เครื่องผสมผงวัสดุแบบวีเบลนเดอร์

Powder Mixer V-blender

นาย ปิยะพัน กลับแสง
นาย สุรเชษฐ หมื่นเทพ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีการศึกษา 2561

เครื่องผสมผงวัสดุแบบวีเบลนเดอร์

นาย ปิยะพัน กลับแสง
นาย สุรเชษฐ หมื่นเทพ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีการศึกษา 2561

Powder Mixer V-blender

Mr. Piyapan Klabsang
Mr.Surachet Muanthep

The Project Report Submitted in Partial Fulfillment of The Requirement for
Degree of Bachelor of Engineering
Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
2018

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องผสมผงวัสดุแบบวีเบลนเดอร์
โดย	นาย ปิยะพัน กลับแสง
	นาย สุรเชษฐ หมื่นเทพ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ประกอบ ชาติภุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์พลรัชต์ บุญมี

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

....หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

(ดร.ศุภชัย หลักคำ)

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน)

.... กรรมการ

(อาจารย์ศิริพล ทองอ่อน)

.... กรรมการ

(อาจารย์พิเชษฐ์ บุญญาลัย)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ประกอบ ชาติภุกต์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์พลรัชต์ บุญมี)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์ย่อ	ฏ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วัสดุเชิงประกอบ	4
2.2 เหล็กกล้าไร้สนิม	6
2.3 การเชื่อมเหล็กกล้าสแตนเลส	7
2.4 ระบบส่งกำลัง	10
2.5 กรรมวิธีผง	16
2.6 การผสม	16
2.7 พอลิเอทิลีน	19
2.8 อลูมินา	17
2.9 โปรแกรม Image J	21
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22

สารบัญ

หน้า

3. การดำเนินการโครงงาน
    3.1 การออกแบบขั้นตอนการดำเนินโครงการ 24
    3.2 การคำนวณและการออกแบบ 27
    3.3 การผลิตชิ้นส่วนที่สำคัญของเครื่องผสมผง V-blender ตามที่ได้ออกแบบไว้ 31

4. ผลการทดลองและผลการทดลอง
    4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 35
    4.2 ขั้นตอนการทดลอง 38
    4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผงด้วยโปรแกรม Image J 43
    4.4 ผลการทดลอง 48
    4.5 สรุปผลการทดลอง 54

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ
    5.1 สรุปผลโครงงาน 57
    5.2 ปัญหาและอุปสรรค 57
    5.3 ข้อเสนอแนะ 58

บรรณานุกรม 59

ภาคผนวก ก 60

ภาคผนวก ข 62

ประวัติผู้จัดทำ 76

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องผสมผงวัสดุแบบ V-blender 26
4.1 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีน โดยมีพอลีเอทีลีน 2% 49
4.2 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีน โดยมีพอลีเอทีลีน 5% 50
4.3 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีน โดยมีพอลีเอทีลีน 8% 52
4.4 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีน โดยมีพอลีเอทีลีน 8% ที่ความเร็วรอบ 50 รอบ/นาที 55

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การตกตระกอนของโครเมียมคาร์ไบด์ที่ขอบเกรนของเหล็กกล้า18 Cr – 8 Ni	8
2.2	Schaeffer’s Diagram ของโลหะรอยเชื่อมในเหล็กกล้าสแตน	8
2.3	รอยแตกชนิดต่าง ๆ ในงานเชื่อม	9
2.4	ส่วนประกอบของโซ่ฟัน	13
2.5	การติดตั้งโซ่และล้อโซ่	13
2.6	เครื่องผสมแบบถังหมุนแบบรูปตัววี (V-shape mixer)	16
2.7	เครื่องผสมแบบริบบอน (Ribbon blender)	16
2.8	เครื่องผสมแบบกรวยที่มีสกรูภายใน	17
2.9	ผงพอลิเอทิลีน (Polyethylene Powder)	18
2.10	ผงอลูมินา (Alumina Powder)	19
2.11	เครื่องผสมครีมสมุนไพร	22
2.12	เครื่องผสมครีมสมุนไพร	22
3.1	แผนภูมิการดำเนินการสร้างเครื่องผสมผงวัสดุแบบ V-blender	24
3.2	แสดงส่วนประกอบของเครื่องผสมผงวัสดุแบบ V-blender	26
3.3	แสดงชุดส่งกำลังของเครื่องผสมผงวัสดุแบบ V-blender	27
3.4	เตรียมการขึ้นรูปถังผสมผง	31
3.5	เชื่อมและตรวจสอบรอยเชื่อมของถังผสมผง	31
3.6	ตรวจสอบขนาดถังผสมผง	32
3.7	เชื่อมและตรวจสอบรอยเชื่อมของโครงเครื่อง	32
3.8	ติดตั้งมอเตอร์และเพลา	33
3.9	ติดตั้ง*ชุด*ส่งกำลังด้วยโซ่	33
3.10	ติดตั้งระบบควบคุมมอเตอร์	34
3.11	ตรวจเช็คเครื่องผสมผงวัสดุ*แบบ* V-blender ที่ประกอบเสร็จแล้ว	34
4.1	ผงพอลิเอทิลีน(ซ้าย) และอลูมิเนียมออกไซค์(ขวา)	35
4.2	เครื่องชั่งน้ำหนัก	36
4.3	บีกเกอร์ใช้บรรจุผง	36

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.4 กล้องส่องผง 37
4.5 จานแก้วใส่ผง (Watch glass) 37
4.6 โปรแกรม Image J 38
4.7 เตรียมผงพอลิเอทิลีนสีฟ้า(ซ้าย) และอลูมิเนียมออกไซค์สีแดง(ขวา) 38
4.8 วัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักของผงพอลิเอทิลีน(ซ้าย) และผงอลูมิเนียมออกไซค์(ขวา) 39
4.9 นำผงใส่ถังผสมผง 39
4.10 เปิดสวิตซ์อีเมอร์เจนซี่ 40
4.11 ปรับตั้งรอบที่ใช้ผสมผง 40
4.12 ปรับตั้งเวลาที่ใช้ผสมผง 41
4.13 กดปุ่มสตาร์ท (Start) 41
4.14 กดปุ่มหยุด (Stop) 42
4.15 ต่อกล้องส่องผงกับคอมพิวเตอร์หรือโน๊คบุค 43
4.16 โปรแกรม Image J 43
4.17 เปิดรูปไม้บรรทัด 44
4.18 เข้าคำสั่ง Analyze > Set scale 44
4.19 หน้าต่าง Set scale 45
4.20 เข้าคำสั่ง Image > Adjust > Color Threshold 45
4.21 หน้าต่างคำสั่ง Color Threshold 46
4.22 กำหนดพื้นที่สีที่จะวิเคราะห์ 47
4.23 เข้าคำสั่ง Analyze > Measure 47
4.24 หน้าต่างคำสั่ง Measure 48
4.25 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีนโดยมีพอลีเอทีลีน 2% ตั้งแต่ 1-20 นาที 50
4.26 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีนโดยมีพอลีเอทีลีน 5% ตั้งแต่ 1-20 นาที 51
4.27 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีนโดยมีพอลีเอทีลีน 8% 53
4.28 ประสิทธิภาพต่อเวลาการผสม 54
4.29 ประสิทธิภาพสูงสุดต่อเวลาการผสม 55

คำอธิบายและสัญลักษณ์ย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
W	น้ำหนัก	N
F	แรงกระทำต่อเพลา	N
T	แรงบิด	N.m,N.mm
P	กำลังของมอเตอร์	W
N	ความเร็วรอบของมอเตอร์	rpm
M	โมเมนต์ดัด	N.mm
m	มวล	kg
g	แรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
r	รัศมีเพลา	mm
d_i	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	mm
d_o	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	mm
L	ความยาวของคาน	mm
C	ระยะจากแกนสะเทินไปยังผิวนอกสุด	mm
J	โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่	mm^4
I	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่	mm^4
N_y	ค่าความปลอดภัยเมื่อถือความแรงดึงครากเป็นหลัก	-
π	ค่าคงที่	-
σ	ความเค้น	N/mm^2
σ_b	ความเค้นดัด	N/mm^2
σ_y	ความต้านแรงดึงคราก	N/mm^2
τ	ความเค้นเฉือน	N/mm^2
τ_{max}	ความเค้นเฉือนสูงสุด	N/mm^2

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

วัสดุมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาและเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงวิวัฒนาการของมนุษย์ โดยมีมาตั้งแต่ยุคแรกเริ่มจนถึงปัจจุบัน มนุษย์เริ่มรู้จักนำวัสดุหรือวัตถุดิบตามธรรมชาติมาประยุกต์ในการดำเนินชีวิตและพัฒนาวัสดุให้ตรงต่อความต้องการในชีวิตมากขึ้น โดยการนำวัสดุมากกว่าสองประเภทมาผสมรวมกัน โลหะ พอลิเมอร์ เซลามิก โดยกรรมวิธีการต่างๆ เรียกว่า วัสดุเชิงประกอบ จนได้วัสดุประเภทใหม่ขึ้นมาซึ่งคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุที่ได้มานั้นจะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้นหรือแตกต่างไปจากเดิม โดยยุคเริ่มแรกมนุษย์ได้นำฟางข้าวผสมกับดินเหนียว ซึ่งเส้นฟางข้าวจะช่วยให้ดินเหนียวมีความแข็งแรงมากขึ้น จนสามารถใช้ก่อซ้อนกันขึ้นเป็นผนัง กำแพงหรือบ้านดินเพื่อสร้างเป็นที่กำบังภัยได้

ต่อมาในกลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 เป็นยุคที่ความรู้ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเริ่มเข้ามามีบทบาทต่อการพัฒนา เนื่องจากความต้องการวัสดุที่มีความแข็งแรงและขึ้นรูปให้มีรูปร่างซับซ้อนได้ จึงกลายเป็นแรงผลักดันให้เกิดการนำเส้นใยแก้วที่มีความแข็งแรงสูงมาเสริมแรงให้กับเรซินพอลิเมอร์ หรือที่เราเรียกกันว่า ไฟเบอร์กลาสส์ ให้เกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบที่ทนต่อแรงกระทำ โดยใช้เป็นส่วนประกอบของชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรง เช่น ตัวเรือ รวมไปถึงชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องบินด้วย ในเวลาเดียวกันนั้นก็เริ่มมีการพัฒนาเทคโนโลยีของยางขึ้น โดยใช้การบ่มยางธรรมชาติกับกำมะถัน เพื่อเสริมยางที่มีสมบัติยืดหยุ่น นอกจากนี้การนำผงถ่านดำและเส้นใยอื่นๆ มาเสริมแรงให้กับเมทริกยางจะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของยาง และได้วัสดุเชิงประกอบชนิดใหม่ขึ้น ที่มีความแข็งแรงและทนทานต่อการใช้งานได้มากขึ้น จึงสามารถนำมาใช้เป็นยางล้อรถยนต์และเครื่องบินได้ ต่อมาจนถึงในปัจจุบันวัสดุเชิงประกอบได้พัฒนาและมีความต้องการมากขึ้นเรื่อยๆในทุกๆด้าน วิศวกรเครื่องกลพยายามค้นหาวัสดุที่ทนอุณหภูมิสูงมากขึ้นเพื่อนำไปสร้างยานอวกาศที่มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น โดยใช้หลักของวัสดุเชิงประกอบ เช่น ซิลิกาและเคลือบผิวด้วยแก้วโบโรซิลิเกตผสมซิลิคอนโบไรค์ นำมาทำเป็นฉนวนความร้อนที่ทนต่ออุณภูมิสูงประมาณ 650-1,200 องศาเซลเซียส ใช้ในผิวหน้าละด้านข้างของส่วนล่างของตัวยาน รวมทั้งบางจุดของส่วนหาง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าภายในเวลาเพียงไม่ถึงหนึ่งศตวรรษ วัสดุเชิงประกอบก้าวเข้ามาเป็นวัสดุที่มีบทบาทอย่างมากด้านวัสดุศาสตร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงหลังปีคริสต์ศักราช 1970 ที่พัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับวัสดุเชิงประกอบเป็นไปอย่างก้าวกระโดด

มหาลัยวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มีการเรียนการสอนวิชาการประลองทางวิศวกรรมเครื่องกลซึ่งภายในสาขาวิชา วิศวกรรมยังไม่มีเครื่องผสมผงวัสดุแบบวีเบลนเดอร์ ที่ใช้ในการประกอบ การเรียนการสอน เป็นสาเหตุให้ผู้จัดทำโครงงาน มีแนวคิดออกแบบเครื่องผสมผงวัสดุแบบ วีเบลนเดอร์และ สามารถใช้ทฤษฎีของหลักวิศวกรรมศาสตร์ในระดับปริญญาตรีมาประยุกต์ใช้ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาวัสดุเชิงประกอบด้วยเครื่องผสมผงวัสดุแบบวีเบลนเดอร์

1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานเครื่องผสมผงวัสดุแบบวีเบลนเดอร์

1.2.3 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผสมผงวัสดุแบบวีเบลนเดอร์

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ความเร็วรอบที่ใช้ในการผสมผงวัสดุไม่เกิน 50 รอบ/นาที

1.3.2 ภาชนะที่ใช้บรรจุผงวัสดุเป็นสแตนเลส มีอยู่สองขนาดคือ 1 กิโลกรัม และ 2 กิโลกรัม

1.3.3 สารที่ใช้ในการผสมเป็นชนิดผงขนาดไมโครเท่านั้น

1.3.4 ขนาดของตัวเครื่องเป็นขนาดที่ใช้ในแล็ปทดลองของงานวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงหลักการทำงานเครื่องผสมผงวัสดุแบบวีเบลนเดอร์

1.4.2 ได้ออกแบบและสร้างเครื่องผสมผงวัสดุแบบวีเบลนเดอร์

1.4.3 ได้เครื่องผสมผงวัสดุแบบวีเบลนเดอร์สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในโครงงานนี้ทำการศึกษาค้นคว้าออกแบบและสร้างเครื่องผสมผงวัสดุแบบวีเบลนเดอร์ เพื่อให้การออกแบบและสร้างบรรลุจุดประสงค์ที่วางไว้ ผู้จัดทำจึงได้กำหนดเนื้อหาของทฤษฎีและหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้าง ดังนี้

2.1 วัสดุเชิงประกอบ (Composite Material) [1]

วัสดุเชิงประกอบ หรือวัสดุคอมโพสิต (Composite materials) อาจหมายถึง วัสดุที่เกิดจากการรวมตัวของวัสดุมากกว่าหนึ่งชนิดขึ้นไปแล้วทำให้สมบัติของวัสดุรวมดีขึ้น สำหรับความหมายเชิงวิศวกรรมของวัสดุเชิงประกอบ หมายถึง วัสดุที่ประกอบขึ้นจากวัสดุที่มีสมบัติแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปโดยไม่เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้สมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่เกิดขึ้นมีสมบัติร่วมกันของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบ ดังนั้น การทำนายหรือคาดคะเนสมบัติของวัสดุเชิงประกอบจึงไม่สามารถทำนายได้จากวัสดุที่เป็นองค์ประกอบชนิดใดเพียงชนิดเดียว องค์ประกอบของวัสดุเชิงประกอบ ได้แก่ วัสดุที่เป็นเนื้อหลักและเป็นเฟสต่อเนื่อง เรียกว่า เมทริกซ์ (Matrix) และวัสดุส่วนเหลือที่กระจายตัวอยู่ในวัสดุเนื้อหลักนั้นเรียกว่า สารเสริมแรง (Reinforcement) โดยเมทริกซ์จะทำหน้าที่ห่อหุ้มสารเสริมแรงและทำให้วัสดุเชิงประกอบเป็นรูปร่างขึ้น ส่วนสารเสริมแรงจะทำหน้าที่เสริมสมบัติให้เมทริกซ์และทำให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติตามต้องการ วัสดุเชิงประกอบประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ เมทริกซ์และสารเสริมแรง ดังนั้น ถ้าจำแนกวัสดุเชิงประกอบตามชนิดของวัสดุที่เป็น เมทริกซ์จะสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ (Polymer matrix composite, PMC) วัสดุเชิงประกอบ โลหะ (Metal matrix composite, MMC) และ วัสดุเชิงประกอบเซรามิก (Ceramic matrix composite, CMC)

2.1.1 วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์

โดยธรรมชาติพอลิเมอร์เป็นสารประกอบ อินทรีย์ขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างเป็นหน่วยซ้ำเชื่อมต่อ กันเป็นสายยาว ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงไม่ สูงนัก มีความหนาแน่นต่ำ และมีความทนทานต่อการ กัดกร่อน การเสริมแรงให้พอลิเมอร์ทำได้โดยการ เติมเส้นใยเสริมแรงลงในพอลิเมอร์ให้เกิดเป็นวัสดุ เชิงประกอบที่มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยทั่วไปเส้นใย เสริมแรงสำหรับวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์มักเป็น เส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงเพื่อทำหน้าที่ในการรับ และกระจายแรงกระทำ โดยวัสดุเชิงประกอบจะมี ความแข็งแรงสูงที่สุดตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรง

การเสริมแรงนี้ทำให้เมทริกซ์พอลิเมอร์ สามารถรับแรงกระทำได้สูงขึ้นโดยไม่เปลี่ยนรูปร่าง ที่แสดงถึงสมบัติเชิงกลอย่างง่าย ของวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์เมื่อให้แรงตามแนว การเรียงตัวของเส้นใยสมบัติเชิงกลนี้จะเป็นสมบัติร่วมที่เกิด จากสมบัติของเมทริกซ์พอลิเมอร์ และสมบัติของเส้นใยเสริมแรงประกอบกันทำให้วัสดุ เชิงประกอบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นมากกว่าวัสดุพอลิเมอร์ เนื่องจากเส้นใยเสริมแรงทำหน้าที่รับแรงกระทำ แต่สำหรับระยะยืดสูงสุดนั้น วัสดุเชิงประกอบจะมีความสามารถในการ ยืดสูงสุดได้ไม่เกินระยะยืดสูงสุดของเส้นใยเสริมแรง สำหรับเมทริกซ์พอลิเมอร์ควรมีความเหนียวทนทานมากพอที่จะห่อหุ้มเส้นใยเสริมแรงไว้ สารเสริมแรงในรูปอนุภาค มีส่วนเสริมความแข็งแรงได้ ไม่ดีเท่ากับรูปเส้นใย เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของสาร เสริมแรงส่งผลต่อการกระจายแรงจึงนิยม เรียกสารเสริมแรงในรูปอนุภาคว่า สารเติม (Filler) วัสดุเชิงประกอบจะมีความแข็งแรงมากขึ้นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับ ความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยทำให้ความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงต่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้สามารถนำวัสดุเชิงประกอบมาใช้สำหรับงาน โครงสร้างบางชนิดที่ต้องรับแรงกระทำที่ไม่สูงมากนักได้ เช่น เฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ สำหรับเมทริกซ์พอลิเมอร์สามารถแบ่งย่อยออกเป็นเมทริกซ์เทอร์โมเซตติง (Thermosetting matrix) และเมทริกซ์เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic matrix) ที่มีความแตกต่างกันในพฤติกรรมเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ โดยเทอร์โมเซตติงเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบร่างแหและมีสมบัติแข็งเปราะ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงโมเลกุล หรือการบ่มแล้วจะเกิดการคงรูปและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อีก ส่วนเทอร์โมพลาสติกเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบเส้นหรือแบบกิ่ง สามารถหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อนเหนืออุณหภูมิหลอมเหลว มีสมบัติเหนียวและทนทานต่อสิ่งแวดล้อม พฤติกรรมเชิงความร้อนนี้จะมีผลต่อกระบวนการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบสำหรับเมทริกซ์เทอร์โมเซตติง การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบจะเป็นการผสมสารเสริมแรงให้เข้ากับมอนอเมอร์ในแม่พิมพ์ ก่อนที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างแบบร่างแหและหลังจากที่ปฏิกิริยาสิ้นสุดวัสดุเชิงประกอบจะเกิดการคงรูปซึ่งจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อีก ในขณะที่การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบที่เมทริกซ์เป็นเทอร์โมพลาสติกนั้นจะใช้หลักการ ให้ความร้อนเหนืออุณหภูมิหลอมเหลวและขึ้นรูปก่อนที่จะทำให้เย็นตัวลงเพื่อเกิดการคงรูป โดยถ้าหลังจากคงรูปแล้วได้รับความร้อนอีกครั้ง ส่วนที่เป็นเมทริกซ์ก็จะสามารถหลอมเหลวได้อีก การที่จะเลือกใช้เมทริกซ์ชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติในการประยุกต์ใช้งานเป็นสำคัญ ในอุตสาหกรรมวัสดุเชิงประกอบ วัตถุดิบ สำหรับการผลิตอาจอยู่ในรูปของชิ้นงานกึ่งสำเร็จ หรือพรีเพรก (Prepreg) เพื่อความสะดวกในการขึ้นรูป ถ้าเป็นพรีเพรกของวัสดุเชิงประกอบเมทริกซ์เทอร์โมเซตติงจะเป็นเส้นใยที่อยู่ในเมทริกซ์เทอร์โมเซตติง แต่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลเพียงบางส่วนเท่านั้น และเมื่อจะนำมาขึ้นรูปเป็นรูปร่างที่ต้องการแล้วจึงจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลที่สมบูรณ์ พรีเพรกลักษณะนี้อาจมาในรูปแผ่น ที่เรียกว่า พรีเพรกผสมเสร็จแบบแผ่น

สำหรับการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่มีลักษณะแผ่น และ พรีเพรกผสมเสร็จแบบหนา (Bulk molding compound, BMC) จะใช้สำหรับการขึ้นรูปเป็น ชิ้นงานที่มีรูปทรงความแตกต่างกันของพรีเพรกทั้งสองชนิดจะอยู่ที่ความยาวของเส้นใยเสริมแรง และความหนืดของเมทริกซ์ พรีเพรกแบบแผ่นมักจะทำจากเส้นใยยาวและมีความสามารถในการไหลของเมทริกซ์น้อยกว่า ส่วนพรีเพรกแบบหนามักจะทำจากเส้นใยสั้น และความสามารถในการไหลสูงเพื่อความเหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานสำหรับพรีเพรกของวัสดุเชิงประกอบเทอร์โมพลาสติกนั้น จะอยู่ในรูปแผ่นที่เป็นเส้นใยแก้วสั้นๆ ในเมทริกซ์พอลิโอเลฟิน ที่เรียกว่า พรีเพรกผืนแก้วเทอร์โมพลาสติก (Glass mat thermoplastic, GMT) โดยพรีเพรกเมื่อได้รับ ความร้อนเหนืออุณหภูมิหลอมเหลวของเมทริกซ์และทำให้เป็นรูปร่างที่ต้องการก่อนที่จะถูกทำให้ เย็นตัวลงและคงรูป ไฟเบอร์กลาสส์หรือไฟเบอร์เป็นตัวอย่าง ของวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ที่มีเมทริกซ์ เทอร์โมเซตติงเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่มีส่วนแบ่งทางการตลาดสูง โดยทั่วไปหมายถึงเมทริกซ์พอลิเอสเตอร์หรือไวนิลเอสเตอร์ไฟเบอร์กลาสส์จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรง ปานกลาง น้ำหนักเบา เช่น หลังคารถกระบะ เฟอร์นิเจอร์ขนาดเล็ก เป็นต้น ส่วนเมทริกซ์ อีพอกซีจะถูกใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรง สูงกว่านอกจากนี้ยังมีการนำเส้นใยเสริมแรง อื่น ๆ ได้แก่ เส้นใยคาร์บอน และมีความแข็งแรงสูงกว่าเส้นใยแก้วมาใช้ในงานที่ต้องการสมบัติด้านความแข็งแรงสูงมาก ส่วนวัสดุเชิงประกอบเมทริกซ์เทอร์โมพลาสติกมีส่วน แบ่งทางการตลาดน้อยกว่า มักใช้ทำเป็นวัสดุสำหรับตกแต่งภายในที่ต้องการความเหนียว ทนทาน หรือนำไปอัดซ้อนกับวัสดุอื่นเพื่อเพิ่มความแข็งแรง เป็นต้น

2.1.2 วัสดุเชิงประกอบโลหะ

วัสดุเชิงประกอบโลหะได้พัฒนาขึ้นเพื่อ ปรับปรุงความสามารถในการทนทานต่อความล้าของโลหะให้ดีมากขึ้น โดยเฉพาะอะลูมิเนียม และไทเทเนียม ที่เป็นเมทริกซ์โลหะที่ต้องการให้มีสมบัติพิเศษในการใช้งานในอุตสาหกรรมอวกาศยาน สารเสริมแรงอาจอยู่ในลักษณะของอนุภาคเส้นใยหรือวิสเกอร์ก็ได้นอกจากนี้สารเสริมแรง สำหรับโลหะต้องมีความแข็งแรงสูง และทนต่อความร้อนสูงด้วย เนื่องจากโลหะต้องใช้อุณหภูมิสูงมากในการขึ้นรูป และสารเสริมแรงที่ใช้ต้องไม่เกิดการกัดกร่อนกับเมทริกซ์โลหะ จากข้อจำกัดเหล่านี้ ทำให้สารเสริมแรงอนินทรีย์และเส้นใยแก้วไม่สามารถใช้เสริมแรงให้กับเมทริกซ์โลหะได้ สารเสริมแรงที่ใช้จึงต้องเป็นสารเสริมแรงเซรามิกหรือสารเสริมแรงโลหะ เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์ อะลูมินา เส้นใยโบรอน เป็นต้น การเสริมแรงเป็นการทำให้เมทริกซ์โลหะมีความทนทานต่อความล้าสูงขึ้นมาก และมีอายุการใช้งานนานขึ้นอีกทั้งความหนาแน่นของสารเสริมแรงที่น้อยกว่าโลหะ ทำให้ความหนาแน่นของวัสดุเชิงประกอบลดลงรวมถึงสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient temperature expansion, CTE) ลดลงเพราะสารเสริมแรงเป็นเซรามิกจึงมีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำกว่าโลหะส่วนกรณีที่สารเสริมแรงมีลักษณะเป็นเส้นใยยาววัสดุเชิงประกอบที่ได้จะมีความแข็งแรงสูงขึ้นมากอีกด้วย

โดยทั่วไปวัสดุเชิงประกอบโลหะจะนำไป ใช้งานในลักษณะเดียวกับโลหะ สารเสริมแรงที่เติมเข้าไปจะเป็นการปรับปรุงสมบัติของเมทริกซ์ โลหะให้ดียิ่งขึ้น และมีอายุการใช้งานนานขึ้น อย่างไรก็ตามการนำไปใช้งานยังจำกัดเนื่องจาก ต้นทุนในการผลิตที่สูงมาก

2.1.3 วัสดุเชิงประกอบเซรามิก

เซรามิกเป็นวัสดุที่มีความทนทานต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ไม่นำความร้อน ทนทานต่อการกัดกร่อน และอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เมื่อได้รับความร้อนต่ำมากเซรามิกจึงนำมาใช้ในงานที่ต้องการความทนทานต่ออุณหภูมิสูง และในสภาวะที่มีการกัดกร่อนสูง แต่ข้อเสียของเซรามิก คือ เปราะและแตกหักง่าย เมื่อเกิดรอยแตกแล้วไม่สามารถซ่อมแซมได้โดยง่าย การเสริมแรงให้กับเมทริกซ์เซรามิกเป็นการปรับปรุงสมบัติให้ วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีความเหนียวและทนทานมาก สารเสริมแรงจะเข้าไปขวางการแพร่ของรอยแตกที่อาจเกิดขึ้น ระหว่างการใช้งานเมื่อวัสดุเชิงประกอบได้รับแรงจะไม่เกิดการเปราะแตกในทันทีเนื่องจาก รอยแยกจะถูกหน่วงด้วยสารเสริมแรงเนื่องจากสมบัติที่เรียกว่า ความเหนียวแบบเทียม (Pseudo ductile) สำหรับเมทริกซ์เซรามิกที่ไม่เสริมแรงจะแสดงสมบัติที่เปราะและแตกทันทีเมื่อได้รับแรงกระทำจนถึงจุดจุดหนึ่ง ดังนั้น การใส่สารเสริมแรงเข้าไปจะทำให้วัสดุเชิงประกอบเซรามิกที่ ได้มีความเหนียวทนทานมากขึ้น สารเสริมแรงที่ใช้ในการเสริมแรงอาจอยู่ในรูปอนุภาค เส้นใย หรือวิสเกอร์ ได้แก่ อะลูมินา ซิลิกา ซิลิกอนคาร์ไบด์และคาร์บอน เป็นต้น และสำหรับเมทริกซ์เซรามิก ได้แก่ ซีเมนต์ คาร์บอน ซิลิ- กอนคาร์ไบด์เป็นต้น วัสดุเชิงประกอบได้นำมาใช้งานเป็นเวลานานโดยเฉพาะการใช้เป็นวัสดุโครงสร้างที่ใช้เส้นโลหะและหินกรวดทรายต่าง ๆ เป็นสารเสริมแรงให้แก่เมทริกซ์ซีเมนต์หรือคอนกรีต สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีคอนกรีตอาจทำโดยการใช้เส้นใยเสริมแรง เช่น เส้นใยแก้ว หรือเส้นใยคาร์บอน แทนเส้นโลหะเพื่อแก้ปัญหาด้านการกัดกร่อนเมื่อใช้งานเป็นเวลานาน สำหรับวัสดุเชิงประกอบเซรามิกขั้นสูงที่มีความเหนียวทนทานต่อการกัดกร่อน และสามารถประยุกต์ใช้ในงานที่อุณหภูมิสูงนั้นยังมีการใช้งานอย่างจำกัดเนื่องจากต้นทุนในกระบวนการผลิตที่สูง

2.2 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) [2]

เหล็กกล้าไร้สนิมหรือที่เรียกกันอีกอย่างว่าสแตนเลสมีส่วนผสมหลักคือโลหะโครเมียมและนิกเกิล การที่ไม่เกิดสนิมนั้นเกิดจากโครเมียมจะทำปฏิกิริยากับอากาศเกิดเป็นชั้นฟิล์มบางๆ คลุมผิวเอาไว้ เรียกว่าฟิล์มโครเมียมออกไซด์ เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการสร้างอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม เป็นวัสดุที่ ไม่เป็นสนิม แข็งแรง ทนทาน ขึ้นรูปได้ง่าย มีผิวสัมผัสและรอยเชื่อมเรียบ ง่ายในการทำความสะอาด ทนการกัดกร่อน สามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท

2.2.1 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก เป็นกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิมที่เป็นพื้นฐานของเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งหมด ได้แก่ AISI 430 AISI 446 AISI 409 เป็นต้น เหล็กกล้าที่ผสมโครเมียมในปริมาณร้อยละ

12-27 ขึ้นอยู่กับแต่ละเกรด โดยความต้านทานต่อการกัดกร่อนจะขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุโครเมียมเป็นสำคัญโดยเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์ ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของเหล็กกล้าทั่วไปไม่สามารถทำการชุบแข็งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้

2.2.2 เหล็กไร้สนิมออสเตนิติค เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีธาตุผสมหลักอยู่ 3 ธาตุ คือเหล็กโครเมียม และนิกเกิลที่มีปริมาณธาตุของโครเมียมอยู่ประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ และนิกเกิลที่มีปริมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ เหล็กกล้าไร้สนิมประเภทนี้เรียกกว่ากลุ่มเกรด 300

2.2.3 เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก แต่มีปริมาณธาตุคาร์บอนที่สูงกว่า เพื่อทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้สามารถทำการชุบแข็ง (hardening) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ โดยเกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายเช่น AISI403 420 เป็นต้น โครงสร้างจุลภาคภายหลังการชุบแข็งจะได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ การใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกส่วนใหญ่คำนึงถึงความแข็งแรงและความทนทานต่อการเกิดสนิมในระดับปานกลาง เนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่สูงจะทำให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนลดลง แต่ก็ยังคงไม่เป็นสนิมในสารละลายที่มีการกัดกร่อนไม่สูงมากนักหรือในสารละลายที่เป็นกลางได้ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ลูกปืน เพลา เฟือง สปริง เป็นต้น

2.2.4 เหล็กกล้าไร้สนิมสองเฟส เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีลักษณะร่วมทางโครงสร้างจุลภาคระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกกับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก แต่มีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมทั้ง 2 ชนิด โดยลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้เกิดจากการมีปริมาณของธาตุนิกเกิลไม่ถึงร้อยละ 8 และมีปริมาณของธาตุโครเมียมสูงมากกว่าร้อยละ 20 ซึ่งทำให้ได้โครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์และออสเทนไนต์ตัวอย่างของกลุ่มนี้ เช่น AISI 329 เป็นต้นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีราคาค่อนข้างแพงเนื่องจากมีความแข็งแรงและความทนทานต่อการกัดกร่อนสูงเนื่องจากปริมาณโครเมียมสูง

2.2.5 เหล็กกล้าไร้สนิมแบบตกผลึกแข็ง เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีการใช้งานน้อยมากในประเทศไทย โดยเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้มีความแข็งแรงสูง เนื่องจากเกิดการตกผลึกของเฟสต่างๆ เช่น Ni3 Al Ni3 Ti และ Ni3 Cu ภายในเนื้อวัสดุที่มีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ เกรด AISI 17-4 PH โครงสร้างกึ่งออสเทนไนต์ เกรด AISI 17-7 PH หรือโครงสร้างออสเทนไนต์ เกรด AISI 600 ซึ่งจุดเด่นที่สำคัญของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้คือ ชิ้นงานภายหลังจากการอบชุบมีโอกาสบิดเบี้ยวน้อย

2.3 การเชื่อมเหล็กกล้าสแตนเลส (Welding of stainless steel) [2]

ปัจจุบันนี้วิธีการเชื่อมส่วนใหญ่ที่ใช้กับเหล็กกล้าสแตนเลสก็คือ การเชื่อมไฟฟ้า การเชื่อม MIG และการเชื่อม TIG นอกจากนี้แล้วยังมีวิธีการเชื่อมแบบอื่น ซึ่งบางครั้งก็นำมาใช้เชื่อมเหล็กกล้าสแตนเลสเหมือนกัน เช่น การเชื่อมแบบซัมเมอร์จอาร์ค การเชื่อมแบบอิเล็กตรอนบีม และการเชื่อม

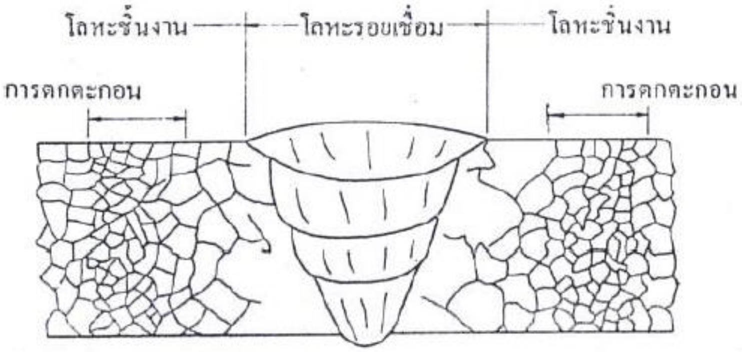
แบบรีซิสแตนซ์ (Resistance Welding) เป็นต้นเนื่องจากเหล็กกล้าสแตนเลสเป็นเหล็กกล้าโลหะผสมสูงอย่างหนึ่งซึ่งมีธาตุโลหะผสม (Alloy Element) อยู่หลายอย่าง ดังนั้น ความร้อนจาก การเชื่อมตลอดจนสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น บรรยากาศกัดกร่อน (Corrosive Atmosphere) อุณหภูมิสูง อุณหภูมิต่ำ จะมีผลต่อคุณสมบัติของเหล็กกล้าสแตนเลส ต่อไปจะได้กล่าวถึงความสามารถในการเชื่อม (Weldability) ของเหล็กกล้าสแตนแลสแต่ละชนิด

2.3.1 ความสามารถในการเชื่อมเหล็กกล้าสแตนเลส (Martensility of Stainless Steel)

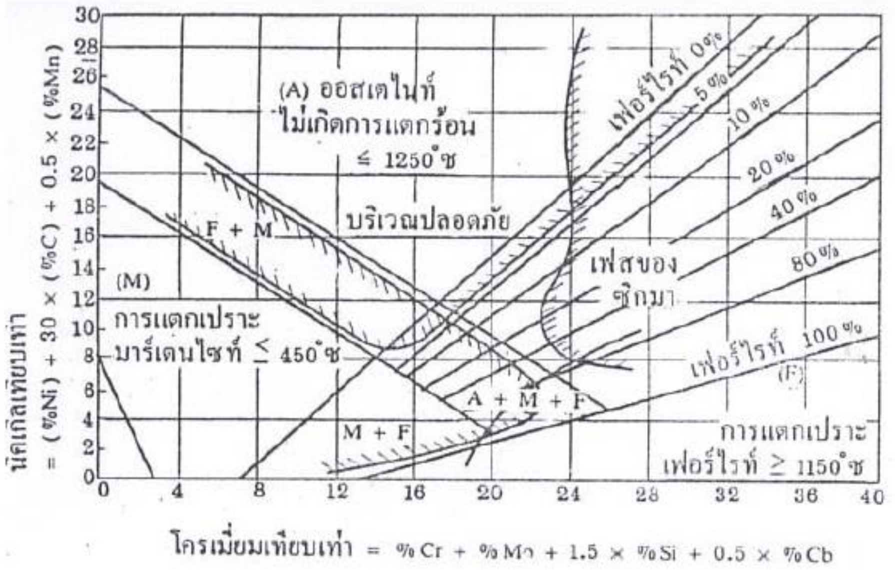
2.3.1.1 เหล็กกล้าสแตนเลสชนิดมาร์เทนซิติค (Martensitic type) ในการเชื่อมความร้อนเกิดขึ้นที่รอยเชื่อมอย่างรวดเร็ว และรอยเชื่อมก็เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วย ทำให้โครงสร้างบริเวณรอยเชื่อมของเหล็กกล้าสแตนเลสชนิดนี้เป็นมาร์เตนไซท์ ซึ่งโครงสร้างเช่นนี้เปราะ และรอยเชื่อมจึงแตกง่าย นั้นคือความสามารถในการเชื่อมเหล็กกล้าสแตนเลสจึงไม่ดี มีสิ่งที่ควรระมัดระวังในการเชื่อมเหล็กกล้าสแตนเลสชนิดนี้ก็คือบ่มให้ความร้อน (Preheat) ชิ้นงานก่อนเชื่อมและรักษาอุณหภูมิระหว่างเชื่อมไว้เช่นนี้หลังเชื่อมให้อบชุบที่อุณหภูมิ 700-800 องศาเซลเซียส

