วนผสมจากผลของค่าความแข็งที่ดีที่สุดคือ No.27 คือ ส่วนผสมของ โพลีเอสเตอร์เรซิน สภาวะเหลว 10 กรัม ผงอลูมิเนียม 2 กรัม ผงทัลคัม 4 กรัม ผงอิฐมอญ 4 กรัม รวมน้ำหนัก 20 กรัม ทำการเพิ่มอัตราส่วน ของส่วนผสมพลาสติกรักษ์สิ่งแวดล้อมให้ได้น้ำหนัก 4,320 กรัม ผสมรวมในถังผสมดังแสดงในรูปที่ 3. เพราะเมื่อเทลงในแบบจะได้วัสดุผสม สำหรับสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยสูญญากาศ ขนาด หนา กว้าง ยาว เท่ากับ 50x150 x150 มิลลิเมตร ใช้ผลิต ผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อการบรรจุภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.



รูปที่ 3 เครื่องผสมวัสดุผสมและชิ้นงานทดสอบ

รูปที่ 4 แม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยสูญญากาศ และผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อการบรรจุภัณฑ์

3. ผลการวิจัยและอภิปาย

ผลการทดสอบความแข็งชิ้นงานทดสอบ 32 ชิ้น 5 จุดกดทดสอบแต่ละชิ้น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 คือ ผงทัลคัม ผงอิฐมอญ มีผลต่อความแข็งอีกทั้งเป็นวัสดุที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนผงอลูมิเนียม สามารถลดปริมาณส่วนผสมผงอลูมิเนียมโดยใช้ผงอิฐมอญแทน สำหรับใช้เป็นวัสดุสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยสูญญากาศ ในงานทดลองนี้เห็นได้ว่า ปริมาณของผงอลูมิเนียมที่ใช้ผสมในวัสดุผสมพลาสติกรักษ์สิ่งแวดล้อม ไม่มีผลต่อความแข็งวัสดุผสม จากตารางที่ 2 และ 3 ซึ่งการทดลองเพื่อพัฒนาวัสดุผสมพลาสติกรักษ์สิ่งแวดล้อมพบว่าชิ้นงานทดสอบNo.27 อัตราส่วนผสมของโพลีเอสเตอร์เรซินสภาวะเหลว 10 กรัม ผงอลูมิเนียม 2กรัม ผงทัลคัม 4 กรัม

และผงอิฐมอญ 4 กรัม ระยะเวลาการแห้งแข็งของส่วนผสม 6 ชั่วโมง มีคุณสมบัติกล ด้านความแข็งดีที่สุด 84.6 Shor-D สามารถใช้สร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยสูญญากาศเพื่อการผลิต ผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อการบรรจุภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี และใช้เป็นวัสดุทดแทนโลหะ ในงานอุตสาหกรรมพลาสติกต่อไป

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยผลทดสอบความแข็ง Shor-D

ชิ้นทดสอบ	ตำแหน่งทดสอบ A	ตำแหน่งทดสอบ B	ตำแหน่งทดสอบ C	ตำแหน่งทดสอบ D	ตำแหน่งทดสอบ E	เปอร์เซ็นต์ความแข็ง
No.1	78	78	85	74	77	78.4%
No.2	76	84	62	79	67	73.6%
No.3	81	79	79	75	78	78.%4
No.4	79	79	74	64	68	72.8%
No.5	83	74	63	76	70	73.%2
No.6	78	85	76	79	70	77.6%
No.7	85	74	84	76	82	80.2%
No.8	81	83	76	83	77	80%
No.9	84	82	82	84	83	83%
No.10	83	81	83	80	80	79.8%
No.11	83	83	73	79	81	79.8%
No.12	77	72	72	82	79	76.4%
No.13	85	84	79	86	83	83.4%
No.14	83	85	79	85	79	82.2%
No.15	81	82	76	80	82	80.2%
No.16	82	84	81	85	84	83.2%
No.17	84	83	85	84	80	83.2%
No.18	85	79	83	82	86	83%
No.19	79	81	76	87	77	80%
No.20	86	84	77	86	82	83%
No.21	82	80	79	82	86	81.8%
No.22	83	83	71	85	76	79.6%
No.23	83	75	83	81	83	81%
No.24	82	82	79	84	83	82%
No.25	84	79	72	80	82	79.4%
No.26	74	82	61	79	68	72.8%
No.27	83	86	84	85	85	84.6%
No.28	85	82	81	84	85	83.4%
No.29	83	83	70	83	80	79.8%
No.30	84	85	84	83	83	83.8%
No.31	81	79	83	80	82	81%
No.32	76	82	84	81	85	81.6%

