สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงเสถียรภาพของอนุภาคอัลคาไลน์เอิร์ทแขวนลอย สำหรับแร่ธาตุเสริมของพืช

นายชินณวุฒิ จูมจันทา
นางสาวพัชรี ชัยฤกษ์

เลขหมู่ 62348
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 16 ส.ค. 2549

b
i

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Improvement of Colloidal Alkaline Earth Stability for Plant Nutrition Application

Mr. Chinnawut Joomjantha

Miss Patchalee Chairurk

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Bachelor of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การปรับปรุงเสถียรภาพของอนุภาคอัลคาไลน์เอิร์ทแขวนลอย สำหรับแร่ธาตุเสริมของพืช
จัดทำโดย	นายชินณวุฒิ จูมจันทา เลขประจำตัว 46015531 นางสาวพัชรี ชัยฤกษ์ เลขประจำตัว 46015541
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์)

.....กรรมการ
(ดร.นริศรา ทองบุญชู)

.....กรรมการ
(อ.รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การปรับปรุงเสถียรภาพของอนุภาคอัลคาไลน์เอิร์ทแขวนลอย สำหรับแร่ธาตุเสริมของพืช
โดย นายชินณวุฒิ จูมจันทา รหัสประจำตัว 46015531
นางสาวพัชรี ชัยฤกษ์ รหัสประจำตัว 46015541
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงสูตรการผลิตเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของอนุภาคอัลคาไลน์เอิร์ทแขวนลอยสำหรับแร่ธาตุเสริมของพืช เน้นการศึกษาวัตถุดิบในกลุ่มแคลเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี ใช้วัตถุดิบที่มีภายในประเทศเพื่อทดแทนการนำเข้า โดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากประเทศออสเตรเลียและอังกฤษ

จากการศึกษาพบว่า ขนาดอนุภาคในกลุ่มแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A ที่เตรียมได้ มีขนาดใหญ่ ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะและความหนืดมีค่าน้อย ส่งผลทำให้สารตัวอย่างตกตะกอนเร็ว จึงพัฒนาโดยใช้เทคนิคหัวเชื้อเข้มข้นด้วยเครื่องบดชนิด บอลมิลล์ เพื่อลดขนาดอนุภาคและเติมเอทิลีนไกลคอล ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ค่าเสถียรภาพในการแขวนลอย ประมาณ 30.47 ชั่วโมง และเทคนิคเบื้องต้นสามารถนำมาใช้กับแร่ธาตุ แมกนีเซียมออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต และซิงค์คาร์บอเนต เพื่อช่วยในการแขวนลอยของอนุภาค จากนั้นได้ทำการศึกษาแคลเซียมคาร์บอเนต ในลักษณะของเหลวข้น ซึ่งมีเสถียรภาพในการแขวนลอยได้ประมาณ 60 ชั่วโมง จึงเลือกใช้แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดนี้มาช่วยในการรักษาเสถียรภาพของแมกนีเซียมคาร์บอเนตชนิด A และ B พบว่าแมกนีเซียมคาร์บอเนตชนิด A ในอัตราส่วน 30 ต่อ 10 มีเสถียรภาพในการแขวนลอย ประมาณ 32.94 ชั่วโมง ซึ่งเหมาะสมในการนำไปผลิตระดับโรงงานต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Improvement of Colloidal Alkaline Earth Stability for Plant Nutrition Application
By	Mr. Chinnawut Joomjantha ID.46015531
	Miss Patchalee Chairurk ID.46015541
Advisor	Dr. Surat Areerat
Report for	Bachelor Degree of Chemical Engineering
	Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This research is worked on improving the production formula to increase the stability of colloidal alkaline-earth particle for plant nutrition such as calcium, magnesium and zinc group using the material within country to reduce import from foreign country. One main purpose of this work is to utilizing domestic raw material.

It found that the particle size in the calcium carbonate of type A was bigger than the products from Australia and England and the specific gravity of type A was smaller than the imported products. So these impacted on colloidal condition which particles had been fast settling. One way to develop is using master batch technique with Ball mill to reduce the particle size and adding ethylene glycol 10% by weight which gave the stability of colloid about 30.47 hr and this basic technique can apply to magnesium oxide, magnesium carbonate, zinc oxide and zinc carbonate to improve the colloid dispersion. Then studied calcium carbonate of slurry. It found that the slurry can use as substitute material for calcium carbonate type A and suspendible about 60 hr. These are the reasons in selecting calcium carbonate to improve the stability of magnesium carbonate type A and B. Magnesium carbonate type A in the ratio 30:10 would have the colloidal stability about 32.94 hr which was optimum for production in pilot scale.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ในด้านการค้นคว้า เสนอแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาของการทำโครงงาน รวมทั้งตรวจแก้รายงาน ทำให้โครงงานนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ประสิทธิ์ประศาสตร์วิชาและคำแนะนำในการงานวิจัยตลอดมา

พญ.นาฏ ฟองสมุทร กรรมการผู้จัดการ บริษัทแน็บสโตลเลอร์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อและสนับ-สนุนเงินทุนและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยและคำแนะนำเกี่ยวกับการเตรียมสารตัวอย่าง สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับปริญญาตรี ที่สนับสนุนทุนวิจัย และศูนย์เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พี่มีน พี่เอก พี่จุ พี่วิ ที่ให้คำแนะนำและปรึกษาในการออกแบบการทดลอง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดขึ้นจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แด่บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนคณาจารย์ที่เคารพทุกท่าน

อนึ่งยังมีผู้มีพระคุณอีกหลายท่านที่คณะผู้วิจัยไม่ได้กล่าวนาม หากมีสิ่งผิดพลาดประการใดในรายงานนี้ คณะผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

นายชินณวุฒิ จูมจันทา
นางสาวพัชรี ชัยฤกษ์

คณะผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ

กิตติกรรมประกาศ .....ฉ

สารบัญภาพ .....ช

สารบัญตาราง .....ญ

สัญลักษณ์และคำย่อ .....ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎี 4

2.1 คอลลอยด์ (Colloid) 4

2.2 การกระจายตัวของอนุภาค 5

2.3 การตกตะกอน 6

บทที่ 3 การทดลอง 9

3.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับการทดลอง 9

3.2 อุปกรณ์และเครื่องที่ใช้สำหรับการทดลอง 9

3.3 วิธีการทดลอง 10

บทที่ 4 ผลการทดลอง 14

4.1 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ 14

4.2 เสถียรภาพในการแขวนลอยโดยวิธีการบดด้วยลูกบอลเซรามิกซ์ 17

4.3 เสถียรภาพการแขวนลอยของสารตัวอย่างในลักษณะของเหลวข้น 20

4.4 การเพิ่มความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของของเหลว ที่มีผลต่อเสถียรภาพ
ของการแขวนลอย 23

4.5 เสถียรภาพของสารตัวอย่างชนิดอื่น 27

4.6 เสถียรภาพในการแขวนลอยของสารตัวอย่างที่เตรียมระดับโรงงานต้นแบบ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 37
5.1 สรุปผลการทดลอง 37
5.2 ข้อเสนอแนะ 38
เอกสารอ้างอิง 39
ภาคผนวก 40
ภาคผนวก ก 41
ภาคผนวก ข 44
ภาคผนวก ค 48
ภาคผนวก ง 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แรงต่างๆ ที่มีผลต่อการตกตะกอนของอนุภาค.....7
รูปที่ 4.1 ภาพจาก SEMของ $CaCO_3$ ชนิดต่าที่กำลังขยาย 5000 เท่า 14
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบภาพจาก SEM ของผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าและสารตัวอย่างที่
กำลังขยาย 5000 เท่า 15
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงลาก (Drag Force) กับขนาดอนุภาค 16
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงลอยตัว (Buoyant Force) กับขนาดอนุภาค 16
รูปที่ 4.5 ลักษณะการตกตะกอนของสารตัวอย่างชนิดต่างๆ 17
รูปที่ 4.6 ความเร็วในการตกตะกอนของสารตัวอย่างเทียบกับผลิตภัณฑ์
ที่นำเข้าต่างจากประเทศ 18
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่า T-10 ของสารตัวอย่างกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ 19
รูปที่ 4.8 ลักษณะการตกตะกอนของสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิดต่าง ๆ 21
รูปที่ 4.9 ค่า T-10 ของสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิดต่างๆ 22
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างที่เตรียมจาก
แคลเซียมคาร์บอเนตต่างชนิดกัน 22
รูปที่ 4.11 ผลการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารเติมแต่งต่างๆ ต่อความถ่วงจำเพาะ 23
รูปที่ 4.12 ลักษณะการตกตะกอนของสารตัวอย่าง เมื่อเติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ 24
รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบ ค่า T-10 หลังจากเติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ 25
รูปที่ 4.14 แสดงผลของปริมาณร้อยละของเอทิลีนไกลคอลต่อลักษณะการตกตะกอน.....26
รูปที่ 4.15 แสดงค่า T-10 เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณของเอทิลีนไกลคอล 26
รูปที่ 4.16 ลักษณะการกระจายตัวของสารตัวอย่าง 27
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบความหนืดของสารตัวอย่างจากการเตรียมด้วยวิธีต่างๆ 29
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบความถ่วงจำเพาะของสารตัวอย่าง
จากการเตรียมด้วยวิธีต่าง ๆ 29
รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่า T-10 ของสารตัวอย่างจากการเตรียมด้วยวิธีต่าง ๆ.....30
รูปที่ 4.20 ลักษณะสัณฐานวิทยาของของอนุภาคที่เตรียมจากแมกนีเซียมคาร์บอเนต
และซิงค์คาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 5000 เท่า 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่า T-10 เมื่อเปลี่ยนปริมาณแมกนีเซียมคาร์บอเนต ต่อแคลเซียมคาร์บอเนต 33

รูปที่ 4.22 ลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคของสารผสมระหว่างแคลเซียมคาร์บอนเนตลักษณะของเหลวข้นก้นแมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด A และ B....34

รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าความเสถียรภาพของการแขวนลอยของสารตัวอย่างที่ผลิตในระดับห้องทดลองและระดับโรงงานต้นแบบ 36

รูปที่ ง.1 ขั้นตอนการผสมสารตัวอย่างชนิดต่างๆ 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ชนิดของการกระจายตัวของกอลลอยด์ 5
ตารางที่ 3.1 สูตรการผสมสารตัวอย่าง 10
ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นของความถ่วงจำเพาะและความหนืด 17
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 4 ชนิด และผลิตภัณฑ์ที่นำเข้า 20
ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างจากการเตรียมด้วยวิธีต่าง ๆ 28
ตารางที่ 4.4 การควบคุมปริมาณอนุภาคของของแข็ง เข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมคาร์บอเนต ต่อแคลเซียมคาร์บอเนต 32
ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติต่าง ๆของสารตัวอย่าง เมื่อปรับเปลี่ยนสัดส่วนของปริมาณแมกนีเซียมคาร์บอเนตต่อแคลเซียมคาร์บอเนต 32
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารตัวอย่างระดับห้องทดลองและระดับโรงงานต้นแบบ 35
ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติต่าง ๆของแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด Socal 31 41
ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติต่าง ๆ ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีลักษณะของเหลวข้น 42
ตารางที่ ค.1 การทดสอบการตกตะกอนของสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก..... 48
ตารางที่ ค.2 ผลการศึกษาการเพิ่มความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของของเหลว โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ ที่มีความเข้มข้นในหน่วยร้อยละน้ำหนัก 49
ตารางที่ ค.3 ผลการศึกษาการเพิ่มความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของของเหลว โดยใช้ยูเรีย ที่ความเข้มข้นในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก 49
ตารางที่ ค.4 ผลการศึกษาการเพิ่มความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของของเหลว โดยใช้เอทธิลีนไกลคอล ที่มีความเข้มข้นในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค.5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเอทิลีนไกลคอล
ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 51
ตารางที่ ค.6 เปรียบเทียบการตกตะกอนของสารตัวอย่าง 9QQ เมื่อเติมและ
ไม่เติมเอทิลีนไกลคอล เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก 52
ตารางที่ ค.7 ผลการศึกษาการตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต
ชนิดต่างๆ เทียบกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศ
ออสเตรเลียและอังกฤษ 53
ตารางที่ ค.8 ผลการตกตะกอนของแร่ธาตุเสริมชนิดต่างๆ โดยไม่ใช้
เทคนิคหัวเชื้อเข้มข้น 54
ตารางที่ ค.9 ผลการตกตะกอนของแร่ธาตุเสริมชนิดต่างๆ โดยใช้
เทคนิคหัวเชื้อเข้มข้น 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

A : Projection Area (ตารางเซนติเมตร)

a : รัศมีของอนุภาค (เมตร)

C_D : สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (-)

F_b : แรงลอยตัว (นิวตัน)