2.3.1.2 เหล็กกล้าสแตนเลสชนิดเฟอร์ริติค (Ferritic Type) กรณีของเหล็กกล้าสแตนเลสชนิดเฟอร์ริติค บริเวณ Heat Affected Zone ของรอยเชื่อมจะแข็ง แต่เกรนในบริเวณนี้จะหยาบมาก ซึ่งมีผลให้ความสามารถในการยืนตัว (Ductility) และความเหนียว (Toughness) ลดต่ำลงเมื่อรอยเชื่อมค่อย ๆ เย็นตัวผ่านช่วงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ถึง 400 องศาเซลเซียส รอยเชื่อมจะเปราะมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิ 475 องศาเซลเซียส ดังนั้นการเปราะในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การเปราะที่อุณหภูมิ 475 องศาเซลเซียส ด้วยเหตุนี้เองในการเชื่อมเหล็กกล้าสแตนเลสชนิดเฟอร์ริติค จึงควรที่จะเลือกปฏิบัติคือการบ่มชิ้นงานที่อุณหภูมิประมาณ 70 ถึง 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการแตกเย็น (Cold Cracking) และไม่ควรจะบ่มชิ้นงานมากเกินไปรอยเชื่อมควรเย็นตัวอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 600 ถึง 400 องศาเซลเซียส

2.3.1.3 เหล็กกล้าสแตนเลสชนิดออสเตนิติค (austenitic type) ความสามารถในการเชื่อมของเหล็กกล้าชนิดนี้ดีกว่า ชนิดแรกที่กล่าวมา แต่ปัญหาของการเชื่อมเหล็กกล้าชนิดนี้ก็คือในขณะที่เหล็กกล้าค่อย ๆ เย็นตัวจากอุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส ถึง 480 องศาเซลเซียส ภายหลังการเชื่อมนั้น C และ Cr ในโครงสร้างออสเตไนท์จะรวมตัวกัน เกิดเป็นสารประกอบโครเมียมคาร์ไบด์ตกตะกอนที่ขอบเกรน การตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์เช่นนี้จะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสปรากฏการณ์ดังกล่าวมานี้เรียกว่า เวลด์ ดีเค ซึ่งทำให้คุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนและคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าสแตนเลสลดลง



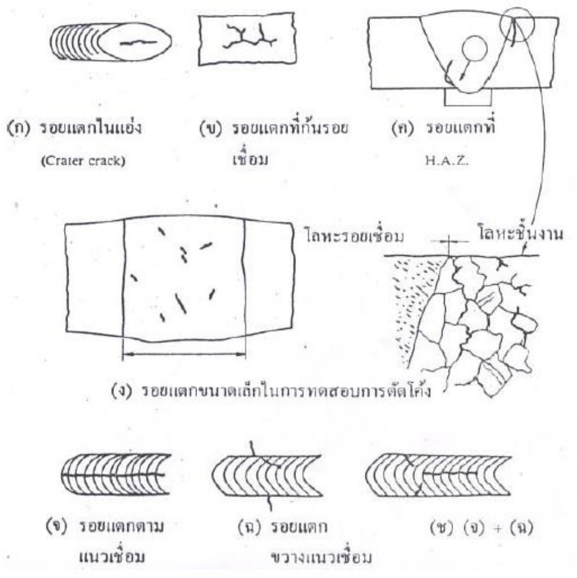
รูปที่ 2.1 การตกตระกอนของโครเมียมคาร์ไบด์ที่ขอบเกรนของเหล็กกล้า18 Cr – 8 Ni [2]



รูปที่ 2.2 Schaeffer's Diagram ของโลหะรอยเชื่อมในเหล็กกล้าสแตนเลส [2]

ส่วนผสมทางเคมีและโครงสร้างมีผลต่อคุณสมบัติทางกล และความต้านทานการกัดกร่อน ของโลหะรอยเชื่อม ในเหล็กกล้าสแตนเลสเป็นอย่างมาก ดังรูปจะเห็นได้ว่าโครงสร้าง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมทางเคมี (Ni เทียบเท่า และ Cr เทียบเท่า) ของเหล็กกล้าชนิดสแตนเลสกับโครงสร้าง

เป็นที่เข้าใจแล้วว่าเหล็กกล้าสเตนเลสชนิดออสเตนิติค เฟอร์ริติค และออสเตนิติคมีจุดเสียตรงที่เกิดการเปราะ และแตกได้ในรอยเชื่อม จึงจาเป็นที่จะต้องควบคุมโลหะรอยเชื่อมให้อยู่ภายในบริเวณศูนย์กลางของความปลอดภัย (Central of Safety Zone)



รูปที่ 2.3 รอยแตกชนิดต่าง ๆ ในงานเชื่อม [2]

เหล็กกล้าสแตนเลสซึ่งมีโครงสร้างเป็นออสเตไนท์ทั้งหมด มีความโน้มเอียงที่จะเกิดรอยแตกร้อน (Hot cracks) ซึ้งมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน ถ้าหากมีโครงสร้างเฟอร์ไรท์ 4 เปอร์เซ็นต์ ในโครงสร้างแล้วสามารถทำให้การแตกร้าวลดน้อยลง เพราะฉะนั้นในการเชื่อมเหล็กกล้าสแตนเลสควรระมัดระวังในสิ่งเหล่านี้ไม่ต้องบ่มชิ้นงานก่อนเชื่อม แต่ให้ลดความร้อนเชื่อม เพื่อหลีกเลี่ยงการตกตะกอนคาร์ไบด์ที่ขอบเกรนใช้ลวดเชื่อมไฟฟ้าชนิด Nb ชนิด Ti หรือชนิดคาร์บอนต่ำมากๆเลือกใช้ลวดเชื่อมชนิดที่ทำให้เกิดโครงสร้างของโลหะรอยเชื่อมอยู่ภายใต้บริเวณปลอดภัยของแผนภาพแชฟเลอร์

2.4 ระบบส่งกำลัง (Powertrain System)

2.4.1 มอเตอร์ (Motor) [2]

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล การทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสองกำลังเอาท์พุตคือกำลังที่ส่งมาจากเพลาของมอเตอร์กำหนดเป็นแรงม้า ในปัจจุบันได้กำหนดค่าจากแรงม้าเป็นกิโลวัตต์ เป็นมาตรฐานทั่วโลก แบ่งมอเตอร์เป็น 2 ประเภท

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current motor) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าคือขดลวดในส

เตเตอร์และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกล คือ ตัวหมุนหรือโรเตอร์ ซึ่งเมื่อขดลวดในสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาในตัวที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนไปรอบๆ สเตเตอร์ เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปสนามแม่เหล็ก จากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ ซึ่งจะไปตัดกับตัวนำที่เป็นวงจรปิดหรือขดลวดทรงกระบอกของตัวหมุนหรือโรเตอร์ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กของโรเตอร์นี้จะเคลื่อนที่ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ก็จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์เกิดพลังงานกลสามารถนำไปขับภาระที่ต้องการหมุนได้

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุดนิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะ หรือให้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จักอุปกรณ์ต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่างๆ

การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์เพื่อใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนระบบทางกลนั้นเป็นสิ่งที่ต้องทราบเป็นอันดับแรง คือ ขนาดของแรงบิด (Torque) ที่ใช้ซึ่งคำนวณหาได้จากสมการ

$$T = F \times r \tag{2.1}$$

โดย

T = แรงบิด (Torque) หน่วยเป็น (N.m)

F = แรงกระทำต่อเพลา หน่วยเป็น (N)

r = รัศมีเพลา หน่วยเป็น (m)

เมื่อทราบขนาดของแรงบิดรวมที่ต้องใช้ขับเคลื่อนระบบทางกลแล้วสามารถคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าได้จากสมการ

$$P = \frac{2\pi NT}{60} \tag{2.2}$$

โดย

P = กำลังของมอเตอร์ หน่วยเป็น (W)

N = ความเร็วรอบของมอเตอร์ หน่วยเป็น (rpm)

T = แรงบิด (Torque) หน่วยเป็น (N.m)

2.4.2 เพลา (Shaft) [2] เพลาส่งกำลังเป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่สำคัญในการที่จะส่งถ่ายกำลังหมุนที่ต้องต้านทานต่อแรงบิด เช่นเพลาที่สวมอยู่พลูเล่ย์และเฟืองเป็นต้น ซึ่งเพลาจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมหมุนรอบตัวเอง ทำหน้าที่ส่งผ่านโมเมนต์บิดและโมเมนต์ดัด ดังนั้นวัสดุที่จะนำมาทำเพลาจะต้องทนต่อแรงบิดและแรงดัดได้ดีในกรณีที่ต้องการความแข็งแรงสูงและทนต่อการใช้แรงมากเพลาอาจทำจากพวกเหล็กผสม ซึ่งในการออกแบบจะต้องพิจารณาถึงกำลังงาน (Power) ภาระ (Load) ที่ให้เพลาส่งกำลังความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลา ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดความเค้นขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆของเพลา เมื่อส่งกำลังจากเพลาหนึ่งไปอีกเพลาหนึ่งจะทำให้เกิดแรงมากระทำต่อเพลา

ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นควรน้อยกว่าค่าจากสมการค่าความเค้นออกแบบเพื่อให้การออกแบบมีความปลอดภัยสูงภาระที่เพลารับมักจะมาจาก bending moment และแรงบิด โดยแรงในแนวแกนมักจะมีค่าน้อย ความเค้นที่เกิดในเพลามีสมการดังนี้

1. ความเค้นดัด [3]

$$\sigma_b = \frac{MC}{I} \tag{2.3}$$

โดย

σ_b = ความเค้นดัด (Bending Stress) หน่วยเป็น (N/mm^2)

M = โมเมนต์ดัด หน่วยเป็น (N.mm)

C = ระยะจากแกนสะเทินไปยังผิวนอกสุด หน่วยเป็น (mm)

I = โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ หน่วยเป็น (mm^4)

2. ความเค้นเฉือน [3]

$$\tau = \frac{Tr}{J} \tag{2.4}$$

โดย

τ = ความเค้นเฉือน (Shear stress) หน่วยเป็น (N/mm^2)

T = แรงบิด (Torque) หน่วยเป็น (N.mm)

r = รัศมีเพลา หน่วยเป็น (mm)

J = โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่ (Polar Area Moment of Inertia) หน่วยเป็น (mm^4)

3. ความเค้นเฉือนสูงสุด [3]

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \left(\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2\right)^{1/2} \tag{2.5}$$

จาก

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_y}{2N_y} \tag{2.6}$$

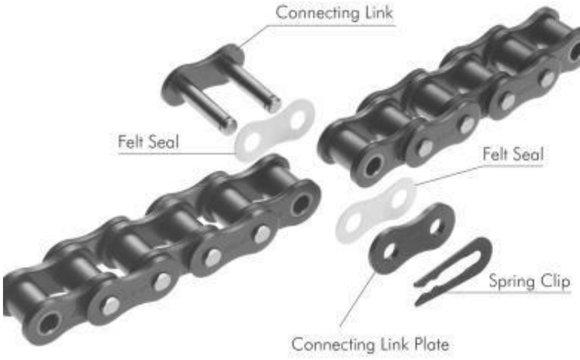
โดย

τ_{max}	=	ความเค้นเฉือนสูงสุด หน่วยเป็น N/mm^2
σ	=	ความเค้น (Stress) หน่วยเป็น N/mm^2
τ	=	ความเค้นเฉือน (Shear stress) หน่วยเป็น N/mm^2
σ_y	=	ความต้านแรงดึงคราก หน่วยเป็น N/mm^2
N_y	=	ค่าความปลอดภัยเมื่อถือความแรงดึงครากเป็นหลัก

2.4.3 ระบบส่งกำลังด้วยโซ่ [4]

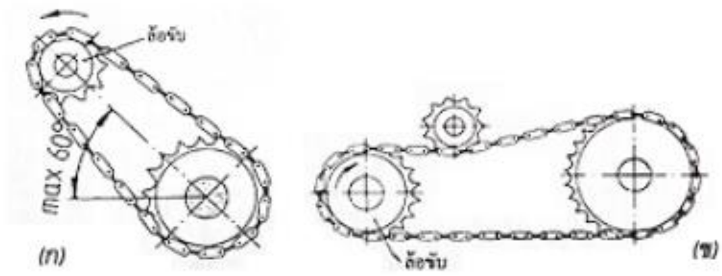
ระบบการส่งกำลังของเครื่องจักรกลที่ใช้ตามโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปมีหลายอย่างแล้วแต่ความเหมาะสมของแต่ละประเภทงานที่ทำ ซึ่งในที่นี้จะเลือกการส่งกำลังด้วยโซ่สามารถส่งกำลังให้ได้โมเมนต์บิด (หมุน) สูงมากโดยที่ให้เป็นชุดส่งกำลังมีขนาดเล็กได้ เป็น ลักษณะการส่งกำลังด้วยรูปร่างและที่รอง เพลาจะรับภาระน้อยมาก ไม่มีการให้ลื่นไถลในขณะส่งกำลัง ในขณะส่งกำลังข้อต่อโซ่จะรับภาระความเสียดทานลื่น (Sliding Friction) จึงต้องมีการหล่อลื่นที่เพียงพอโซ่ส่งกำลังจะมีใช้งานในที่รับภาระดึงมากๆ ในที่รับ อุณหภูมิสูง , โรงงานเคมี, ไอน้ำมัน, ความชื้นเป็นที่ซึ่งสายพานไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งระบบส่งกำลังจะประกอบด้วย โซ่ และ ล้อโซ่

โซ่ (Chain) จะเป็นแบบโซ่ฟัน จะมีรูปร่างฟันแต่ละข้อชัดเจน ฟันของโซ่จะจับลงในร่องฟันของล้อโซ่พอดี โซ่ฟันที่ใช้งานรับกาลังงานสูง ๆ แผ่นฟันที่ข้อต่อจะไม่ยึดด้วยโบลต์ แต่จะยึดด้วยข้อต่อลูกกลิ้งที่มีความเสียดทานน้อยและทนต่อการสึกหรอได้ดี โซ่ฟันใช้รับกำลังงานได้สูงและเกือบจะไม่มีเสียงดังในขณะมีความเร็วโซ่ถึง 40 m/s



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของโซ่ฟัน [4]

ล้อโซ่ (Sprockets) ตามปกติล้อโซ่จะทำจากเหล็กหล่อ, เหล็กกล้าหล่อหรือเหล็กกล้า ส่วนการจัดให้ขับส่งกำลังด้วยโซ่ที่ถูกต้องให้ดูรูปที่ 2.2 (ก) และ (ข)



รูปที่ 2.5 การติดตั้งโซ่และล้อโซ่ [4]

ก. เฟืองขับและเฟืองตามของโซ่ทำมุมเอียงไม่ควรมากกว่า 60 องศา จากแนวนอน

ข. หากต้องการให้โซ่จับกับเฟืองโซ่มากขึ้นก็ให้มีเฟืองสะพานอยู่ใกล้เฟืองขับเสมอ

การออกแบบสำหรับล้อโซ่ที่ใช้กับโซ่ฟันจะต้องมีจำนวนฟันอย่างน้อยที่สุด 17 ฟัน มิฉะนั้นจะเกิดสัดส่วนการจับของโซ่ฟันที่ไม่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากขึ้นได้ และถ้าใช้งานรับภาระกระแทกแล้วโซ่ฟันจะยืดและมีผลให้เกิดสัดส่วนการจับของโซ่ฟันที่ไม่เหมาะสมอีกเช่นกัน โซ่จะเกิดการสึกหรอรวดเร็วหากล้อโซ่มี จำนวนฟันต่ำกว่า 12 ฟัน ลำเลียง ตามมาตรฐาน DIN 8165, 8175 และ DIN 8176 เป็นโซ่แบบข้อต่อชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่นำพาชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ โดยจะออกแบบรูปร่างแผ่นปิดด้านข้างให้มีรูปร่างต่างๆ กัน เพื่อให้สามารถนำพาผลิตภัณฑ์ตามรูปร่างที่ต้องการได้ โซ่ลำเลียงส่วนใหญ่จะนำมาใช้งานให้รับภาระไม่มากนักและมีความเร็วโซ่ต่ำ

ข้อดี : สามารถออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อโซ่ให้มีขนาดเล็กมากๆ และยังเดินได้เงียบอีกด้วย

ข้อเสีย : จะเกิดการยืดตัวยาวออกหากใช้งานรับภาระมากเกินไป ซึ่งจะทำให้โซ่จับฟันล้อโซ่ไม่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังสามารถ ให้เบนไปด้านข้างได้น้อย ด้วยเหตุนี้ล้อโซ่จะต้องประกอบให้ได้ตำแหน่งที่เที่ยงตรงกับแนววิ่งของโซ่ มิฉะนั้นจะเกิดการสึกหรอของโซ่สูง

2.4.4 ตลับลูกปืน (Bearing) [2]

ตลับลูกปืน คือ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ใช้รองรับเพลา เพื่อให้เพลานั้นรับภาระให้หมุนได้เป็นไปอย่างราบรื่น ปลอดภัยและมีอายุการใช้งานทนทาน นอกจากนี้จะต้องแข็งแกร่งและมีความเที่ยงตรง ตลับลูกปืนเหมาะสำหรับรับภาระที่ไม่มาก ถ้าใช้ในงานที่มีความเร็วต่ำ อายุการใช้งานของตลับลูกปืนก็จะสูงขึ้น ในช่วงเริ่มหมุนจะมีความฝืดน้อยจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นชิ้นส่วนที่ไม่มีความฝืด (Antifriction) แต่ที่จริงแล้วความฝืดเกิดจากการต้านทานการกลิ้งระหว่างเม็ดลูกปืน นอกจากนี้ยังเกิดจากแรงเฉือนของสารหล่อลื่น ตลับลูกปืนมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละลักษณะซึ่งสามารถจำแนกออกได้ 3 ชนิดใหญ่ ๆ

1. Ball Bearing เหมาะสมสำหรับแรงในแนวรัศมีภาระไม่สูงมากเกินไป

2. Roller Bearing เหมาะสมสำหรับแรงในแนวรัศมีภาระสูง

3. Thirst Bearing เหมาะสมสำหรับแรงในแนวแกนมีภาระไม่สูงเกินไป

การประเมินค่าอายุการใช้งานของแบริ่งทางสมาคม AFBMA ได้ตั้งนิยามและวิธีการเลือกใช้แบริ่งซึ่งมีดังต่อไปนี้

1) อายุแบริ่ง หมายถึง จานวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่ ซึ่งแบริ่งจะหมุนดุมได้ก่อนที่จะเกิดความล้าขึ้นในวงแหวน หรือลูกกลิ้ง

2) อายุประเมินของแบริ่ง หมายถึงจำนวนรอบ หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่ซึ่งแบริ่ง 90 เปอร์เซ็นต์ สามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความเสียหายจากการล้า

3) แรงสถิตประเมิน หมายถึง แรงในแนวรัศมีที่ทำให้เกิดระยะยุบตัวของลูกกลิ้งและวงแหวนรวมกันเท่ากับ 0.00001 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้ง

4) แรงพลวัตประเมิน หมายถึงแรงเนื่องจากการส่งกาลัง

2.5 กรรมวิธีผง (Powder Metallurgy) [5]

กรรมวิธีผง (Powder Metallurgy) เป็นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยมีวัสดุตั้งต้นเป็นผง นำมาอัดให้ได้รูปทรงที่ต้องการแล้วนำไปให้ความร้อนแบบซินเตอร์ริ่ง (Sintering) คือ ให้ความความร้อนโดยไม่มีการหลอมเหลว เพื่อให้ผงและส่วนผสมอื่นประสานติดกับเป็นชิ้นงานของแข็ง ซึ่งกรรมวิธีผง มีขั้นตอนดังนี้

2.4.1 การผลิตผง (Powder production)

2.4.2 การผสมผง (Blending)

2.4.3 การอัด (Compaction)

2.4.4 การให้ความร้อน (Sintering)