4. **สรุป**

ผลการวิจัยส่วนผสมวัสดุผสมพลาสติกรักษ์สิ่งแวดล้อม พบว่าอัตราส่วนผสม ผ่านการทดสอบได้ความแข็งเท่ากับ 84.6 Shor-D ภายใต้ส่วนผสม โพลีเอสเตอร์เรซิน 10 กรัม ผงอลูมิเนียม 2 กรัม ผงทัลคัม 4 กรัม และผงอิฐมอญ 4 กรัม ระยะเวลา แข็งตัว 6 ชั่วโมงโดยคุณสมบัติทางด้านความแข็ง สามารถเทียบเคียงกับวัสดุสำหรับใช้สร้างแม่พิมพ์ ขึ้นรูปด้วยสูญญากาศที่ผลิตจากต่างประเทศ รายละเอียดวัสดุ Fast Cast Polyurethane resin Product : F50 [12] ที่มีราคาสูงกว่าวัสดุผสม พลาสติกรักษ์สิ่งแวดล้อมจากงานวิจัยนี้ ที่มีขนาด เท่ากันถึง 40% อีกทั้งในส่วนผสมของวัสดุผสม พลาสติกรักษ์สิ่งแวดล้อมนี้สามารถลดปริมาณวัสดุ สังเคราะห์โพลีเอสเตอร์เรซินลง 10% โดยประมาณ และเพิ่มปริมาณของวัสดุธรรมชาติชนิดอื่น ที่ สามารถผสมร่วมได้อีก เช่น ผงปูนจิวเวลลี่เศษวัสดุ เหลือจากกระบวนการหล่อจิวเวลลี่ เพื่อช่วยให้การ ทดแทนวัสดุสังเคราะห์อย่างมีประสิทธิภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณฝ่ายสนับสนุนเทคนิคด้านวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ(MTECH) ให้ความ อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือทดสอบความแข็ง ในการทำวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจ ธุรกิจและเศรษฐกิจฐานราก ธนาคารออมสิน. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: http:// www.gsb.or.th/GSBResearch.aspx.

[2] Sonsiri A, Palicamin P, Singpommat D. Optimal Composition of mixer Material for The Thermoforming Process. Applied Mathematics, Mechanics and Engineering. Technical University of Cluj-Napoca. Romania. 2018; 61(1): 99-104.

[3] ขจร อัจจิมาจิรัฐติกาล และ กิตติ สถาพรประสาธน์. การพัฒนาการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ. วารสารเกษมบัณฑิต. 2558; 5(1): 94-111.

[4] ศรุต อำมาตย์โยธิน. วัสดุเชิงประกอบ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์: กรุงเทพฯ; 2558.

[5] วัตถุดิบเซรามิกทัลคัม. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: http://www.thaiceramicsociety.com

[6] วิชญวัฒน์ เกตุอู๊ต. อิทธิพลของผงอลูมิเนียมที่มีผลต่อความหยาบผิวเหล็กกล้าเครื่องมือSKD11 ด้วยกระบวนการPMEDM. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2557.

[7] คุณสมบัติของอิฐมอญ. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 29 กันยายน 2558]. เข้าถึงได้จาก: http://www.ienergyguru.com

[8] กิติสัณห์ มงคลสุทธิรัตน์. เครื่องวัดความแข็งยางและการเลือกใช้สเกล. Metrology info. 2558; 17(84): 8-11.

[9] อนุชิต คงฤทธิ์ และ จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร. ผลกระทบของสารช่วยผสานที่มีต่อสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของคอมโพสิตพอลิโพรพิลีนผสมกากกาแฟ. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2561; 11(1): 18-28.

[10] สุภาภรณ์ คงสวัสดิ์. การประยุกต์ใช้ Excel กับงานบัญชี. Executive Journal. 2554; 31(4): 116-21.

[11] พลาสติกประเภทและการใช้งาน. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: http://www.mtec.or.th/th/special/Biodegradableplastic/type.htm

[12] AxsonTech2012-120322AxsonNA2011 Product Brochure. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2562]. เข้าถึงได้จาก: http://www.Profressionalplasts.com