F_D : แรงลาก (นิวตัน)

F_g : แรงโน้มถ่วงของโลก (นิวตัน)

g : แรงโน้มถ่วงของโลก คือ 9.81 เมตรต่อวินาที^{2}

m_s : มวลของอนุภาค (กิโลกรัม)

V_f : ปริมาตรของของไหล (ลูกบาศก์เมตร)

$T\text{-}10$: Sedimentation Stability Time (ชั่วโมง)

V : ปริมาตรสัมพัทธ์ (ลูกบาศก์เมตร)

η : ค่าความหนืดของสารตัวกลาง (เซนติพอยต์)

π : ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 3.141 (-)

ρ : ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ρ_f : ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ρ_p : ความหนาแน่นของอนุภาค (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศเกษตรกรรมหลักแห่งหนึ่งของโลกที่ผลิตข้าว พืชผักสด ยางพารา และผลไม้เพื่อการบริโภคภายในประเทศ รวมทั้งเป็นสินค้าส่งออกเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับประเทศเป็นจำนวนมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะการเกษตรที่มุ่งเน้นเพื่อการส่งออกจัดเป็นกระบวนการกึ่งอุตสาหกรรมที่ต้องมีการแข่งขันสูง และต้องตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าในต่างประเทศทั้งคุณภาพและปริมาณของผลผลิต ซึ่งหมายถึงการลดปริมาณการใช้สารเคมีที่มีพิษตกค้างในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร แต่เนื่องจากการเกษตรกรรมในลักษณะนี้ ยังจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งนอกจากอินทรีย์สารและแร่ธาตุกลุ่มพื้นฐานจำพวก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมแล้ว พืชยังต้องการแร่ธาตุเสริมอื่น ๆ (Plant nutrition) เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิต และช่วยสร้างภูมิคุ้มกันโรคให้กับพืช เช่น ช่วยให้รากมีความแข็งแรง ดูดซึมแร่ธาตุและสารอาหารได้ดีขึ้น มีใบที่แข็งแรงสังเคราะห์แสงได้ดีและช่วยต้านทานแมลงศัตรูพืช ซึ่งแร่ธาตุเสริมของพืช เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส เหล็ก และ สังกะสี เป็นต้น จากการศึกษาและวิจัยทั่วไป[1] พบว่าแร่ธาตุเสริมช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิต มีภูมิคุ้มกันโรคดีขึ้น และเป็นการช่วยลดการใช้ยาฆ่าแมลงที่เป็นสารเคมีที่เป็นพิษตกค้างอีกด้วย โดยทั่วไปแร่ธาตุเสริมเหล่านี้ไม่เป็นพิษตกค้าง เนื่องจากเป็นส่วนผสมหรือองค์ประกอบโดยทั่วไปของดิน แต่อาจมีจำนวนและชนิดแตกต่างกันออกไปตามสภาวะภูมิประเทศ ซึ่งทำให้ต้องมีการให้แร่ธาตุเหล่านี้เสริมเพิ่มเติมในกรณีที่ขาดแคลนซึ่งแร่ธาตุเสริมที่ได้กล่าวมานี้ สามารถหาได้จากสินแร่ภายในประเทศ แต่เนื่องจากกลไกในการป้อนแร่ธาตุเสริมเหล่านี้เข้าสู่การดูดซึมของพืชมีหลากหลายวิธีเช่น คลุกผสมกับดินที่ใช้เพาะปลูก ใช้โรยในลักษณะปุ๋ยเม็ด หรือผสมน้ำเพื่อใช้ฉีดพ่น ทำให้ต้องมีการผสมสูตรแร่ธาตุเหล่านี้ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนหรือวิธีการป้อนให้กับพืช โดยทั่วไปพบว่าวิธีการผสมน้ำให้เจือจางแล้วฉีดพ่นเป็นวิธีการที่นิยมใช้มาก เนื่องจากสะดวกและสามารถฉีดพ่นกระจายได้ในพื้นที่วงกว้าง สำหรับสวนเกษตรที่มีพื้นที่มาก จากลักษณะการใช้งานดังกล่าว ผู้ผลิตแร่ธาตุเสริมสำหรับพืชจึงใช้วัตถุดิบจากสินแร่ ปรับแต่งสภาพ หรือสังเคราะห์ในรูปลักษณะอนุภาค ที่เป็นผลึกขนาดเล็กของสารประกอบออกไซด์ และสารประกอบคาร์บอเนต เช่น แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นต้น นำมาผสมเข้ากับน้ำและสารเติมแต่งอื่น ๆ เช่น สารช่วยการกระจายตัว สารช่วยการแขวนลอย เป็นต้น โดยทั่วไปสารประกอบเหล่านี้มีความสามารถใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การละลายในน้ำได้น้อย และมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำประมาณ 2 – 5 เท่าของน้ำ ทำให้ผลึกหรืออนุภาคอัลคาไลน์เอิร์ทแขวนลอยอยู่ได้ไม่นานตกตะกอน ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการนำไปใช้งาน ซึ่งปัญหาเสถียรภาพของสารแขวนลอยนี้เป็นปัญหาอย่างมากสำหรับผู้ผลิตแร่ธาตุเสริมในประเทศ ทำให้ต้องมีการนำเข้าแร่ธาตุสำเร็จรูปในลักษณะหัวเชื้อความเข้มข้นสูงจากต่างประเทศและสูญเสียเงินตราเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ทั้ง ๆ ที่วัตถุดิบที่เป็นสินแร่เหล่านี้สามารถหาได้ภายในประเทศ เช่น แร่สังกะสี แร่ดินขาวสำหรับการผลิต สารประกอบแคลเซียม เป็นต้น ดังนั้นบริษัท Nap Stoller จำกัด จึงร่วมกับภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อศึกษาและทำการปรับปรุงเสถียรภาพของอนุภาคอัลคาไลน์เอริท์แขวนลอยสำหรับแร่ธาตุของพืช โดยใช้วัตถุดิบสินแร่ที่มีภายในประเทศทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีและใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมเคมี เพื่อช่วยพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิต การผสมสูตรให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพทัดเทียมกับต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพิ่มเสถียรภาพในการแขวนลอยของแร่ธาตุเสริมของพืช โดยเน้นการศึกษาในกลุ่มแคลเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี

2. ศึกษาปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อการแขวนลอยของแร่ธาตุ เช่น ขนาดและรูปทรง โดยเฉพาะอนุภาคขนาดระดับซับไมครอน ความหนาแน่นของอนุภาคและสารละลายที่ผสมสูตร ความหนืดของสารละลาย

3. ศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิตแร่ธาตุเสริมของพืช

4. เลือกใช้วัตถุดิบแร่ธาตุที่มีภายในประเทศทดแทนวัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

มุ่งเน้นที่จะพัฒนาและสร้างความเข้าใจปัจจัยพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการผสมอนุภาคของแข็งหรือผลึกของสารประกอบขนาดเล็กระดับไมครอน กับสารเติมแต่งต่าง ๆ เพื่อคงความเสถียรในลักษณะการแขวนลอยของของผสม และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้น ความหนืด ขนาดและรูปร่างของอนุภาค ที่มีผลต่ออัตราเร็วในการตกตะกอนและแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรทางกายภาพที่เกี่ยวข้อง ในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ของทฤษฎีการตกตะกอน เพื่อใช้เป็นแนวทางการเลือกใช้หรือปรับแต่งสภาพของวัตถุดิบในประเทศ ให้สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีคุณภาพและคงความเสถียรในการแขวนลอยของอนุภาคในผลิตภัณฑ์แร่ธาตุเสริมของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

1.ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารแขวนลอยและการปรับสภาพผิวของอนุภาคระดับซับไมครอน เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของการแขวนลอย

2. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศและภายในประเทศ

3. ทำการศึกษาผลของขนาดและรูปร่างของอนุภาค ความหนาแน่น ความหนืด อัตราในการตกตะกอนการปั่นกวนของถังผสม ที่มีผลกระทบต่อการแขวนลอยของอนุภาค

4.ใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยทำนายคุณลักษณะของอนุภาคที่มีความสัมพันธ์กับความเสถียรภาพของการแขวนลอยของสารผสม

5.ทดลองศึกษาการตะกอนของอนุภาคของวัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศและภายในประเทศเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและเสถียรภาพในการแขวนลอยของสารผสม พร้อมทั้งนำข้อมูลไปปรับปรุงกระบวนการผลิตภายในโรงงาน

6. สรุปผลการดำเนินงานและเขียนรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1.ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวข้องกับเสถียรภาพของสารแขวนของแร่ธาตุในอาหารเสริมของพืช เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐานมากขึ้น

2. สามารถควบคุมให้อนุภาคอัลคาไลน์เอิร์ทสามารถแขวนลอยได้นานทำให้ตกตะกอนช้าและทำให้การนำไปใช้ในลักษณะการพ่นกระจายได้ดีขึ้น

3. ช่วยเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบที่มีภายในประเทศและขยายการใช้งานสินแร่จำพวกแคลเซียมและแมกนีเซียม ให้มีการใช้ภายในประเทศมากขึ้นอย่างหลากหลาย

4. ทดแทนการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ ช่วยลดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 คอลลอยด์ (COLLOID)[2]

คอลลอยด์ คือ ของผสมที่อนุภาคของสารตัวกลางนั้นไม่ใหญ่พอที่จะตกตะกอนออกมา โดยอนุภาคของคอลลอยด์มีขนาดพอที่จะกระจายตัวอยู่ในสารอีกชนิดหนึ่งได้ ของผสมมักจะมีลักษณะขุ่น ไม่ใสเหมือนสารละลาย คอลลอยด์มี 3 สถานะ ทั้งที่เป็นของผสม ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส สารคอลลอยด์จะมีลักษณะเด่นเฉพาะตัว คือ สามารถเกิดการกระเจิงของแสงได้จะเห็นเป็นลำผ่านเนื้อสารได้ เรียกว่า เกิดปรากฏการณ์ทินดอลล์ (Tyndall effect) เช่น การที่เห็นแสงแดดเป็นลำ เมื่ออากาศบริเวณนั้นมีฝุ่นขนาดเล็กอยู่ เนื่องจากขนาดของอนุภาคคอลลอยด์นั่นเองที่มีขนาดเหมาะสม ไม่เล็กเกินไปให้แสงเดินทางผ่านได้อย่างสะดวก และไม่ใหญ่เกินไปที่แสงจะผ่านไม่ได้ คลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น (Visible light) มีความยาวคลื่นในช่วง 400-700 นาโนเมตร จึงเกิดการกระเจิงได้กับขนาดอนุภาคของคอลลอยด์

คอลลอยด์อาจเตรียมขึ้นมาได้เช่นกัน โดยเรียกคอลลอยด์ชนิดนี้ว่า คอลลอยด์อิมัลชั่น (Emulsion) และเรียกสารที่ทำให้เกิดเป็นคอลลอยด์นี้ว่าอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifier) เช่น น้ำมันที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิว (Surfactant หรือ Surface active agent) ลงไป จะทำให้อนุภาคของน้ำมันละลายเข้าไปกับโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว โดยมีลักษณะเกาะกันเป็นอนุภาคเล็กมากๆ อนุภาคที่เกิดขึ้นมีขนาดอยู่ในช่วงที่เป็นคอลลอยด์ สารผสมที่ได้จึงสามารถเกิดการกระเจิงแสงได้ เราเรียกสารลดแรงตึงผิวนี้ว่าเป็นอิมัลซิฟายเออร์ การใช้งานทางด้านระบบคอลลอยด์สำคัญมาก ซึ่งมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น เกี่ยวข้องกับกระบวนการการขนถ่ายเคมีพื้นผิวของวัตถุ ระบบที่เป็นคอลลอยด์ เช่น ละอองไอ เครื่องบริโภค สารเคมีสำหรับพืช น้ำหมึก ซีเมนต์ สีเครื่องสำอาง กระดาษ วัตถุดิบสีย้อม ยารักษาโรค อิมัลชัน พลาสติก โครงสร้างตึก ยาง โฟม ดิน และอื่น ๆ

คอลลอยด์[3] มีทั้งที่เกิดเองตามธรรมชาติและที่เกิดจากการผสมสารสองชนิดเข้าด้วยกัน แบ่งออกได้ 4 ประเภท ตามสถานะของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางและสถานะของตัวกลาง ดังนี้

1. อิมัลชัน (Emulsion) คือ คอลลอยด์ที่เกิดจากอนุภาคของของเหลวกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว เช่น นมสด น้ำสลัด