2.4.5 กระบวนการระยะสุดท้าย (Finishing operations)

2.6 การผสม (Mixing) [6]

การผสมเป็นการนำวัสดุต่างชนิดมารวมกันและให้เฉลี่ยเข้ากัน ได้แก่ การผสมสารเติมแต่งกับพลาสติก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการผสมของแข็งกับของแข็งหรือของแข็งกับของเหลวเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องผสม (Mixer หรือ blender) โดยทำให้วัสดุเกิดการเคลื่อนที่กระแทก เสียดสี และคลุกเคล้ากันจนได้สภาพการผสมที่ต้องการ ด้วยการหมุนของใบกวนในถังเปิดหรือปิด ผลของการผสมทำให้เกิดการกระจายตัวของวัสดุต่างชนิดกันเข้ากันอย่างทั่วถึง แต่ยังคงสามารถแยกอนุภาคของสารแต่ละชนิดได้อย่างชัดเจน เครื่องผสมที่ใช้ในการผสมมีลักษณะการผสมแบบรุ่น (Batch mixer) ซึ่งเกิดการผสมโดยการทำให้วัสดุเกิดการเคลื่อนที่คลุกเคล้ากัน เทคนิคการผสมนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ การผสมแบบเย็น (Cold mixing) และการผสมแบบร้อน (Hot mixing)

2.6.1 การผสมแบบเย็น (Cold mixing)

เทคนิคการผสมแบบนี้เป็นการผสมจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิห้องสามารถใช้ผสมพลาสติกและสารเติมแต่งที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน ตัวอย่างเครื่องผสมแบบผสมเย็น เช่น

2.6.1.1 เครื่องผสมแบบถังหมุน (Drum tumbler) เครื่องผสมแบบถังหมุนทำให้เกิดการผสมของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ กับพลาสติกเข้า ด้วยกัน โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงและการหมุนเหวี่ยงของถังหมุน ซึ่งแรงเหล่านี้มีผลต่อการเปลี่ยน ขนาดอนุภาคของสารต่างๆ เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เครื่องผสมชนิดนี้มีหลายแบบ แต่แบบที่นิยมใช้ และราคาถูกที่สุด คือ เครื่องผสมแบบถังหมุนปกติ (Tumbling barrel) มักใช้สำหรับการผสมสารเติม แต่งปริมาณไม่มากลงในพลาสติก ประกอบด้วยถังผสมขนาดประมาณ 130-210 ลิตรซึ่งถูกขับให้ หมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ประสิทธิภาพการผสมขึ้นกับปริมาณวัสดุและเวลาที่ใช้ในการผสม นอกจากนี้ยังมีเครื่องผสมแบบถังหมุนแบบอื่นๆ ที่ให้การผสม

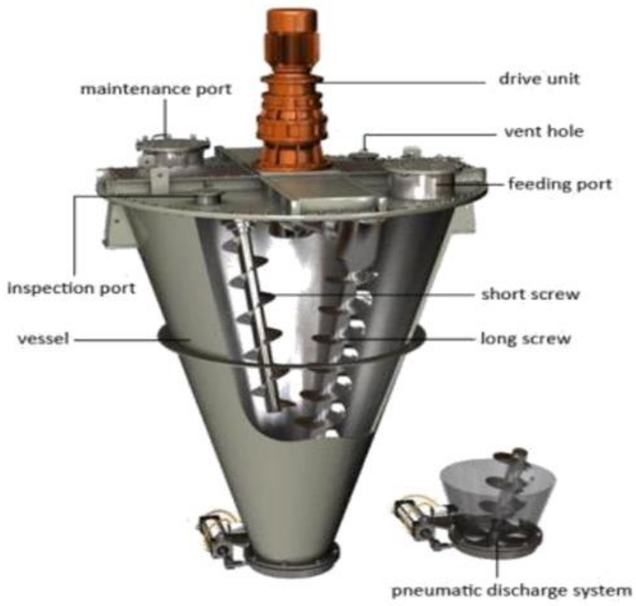
เข้ากันได้ดีกว่า เนื่องจากมีการหมุนและการเหวี่ยงของถังผสมในเวลาเดียวกัน เช่น ถังหมุนแบบรูปตัววี (V-shape mixer) และถังหมุนแบบกรวยคู่ (Double cone mixer) เป็นต้น

รูปที่ 2.6 เครื่องผสมแบบถังหมุนแบบรูปตัววี (V-shape mixer) [6]

2.6.1.2 เครื่องผสมแบบริบบอน (Ribbon blender) เครื่องผสมแบบริบบอนมีตัวกวนผสม ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะขดวนคล้ายสปริงเรียกว่า ริบบอนบรรจุอยู่ในถังผสมที่ยึดติดอยู่กับที่ แผ่นริบบอนนี้ถูกยึดติดกับเพลาขับที่สามารถหมุนด้วย ความเร็วประมาณ 20-60 รอบต่อนาที เครื่องผสมแบบนี้นิยมใช้ในการผสมวัสดุที่มีลักษณะเป็นผง หรือก้อนเล็กๆ โดยทั่วไปในขณะทำการผสมจะไม่เกิดความร้อนขึ้น เนื่องจากขณะทำการผสมจะไม่ เกิดแรงเฉือนระหว่างวัสดุและระหว่างริบบอนกับผนังของถังผสม

รูปที่ 2.7 เครื่องผสมแบบริบบอน (Ribbon blender) [6]

2.6.1.3 เครื่องผสมแบบกรวยที่มีสกรูภายใน (Conical screw mixer) เครื่องผสมแบบนี้ประกอบด้วยถังผสมที่มีลักษณะเป็นกรวยกลม และมีสกรูบรรจุอยู่ภายในถัง โดยวางแนบอยู่ใกล้กับผนังของถังผสม สกรูนี้สามารถหมุนได้ 2 ลักษณะคือ หมุนรอบแกนสกรู และหมุนเคลื่อนที่ในแนวเส้นรอบวงของถัง ความเร็วในการหมุนสามารถปรับเปลี่ยนได้ เครื่องผสมแบบนี้สามารถผสมสารที่มีปริมาณเล็กน้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.8 เครื่องผสมแบบกรวยที่มีสกรูภายใน (Conical screw mixer) [6]

2.6.2 การผสมแบบร้อน (Hot mixing)

เทคนิคการผสมแบบนี้มีการให้ความร้อนแก่วัสดุที่ทำการผสม โดยอุณหภูมิของห้องผสมอาจสูงถึง 140 องศาเซลเซียส ดังนั้นสารเติมแต่งบางชนิดอาจหลอมแล้วกระจายตัวเข้าไป ตัวอย่างเครื่องผสมแบบนี้ ได้แก่ เครื่องผสมเทอร์บูแลนท์ (Turbulent mixer) ซึ่งประกอบด้วยถังผสมร้อน และถังหล่อเย็น ภายในถังผสมร้อนมีใบพัดกวนที่มีความเร็วสูงเป็นตัวช่วยในการผสมองค์ประกอบต่างๆ เข้าด้วยกัน หลังจากผสมกันแล้วจะถ่ายของผสมร้อนลงในถังหล่อเย็นเพื่อทำให้ของผสมร้อนเย็นตัวลงเหลือประมาณ 35 องศาเซลเซียส ระยะเวลาผสมของเครื่องผสมแบบนี้จะใช้เวลาสั้นมาก คือ ประมาณ 10 นาทีต่อครั้ง ขนาดของเครื่องผสมร้อน โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1,000-1,500 ลิตร และเครื่องผสมเย็นประมาณ 2,000-3,000 ลิตร

2.7 พอลิเอทิลีน (Polyethylene) [7]

พอลิเอทิลีนหรือที่เรียกกันสั้นๆว่า PE คือสารที่เป็นส่วนผสมของการขึ้นรูปพลาสติกที่สามารถขึ้นได้ทั้งแบบแข็งและแบบอ่อน มีสีขาวขุ่นโปร่งแสง มีความลื่นมันในตัวเอง เมื่อสัมผัสจึงรู้สึกลื่นยืดหยุ่นได้ดี และที่สำคัญไม่มีกลิ่นและรส แถมยังไม่ติดแม่พิมพ์อีกด้วย มีความเหนียวแต่ทนความร้อนได้ไม่มากนัก มีความหนาแน่นอยู่ 3 ระดับด้วยกันคือ

2.7.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.91 ถึง 0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โมเลกุลของ LDPE มีแบ็กโบนคาร์บอนที่มีไซด์กรุ๊ปของคาร์บอนสี่ถึงหกอะตอมติดกับแบ็กโบนหลักอย่างสุ่มๆ LDPE มีการใช้อย่างกว้างขวางเพราะว่าไม่แพง ยืดหยุ่นได้ทนทานมากและทนต่อสารเคมี LDPE ถูกขึ้นรูปเป็นขวด หีบห่ออาหาร และของเล่น

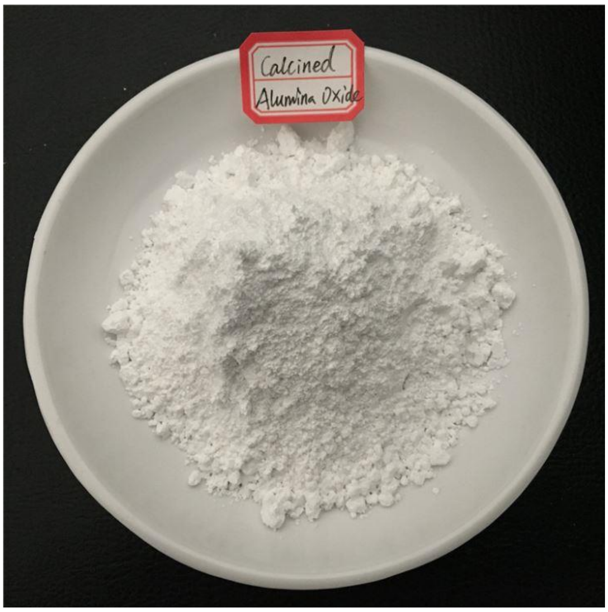
2.7.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.93–0.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร MDPE สามารถผลิต โดยโครเมียม catalysts, Ziegler-Natta catalysts หรือ metallocene catalysts MDPE มีดีช็อกและปล่อยความต้านทานคุณสมบัตินอกจากนี้เป็นรอยเว้าน้อย มีความสำคัญกว่า HDPE

2.7.3 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.95 ถึง 0.97 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โมเลกุลของ HDPE จะมีแบ็กโบนคาร์บอนที่ยาวมากแต่ไม่มีไซด์กรุ๊ป ผลก็คือ โมเลกุลเหล่านี้เชื่อมกันอย่างแน่นหนามากขึ้น HDPE แข็งแรงกว่า แข็งกว่า และโปร่งแสงน้อยกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ HDPE ใช้ทำถุง ถังน้ำมันรถ หีบห่อและท่อน้ำ

รูปที่ 2.9 ผงพอลิเอทิลีน (Polyethylene Powder) [8]

2.8 อลูมินา (Alumina) [9]

อลูมินามีชื่อทางเคมีว่า อลูมิเนียมออกไซด์ สูตรทางเคมีคือ Al_2O_3 พบในธรรมชาติในรูปของแร่คอรันดัม (corundum) โดยปกติจะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่หากมีสิ่งเจือปนในโครงสร้างของอลูมินาเล็กน้อย จะทำให้เกิดสีต่าง ๆ ทำให้มีความสวยงามมากขึ้น กลายเป็นแร่ที่มีค่า เช่น สีแดงของทับทิมเกิดจากมีธาตุโครเมียมอยู่ในเนื้ออลูมินา เป็นต้น โครงสร้างของอลูมินาประกอบด้วยพันธะระหว่างอะลูมิเนียมกับออกซิเจนที่มีความแข็งแรงมาก การทำลายพันธะดังกล่าว ต้องใช้พลังงานสูง ทำให้อลูมินามีความแข็งมาก โดยวัสดุที่แข็งแรงมากกว่าอลูมินา มีเพียงเพชรเท่านั้น นอกจากนั้นแล้ว อลูมินายังทนความร้อนและการกัดกร่อนจากสารเคมีชนิดต่างๆ ได้ดีอย่างยิ่ง และมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีอีก



รูปที่ 2.10 ผงอลูมินา (Alumina Powder) [10]

อลูมินาที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตขึ้นจากแร่ออกไซต์ โดยกระบวนการที่มีชื่อว่ากระบวนการของเบเยอร์ เพื่อกำจัดสิ่งเจือปน และเปลี่ยนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ให้เป็นอลูมินา อลูมินาที่ผลิตได้ส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 90) ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโลหะอลูมิเนียม ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 10 นำไปใช้ในรูปของอลูมินาโดยตรง

ประโยชน์ของอลูมินามีมากมาย นอกจากจะใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เซรามิกเพื่อให้เกิดความแข็งแรงมากขึ้นแล้ว ยังสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์หลายชนิด เช่น ใช้ทำวัสดุทนไฟในเตาเผาและเตาหลอม วัสดุขัดถู ลูกบดและผนังกรุหม้อบดสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ถ้วยเผาสาร (crucible) สำหรับอุตสาหกรรมอัญมณี หัวพ่นทรายสำหรับงานตกแต่งผิวโลหะ

แผ่นรองวงจรไฟฟ้ารวม (IC) สำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หัวเทียนสำหรับอุตสาหกรรมยานยนใช้ทำฝาครอบหลอดไฟโซเดียมที่ให้ความสว่างสูง และยังใช้เป็นชิ้นส่วนของ อวัยวะทดแทน เช่น ข้อต่อกระดูกเทียม เป็นต้น จากการสำรวจของกระทรวงการค้าต่างประเทศและอุตสาหกรรมของญี่ปุ่น (MITI) ในปี 1997 พบว่าเฉพาะที่ญี่ปุ่นประเทศเดียว ตลาดผลิตภัณฑ์อลูมินาก็มีมูลค่าถึงเกือบ 2.5 แสนล้านเยน หรือประมาณ 1 แสนล้านบาท จึงนับได้ว่าเป็นวัสดุที่มีศักยภาพทางการตลาดที่น่าสนใจมากชนิดหนึ่ง

2.9 โปรแกรม Image J [11]

Image J เป็นโปรแกรมที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาโดย The National Institute of Health (NIH) โปรแกรมนี้ถูกเขียนมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลจากรูปภาพ ตัวอย่างเช่น การนับจำนวนเซลล์ที่ได้จากภาพถ่าย การหาพื้นที่ของวัตถุ เป็นต้น โดยทำการวัดขนาดของอนุภาคที่ปรากฏในรูปภาพ นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนามาเพื่อวิเคราะห์ขนาดของเกรนและการกระจายตัวของภาคตัดขวางของวัสดุ เป็นการประยุกต์ใช้เพื่อหาคุณสมบัติของวัสดุอีกวิธีหนึ่ง ปัจจุบันได้มีการนำมาใช้มากขึ้นในการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์

โปรแกรมสามารถทำงานได้โดยมีคำสั่ง Analyze,Process และคำสั่งอื่น และสามารถบันทึกไฟล์ในรูปแบบ 8-bit,16-bit,32-bit และไฟล์ที่ตัวโปรแกรมอ่านได้ต้องบันทึกด้วยนามสกุลเหล่านี้คือ TIFF,GIF,JPEG,BMP,DICOM,FITS และ raw และตัวโปรแกรมสามารถเปิดภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พร้อมๆกันหลายภาพได้ในเวลาเดียวกัน และสามารถคำนวณ Fraction Area หรือสัดส่วนพื้นที่ และสามารถหาพื้นที่ในการวัดได้ สามารถหาค่าได้ทั้งในหน่วยพื้นที่ เช่น ตารางมิลลิเมตร หรือค่าในหน่วย pixel ของรูปนั้น สามารถจัดทำค่าต่างๆในรูปสถิติได้ วัดระยะความยาวของเซลล์ วัดความหนาแน่นของรูปภาพแล้วแสดงในรูปแบบแผนภูมิแท่งหรือ Histograms และยังสนับสนุน Function ต่างๆ

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายเศรษฐ์ศักดิ์ ณ ลำปาง และคณะผู้จัดทำเครื่องผสมปุ๋ยและอาหารสัตว์จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่ เป็นผู้ประดิษฐ์คิดค้นเครื่องผสมปุ๋ยและอาหารสัตว์มีขนาด 800 x 950 x 1350 มิลลิเมตร มีชุดเพลาผสมหมุนอยู่ภายในถังทรงกระบอกแนวนอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 450 มิลลิเมตร ยาว 800 มิลลิเมตร ใช้กำลังมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 746 วัตต์ เฟสเดียวเป็นต้นกำลัง ส่งกำลังผ่านสายพานลิ่มไปยังเกียร์ทดรอบในอัตราทด 3 : 4 โดยเกียร์ทดรอบมีอัตราทด 1:20 ส่งกำลังไปยังเพลาผสมโดยโซ่ส่งกำลัง อัตราทด 1:2 ได้ความเร็วรอบที่เพลาผสมประมาณ 27 รอบ/นาที สามารถผสมปุ๋ยและอาหารสัตว์ได้ครั้งล่ะ 50 กิโลกรัม

ทรงกลด จารุสมบัติ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการออกแบบและจัดสร้างเครื่องผสมวัสดุทดแทนไม้กับกาว เครื่องสามารถผสมวัสดุทดแทนไม้จาพวกเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น ซังข้าวโพด ชานอ้อย เครื่องมีขนาด 1,520 x 2,400 x 1,936.25 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวถัง 1,110 มิลลิเมตร ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 220 โวลท์ ขนาด 5 แรงม้า ตัวถังอยู่กับที่ใช้ใบกวนในตัวถังเป็นตัวผสม กำลังการผลิตใช้ผสมต่าสุดที่ 10 กิโลกรัมและสูงสุดไม่เกิน 30 กิโลกรัม ขนาดของแผ่นวัสดุที่ได้ 6 x 9 ฟุต ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาผสม

นายวราวุธ อิ้มทับ และคณะจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตากเป็นผู้ออกแบบและจัดสร้างเครื่องผสมครีมสมุนไพร ซึ่งมีหลักการทำงานคือ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 3/4 แรงม้า 220 โวลต์ มีความเร็วรอบ 2,730 รอบต่อนาทีโดยมีชุดควบคุมมอเตอร์จำนวน 1 ชุด สามารถปรับความเร็วรอบได้และส่งกำลังผ่านแกนเพลาโดยตรง และแกนเพลาจะมีใบพัดและชุดหัวกวนติดอยู่ เพื่อทำหน้าที่ผสมเนื้อครีมเข้าด้วยกันการทำงานของเครื่องผสมครีมสมุนไพรสามารถผสมครีมได้ในจำนวนครั้งละ 30 ลิตร ได้เนื้อครีมที่ละเอียดให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และยังสามารถลดฟองอากาศในขั้นตอนการผสมอีกด้วย ดังรูปที่ 2.12

รูปที่ 2.11 เครื่องผสมครีมสมุนไพร

สาธิต สอนแก้ว และคณะ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก เป็นผู้ออกแบบและสร้างเครื่องผสมผงยาสมุนไพร ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องคือใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 1/4 แรงม้า 220 โวลต์มีความเร็วรอบ 1450 รอบต่อนาที ส่งกำลังไปยังเกียร์ทดรอบที่ 1:60 แล้วส่งกำลังไปยังเพลาหมุนถังผสมผงยาสมุนไพรรูปทรงวีที่ 25 รอบต่อนาที ผสมผงยาสมุนไพรครั้งละ 2 กิโลกรัม เครื่องผสมผงยาสมุนไพรที่ผู้ผลิตผลิตขึ้นได้เนื้อยาและสีของยาที่ผสมได้ตามที่ต้องการของผู้เชี่ยวชาญต้องใช้รอบในการหมุนถังผงยาสมุนไพรที่ 450 รอบ ดังรูปที่ 2.13