2. ละอองลอย (Aerosol) เป็นคอลลอยด์ที่เกิดจากอนุภาคของของแข็งหรืออนุภาคของของเหลวกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นก๊าซ เช่น ควันไฟ (คาร์บอน ซึ่งเป็นของแข็งกระจายตัวอยู่ในก๊าซ) เมฆ หมอก (น้ำ ซึ่งเป็นของเหลวกระจายตัวอยู่ในอากาศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โซล (Sol) คือ อนุภาคคอลลอยด์ที่แขวนลอยอย่างคงตัวภายในของเหลว โดยที่โซลจะมีความหนาแน่นของของแข็งมากกว่าของเหลวที่อยู่บริเวณรอบ ๆ อนุภาคของแข็งที่อยู่ในของเหลวจะมีขนาดเล็กมากและไม่เกิดการตกตะกอน สารที่ใช้ในการกระจายตัวของอนุภาคคอลลอยด์ของโซลโดยทั่วไปจะเป็นน้ำหรือเป็นสารละลายที่ประกอบด้วยน้ำหรือแอลกอฮอล์เป็นส่วนใหญ่

4. เจล (Gel) คือ อนุภาคของแข็งที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนเชื่อมต่อกันเป็น 3 มิติ มีรูปแบบไม่แน่นอนขึ้นกับภาชนะที่บรรจุ ถ้าโครงสร้างของแข็งเกิดจากโซลที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์ เจลที่เกิดขึ้นเรียกว่า Colloid gel ถ้าโครงสร้างของแข็งประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าคอลลอยด์ เจลที่เกิดขึ้นเรียกว่า Polymeric gel โดยทั่วไปเจลจะขึ้นอยู่กับการรวมตัวระหว่างโครงสร้างของของแข็งและตัวกลางของของเหลว ที่สภาวะสมดุลของเหลวที่อยู่ระหว่างโครงสร้างของของแข็งจะสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์โดยไม่มีแรงกระตุ้นจากภายนอก ความต่อเนื่องของโครงสร้างของของแข็งจะทำให้เจลมีความยืดหยุ่น ถ้าของเหลวที่อยู่ระหว่างโครงสร้างของของแข็งประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่จะเรียกเจลนั้นว่า Aquagel หรือ Hydrogel ซึ่งเป็นเจลที่บางสามารถตัดให้ขาดได้ง่าย แต่ถ้าของเหลวประกอบด้วยแอลกอฮอล์เป็นส่วนใหญ่จะเรียกเจลนั้นว่าเป็นAlcogel ถ้าดึงของเหลวออกจากเจลสารที่เหลือจะกลายเป็นของแข็งที่แตกออกได้ง่าย เรียกว่าเป็น Acrogeo หรือ Xerogel

กระบวนการซึ่งเกี่ยวข้องกับประยุกต์ด้านเคมีพื้นผิว เช่น การเกาะติดผิวของวัตถุ โครมาโตกราฟฟี การตกตะกอน การชะล้างสิ่งสกปรก การเกาะพื้นผิวถนน การฝังกลบขยะ กระบวนการผลิตอาหาร การควบคุมดิน การผลิตน้ำตาลทราย กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ การควบคุมการระเหยของน้ำ ปั่น และอื่น ๆ

กฎธรรมชาติทั้งทางฟิสิกส์และทางเคมี สามารถอธิบายเกี่ยวกับพฤติกรรมของวัตถุในระดับโมเลกุล ดังนั้นจึงนำสภาวะคอลลอยด์เข้ามาประยุกต์ใช้ คุณสมบัติที่เด่นของระบบคอลลอยด์มีความสัมพันธ์ที่สำคัญ ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติด้าน Physicochemical ของระบบที่เริ่มทำการศึกษาทำให้เราสามารถทราบตัวแปรสนับสนุนที่สำคัญเกี่ยวกับธรรมชาติของคอลลอยด์ เช่น ขนาดรูปร่าง และความยืดหยุ่นของอนุภาค คุณสมบัติพื้นผิว แรงกระทำระหว่างอนุภาคสองอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การกระจายตัวของอนุภาค[4]

อนุภาคในคอลลอยด์ถูกแยกออกระหว่างอนุภาคและสารตัวกลาง ซึ่งเรียกว่า การกระจายตัว การกระจายตัวของคอลลอยด์ที่ง่าย จะประกอบด้วยกัน 2 วัฏภาค คือ วัฏภาคของการกระจายตัวและตัวกลางการกระจายตัว สามารถดูได้จากตารางที่ 2.1

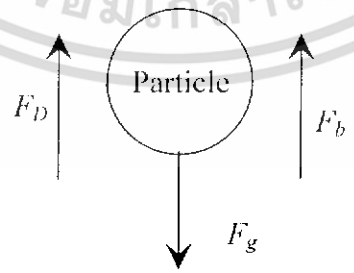
ตารางที่ 2.1 ชนิดของการกระจายตัวของคอลลอยด์

วัฏภาคการกระจาย	วัฏภาคตัวกลาง	ชื่อ	ตัวอย่าง
ของเหลว	ก๊าซ	ละอองไอของเหลว	หมอก,สเปรย์ของเหลว
ของแข็ง	ก๊าซ	ละอองไอของแข็ง	ควัน ,ฝุ่น
ก๊าซ	ของเหลว	โฟม	ฟองอากาศบนสารละลายสบู่ ,โฟมที่ใช้สำหรับดับเพลิง
ของเหลว	ของเหลว	อิมัลชั่น	นม , น้ำราดสลัด
ก๊าซ	ของแข็ง	โฟมของแข็ง	การขยายตัวของโพลีสไตรลิน
ของเหลว	ของแข็ง	อิมัลชันของแข็ง	หินโอปอล, ไข่มุก

2.3 การตกตะกอน (Sedimentation)[5]

การตกตะกอน คือ การที่อนุภาคของแข็งซึ่งแขวนลอยอยู่ในของเหลวแยกตัวออกจากของเหลวตกสู่เบื้องล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่ออนุภาคของแข็งผลิตภัณฑ์ของกระบวนการตกตะกอนอาจเป็นได้ทั้งของเหลวใส และชั้นตะกอนข้นข้น

เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ผ่านของไหล (หรือของไหลเคลื่อนที่ผ่านอนุภาค) แรงที่กระทำต่ออนุภาคสามารถแสดงได้ตามทิศทางของแรงดังนี้



รูปที่ 2.1 แรงต่าง ๆ ที่มีผลต่อการตกตะกอนของอนุภาค 1 อนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แรงจากภายนอก (External force) เช่น แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity force , F_g) หรือแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ในกรณีการตกตะกอนโดยอิสระเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก แรงภายนอกที่กระทำต่ออนุภาคมีค่าเท่ากับผลคูณของน้ำหนักของอนุภาค (m_p) และความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g)

$$F_g = m_p g \tag{1}$$

2. แรงลาก (Drag force, F_D) เป็นแรงที่เกิดจากการสัมผัสของอนุภาคกับของไหลขณะที่มีการเคลื่อนที่และมีทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของอนุภาค ขนาดของแรงเสียดทานที่กระทำต่ออนุภาคแปรผันตรงกับความเร็ว ($v^2/2$) ของของไหลซึ่งถูกแทนที่ด้วยอนุภาคที่เคลื่อนที่ ความเร็วของของไหลนี้จะต้องคูณด้วยความหนาแน่นของของไหล (ρ_f) และ projected area (A) ของอนุภาคที่สัมผัสกับของไหล

$$F_D = \frac{C_D v^2 \rho_f A}{2} \tag{2}$$

โดยที่ C_D คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

3. แรงลอยตัว (Buoyant force, F_b) เป็นแรงที่ของไหลกระทำต่ออนุภาคเพื่อพยุงอนุภาคไว้ แรงนี้ขนานกับแรงภายนอกแต่มีทิศตรงกันข้าม

$$F_b = m_f g \tag{3}$$

หรือ

$$F_b = \rho_f V_f g \tag{4}$$

โดยที่ m_f และ V_f คือ มวล และปริมาตรของของไหลตามลำดับ จากหลักของ อาร์คิมีดิส ที่ว่า V_f จะมีค่าเท่ากับปริมาตรของอนุภาค (V_p) ที่แทนที่ในของไหล ดังนี้

$$F_b = \rho_f \left(\frac{m_p}{\rho_p} \right) g \tag{5}$$

โดยที่ ρ_p คือ ความหนาแน่นของอนุภาค

เมื่อรวมแรงทั้งสามเข้าด้วยกันจะได้แรงลัพธ์ที่กระทำต่ออนุภาค ซึ่งแรงนี้จะต้องเท่ากับแรงที่กระทำเนื่องมาจากความเร่งของอนุภาค นั่นคือ

$$m_p \frac{dv}{dt} = F_g - F_b - F_D \tag{6}$$

แทนค่าสมการที่ (1) (2) และ (5) ลงใน (7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_p \frac{dv}{dt} = m_p g - m_p g \frac{\rho_f}{\rho_p} - \frac{C_D v^2 \rho_f A}{2} \quad (7)$$

หรือ

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{\rho_f}{\rho_p} g - \frac{C_D v^2 \rho_f A}{2m_p} \quad (8)$$

จากสมการที่ (8) เป็นสมการที่ใช้หาอัตราเร็วในการตกตะกอนของสารตัวอย่าง พบว่าอัตราการตกตะกอนของสารตัวอย่างนั้น มีค่าแปรผันตามกับค่า ขนาดของอนุภาค ความหนาแน่นของวัฏภาคของของเหลว พื้นที่หน้าตัดของอนุภาค ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อเสถียรภาพในการแขวนลอยของสารตัวอย่าง สามารถปรับเปลี่ยนให้มีค่าสูงขึ้นได้เพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพการแขวนลอย โดยใช้หลักในการพิจารณาเกี่ยวกับการตกตะกอนของสาร สามารถแบ่งลักษณะการตกตะกอนออกเป็น 2 แบบตามความเข้มข้นของสารแขวนลอย ดังนี้

1. การตกตะกอนแบบอิสระ (Free settling)[6] เกิดขึ้นในกรณีที่อนุภาคแขวนลอยมีความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 0.2 โดยปริมาตร หรืออัตราส่วนระหว่างขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะน้อยกว่า 1:200 อนุภาคจะมีการกระจายตัวห่างจากอนุภาคอื่นๆ และมีระยะห่างเพียงพอจากผนังของภาชนะ ทำให้การตกตะกอนของแต่ละอนุภาคไม่ขึ้นอยู่กับอนุภาคที่แวดล้อม หรือแรงที่มีผลมาจากผนังของภาชนะ โดยการตกตะกอนของอนุภาคนี้จะประกอบด้วยสองช่วง คือ ช่วงที่อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยความเร่งและช่วงที่อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ช่วงแรกจะมีระยะเวลาที่สั้นมากเมื่อเทียบกับช่วงที่สอง ซึ่งเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคเมื่อพิจารณาการตกตะกอนโดยอิสระเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ความเร็วคงที่ของอนุภาคในการตกตะกอนเกิดจากความสมดุลของแรงที่มากระทำต่ออนุภาค

2. การตกตะกอนแบบอุปสรรค (Hindered settling) เกิดขึ้นในกรณีที่อนุภาคอยู่ใกล้ชิดกันมาก ๆ เช่น กรณีที่ความเข้มข้นของสารแขวนลอย มากกว่าร้อยละ 0.2 โดยปริมาตร ซึ่งการตกตะกอนของแต่ละอนุภาคจะถูกกระทบโดยอนุภาคที่แวดล้อม เพราะเมื่ออนุภาคอยู่ใกล้กันมากจะมีแรงที่อนุภาคกระทำต่ออนุภาคใกล้เคียง นอกจากนี้ อัตราเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป (velocity gradient) ที่ล้อมรอบอนุภาคจะถูกกระทบโดยอนุภาคใกล้เคียง อนุภาคที่จมลงจะแทนที่ของไหลซึ่งก่อให้เกิดความเร็วของของไหลในทิศตรงกันข้าม ในกรณีที่อนุภาคอยู่ใกล้กันความเร็วของของไหลเหล่านี้จะต้านให้อนุภาคตกตะกอนช้าลง และเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคเพิ่มมากขึ้นจนแรงที่กระทำระหว่างอนุภาคมีค่ามากพอที่จะรบกวนการเคลื่อนที่ของอนุภาคเหล่านั้น กับอนุภาครอบๆ ข้างได้ จะส่งผลให้ความเร็วในการตกตะกอนลดลง ซึ่งความเร็วของการตกตะกอนแบบอุปสรรคจะช้ากว่าการตกตะกอนแบบอิสระ ซึ่งลักษณะที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้คือการตกตะกอนแบบอุปสรรค เพื่อลดความเร็วในตกตะกอนของสารตัวอย่าง ให้สามารถคงสภาพการแขวนลอยได้นาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับงานวิจัย

- ยูเรีย (Urea)
- อะซิโตน (Acetone)
- ฟอร์มัลดีไฮด์ (Fumaldehyde)
- แทนแซนกรัม (Xantangrum)
- ซิงค์ออกไซด์ (Zincoxide)
- ซิงค์คาร์บอเนต (Zinc Carbonate)
- เอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol)
- แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride)
- แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide)
- แมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด A และ B (Magnesium Carbonate)
- แคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด A D E และ F (Calcium Carbonate)
- สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย เข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วน
- สารละลายมาตรฐานไนเตรต เข้มข้น 1000 ส่วนในล้านส่วน

หมายเหตุ : คุณสมบัติของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิดต่าง ๆ สามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำหรับงานวิจัย

- ตู้อบสาร (Hot Oven)
- เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centifugal Instrument)
- ชุดทดลองการตกตะกอน (Sendimentation Set)
- ชุดการผสมและปั่นกวน (Mixing and Agitator Set)
- ขวดวัดความถ่วงจำเพาะ (Pycnometer)
- เครื่องมือวัดความหนืด (Brookfield Viscometer)
- เครื่องบด ชนิด บอลมิลล์ (Ball Mill)
- เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้า(Conductometer)
- เครื่องมือวัดความเป็นกรด– ด่าง (pH – Meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
- เครื่องมือวัดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนเตรต (pH / Ion Meter)

3.3 วิธีการทดลอง

สำหรับสูตรการผสมที่ใช้งานวิจัยครั้ง ได้รับการสนับสนุน จากบริษัท แน็ปสโตลเลอร์ จำกัด ซึ่งทางบริษัทใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จำหน่าย ซึ่งสูตรการผสมนี้มีปัญหาในเรื่องการตกตะกอนเร็วของอนุภาคจึงต้องมีการปรับปรุงต่อ สูตรการผสมข้างต้นนี้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรการผสมการสารตัวอย่าง

ชนิดสารตั้งต้น	ปริมาณสารตั้งต้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
- สารตัวอย่าง	40
- ยูเรีย	2
- แซนแทนกัม	0.5
- ฟอร์มาดีไฮด์	0.1
- สารเติมแต่ง	10
- น้ำ	47.4
รวม	100

สารตัวอย่างที่ศึกษา ประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต ชนิดต่างๆ แมกนีเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมออกไซด์ ซิงค์คาร์บอเนต และซิงค์ออกไซด์ โดยการศึกษาหาสารเติมแต่งที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มเสถียรภาพการแขวนลอยของสารตัวอย่าง

3.3.1 การผสมและการปั่นกวนสารตัวอย่าง

- การผสมสารและการปั่นกวนระดับห้องทดลอง

1. ชั่งสารตัวอย่างร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก แซนแทนกัม ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ยูเรีย ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก เอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
2. นำสารทั้งหมดใส่ถังผสมขนาดเล็ก แล้วเติมน้ำ ให้ครบ 500 มิลลิลิตร
3. ปั่นกวนด้วยเครื่องตีเค้ก เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้สารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การผสมและการปั่นกวนลดขนาด ด้วยเครื่องบด ชนิดบอลมิลล์

1. ชั่ง สารตัวอย่างร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก แซนแทนกัม ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ยูเรีย ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก
2. นำสารทั้งหมดใส่ เครื่องบด ชนิด บอลมิลล์ จากนั้นเติมน้ำร้อยละ 27.5 โดยน้ำหนักใส่ลูกบอลเซรามิกส์ ในอัตราส่วนลูกเล็กร้อยละ70 โดยน้ำหนัก และลูกใหญ่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก
3. ตั้งความเร็ว รอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา12 ชั่วโมงจะได้ของเหลวข้นที่มีความเข้มข้นร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก
4. นำหัวเชื้อเข้มข้นที่ได้มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ด้วยการชั่งสารจำนวน 286 กรัม เทลงในถังผสม เติมฟอร์มาลดีไฮด์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักจากนั้นเติมน้ำให้ ครบ 500 มิลลิลิตร ใช้เวลาการปั่นกวน 45 นาที

- การการผสมสารและการปั่นกวนขยายกำลังการผลิตในระดับโรงงานต้นแบบ

1. ชั่งสารตัวอย่าง จำนวน 4000 กรัม แซนแทนกัม 25 กรัม ยูเรีย 100 กรัม นำสารทั้งหมดใส่ลงในเครื่องบด ชนิดบอลมิลล์ เติมน้ำจำนวน 2370 กรัม
2. ใส่ลูกบอลเซรามิกส์ ในอัตราส่วนลูกเล็ก ร้อยละ 70 โดยน้ำหนักต่อ ลูกใหญ่ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ลงในเครื่องบด
3. ตั้งความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา12 ชั่วโมง
4. ได้ของเหลวข้นที่มีความเข้มข้นร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก
5. ชั่งของเหลวข้นที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก จำนวน 2288 กรัม ในถังผสม ขนาด 20 ลิตร เติมเอทิลีนไกลคอล จำนวน 500 กรัม โปรเซล จำนวน 5 กรัม จากนั้นเติมน้ำให้ ครบ 4000 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการปั่นกวน 1 ชั่วโมง ใช้ความเร็วรอบ 90 รอบต่อนาที

3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารตัวอย่าง

-การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี

1. ชั่งสารตัวอย่างจำนวน 2.5 กรัม นำมาละลายน้ำ 500 มิลลิลิตร จะได้สารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
2. ตวงสารตัวอย่าง จำนวน 45 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองนำไปใส่ในเครื่องเหวี่ยงแยก ใช้ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เพื่อ แยกตะกอนและของเหลวใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตวงส่วนของเหลวใส จำนวน40 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ปริมาณความเข้มข้นของไนเตรต และความเป็นกรด- ด่าง โดยใช้เครื่องมือวัด pH /Ion Meter (รุ่น pH/Ion 510 บริษัทโอ๊กตัน ประเทศญี่ปุ่น)
4. บันทึกผลการทดลอง

- การวัดความหนาแน่นของสารตัวอย่าง

1. ชั่งขวดวัดความถ่วงจำเพาะ ขนาด 25 มล.ที่ยังไม่เติมสารตัวอย่าง บันทึกน้ำหนัก
2. เติมสารตัวอย่างลงในขวดวัด นำไปชั่ง บันทึกน้ำหนัก
3. หาน้ำหนักของสารตัวอย่าง จากผลต่างของน้ำหนักขวดเปล่าและที่สารตัวอย่างลงไปแล้ว
4. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะของสารตัวอย่าง โดยนำน้ำหนักสารตัวอย่างหารด้วยปริมาตรของขวดวัด แล้วนำไปเทียบกับความหนาแน่นของน้ำ จะทราบความหนาแน่นของสารตัวอย่าง
5. ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ตั้งแต่ข้อ 1 – 4 เพื่อหาเฉลี่ยค่าเฉลี่ยของสารตัวอย่าง

- การวัดความหนืดของสารตัวอย่าง

1. ประกอบอุปกรณ์ในการวัดความหนืดให้เรียบร้อย โดยเข็มที่ใช้ความหนืดของสารนั้นจะมี 4 ขนาด ซึ่งเข็มที่มีขนาดเล็กใช้กับสารที่มีความหนืดสูง
2. เทสารตัวอย่างลงในบีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นนำเครื่องมือมาวัดโดยต้องให้เข็มวัดจุ่มลงในสารตัวอย่างประมาณ 3 เซนติเมตร ควรเลือกใช้เข็มที่มีขนาดใหญ่ก่อน
3. เปิดเครื่อง โดยสังเกตจากหน้าปัดว่าเข็มชี้อยู่ในช่วงการวัดหรือไม่ ถ้าไม่อยู่ในช่วงการวัด ต้องเปลี่ยนเข็มวัดให้มีขนาดเล็กลง
4. เมื่อเข็มหยุดวิ่ง ให้ยกตัวล็อก เพื่ออ่านค่าความหนืดที่ได้ บันทึกผล
5. ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ในตั้งแต่ข้อ 2 – 4 เพื่อหาค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การศึกษาสัณฐานวิทยาของอนุภาคตัวอย่าง

1. นำสารตัวอย่างจำนวน 1 กรัม ใส่กระดาษกรองแล้วอบ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกจากสารตัวอย่าง
2. ล้างสารตัวอย่างที่ผ่านการอบแล้วด้วยอะซิโตน 50 มิลลิลิตร
3. จากนั้นทำการเคลือบผิวอนุภาคตัวอย่างด้วยโลหะทองประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อสร้างแรงเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าให้สารตัวอย่าง
4. จากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 5000 เท่า เพื่อทำการศึกษาลักษณะการกระจายตัวและขนาดของอนุภาค

3.3.3 การศึกษาเสถียรภาพของการแขวนลอยของสารตัวอย่าง

1. ชั่งสารตัวอย่าง เข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก จำนวน 2.5 กรัม
2. เติมน้ำลงไปให้ครบ 500 มิลลิลิตร จะได้สารละลายเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก
3. จากนั้นนำไปทดสอบการตกตะกอน อ่านระดับความสูงของชั้นตะกอนที่เวลาต่างๆ กันโดยให้บันทึกระดับความสูงของชั้นตะกอนทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 10 และเพิ่มเป็นทุก ๆ 10 ชั่วโมงจนครบ 60 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

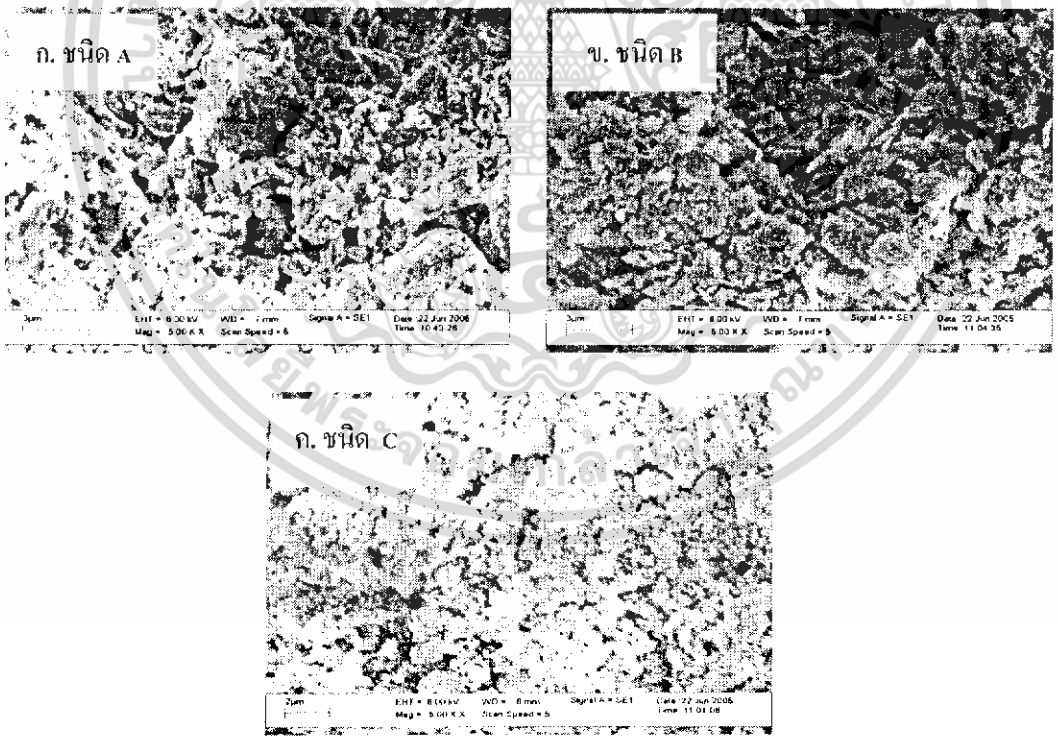
ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศและภายในประเทศ โดยการพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคทั้งสารตัวอย่างที่ผลิตขึ้นจากห้องทดลองและผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศออสเตรเลีย และอังกฤษ ด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) โดยแบ่งการศึกษาดังนี้

4.1.1 ผลการเปรียบเทียบสัณฐานของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต

การศึกษาการกระจายตัวของวัตถุดิบภายในประเทศ สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 3 ชนิด คือ A B และ C ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันดังแสดงในภาคผนวก ก จากนั้นนำไปผสมและปั่นกวนในห้องทดลอง นำสารตัวอย่างใส่กระดาษกรองแล้วทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยอะซิโตน 50 มิลลิลิตร เพื่อชะล้างสิ่งสกปรก ก่อนนำไปส่องด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด สามารถแสดงผลได้ดังนี้



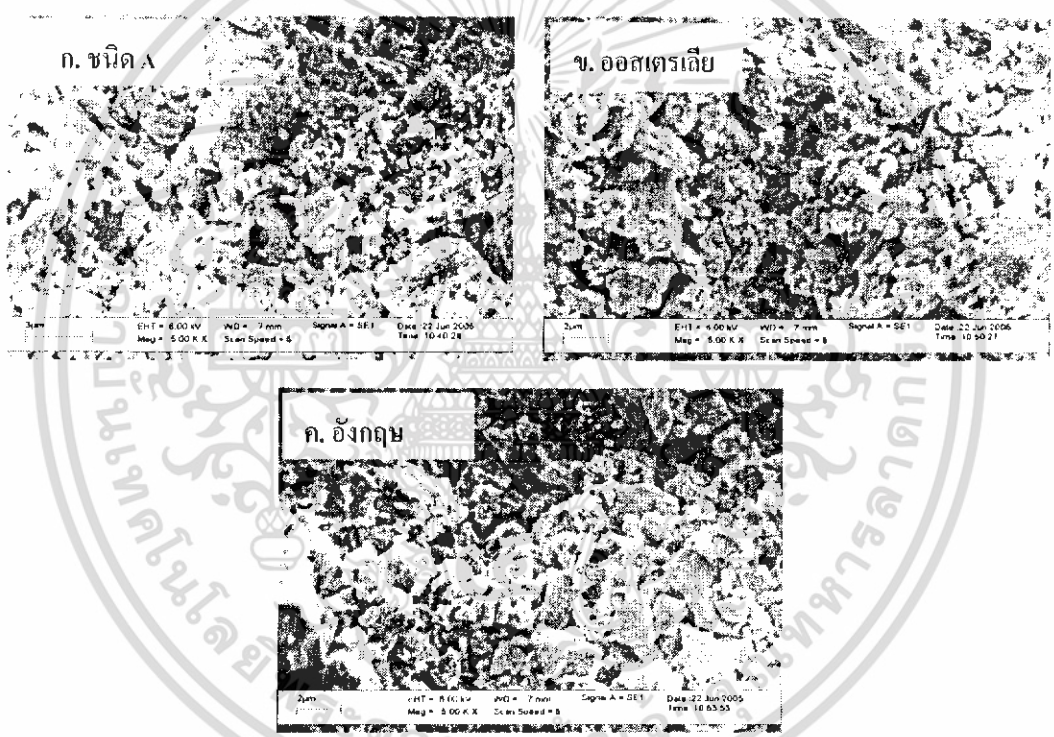
รูปที่ 4.1 ภาพจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $CaCO_3$ ชนิดต่างๆ ที่กำลังขยาย5000 เท่า

จากรูปที่ 4.1 ภาพส่อง SEM ที่ กำลังขยาย 5000 เท่าพบว่าแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด B มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2.8 ไมครอน และ ชนิด C มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 1.5 ไมครอน ซึ่งมีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคเล็ก ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด A มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 6 ไมครอนและมีรูปร่างแตกต่างจากแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 2 ชนิดอย่างมาก โดยแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด A และ B มีการกระจายตัวของอนุภาคที่เห็นได้ชัดเจน ส่วน ชนิด C ซึ่งมีรูปร่างเล็กมากกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ จากข้อมูลของบริษัท พบว่าเมื่อใช้วัตถุดิบเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด B และ C ทำให้ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด A เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่เล็กและนิยมใช้ในการผลิตเกี่ยวกับอุตสาหกรรมประเภทยา ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A นั้นมีราคาถูก และหาง่าย จึงเลือกศึกษาแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด A

4.1.2 ผลการเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของอนุภาคระหว่างวัตถุดิบภายในประเทศ กับผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่นำเข้าจากประเทศ ออสเตรเลียและอังกฤษ โดยวัตถุดิบภายในประเทศเลือกใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด A ได้ผลดังนี้



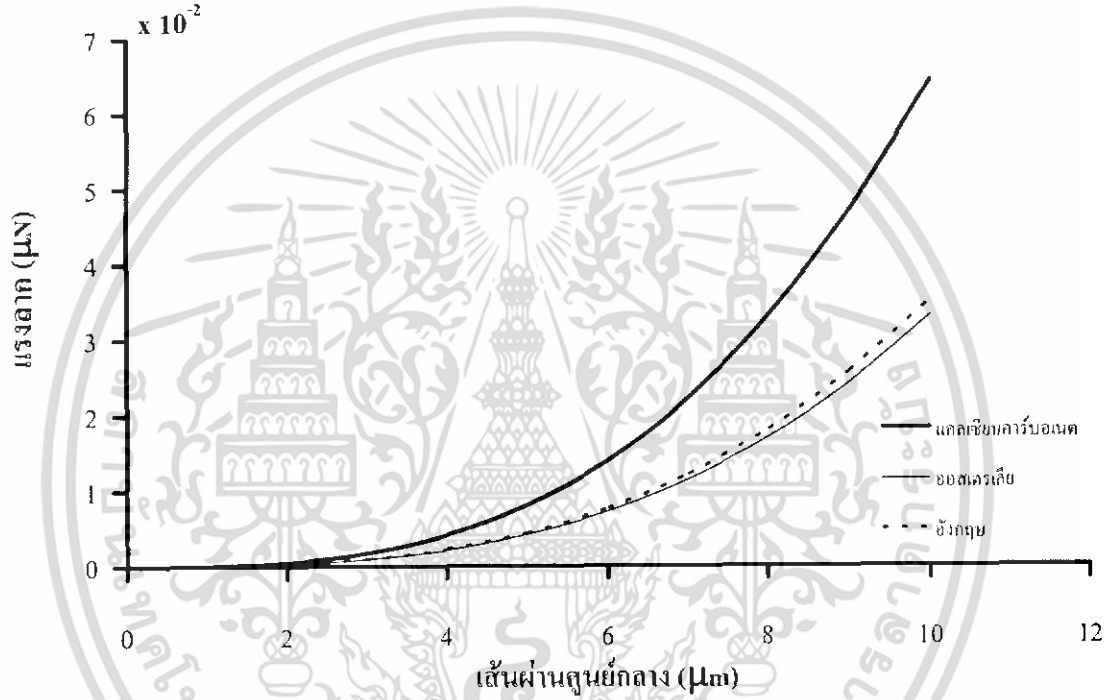
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบภาพจาก SEM ของผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าและสารตัวอย่างชนิด A ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

จากภาพส่อง SEM ของสารตัวอย่างที่เตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A และผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศออสเตรเลีย และอังกฤษ ที่กำลังขยาย 5000 เท่า มีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยเป็น 6 , 4.8 และ 2.5 ไมครอน ตามลำดับ พบว่าลักษณะโดยทั่วไปของสารตัวอย่างที่เตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด A ในรูปที่ 4.2ก นั้นใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์นำเข้าจากประเทศ

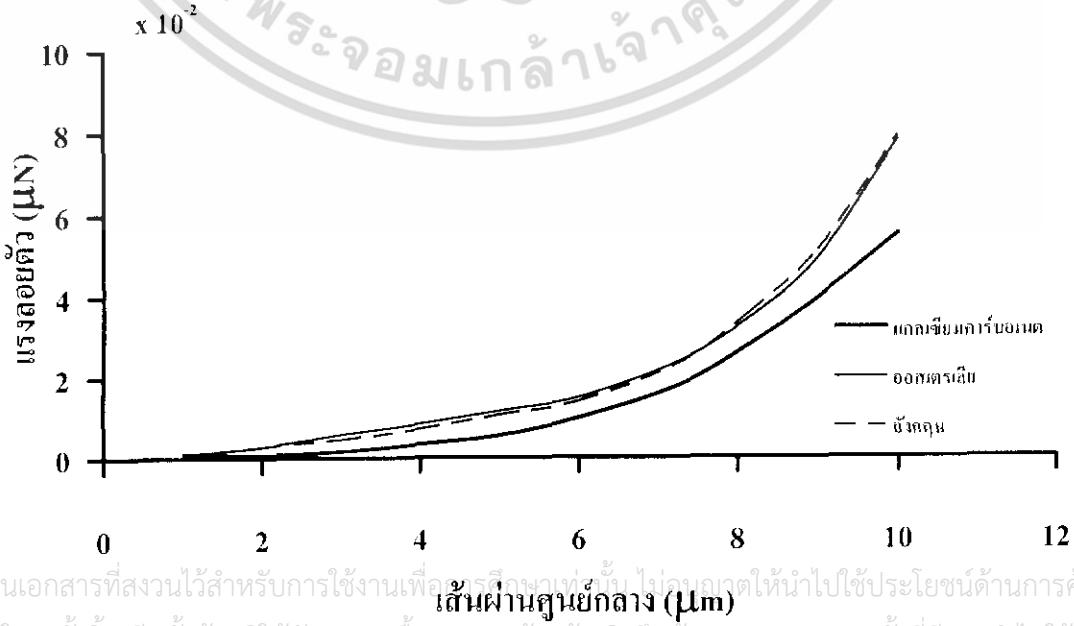
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออสเตรเลีย และ อังกฤษ โดยอนุภาคของสารกระจายตัวสม่ำเสมอ การกระจายตัวดี แต่แคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด A ยังคงมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าผลิตภัณฑ์ที่นำเข้า ซึ่งต้องทำการปรับปรุงต่อไปด้วยการผสมและปั่นกวนด้วยเครื่องบดชนิด บอลมิลล์ เข้ามาช่วยในการลดขนาด เพื่อให้มีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศและช่วยในการผสมให้สารตั้งต้นเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น

ใช้ข้อมูลเบื้องต้นต่าง ๆ เช่น ความหนืด ความหนาแน่นของอนุภาค ค่าแรงโน้มถ่วง นำมาสร้างความสัมพันธ์โดยใช้สมการที่ 2 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงลากกับขนาดอนุภาค และความสัมพันธ์ระหว่างแรงลอยตัวกับขนาดอนุภาคโดยใช้สมการที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ4.4 สามารถทำนายแรงลากและแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นเมื่อทราบขนาดอนุภาคของสาตัวอย่างได้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงลาก (Drag Force) กับขนาดอนุภาค



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงลอยตัว (Buoyant Force) กับขนาดอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น มีข้อห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ทำให้ทราบค่าแรงลอยตัวและแรงลากของสารตัวอย่างเมื่อทราบขนาดอนุภาค เมื่อพิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่มีขนาดเท่ากัน พบว่า ทั้งแรงลอยตัวและแรงลาก ของผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ (ออสเตรเลีย และอังกฤษ) มีค่ามากกว่าสารตัวอย่าง ชนิด A เป็นผลมากจากทั้งขนาดของอนุภาค ความถ่วงจำเพาะ และความหนืด ซึ่งมีค่าที่น้อยกว่า ดังนั้น เมื่อลดขนาดของสารตัวอย่าง ชนิด A ให้มีขนาดเล็กลงแล้ว มีผลทำให้มีค่าแรงลากและแรงลอยตัวใกล้เคียงกัน อีกทั้งการรักษาสภาพการแขวนลอยได้ดีด้วย ดังนั้นจึงต้องลดขนาดของแคลเซียมคาร์บอเนตให้เล็กลงโดยใช้ลูกบดเซรามิกซ์

4.2 ผลการทดลองปรับปรุงเสถียรภาพในการแขวนลอยโดยใช้วิธีการบดผสมด้วยลูกบอลเซรามิกซ์

วิธีการบดลดขนาดด้วยลูกบอลเซรามิกซ์ นั้นเป็นวิธีช่วยในการผสมให้สารตั้งต้นเข้ากันได้ดีและสามารถลดขนาดของอนุภาคในระดับซับไมครอนได้ ซึ่งได้สารตัวอย่างในลักษณะหัวเชื้อเข้มข้น (Master Batch) เข้มข้นร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปเจือจางให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้นของความถ่วงจำเพาะและความหนืดของสารตัวอย่าง

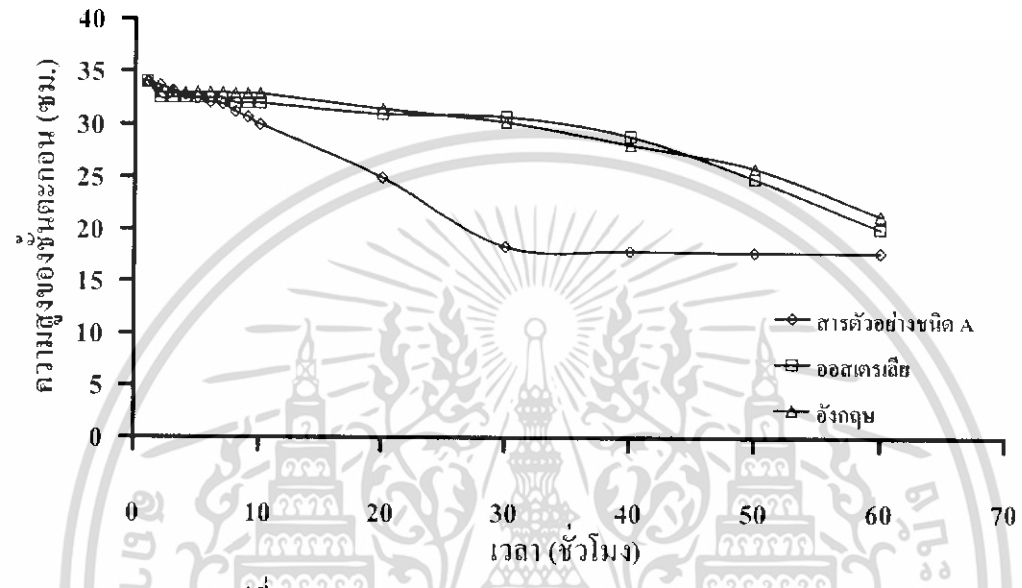
ชนิดของสารตัวอย่าง	คุณสมบัติต่างๆของสารตัวอย่าง	
	ค่าความถ่วงจำเพาะ	ค่าความหนืด (cp)
แคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด A	1.339	3760
ออสเตรเลีย	1.650	5000
อังกฤษ	1.689	4760