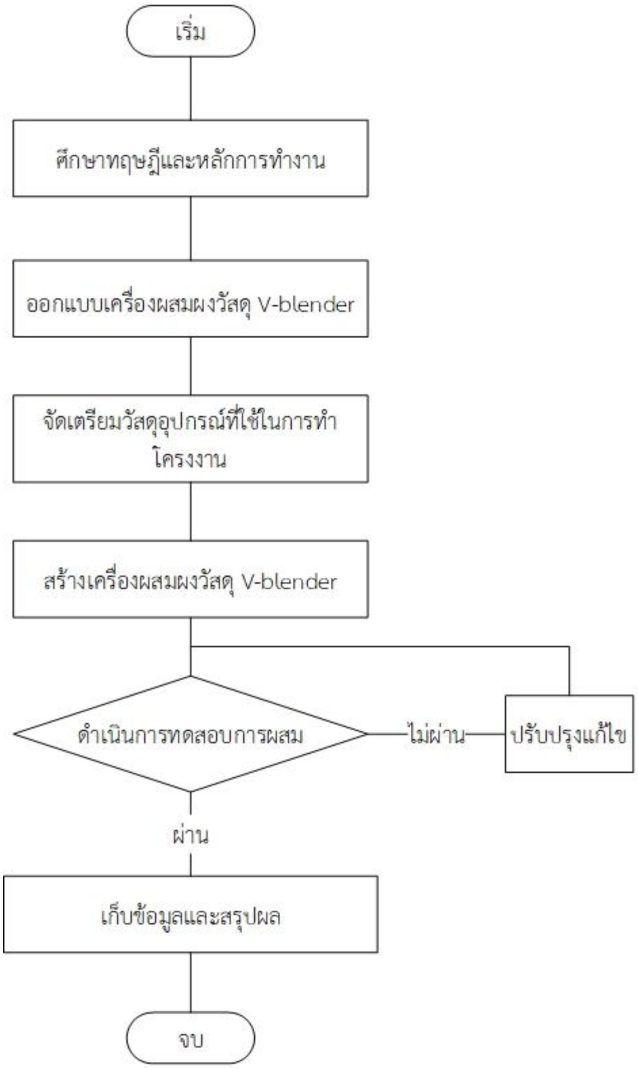
รูปที่ 2.12 เครื่องผสมครีมสมุนไพร

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณและการออกแบบเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ โดยได้กำหนดวิธีการดำเนินการศึกษาให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การออกแบบขั้นตอนการดำเนินโครงการ



รูปที่ 3.1 แผนภูมิการดำเนินการสร้างเครื่องผสมผงวัสดุแบบ V-blender

ในการดำเนินการสร้างเครื่องผสมผงวัสดุ V-blender นั้น มีลำดับขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ศึกษาทฤษฏีและหลักการทำงาน ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องผสม ผงวัสดุ หลักการออกแบบชิ้นส่วนผสมผงวัสดุ และการเลือกใช้วัสดุทำชิ้นส่วนที่สำคัญโดยได้รวบรวมข้อมูลจาก เอกสารและตำราที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลการออกแบบให้สมบูรณ์ที่สุด

3.1.2 ออกแบบเครื่องผสมผงวัสดุ V-blender แนวทางในการออกแบบในแต่ละขั้นตอนจะเน้นหลักการทำงานง่ายๆ ในการทำงานของชิ้นส่วนต่างๆ โดยในที่นี้เพื่อให้สามารถสร้างชิ้นส่วนขึ้นเองได้ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่พิเศษในการผลิตชิ้นส่วนรวมทั้ง พยายามใช้วัสดุที่สามารถหาได้ง่าย หรือมีขายตามท้องตลาดทั่วไป

3.1.3 จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน โดยมีขั้นตอนการเลือกซื้อวัสดุดังนี้

3.1.3.1 วัสดุที่นำมาผลิตต้องขึ้นรูปได้ง่ายเหมาะสมแก่การใช้งาน

3.1.3.2 ใช้วัสดุที่จำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป

3.1.3.3 เป็นชิ้นส่วนมาตารฐาน

3.1.3.4 สามารถปรับปรุงแก้ไขและบำรุงรักษาได้ง่าย

3.1.3.5 ความแตกต่างด้านราคาวัสดุซื้อหาได้ง่ายราคาไม่แพง

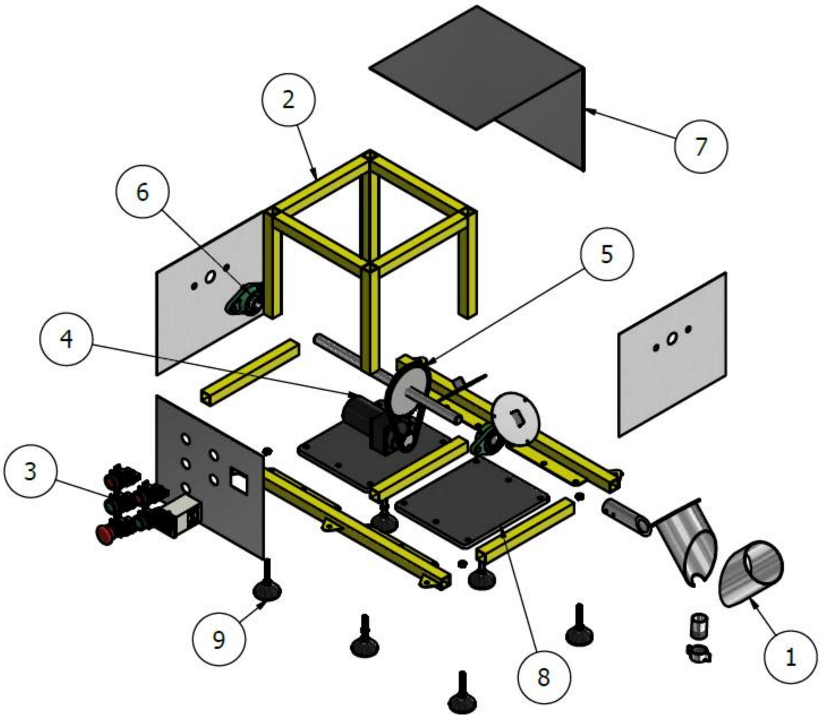
3.1.4 สร้างเครื่องผสมผงวัสดุ V-blender การสร้างได้ทำการจัดแยกชิ้นส่วนแต่ละชิ้นพร้อมกับรายละ เอียดของชิ้นส่วนทั้งหมด โดยแบ่งออกเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ที่สำคัญดังต่อไปนี้

1) โครงสร้าง
2) ระบบส่งกำลัง
3) ถังผสม

3.1.5 ดำเนินการทดสอบการผสม โดยจะแบ่งขั้นตอนเป็นผ่านกับไม่ผ่าน ถ้าผ่านจะเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป ส่วนถ้าไม่ผ่านจะเข้าสู่ขั้นตอนปรับปรุงแก้ไขจนกว่าจะผ่านและดำเนินการทดสอบการ ผสมอีกครั้ง โดยผู้จัดทำโครงการได้พื้นที่ การทดลองที่ห้องปฏิบัติการ อาคารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยา ลัยราชมงคลพระนครเหนือ

3.1.6 เก็บข้อมูลและสรุปผล โดยเนื้อหาในข้อนี้จะอยู่ในบทถัดไป

3.1.7 ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการจัดทำเล่มปริญญานิพนธ์ โดยจะต้องผ่านการตรวจสอบจากอาจารย์ ที่ปรึษา และผ่านการตัดสินผลสอบของคณะอาจารย์และคณะกรรมการ



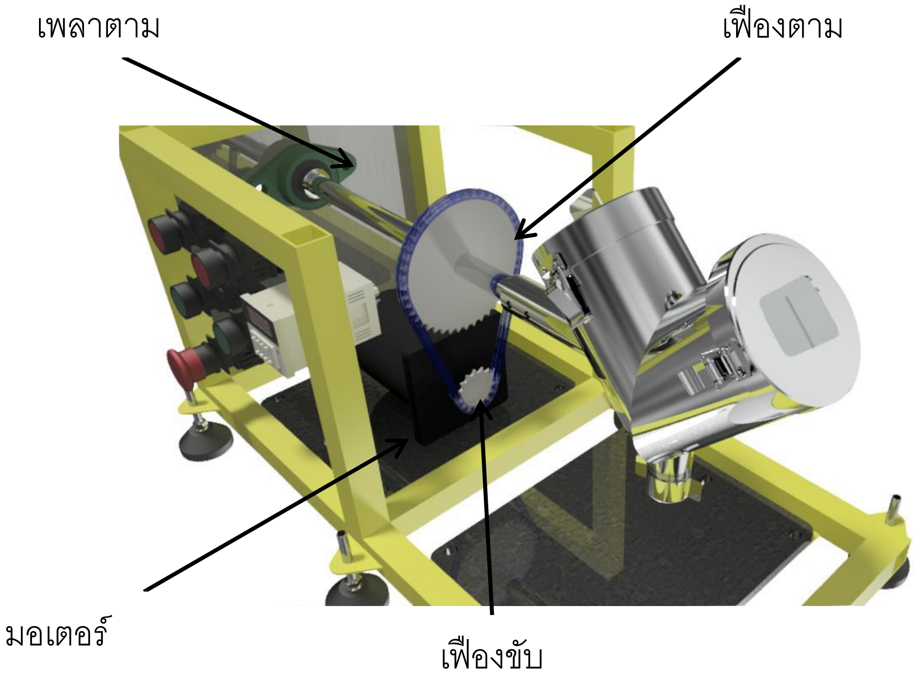
รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องผสมผงวัสดุแบบ V-blender

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องผสมผงวัสดุแบบ V-blender

No.	ชื่อชิ้นส่วน	จำนวน
1	ถังผสมผงวัสดุ V-blender	1
2	โครงเครื่อง	1
3	สวิตช์ควบคุมและหน้าจอมอนิเตอร์	1
4	มอเตอร์	1
5	ชุดส่งกำลัง	1
6	ตลับลูกปืน	2
7	ชุดฝาปิดโครงเครื่อง	1
8	แผ่นเหล็กรองฐาน	2
9	ยางรอง	6

3.2 การคำนวณและการออกแบบ

การคำนวณและการออกแบบชิ้นส่วนบางชิ้นที่ไม่มีจำหน่ายในท้องตลาด จึงต้องเลือก ใช้ส่วนที่เป็นมาตรฐานสากล เพื่อให้ง่ายต่อการจัดหาชิ้นส่วนที่จำเป็นต้องนำมาประกอบและออกแบบเครื่อง โดยโปรแกรม Solidworks



รูปที่ 3.3 แสดงชุดส่งกำลังของเครื่องผสมผงวัสดุแบบ V-blender

3.2.1 คำนวณที่เกี่ยวข้อง

1. การคำนวณหาน้ำหนักกระทำบนเพลา โดยจะนำถังผสมขนาด 2 ลิตร ซึ่งจะบรรจุผงอลูมิน่าไปชั่งน้ำหนัก เนื่องจากผงเป็นมวลที่มีรูพรุน น้ำหนักที่ชั่งไม่สามารถเป็นค่าที่แน่นอนได้

การคำนวณเป็นแบบ Statics คือเป็นการคำนวณวัตถุที่หยุดนิ่งไม่เคลื่อนไหว และไม่ได้คำนวณถึงแรงหนีศูนย์เนื่องจากความเร็วรอบที่ใช้เป็นความเร็วต่ำ

$$W = mg \tag{3.1}$$

โดย

W = น้ำหนักที่กระทำบนเพลา หน่วยเป็น นิวตัน

m = มวลทั้งหมดของถังผสมขนาด 2 ลิตร เท่ากับ 4.6 kg

g = แรงโน้มถ่วงของโลกเป็นค่าคงที่เท่ากับ 9.81 m/s^2

แทนค่าในสมการ (3.1)

$$W = (4.6\ kg)(9.81\ m/s)$$

$$W = 45.126\ N$$

2. หาขนาดของเพลาแกนถังผสม

โดยจะกำหนดความยาวของเพลาแกนถังผสมตามความเหมาะสมเท่ากับ 113.18 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.5 (D_o / D_i = 1.5) โดยจะใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

- ความเค้นดัด

$$\sigma = \frac{MC}{I} \tag{3.2}$$

หาค่าต่างๆในสมการ (3.2)

$$M = F \times L = (45.126\ N)(113.18\ mm)$$

$$= 5{,}107.36\ N.mm$$

$$C = \frac{d_o}{2} = \frac{1.5d_i}{2} = 0.75di$$

$$I = \frac{\pi}{64} \times (d_o^4 - d_i^4) = \frac{\pi}{64} \times (1.5d_i^4 - d_o^4)$$

$$= \frac{4.0625\pi d_i^4}{64} = 0.1994d_i^4$$

แทนค่าในสมการ (3.2)

$$\sigma = \frac{(5{,}107.36)(0.75d_i)}{0.1994d^4} = \frac{19.21 x 10^3}{d_i^3}\ N/mm^2$$

- ความเค้นเฉือน

$$\tau = \frac{Tr}{J} \tag{3.3}$$

หาค่าต่างๆในสมการ (3.3)

$$T = F \times r = F(d_o/2) = (45.126\ N)(1.5d_i/2)$$

$$= 33.844d_i\ N.mm$$

$$r = \frac{d_o}{2} = \frac{1.5d_i}{2} = 0.75di$$

$$J = \frac{\pi}{32}\times(d_o^4 - d_i^4) = \frac{\pi}{32}\times(1.5d_i^4 - d_o^4)$$

$$= \frac{4.0625\pi d_i^4}{32} = 0.3988d_i^4$$

แทนค่าในสมการ (3.3)

$$\tau = \frac{(33.844d_i)(0.75d_i)}{0.3988d_i^4} = \frac{63.65}{d_i^2}$$

- ความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \left(\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2\right)^{1/2} \quad (3.4)$$

จาก

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_y}{2N_y} \quad (3.5)$$

ซึ่งค่า σ_y หาได้จากตารางที่ ก.2

$$\sigma_y = 35\ ksi$$

$$= 35 \times 6.895 = 241.325\ N/mm^2$$

และค่า N_y หาได้จากตารางที่ ก.1 จากลักษณะการใช้งานจะเลือกใช้ค่า $N_y = 3$
แทนค่าต่างๆในสมการ (3.5)

$$\tau_{max} = \frac{241.325}{2 x 3} = 40.22\ N/mm^2$$

แทนค่าในสมการ (3.4)

$$40.22 = \left(\left(\frac{19.21\text{x}10^3}{2d_i^3} \right)^2 + \left(\frac{63.65}{2d_i^2} \right)^2 \right)^{1/2}$$

$$40.22 = \frac{9.605\text{x}10^3}{d_i^3} + \frac{31.82}{d_i^2}$$

การแก้สมการนี้ทำได้โดยการทดลองแทนค่า d_i ซึ่งได้ว่า $d_i = 6.2$ mm และ $d_o = 9.3$ mm เนื่องจากไม่สามารถหาท่อสแตนเลสขนาดดังกล่าวได้ จึงใช้ท่อสแตนเลสที่สามารถหาซื้อได้ง่าย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 30 mm และเส้นผ่านศูนย์ภายใน 20 mm

3. หาขนาดของมอเตอร์

มอเตอร์จะส่งถ่ายกำลังผ่านชุดส่งกำลังโดยกำหนดอัตราทดเท่ากับ 3:1 ซึ่งความเร็วรอบ สูงสุดของถังผสมเท่ากับ 50 รอบ/นาที ฉะนั้นมอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 150 รอบ/นาที โดยจะใช้สมการการคำนวณดังนี้

$$P = \frac{2\pi NT}{60} \tag{3.6}$$

โดย

$$T = F \times r = (45.126 \text{ N})(0.015 \text{ m})$$

$$= 0.677 \text{ N.m}$$

แทนค่าต่างๆในสมการ (3.6)

$$P = \frac{2\pi(150)(0.677)}{60} = 10.63 \text{ W}$$

เนื่องจากไม่สามารถหามอเตอร์ขนาดดังกล่าวได้ จึงใช้มอเตอร์ที่สามารถหาซื้อได้ง่าย โดยเป็นมอเตอร์ขนาด 60 W 12 VDC

3.2 การผลิตชิ้นส่วนที่สำคัญของเครื่องผสมผง V-blender ตามที่ได้ออกแบบไว้

3.2.1 เตรียมการขึ้นรูปถังผสมผง โดยถังผสมขนาด 1 และ 2 ลิตร นำท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายใน 90 , 86 mm ตัดทำมุม 45 องศา ซึ่งทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม 304 AISI

รูปที่ 3.4 เตรียมการขึ้นรูปถังผสมผง

3.2.2 เชื่อมและตรวจสอบรอยเชื่อมของถังผสมผง โดยนำท่อประกอบและเชื่อมเข้าด้วยกัน ซึ่งจะเพิ่มสกรูไว้ที่ปากถังผสมจำนวน 3 ตัว ไว้สำหรับล๊อคฝาปิดถังผสม

รูปที่ 3.5 เชื่อมและตรวจสอบรอยเชื่อมของถังผสมผง

3.2.2 ตรวจสอบขนาดของถังผสมผง ให้เป็นไปตามแบบที่กำหนดไว้

รูปที่ 3.6 ตรวจสอบขนาดถังผสมผง

3.2.3 เชื่อมและตรวจสอบรอยเชื่อมของโครงเครื่อง ซึ่งจะประกอบด้วยเหล็กกล่องขนาด 25x25 mm หนา 2 mm โดยจะมีขนาดของโครงเครื่องเท่ากับ กว้างxยาวxสูง 300x600x275 mm

รูปที่ 3.7 เชื่อมและตรวจสอบรอยเชื่อมของโครงเครื่อง

3.2.4 ติดตั้งมอเตอร์และเพลา โดยเป็นมอเตอร์ขนาด 60W 12VDC 150 RPM และเพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ยาว 400 mm

รูปที่ 3.8 ติดตั้งมอเตอร์และเพลา

3.2.5 ติดตั้งชุดส่งกำลัง เป็นชุดกำลังด้วยโซ่โดยประกอบด้วยล้อเฟืองขับ 9 ฟันและล้อเฟืองตาม 27 ฟัน

รูปที่ 3.9 ติดตั้งชุดส่งกำลังด้วยโซ่

3.2.7 ติดตั้งระบบควบคุมมอเตอร์ ประกอบด้วยปุ่มสตาร์ท (Start) ,หยุด (Stop) ,ตัวตั้งเวลา ,ตัวปรับความเร็วรอบและหลอดไฟแสดงสถานะ

รูปที่ 3.10 ติดตั้งระบบควบคุมมอเตอร์

3.2.5 ตรวจเช็คเครื่องผสมผงวัสดุแบบ V-blender ที่ประกอบเสร็จแล้ว

รูปที่ 3.11 ตรวจเช็คเครื่องผสมผงวัสดุแบบ V-blender ที่ประกอบเสร็จแล้ว

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

จากการกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานในบทที่ผ่านมา ในบทนี้คณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองการผสม ผง และทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผสมผง V-blender สามารถแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผงโดยใช้โปรแกรม imagej

4.4 ผลการทดลอง

4.5 สรุปผลการทดลอง

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

โดยการทดลองจะใช้ถังผสมผงขนาด 1 ลิตร ซึ่งทั่วไปแล้วในการผสมผงของเครื่องผสมผงวัสดุ V-blender ถังที่ใช้ผสมผงจะประกอบด้วยผง 60% และที่เหลือ 40% เป็นพื้นที่ว่าง เพื่อให้ถังผสมเหลือเนื้อที่ว่างในการทำให้ผงทั้ง 2 ชนิด คลุกเคล้าผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน ฉะนั้นปริมาตรผงทั้ง 2 ชนิด มีปริมาตรทั้งหมด 600 ml และจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการทดลองดังนี้