เมื่อนำสารตัวอย่างมาศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ดังแสดงได้ในตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นผลการวัดค่าความถ่วงจำเพาะและความหนืด พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของ ออสเตรเลีย และ อังกฤษ มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 1.650-1.690 ส่วน สารตัวอย่าง ชนิด A จะมีค่าต่ำกว่า สำหรับความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของของเหลว เมื่อมีค่ามากส่งผลให้เสถียรภาพในการแขวนลอยเพิ่มซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 8 ทำให้แรงที่ช่วยพยุงตัวของอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศมีค่าสูงกว่าสารตัวอย่าง ชนิด A ส่วนของค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากออสเตรเลีย มีค่าความหนืดสูงที่สุด รองลงมาคือ ชนิด A และตัวอย่างจาก อังกฤษ ตามลำดับ ซึ่งความหนืดนี้ส่งผล

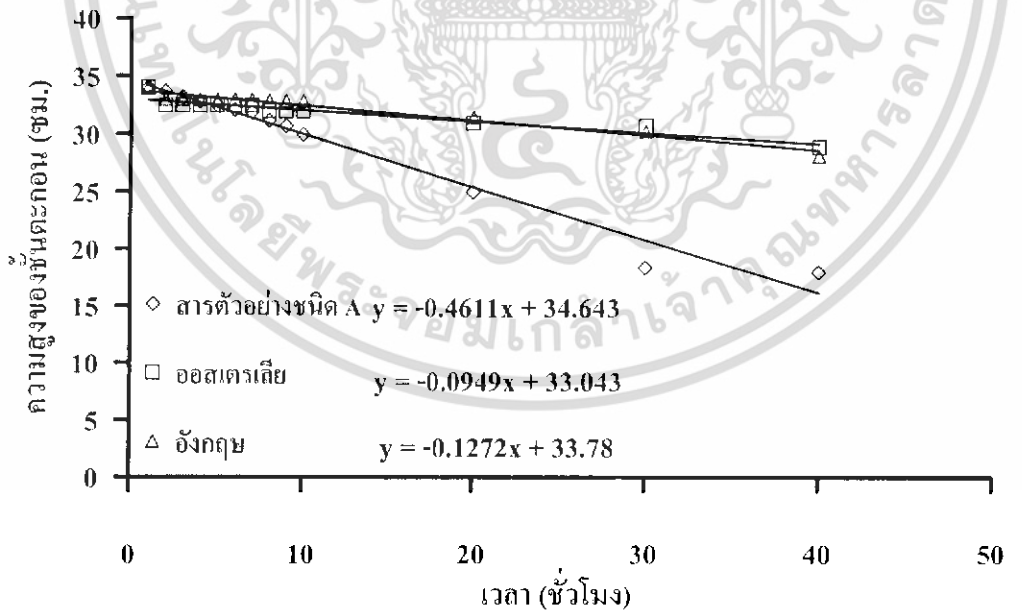
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62348

ต่อการต้านการเคลื่อนของอนุภาค เมื่อสารตัวอย่างความหนืดสูงขึ้นทำให้อนุภาคตกตะกอนได้ช้าลง

สำหรับการศึกษาเสถียรภาพในการแขวนลอย เป็นการศึกษาเพื่อหาความเร็วในการตกตะกอนของสารตัวอย่าง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการปรับปรุงเสถียรภาพของสารตัวอย่างต่อไป โดยใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ในการทดสอบการตกตะกอนได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5



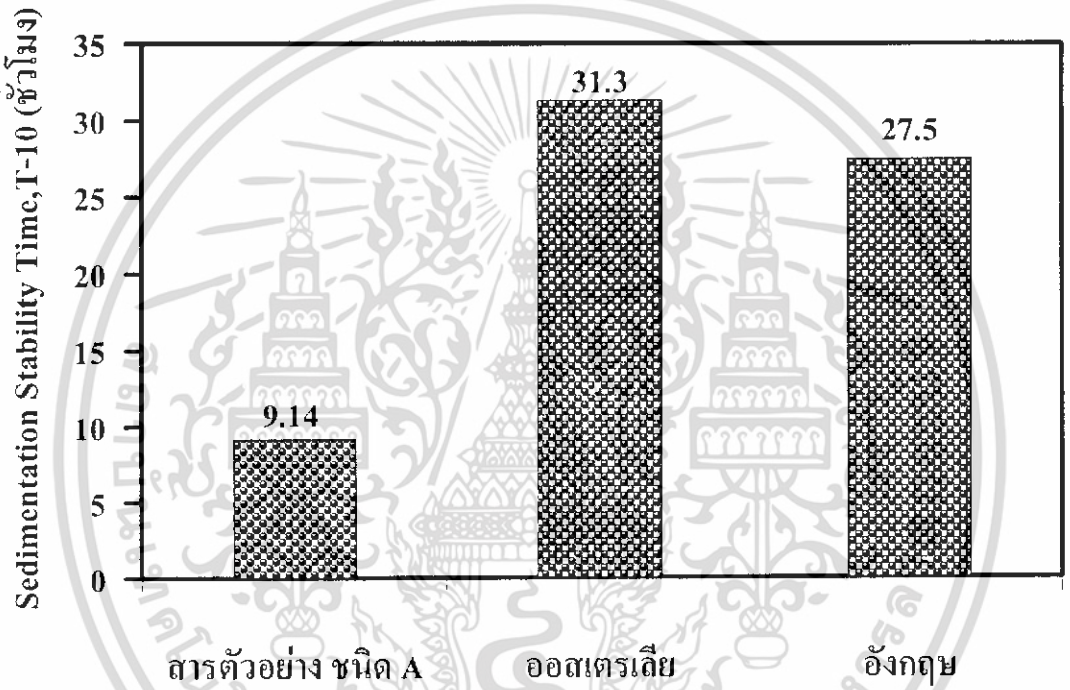
รูปที่ 4.5 ลักษณะการตกตะกอนของสารตัวอย่างชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.6 ความเร็วในการตกตะกอนของสารตัวอย่างเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าเมื่อพิจารณาความเร็วในการตกตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยวิธีการประมาณค่าความชันของกราฟ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของชั้นตะกอนกับเวลา ในช่วงต้นของการตกตะกอนประมาณ 40 ชั่วโมง สารตัวอย่างชนิด A ที่ผลิตขึ้นในห้องทดลองมีการตกตะกอนเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ โดยอัตราเร็วที่เกิดการตกตะกอนของสารตัวอย่างชนิด A และผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศออสเตรเลียและอังกฤษ เป็น 0.46 0.095 และ 0.127 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าอัตราเร็วในการตกตะกอนของสารตัวอย่างชนิด A เร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้สามารถรักษาสภาพการแขวนลอยได้ไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้า



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่า T-10 ของสารตัวอย่างกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ

เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบเสถียรภาพของการแขวนลอยจากอัตราเร็วในการตกตะกอน ในงานวิจัยจึงได้นำเสนอการอธิบายเสถียรภาพการแขวนลอยด้วยค่า Sedimentation Stability Time (SST, T-10) หมายถึง เวลาในหน่วยชั่วโมง ณ ตำแหน่งความสูงของชั้นตะกอนลดลงร้อยละ 10 จากความสูงเริ่มต้น ใช้แสดงเสถียรภาพในการรักษาสภาพการแขวนลอยของสารตัวอย่าง จากรูปที่ 4.7 พบว่าค่า T-10 ของสารตัวอย่างชนิด A มีค่า 9.14 ชั่วโมงและผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศออสเตรเลีย และอังกฤษ มีค่า 31.3 และ 27.5 ชั่วโมงตามลำดับ สำหรับสารตัวอย่างชนิด A ยังต้องมีการปรับปรุงเกี่ยวกับคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ขนาดของอนุภาค ความหนืด ความถ่วงจำเพาะ และอื่น ๆ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวมีผลให้สารตัวอย่างมีการรักษาสภาพการแขวนลอยได้ดีขึ้น โดยค่า T-10 ที่เหมาะสมควรมีค่า มากกว่า 30 ชั่วโมงขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เสถียรภาพการแขวนลอยของสารตัวอย่างในลักษณะของเหลวข้น

สารตั้งต้นที่นำมาศึกษาการรักษาเสถียรภาพของการแขวนลอย ซึ่งอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีลักษณะของเหลวข้น มีขนาดของอนุภาคที่แน่นอนโดยผ่านการลดขนาดด้วยการบดแบบเปียกด้วย Attrition mill โดยเลือกศึกษาแคลเซียมคาร์บอเนต 3 ชนิด คือ D E และ F ซึ่งสารตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดมีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันและมีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 3 ไมครอน ปริมาณของของแข็งร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก โดยคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ก มีลักษณะของเหลวข้นสีขาว เมื่อตั้งทิ้งไว้จนแห้งมีลักษณะแข็งตัวผิวมีความมันวาว อุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดลักษณะของเหลวข้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมการผลิตสีน้ำ ซึ่งใช้เป็นสารเพิ่มความสว่างและความมันวาวให้กับผลิตภัณฑ์ ส่วนอุตสาหกรรมประเภทพลาสติกนั้น ใช้สารชนิดนี้ในการเคลือบผิวและช่วยในการกระจายตัว มีขั้นตอนในการศึกษาคือ นำสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นร้อยละ 75 โดยน้ำหนักมาเจือจางให้มีความเข้มข้นร้อย 40 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และทดสอบการรักษาสภาพการแขวนลอย ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8

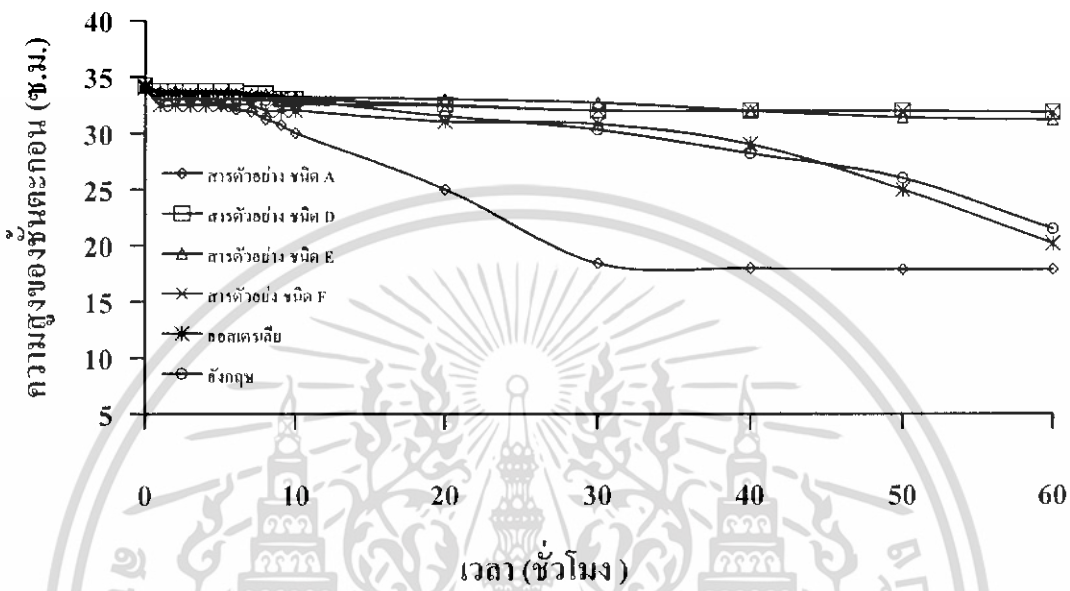
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 4 ชนิดและผลิตภัณฑ์ที่นำเข้า