4.1.1 ผงทดลอง เป็นผงพอลิเอทิลีน(UHMWPE) และผงอลูมิเนียมออกไซค์(Al_2O_3)

รูปที่ 4.1 ผงพอลิเอทิลีน(ซ้าย) และอลูมิเนียมออกไซค์(ขวา)

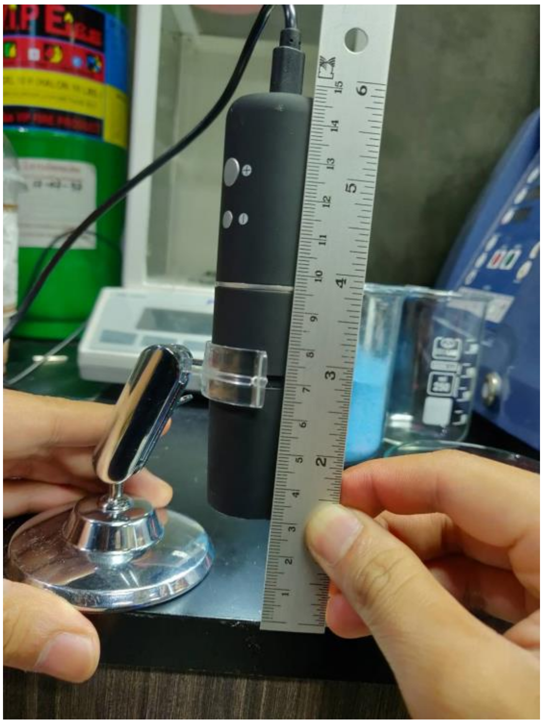
4.1.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก โดยค่าที่ออกมาเป็นหน่วย กรัม (g)

รูปที่ 4.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก

4.1.3 บีกเกอร์ มีบีกเกอร์ 3 ขนาดคือ 100 ml 600 ml 1000 ml

รูปที่ 4.3 บีกเกอร์ใช้บรรจุผง

4.1.4 กล้องส่องผง โดยตั้งระยะห่างจากพื้น 3 mm

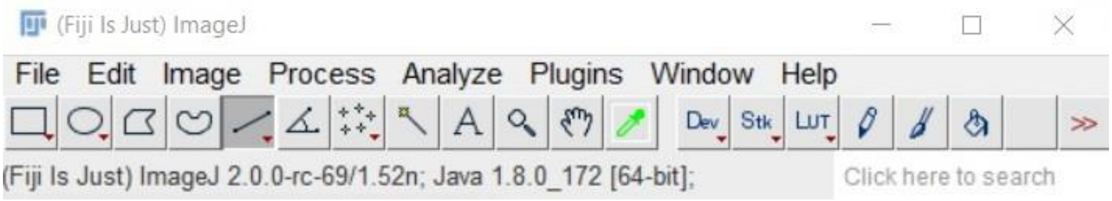


รูปที่ 4.4 กล้องส่องผง

4.1.5 จานแก้วใส่ผง (Watch glass)

รูปที่ 4.5 จานแก้วใส่ผง (Watch glass)

4.1.6 โปรแกรม Image J



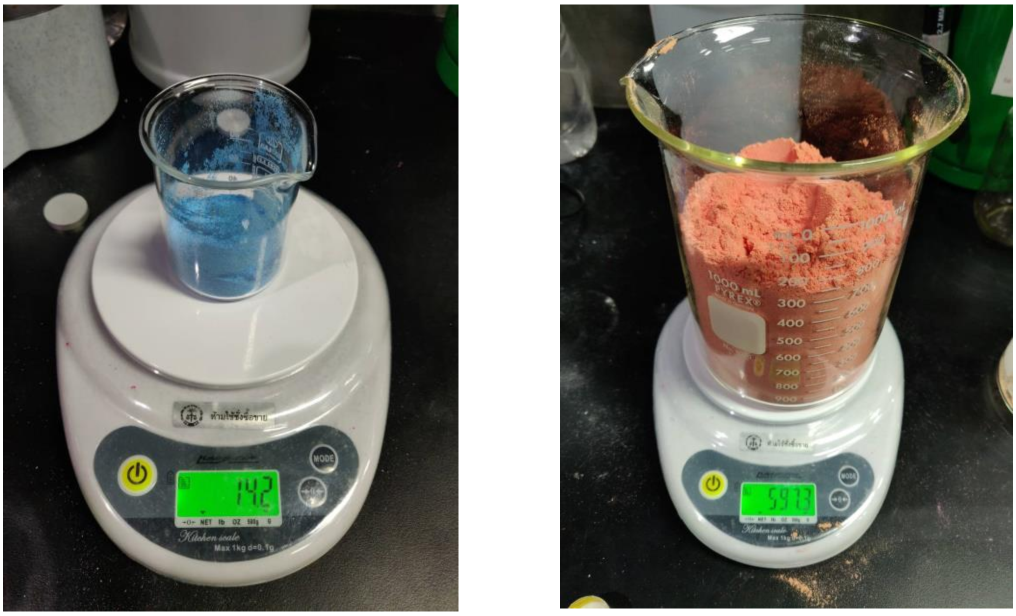
รูปที่ 4.6 โปรแกรม Image J

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

4.2.1 เตรียมผงวัสดุ เนื่องจากผงที่ใช้ในการทดลองมีสีเป็นสีขาวทั้งสองผง ทำให้การตรวจสอบ ความเข้ากันของผงเป็นไปได้ยากจึงทำการผสมสีให้ต่างกัน โดยผงพอลิเอทิลีนผสมสีเป็นสีฟ้าและผงอลูมิเนียมออกไซค์ เป็นสีแดง

รูปที่ 4.7 เตรียมผงพอลิเอทิลีนสีฟ้า(ซ้าย) และอลูมิเนียมออกไซค์สีแดง(ขวา)

4.2.2 วัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักของผงพอลิเอทิลีนและผงอลูมิเนียมออกไซค์



รูปที่ 4.8 วัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักของผงพอลิเอทิลีน(ซ้าย) และผงอลูมิเนียมออกไซค์(ขวา)

4.2.3 นำผงใส่ถังผสมผง โดยถังผสมผงเป็นถังปริมาตร 1ลิตร ซึ่งลำดับการใส่ผงนั้นจะใส่ผงอลูมิเนียมออกไซค์และตามด้วยใส่ผงพอลิเอทิลีน และจะใส่ผงทั้งสองคนละฝั่งของถังผสมผง

รูปที่ 4.9 นำผงใส่ถังผสมผง

4.2.4 เปิดสวิตช์อีเมอร์เจนซี่ (Emergency Switch)

รูปที่ 4.10 เปิดสวิตช์อีเมอร์เจนซี่

4.2.5 ปรับตั้งรอบที่ใช้ผสมผง โดยสเกลที่แสดงเป็นแบบเปอร์เซ็น ซึ่งวิธีปรับตั้งคือ (จำนวนรอบที่ต้องการx100)/50

รูปที่ 4.11 ปรับตั้งรอบที่ใช้ผสมผง

4.2.6 ปรับตั้งเวลาที่ใช้ผสมผง โดยจะมีเปลี่ยนตัวเลขตั้งแต่ 0-9 และเปลี่ยนหน่วยตั้งแต่ วินาที (S) , นาที (M) , ชั่วโมง (H)

รูปที่ 4.12 ปรับตั้งเวลาที่ใช้ผสมผง

4.2.5 กดปุ่มสตาร์ท (Start) เพื่อเดินเครื่อง

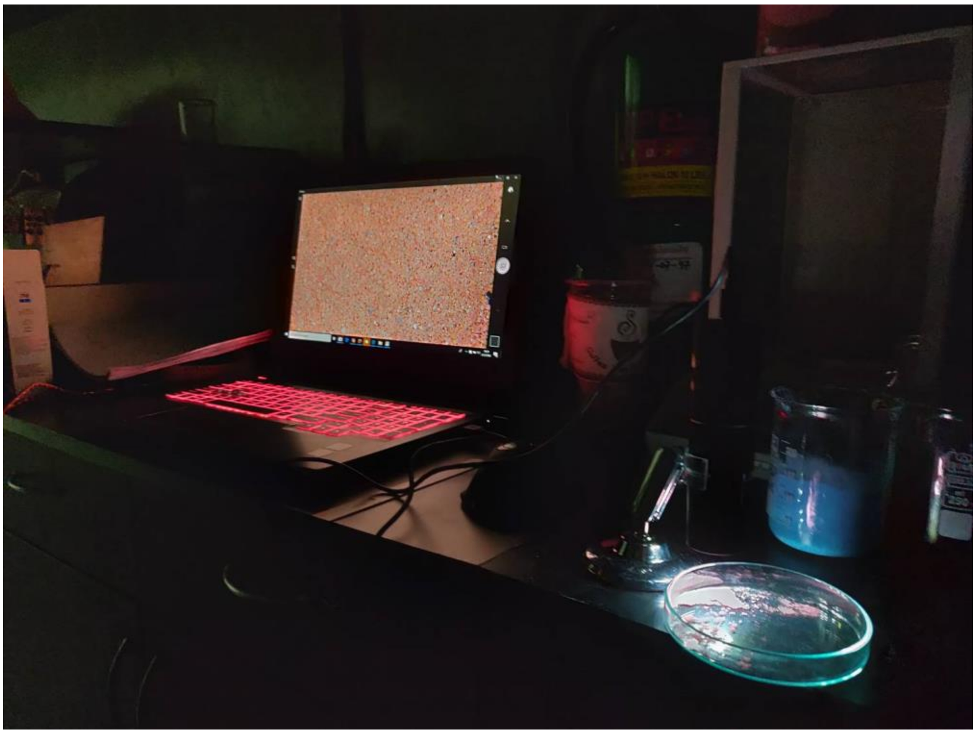
รูปที่ 4.13 กดปุ่มสตาร์ท (Start)

4.2.6 กดปุ่มหยุด (Stop) เมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้เพื่อทำการรีเซ็ตเวลาที่ตั้งไว้ และกดปุ่มสตาร์ทอีกครั้งเพื่อต้องการให้เครื่องทำงานต่อ

รูปที่ 4.14 กดปุ่มหยุด (Stop)

4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผงด้วยโปรแกรม Image J

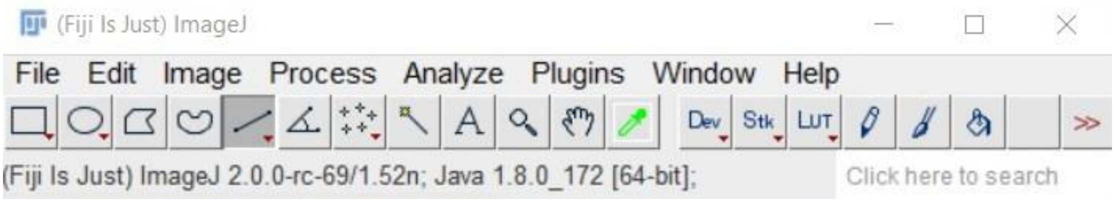
4.3.1 ต่อกล้องส่องผงกับคอมพิวเตอร์หรือโน๊ตบุค



รูปที่ 4.15 ต่อกล้องส่องผงกับคอมพิวเตอร์หรือโน๊ตบุค

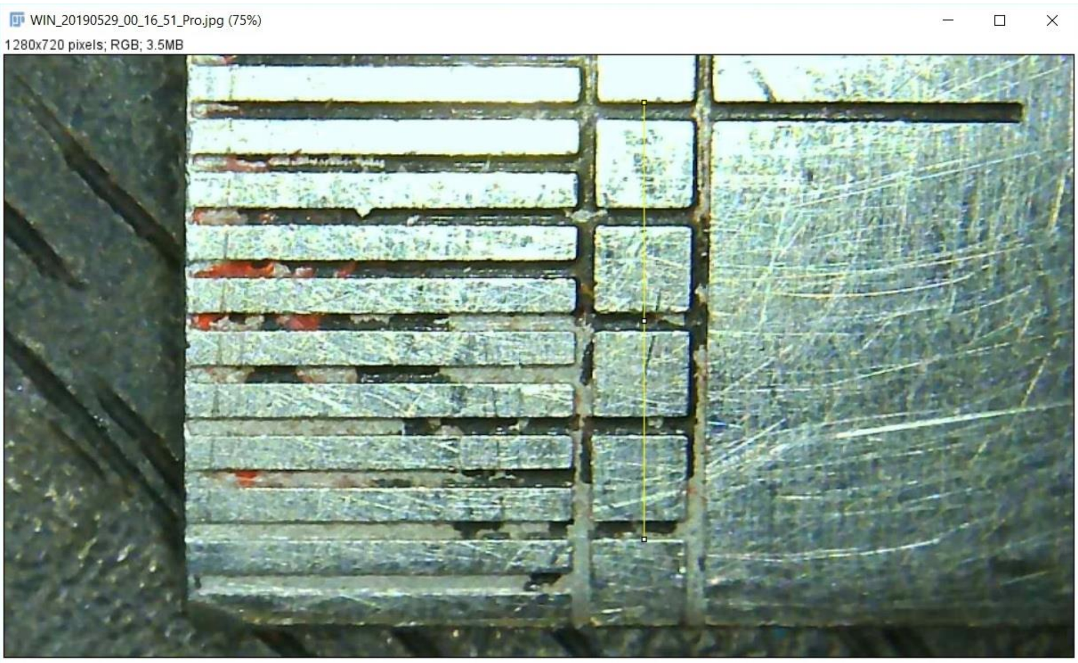
4.3.2 นำผงใส่ในจานแก้วใส่ผงแล้วถ่ายรูปผงและไม้บรรทัด

4.3.3 เปิดโปรแกรม Image J



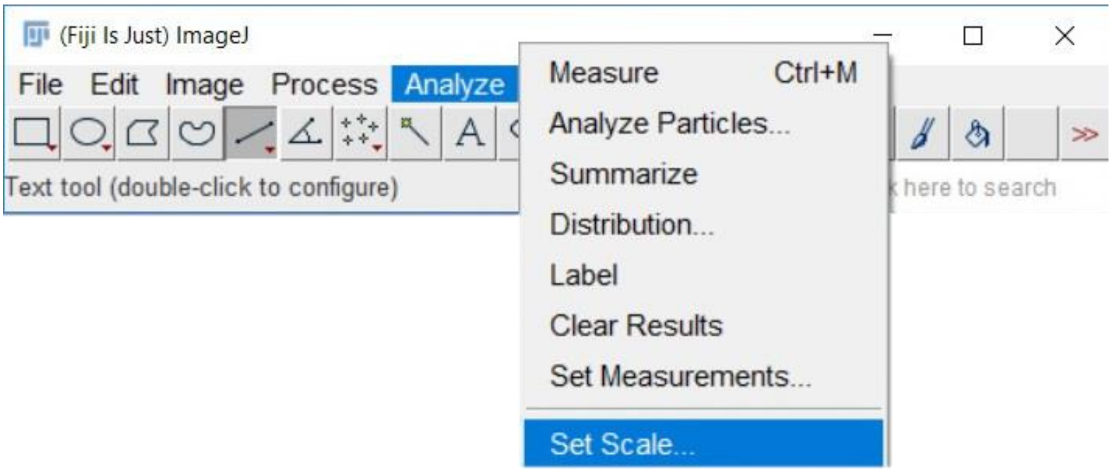
รูปที่ 4.16 โปรแกรม Image J

4.3.4 เปิดรูปไม้บรรทัดที่ถ่ายไว้ ใช้คำสั่งสร้างเส้น ลากเส้นตั้งแต่ 1-5 mm



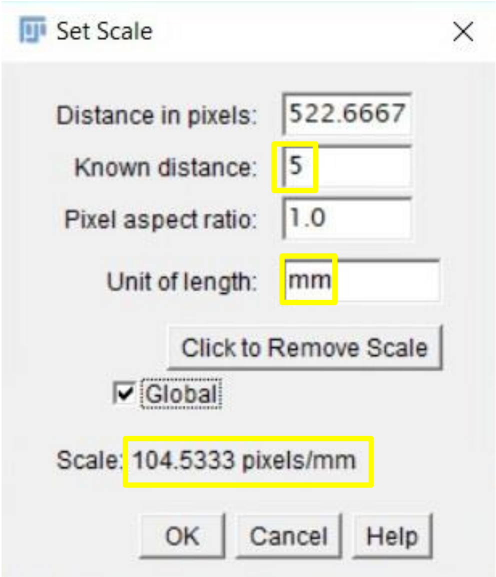
รูปที่ 4.17 เปิดรูปไม้บรรทัด

4.3.4 เข้าคำสั่ง Analyze > Set scale เพื่อกำหนดขนาดของภาพ



รูปที่ 4.18 เข้าคำสั่ง Analyze > Set scale

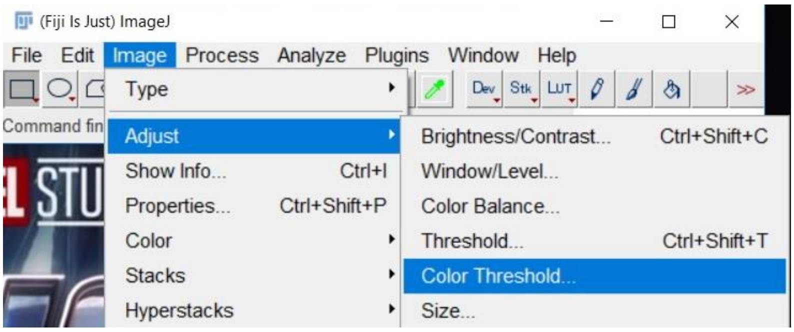
4.3.5 กำหนดขนาดของเส้น (Known distance) และกำหนดหน่วย (Unit of length) เลือก Global เพื่อใช้กับทุกรูป จะเห็นว่าหน่วยของภาพเป็นเป็น pixels/mm และจะได้ ขนาดของภาพทั้งหมดเป็น 12.24x6.89 mm



รูปที่ 4.19 หน้าต่าง Set scale

4.3.6 เปิดรูปผงที่ถ่ายไว้

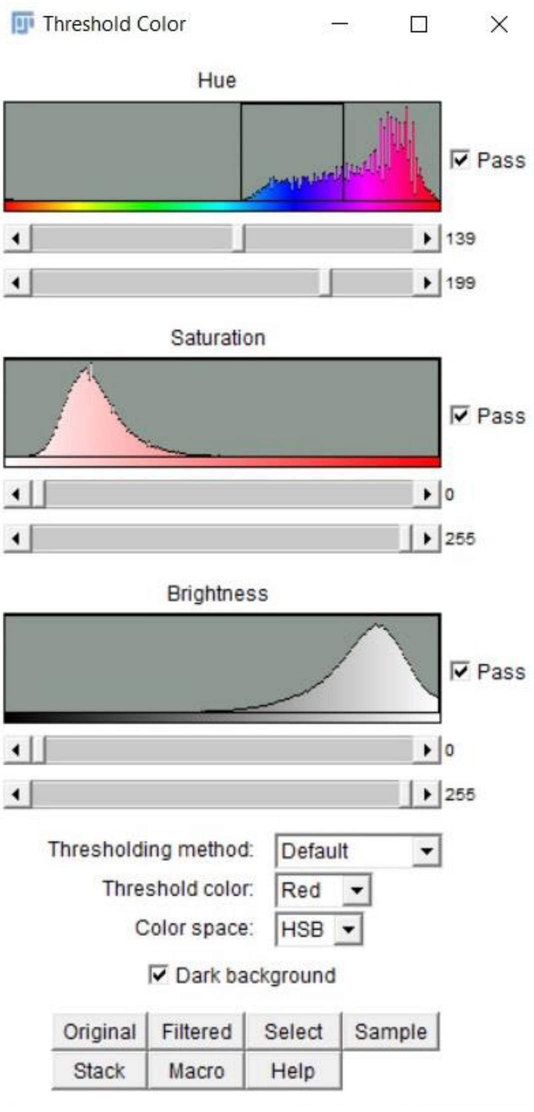
4.3.7 เข้าคำสั่ง Image > Adjust > Color Threshold เพื่อเลือกสีในการวิเคราะห์