คุณสมบัติต่างๆ	ชนิดของสารตัวอย่าง					
	ชนิด A	ชนิด D	ชนิด E	ชนิด F	ออสเตรเลีย	อังกฤษ
1. ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (ppm)	0.1	0.05	0.05	0.08	0.45	0.8
2. ความเข้มข้นของไนเตรต (ppm)	4.7	12	13.5	11.8	8.2	8.3
3. ค่าการนำไฟฟ้า (mV)	40.8	42.1	44.7	42.5	34.6	38.1
4. ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	7.93	8.03	8.04	8.05	8.45	8.21
5. ความหนืด (cP)	5200	1113	1520	1846	5000	2250
6. ความถ่วงจำเพาะ (-)	1.4310	1.3334	1.3384	1.3322	1.6500	1.6900

จากตารางที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 4 ชนิดกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ พบว่าปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้น ให้ค่าที่น้อยกว่า อยู่ในช่วง 0.05 – 0.08 ppm ซึ่งส่งผลดีต่อการนำไปใช้ เนื่องจากถ้ามีปริมาณของแอมโมเนียมากเกินไปจะทำให้ภาชนะที่บรรจุเสียรูปไป ส่วนปริมาณความเข้มข้นของไนเตรตนั้น มีค่าสูงว่าผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ คือ อยู่ในช่วง 11.8 – 13 ppm สำหรับคุณสมบัติอื่น ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบเสถียรภาพในการรักษาสภาพการแขวนลอยของสารตัวอย่าง ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่า T-10 ระหว่างสารตัวอย่างที่เตรียมจากสารตั้งต้นชนิดผง และสารตั้งต้นที่มีลักษณะของเหลวข้น โดยเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศออสเตรเลียและอังกฤษ สำหรับค่า T-10 นี้บอกถึงความเสถียรภาพในการแขวนลอย ดังแสดงในรูปที่ 4.9

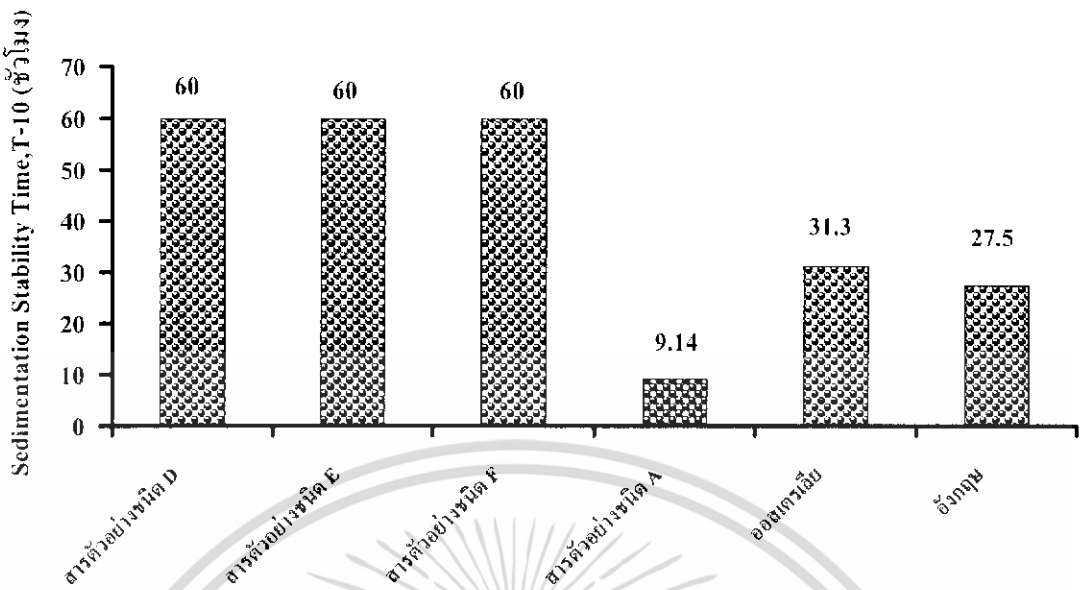


รูปที่ 4.8 ลักษณะการตกตะกอนของสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิดต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.8 พบว่า สารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด D E และ F สามารถรักษาสภาพการแขวนลอยได้ดี โดยมีระดับความสูงของชั้นตะกอนที่สังเกตได้ลดลงประมาณ ร้อยละ 6.73 6.73 และ 8.77 ตามลำดับจากความสูงเริ่มต้น และสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A สามารถรักษาสภาพการแขวนลอยได้ดีเช่นกัน โดยความสูงของชั้นตะกอนค่อย ๆ ลดลงจนถึงชั่วโมงที่ 60 ความสูงของชั้นตะกอนอยู่ที่ระดับ 28.2 เซนติเมตร คิดเป็นร้อยละ 17.1 เมื่อเทียบจากความสูงเริ่มต้น

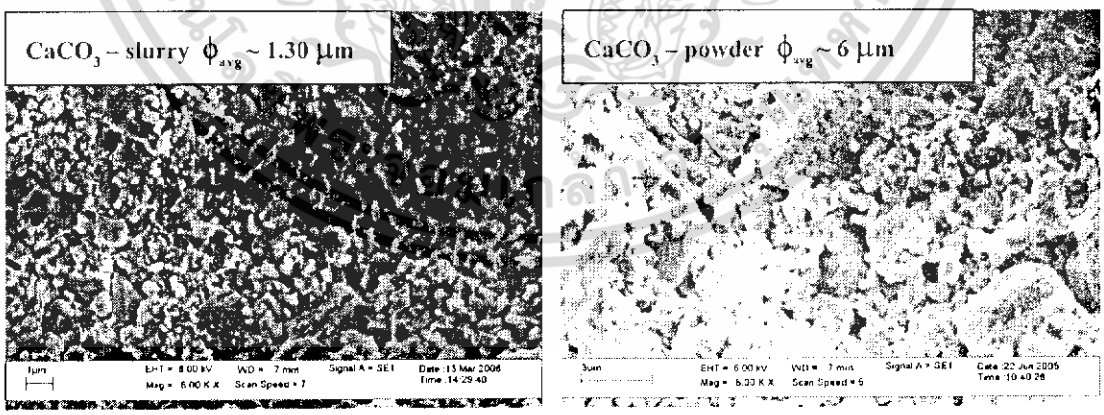
ส่วนผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศออสเตรเลีย และอังกฤษ พบว่ามีแนวโน้ม ลดลงเรื่อย ๆ แต่ช่วง 30 ชั่วโมงแรก ยังสามารถรักษาสภาพการแขวนลอยได้ดีอยู่ จากนั้นความสูงของชั้นตะกอนค่อย ๆ ลดลงจนถึงชั่วโมงที่ 60 ความสูงของชั้นตะกอนไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการตกตะกอนของสารนำมาสร้างความสัมพันธ์ของค่า T-10 ดังแสดงในรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ค่า T-10 ของสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้นทั้ง 3 ชนิด ให้มีค่าที่ค่อนข้างสูง ประมาณ 60 ชั่งโมง ส่วนสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิดA มีค่า T-10 ประมาณ 9.14 ชั่วโมง และผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากออสเตรเลียและอังกฤษ มีค่าประมาณ 31.1 และ 27.5 ชั่วโมง ตามลำดับ จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าการใช้สารตั้งต้นที่มีลักษณะของเหลวข้นนั้นมีเสถียรภาพในการแขวนลอยมากกว่าสารตั้งต้นที่มีลักษณะเป็นผง เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างที่เตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนตต่างชนิดกัน

จากรูปที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างที่เตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนต 2 ชนิด คือ ชนิดของเหลวข้น และ ชนิดผง พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดของเหลวข้น

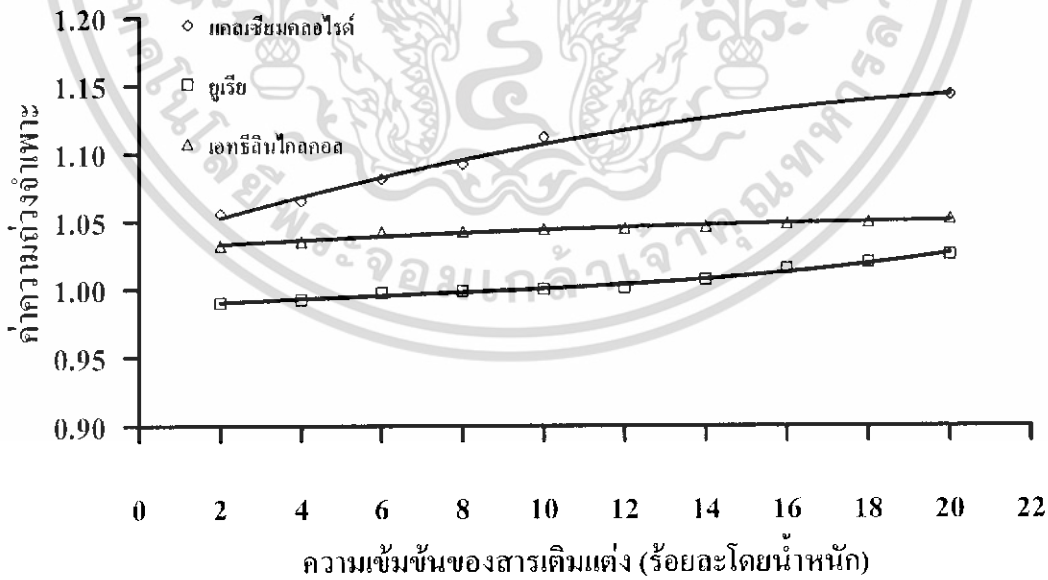
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าประมาณ 4 เท่าของชนิดผง ทำให้เสถียรภาพในการแขวนลอยสูงขึ้นเมื่อเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดผง ดังนั้นในการผลิตควรใช้สารตั้งต้นที่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้น เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้นสามารถกำหนดขนาดอนุภาคได้ให้อยู่ในระดับซับไมครอน (ซับไมครอน คือ อนุภาคที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1 – 2 ไมครอน)

4.4 ผลการศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของเหลว เพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของการแขวนลอย

4.4.1 การเลือกสารเติมแต่งที่เหมาะสม

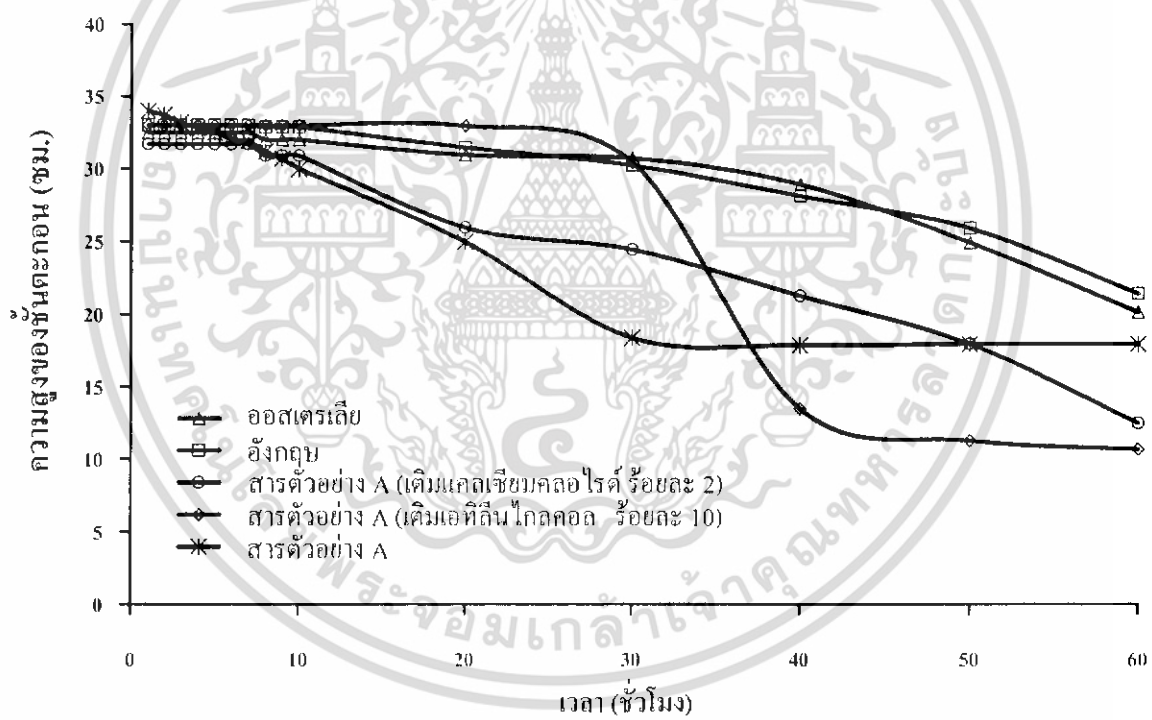
จากสมการที่ 8 พบว่าเสถียรภาพในการรักษาการแขวนลอยแปรผันตามค่าต่าง ๆ เช่น ขนาดของอนุภาค พื้นที่หน้าตัด สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และความหนาแน่นของของวัฏภาคของของเหลว สำหรับความหนาแน่นของของเหลวสามารถปรับเปลี่ยนได้ง่าย โดยการเติมสารช่วยเพิ่มความถ่วงจำเพาะลงในสารแขวนลอย เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ยูเรีย หรือ เอทิลีนไกลคอล ซึ่งสารทั้ง 3 ชนิด มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี และไม่ส่งผลอันตรายต่อผู้ใช้งาน ดังนั้นจึงศึกษาการเพิ่มความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของของเหลว โดยใช้สารเติมแต่ง 3 ชนิด คือ แคลเซียมคลอไรด์ ยูเรีย และเอทิลีนไกลคอล โดยมีผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ผลการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารเติมแต่งต่างๆ ต่อความถ่วงจำเพาะ