รูปที่ 4.20 เข้าคำสั่ง Image > Adjust > Color Threshold

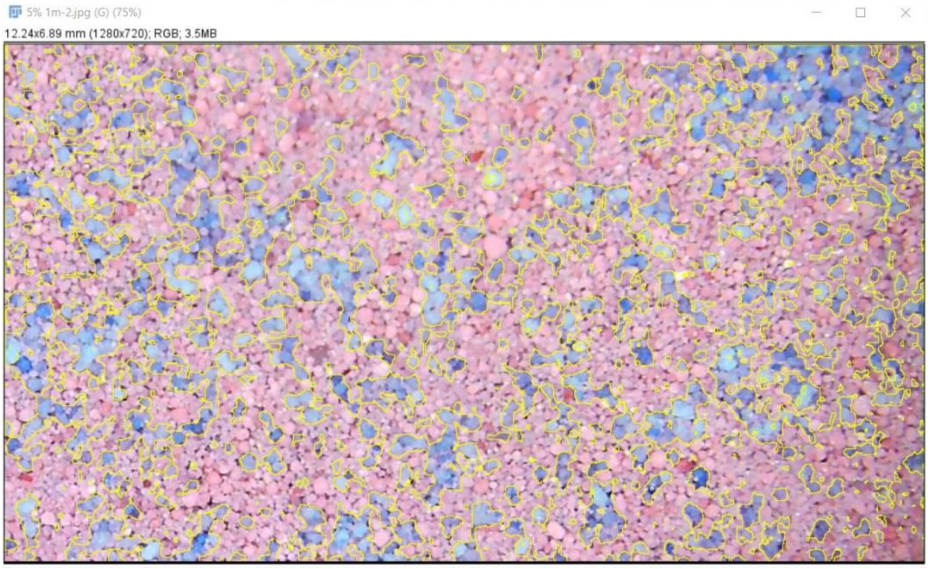
4.3.8 โดยจะอธิบายคำสั่งของ Color Threshold ดังนี้

1. Hue คือ การกำหนดช่วงของสีที่เราต้องการ โดยจะเลือกช่วงประมาณ 139-199 (สีฟ้า-สีน้ำเงิน)
2. Saturation คือ การกำหนดช่วงความอิ่มตัวของสี โดยจะเลือกช่วง 0-255
3. Brightness คือ การกำหนดช่วงของความสว่างของสี โดยจะเลือกช่วง 0-255
4. Thresholding method คือ รูปแบบการวิเคราะห์ โดยเลือกใช้ Default
5. Threshole color คือ พื้นที่สีที่เราเลือกให้เป็นสีอะไร โดยจะเลือกเป็นสีแดง
6. Color space คือ รูปแบบของสีที่จะกำหนด โดยจะเลือกเป็น HSB



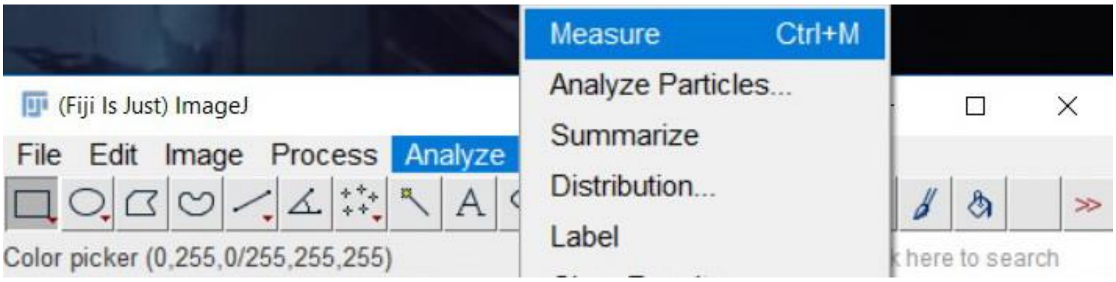
รูปที่ 4.21 หน้าต่างคำสั่ง Color Threshold

4.3.9 เมื่อกำหนดพื้นที่สีที่จะวิเคราะห์เสร็จแล้ว ให้เลือกคำสั่ง Select จากนั้น โปรแกรมจะวงพื้นที่ที่เราเลือกไว้ให้



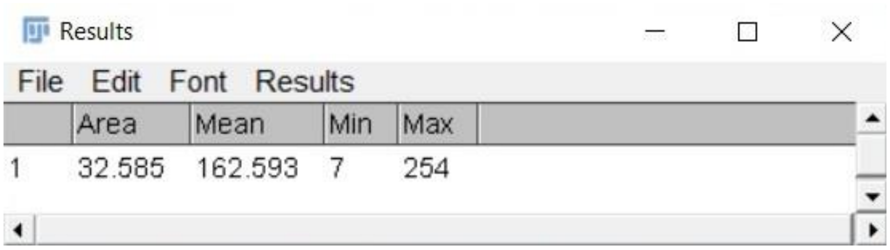
รูปที่ 4.22 กำหนดพื้นที่สีที่จะวิเคราะห์

4.3.10 เข้าคำสั่ง Analyze > Measure เพื่อแสดงผลในการวิเคราะห์ของสี



รูปที่ 4.23 เข้าคำสั่ง Analyze > Measure

4.3.11 โปรแกรมจะแสดงข้อมูลต่างๆของสี โดยจะมี พื้นที่ (Area), ค่าเฉลี่ยของสี (Mean), ค่าต่ำสุดของสี (Min), ค่าสูงสุดของสี (Max)



รูปที่ 4.24 หน้าต่างคำสั่ง Measure

4.3.12 นำค่าต่างๆมาใส่ในตาราง เพื่อในมาวิเคราะห์ต่อไปในหัวข้อผลการทดลอง

4.4 ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการผสมผง โดยจะแบ่งการทดลองเป็น 3 รอบ รอบละ 8 ครั้ง แต่ละรอบจะเปลี่ยนอัตราส่วนผสมเป็น 2% , 5% และ 8% ที่ความเร็วรอบ 20 รอบ/นาที ซึ่งการทดลองทุกครั้งจะเก็บตัวอย่างการผสมและสรุปอยู่ในตารางที่ 4.1 - 4.3 โดยจะบอกรายละเอียดส่วนผสมดังนี้

4.4.1 ผงอลูมิน่า–พอลีเอทีลีน โดยมีพอลีเอทีลีน 2%

- ผงอลูมิเนียมออกไซค์ 588 ml, 490 g (98%)
- ผงพอลีเอทีลีน 12 ml, 6.4 g (2%)

4.4.2 ผงอลูมิน่า–พอลีเอทีลีน โดยมีพอลีเอทีลีน 5%

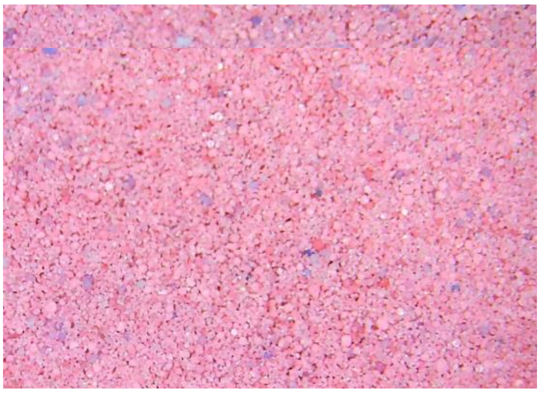
- ผงอลูมิเนียมออกไซค์ 570 ml, 475 g (95%)
- ผงพอลีเอทีลีน 30 ml, 16 g (5%)

4.4.3 ผงอลูมิน่า–พอลีเอทีลีน โดยมีพอลีเอทีลีน 8%

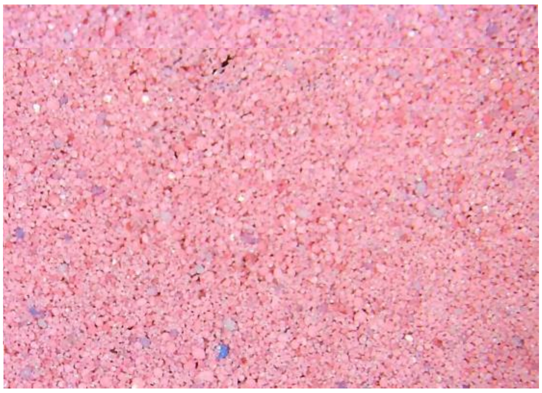
- ผงอลูมิเนียมออกไซค์ 552 ml, 460 g (92%)
- ผงพอลีเอทีลีน 48 ml, 25.6 g (8%)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีน โดยมีพอลีเอทีลีน 2%

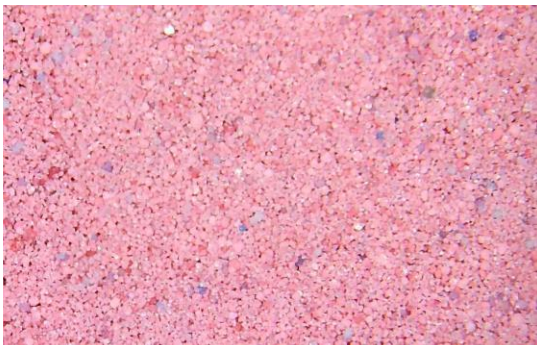
การทดลองครั้งที่	เวลา (นาที)	พื้นที่ทั้งหมด (mm^2)	พื้นที่สีฟ้า (mm^2)	ประสิทธิภาพการผสม
1	1	84.33	2.305	97.27%
2	2	84.33	1.360	98.39%
3	3	84.33	0.605	99.28%
4	4	84.33	0.130	99.84%
5	5	84.33	0.181	99.78%
6	10	84.33	0.053	99.93%
7	15	84.33	0.098	99.88%
8	20	84.33	0.029	99.96%
ประสิทธิภาพการผสมเฉลี่ย				99.29%



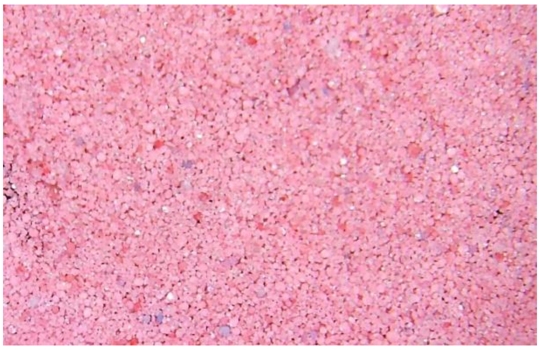
3 นาที



4 นาที

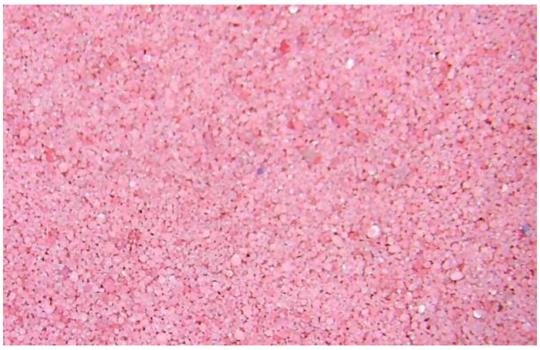


5 นาที



10 นาที

15 นาที

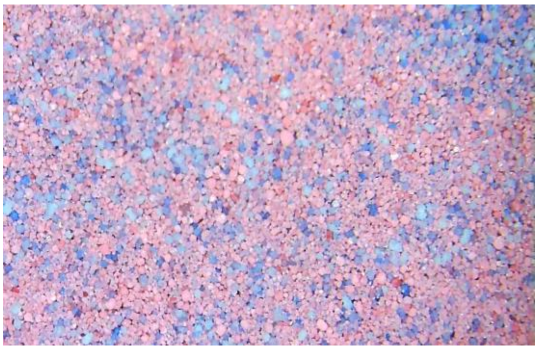
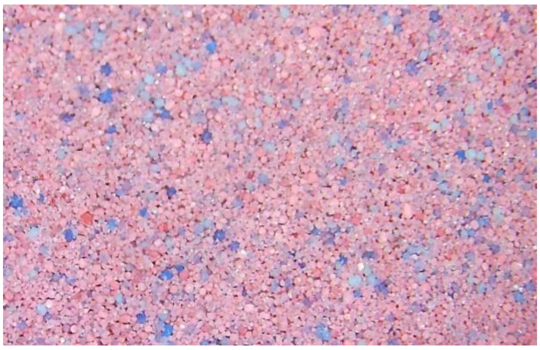


20 นาที

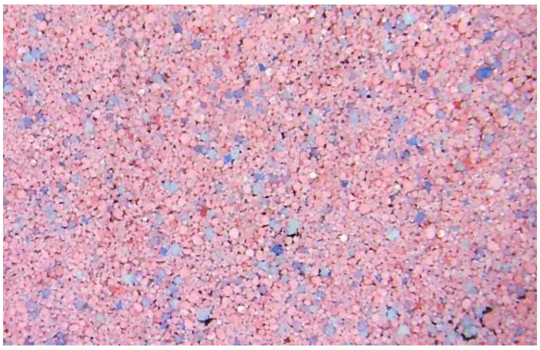
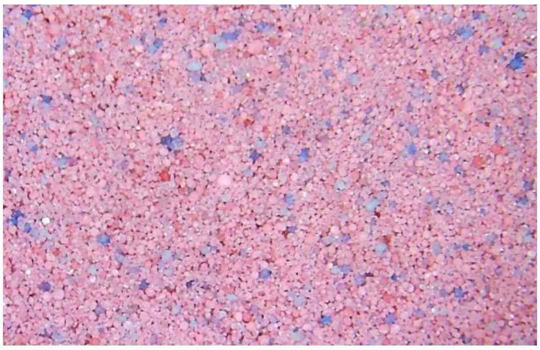
รูปที่ 4.25 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีนโดยมีพอลีเอทีลีน 2% ตั้งแต่ 1-20 นาที

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีน โดยมีพอลีเอทีลีน 5%

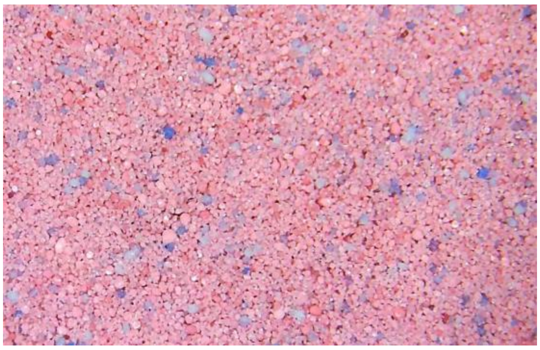
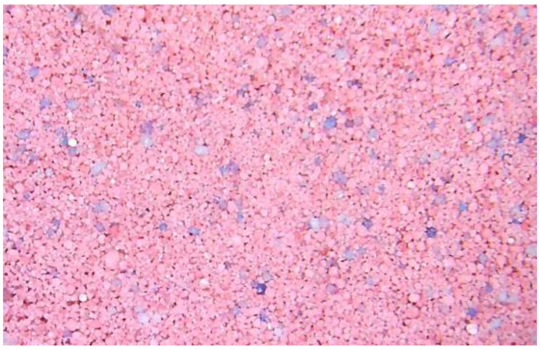
การทดลองครั้งที่	**เวลา (นาที)**	**พื้นที่ทั้งหมด (mm^2)**	**พื้นที่สีฟ้า (mm^2)**	**ประสิทธิภาพการผสม**
1	1	84.33	33.239	60.58%
2	2	84.33	8.963	89.37%
3	3	84.33	6.861	91.86%
4	4	84.33	6.226	92.62%
5	5	84.33	2.498	97.04%
6	10	84.33	1.722	97.95%
7	15	84.33	1.212	98.56%
8	20	84.33	0.926	98.90%
ประสิทธิภาพการผสมเฉลี่ย				90.86%

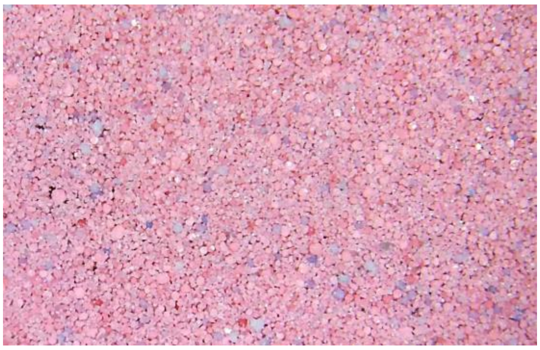
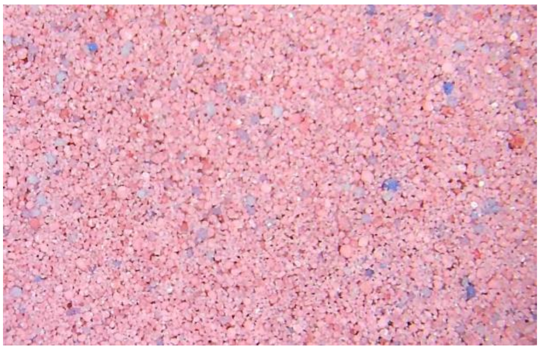
1 นาที 2 นาที

3 นาที 4 นาที

5 นาที 10 นาที

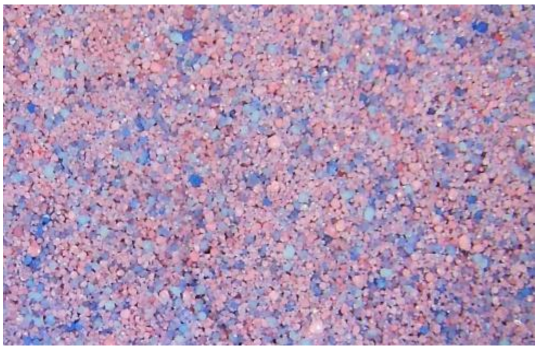



15 นาที 20 นาที

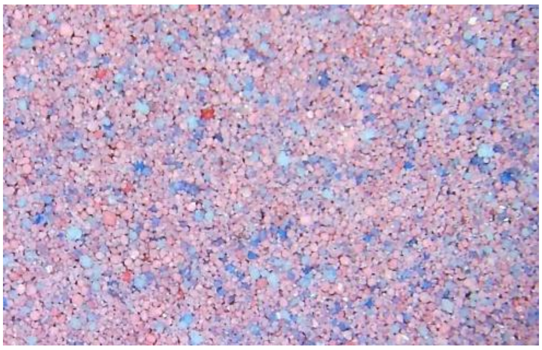
รูปที่ 4.26 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีนโดยมีพอลีเอทีลีน 5% ตั้งแต่ 1-20 นาที

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีน โดยมีพอลีเอทีลีน 8%

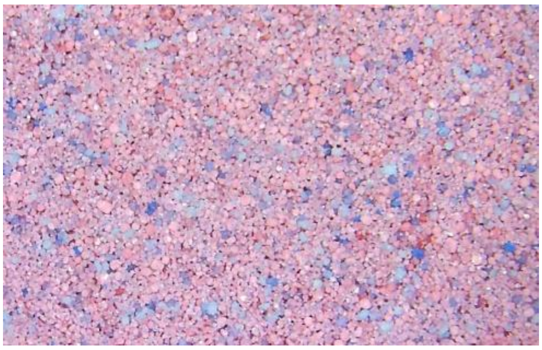
การทดลองครั้งที่	**เวลา (นาที)**	**พื้นที่ทั้งหมด (mm^2)**	**พื้นที่สีฟ้า (mm^2)**	**ประสิทธิภาพการผสม**
1	1	84.33	35.892	57.44%
2	2	84.33	21.659	74.31%
3	3	84.33	9.169	89.13%
4	4	84.33	5.300	93.72%
5	5	84.33	8.140	90.35%
6	10	84.33	3.983	95.28%
7	15	84.33	1.332	98.42%
8	20	84.33	0.724	99.14%
ประสิทธิภาพการผสมเฉลี่ย				87.22%



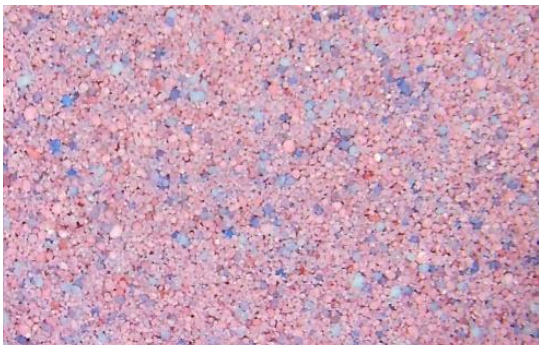
1 นาที



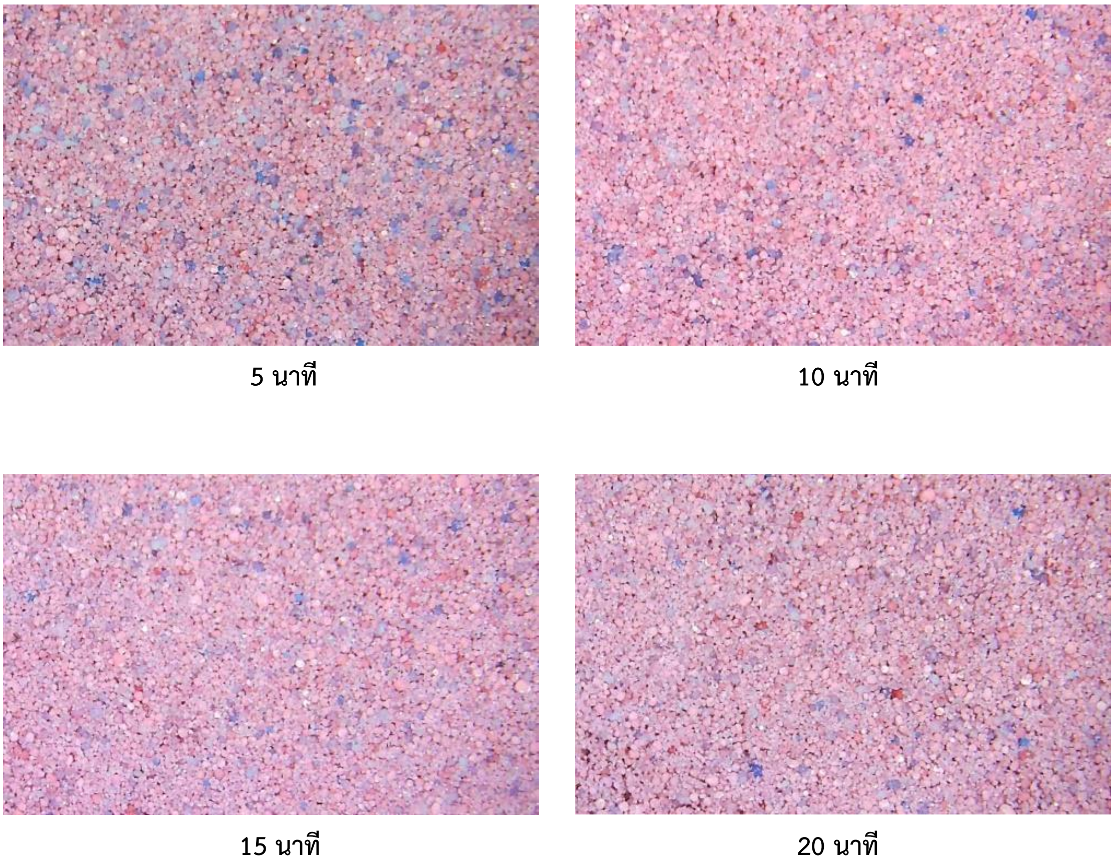
2 นาที



3 นาที



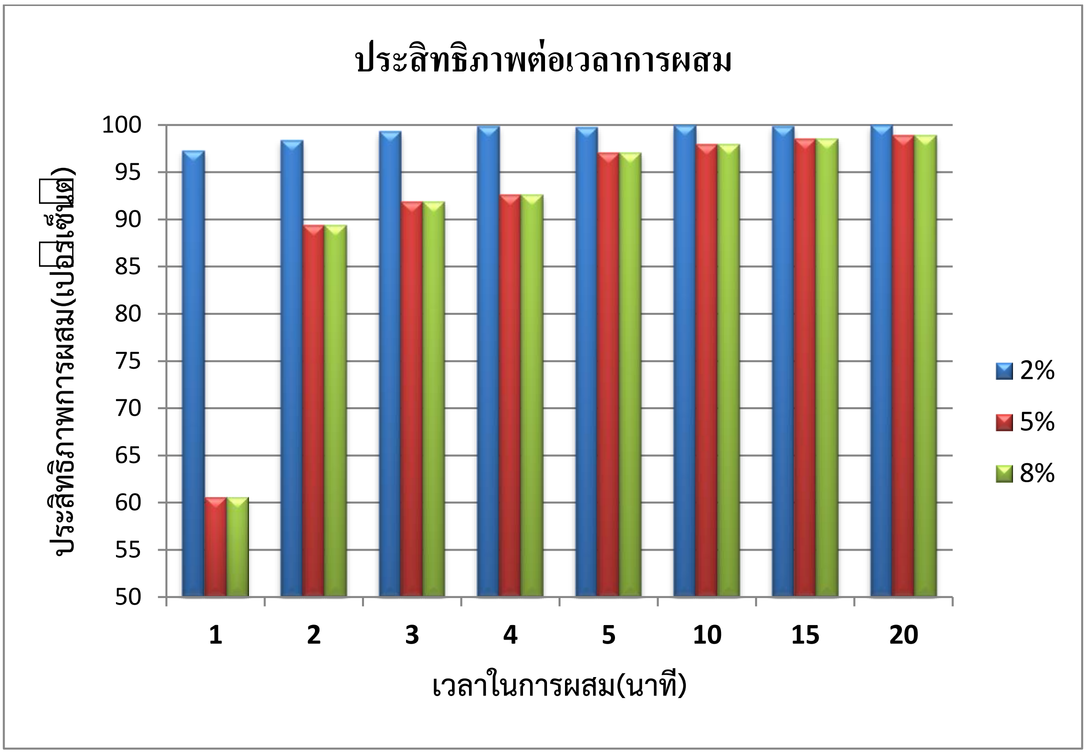
4 นาที



รูปที่ 4.27 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีนโดยมีพอลีเอทีลีน 8%

4.4 สรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.1-4.3 จะพบว่าถ้าเพิ่มอัตราส่วนผสมจะทำให้ประสิทธิภาพการผสมลดต่ำลงมากในนาทีแรกและจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งประสิทธิภาพจะใกล้เคียงกันเวลาประมาณ 5-20 นาที

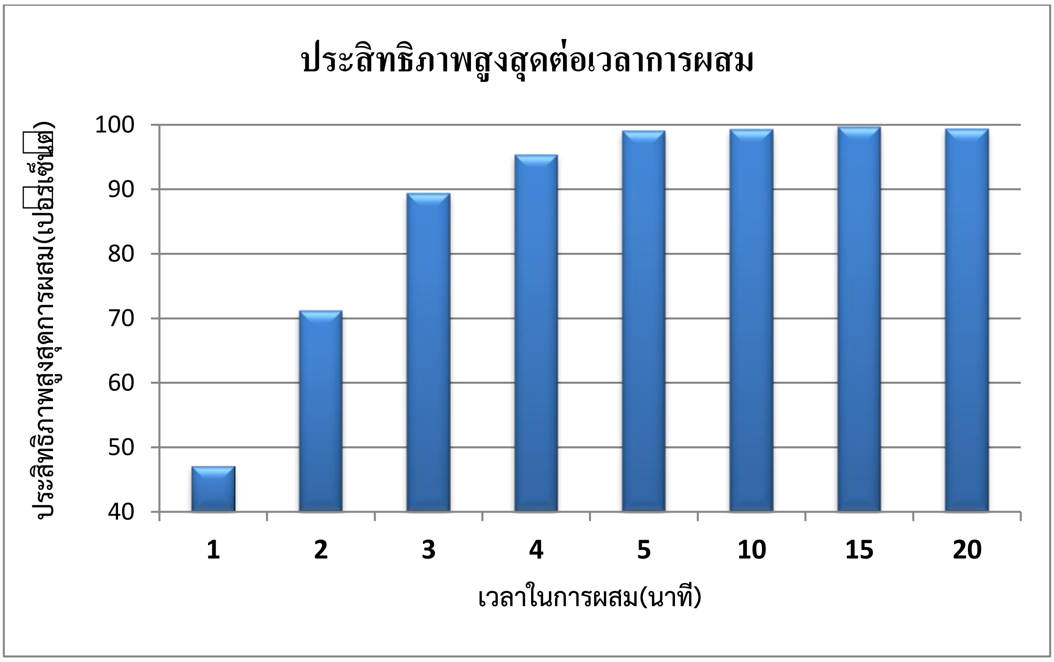


รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพต่อเวลาการผสม

จากตารางที่ 4.1 - 4.3 ที่เวลา 20 นาที ความรอบ 20 รอบ/นาที พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องผสมผงไม่ถึง 100% จึงทำการหาประสิทธิภาพสูงสุดโดยใช้ความเร็วรอบสูงสุดของเครื่องผสมที่ 50 รอบ/นาที เพื่อให้ทราบว่าประสิทธิภาพสูงสุดการผสมถึง 100% ได้หรือไม่

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองอลูมิน่า–พอลีเอทีลีน โดยมีพอลีเอทีลีน 8% ที่ความรอบ 50 รอบ/นาที

การทดลองครั้งที่	**เวลา (นาที)**	**พื้นที่ทั้งหมด (mm^2)**	**พื้นที่สีฟ้า (mm^2)**	**ประสิทธิภาพการผสม**
1	1	84.33	44.615	47.09%
2	2	84.33	24.186	71.13%
3	3	84.33	8.923	89.41%
4	4	84.33	3.922	95.35%
5	5	84.33	0.797	99.05%
6	10	84.33	0.618	99.26%
7	15	84.33	0.226	99.73%
8	20	84.33	0.536	99.36%
ประสิทธิภาพสูงสุดการผสมเฉลี่ย				99.95%



รูปที่ 4.29 ประสิทธิภาพสูงสุดต่อเวลาการผสม

จากตารางที่ 4.4 ทำให้ทราบว่าไม่สามารถเพิ่มสิทธิภาพของการผสมถึง 100% ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 98-99 % เวลาที่ใช้ในการผสม 15-20 นาที ถึงจะทำให้ผงผสมเข้ากันได้ จึงกำหนดให้ค่าที่เหลือ 1-2 % เป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Error) จะสรุปได้ว่า

- อัตราส่วนผสม 2% ใช้รอบในการหมุนประมาณ 40 รอบ ถึงทำให้ผงผสมเข้ากัน
- อัตราส่วนผสม 5% ใช้รอบในการหมุนประมาณ 200 รอบ ถึงทำให้ผงผสมเข้ากัน
- อัตราส่วนผสม 8% ใช้รอบในการหมุนประมาณ 300 รอบ ถึงทำให้ผงผสมเข้ากัน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงงาน

โครงงานนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องผสมผงวัสดุ V-blender โดยศึกษาทฤษฎีวัสดุเชิงประกอบ กรรมวิธีการผสมผงและถังผสมรูปทรงตัววี มาใช้ในการออกแบบในการสร้างเครื่องผสมผงวัสดุ V-blender ซึ่งได้เลือกเหล็กไร้สนิมหรือสแตนเลส 304 AISI ที่ทนต่อความเค้นและแรงกระทำ มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบถังผสม ซึ่งทำให้ถังผสมสามารถทนต่อการกัดกร่อนต่อผงวัสดุที่ใช้ในการผสมได้ดี รวมไปถึงเพลาที่ใช้ในการส่งแรงในการหมุนของถังผสมเพื่อให้อายุการใช้งานของเครื่องผสมใช้ได้ยาวนานที่สุด

เครื่องผสมผงวัสดุ V-blender ใช้โปรแกรม Solidworks มาช่วยในการออกแบบและการสร้างเครื่อง โดยอุปกรณ์หลักของเครื่องผสมผงวัสดุ V-blender จะมีมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 60 วัตต์ ความเร็วรอบสูงสุด 150 รอบ/นาที มอเตอร์จะส่งกำลังมาที่ล้อโซ่ด้วยอัตราทดที่ 3:1 ทำให้สามารถส่งกำลังด้วยความเร็วรอบสูงสุด 50 รอบ/นาที และภายนอกตัวเครื่องใช้แผ่นสแตนเลสปิดไว้เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน

จากการทดลองผสมผงของเครื่องผสมผงวัสดุ V-blender 1 ลิตร ประสิทธิภาพสูงสุดการผสมเฉลี่ย 99.95% ใช้เวลา 5 นาที ความเร็วรอบสูงสุด 50 รอบ/นาที ที่อัตราส่วนผสม 8% ในการทำให้ผงผสมเข้าด้วยกัน และจะได้ปริมาตรผงที่ผสมแล้ว 0.6 ลิตร/ครั้ง

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1) สารทั้งสองชนิดมีสีเดียวกัน ทำให้ในการวิเคราะห์การเข้ากันของเนื้อสารเป็นไปได้ยาก

2) จากข้อ 1) ก่อนที่จะเริ่มทดลองผสมผงต้องนำผงที่ใช้ทดลองมาผสมสีก่อน ซึ่งคุณสมบัติของผงพอลิเอทีลีนไม่สามารถเข้ากันกับน้ำได้ จึงจำเป็นต้องนำผงไปอบเพื่อไล่ความชื้นออกจากผงและให้ผงผสมเข้ากับเนื้อสีได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1) ในการทดลองผสมผงควรใส่ผ้าปิดปาก แว่นตา หรือถุงมือ เพราะผงทั้งสองชนิดนั้น ถ้าสัมผัสหรือสูดดมอาจจะทำให้ระคายเคืองได้

2) การเก็บผงทั้งสองชนิดควรเก็บในที่ภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด และต้องไม่ควรเก็บผงไว้ในที่เปียกและชื้น

3) ในการทดลองควรเป็นห้องที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก

4) การติดตั้งของเครื่องผสมผงวัสดุ V-blender ควรวางที่โต๊ะที่มีความแข็งแรง

บรรณานุกรม

[1] หฤทภัค กีรติเสวี และคนอื่นๆ. (2552). ภาพรวมของวัสดุเชิงประกอบ. วิศวกรรมสาร มก., 22 (70) ,18-32 สืบค้นเมื่อ 9 กันยายน 2561.

[2] นายมาโนช นำฟู นายกรกฏ รอดสุขเจริญ นายปริวัตร วงษ์เมืองแก่น และนายอภิเดช พิมพา 2557 “การพัฒนาเครื่องผสมผงยาสมุนไพร” แหล่งที่มา :ปริญญานิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

[3] ศ.ดร.วริทธิ์ อิ๊งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน. (2556). การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1 สืบค้นเมื่อ 30 เมษายน 2562

[4] นายราชศักดิ์ ทองศรี. 2555 “การพัฒนาเซนเซอร์จากระบบแมคคานิกส์เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องพิมพ์ทอริตี้” แหล่งที่มา :ปริญญานิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสยาม

[5] P. E. Arratia, N.-h. Duong, F. J. Muzzio, P. Godbole, and S. Reynolds, "A study of the mixing and segregation mechanisms in the Bohle Tote blender via DEM simulations," Powder Technology, vol. 164, pp. 50-57, 5/4/2018.

[6] ดรรชนี พัทธวรากร. 2556. เทคโนโลยีกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.inc.science.cmu.ac.th/thai/media-detail.php?id=250 สืบค้นเมื่อ 30 เมษายน 2562

[7] “พอลิเอทิลีน” [ออนไลน์] แหล่งที่มา https://www.watanabhand.co.th/โพลีเอทิลีน/ สืบค้นเมื่อ 14 พฤษภาคม 2562

[8] “ผงพอลิเอทิลีน” [ออนไลน์] แหล่งที่มา https://www.indiamart.com/proddetail/polyethylene-wax-powder-16055176833.html สืบค้นเมื่อ 14 พฤษภาคม 2562

[9] Yoshiyasu Mizuno, เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง Alumina Ceramic .2542 แหล่งที่มา: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สืบค้นเมื่อ 14 พฤษภาคม 2562

[10] “อลูมินา” [ออนไลน์] แหล่งที่มา http://th.yishunglaze.com/ceramic-raw-material/alumina-oxide/zibo-ceramic-raw-material-calcined-alumina.html สืบค้นเมื่อ 14 พฤษภาคม 2562

[11] “โปรแกรม ImageJ” [ออนไลน์] แหล่งที่มา https://sites.google.com/site/thaiimagej/home สืบค้นเมื่อ 14 พฤษภาคม 2562

ประวัติผู้จัดทำ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายปิยะพัน กลับแสง
วัน-เดือน-ปีเกิด	14 กรกฎาคม 2538
ที่อยู่	389/205 หมู่ที่ 4 ต.ในคลองบางปลากด อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ 10290
ประวัติการศึกษา	
ปวช.	วิทยาลัยอาชีวศึกษาเทคนิควิทยา
ปวส.	วิทยาลัยอาชีวศึกษาเทคนิควิทยา
วศ.บ.	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2561
โทรศัพท์	086-394-1998
E-mail Address	pp.pong452@gmail.com

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสุรเชษฐ หมื่นเทพ
วัน-เดือน-ปีเกิด	30 เมษายน 2539
ที่อยู่	182 หมู่ 7 ต.คณฑี อ.เมือง จ.กำแพงเพชร 62000
ประวัติการศึกษา	
ปวช.	วิทยาลัยอาชีวศึกษาเทศบาลเมืองกำแพงเพชร
ปวส.	วิทยาลัยเทคโนโลยียานยนต์
วศ.บ.	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2561
โทรศัพท์	063-647-1607
E-mail Address	Harit_max@hotmail.com

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ โดยได้รับการสนับสนุนและได้รับคำปรึกษาจาก ดร. ประกอบ ชาติภุกต์ ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ อาจารย์พลรัชต์ บุญมี และอาจารย์ประจำวิชาที่ให้คำแนะนำ และถ่ายทอดความรู้ตลอดจนควบคุมการทำโครงงานจนประสบความสำเร็จด้วยดี คณะผู้จัดทำโครงงาน ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ที่กรุณาตรวจสอบความถูกต้องของโครงงานรวมทั้งบุคคลที่ปรากฏตามรายการอ้างอิงที่ผู้ทำโครงงานใช้อ้างอิง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านรวมทั้งเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ได้ให้ความสะดวกต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงงาน

ประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำโครงงานขอมอบเป็นกตัญญุตา บูชาแด่ บิดา มารดา ครูอาจารย์ ตลอดผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายปิยะพัน กลับแสง
นายสุรเชษฐ หมื่นเทพ