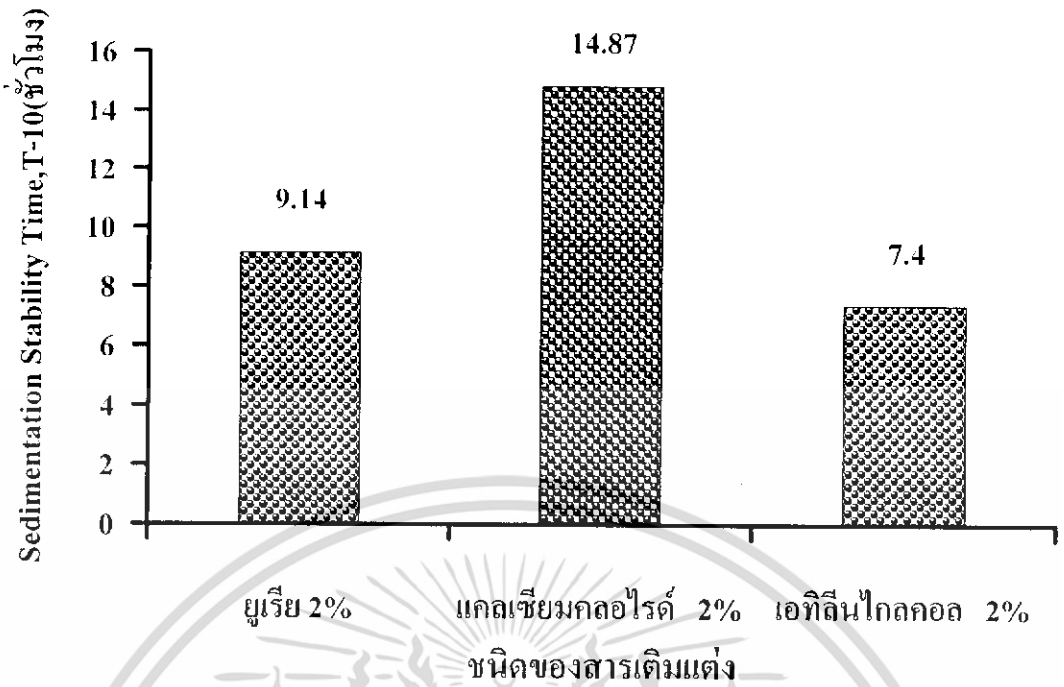
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาการเพิ่มขึ้นของความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของของเหลว โดยเติมสารเติมแต่ง 3 ชนิดคือ แคลเซียมคลอไรด์ ยูเรีย และเอทิลีนไกลคอล จากรูปที่ 4.11 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความถ่วงจำเพาะในแนวโน้มที่สูงขึ้นตามปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อค่า T-10 สามารถเพิ่มเสถียรภาพในการแขวนลอย ศึกษาโดยนำสารเติมแต่งต่าง ๆ ไปละลายน้ำแล้วนำไปวัดความถ่วงจำเพาะของสาร ศึกษาแคลเซียมคลอไรด์ ยูเรีย และเอทิลีนไกลคอล ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ทำให้ความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น 1.0558 0.989 และ 1.0320 ตามลำดับ และที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น1 .1435 1.0255 และ 1.0523 ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้พบว่าการใช้ยูเรีย มีผลช่วยเพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะขึ้นเพียงเล็กน้อย และถ้ามีปริมาณของยูเรียสูงเกินไป ส่งผลให้มีปริมาณของก๊าซแอมโมเนียมากขึ้น มีผลต่อภาชนะที่บรรจุซึ่งจะเสียรูปไป จึงไม่เหมาะสมที่จะเลือกใช้ยูเรีย เป็นสารเพิ่มความถ่วงจำเพาะ จากนั้นนำสารเติมแต่งแต่ละชนิดเติมลงในสารตัวอย่างแล้วนำไปทดสอบการรักษาสภาพการแขวนลอย ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ลักษณะการตกตะกอนของสารตัวอย่าง เมื่อเติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบ ค่า T-10 หลังจากเติมสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.12 ในส่วนที่เติมเอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่าช่วงแรกสารตัวอย่างสามารถรักษาสภาพการแขวนลอยได้นาน 20 ชั่วโมง เมื่อเวลาผ่านไปเริ่มมีการตกตะกอนเพิ่มมากขึ้น ทำให้ระดับความสูงของชั้นตะกอนลดลง และในช่วงสุดท้ายระดับความสูงคงที่ สำหรับในส่วนที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก พบว่าช่วงแรกสามารถรักษาสภาพการแขวนลอยได้นาน ประมาณ 7 ชั่วโมง จากนั้นเริ่มมีการตกตะกอนจนความสูงคงที่

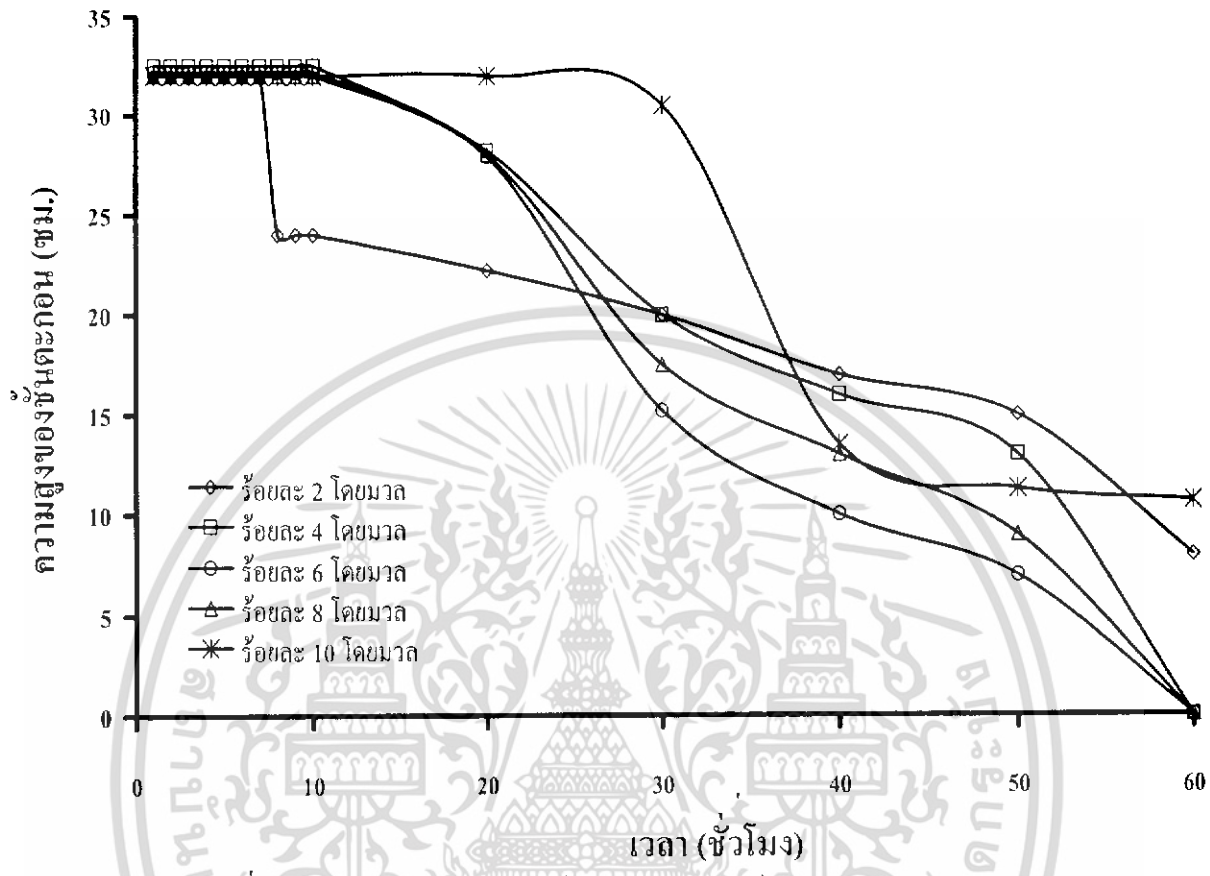
เมื่อนำข้อมูลจากรูปที่ 4.12 นำมาสร้างความสัมพันธ์ในรูปของค่า T-10 ดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าสารตัวอย่างที่เติมแคลเซียมคลไรด์ ยูเรีย และเอทิลีนไกลคอล มีค่า T-10 คือ 9.14 14.78 และ 7.4 ชั่วโมงตามลำดับ จะเห็นว่าสารตัวอย่างที่เติมแคลเซียมคลอไรด์นั้นให้ค่า T-10 สูงที่แต่ยังมีค่าห่างจากผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศประมาณ 1 เท่า เมื่อเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคลอไรด์ สามารถเพิ่มเสถียรภาพในการแขวนลอยให้สูงได้ แต่ถ้าใช้ในปริมาณที่มากจนเกินไป ส่งผลต่อคุณสมบัติของสารตัวอย่าง ทำให้มีปริมาณของคลอไรด์เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกศึกษาเอทิลีนไกลคอล เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบเมื่อมีปริมาณมากขึ้น โดยศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมที่สามารถเพิ่มค่า T-10 ให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้า

4.4.2 ปริมาณที่เหมาะสมของเอทิลีนไกลคอล ที่มีผลต่อความเสถียรภาพของการแขวนลอย

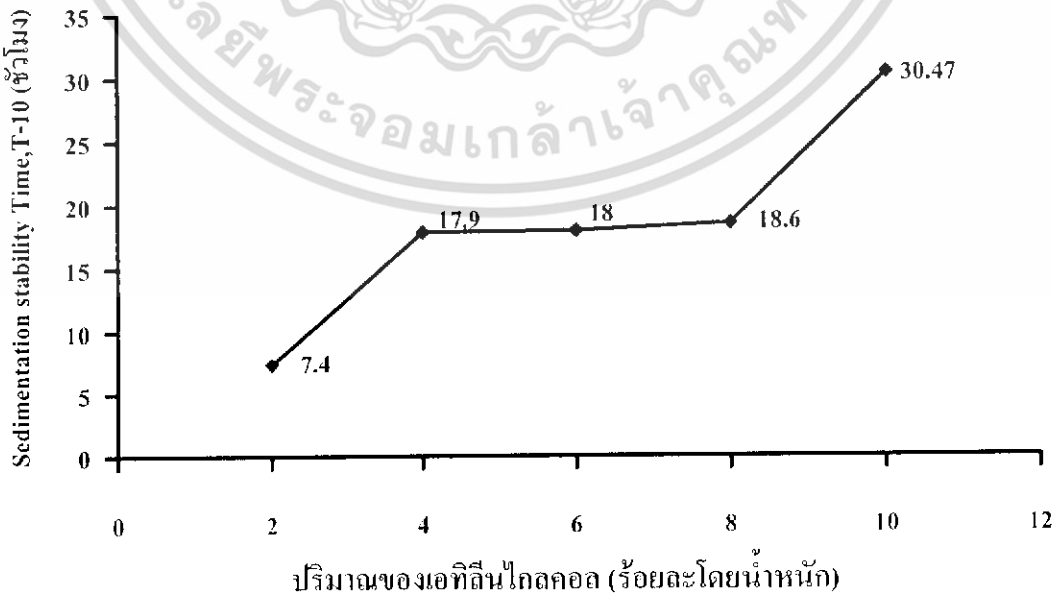
ปริมาณของเอทิลีนไกลคอล มีผลต่อการเสถียรภาพของการแขวนลอยโดยเมื่อเติมลงไปแล้วจะทำให้ค่า T-10 ของสารตัวอย่างมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณที่ใช้ในข้างต้นให้ค่า T-10 ที่น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกินไป ดังนั้นจึงทำการศึกษาการหาปริมาณที่เหมาะสม โดยปรับเปลี่ยนปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 2 -10 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงผลของปริมาณร้อยละของเอทิลีนไกลคอลต่อลักษณะการตกตะกอน



รูปที่ 4.15 แสดงค่า T-10 เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณของเอทิลีนไกลคอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

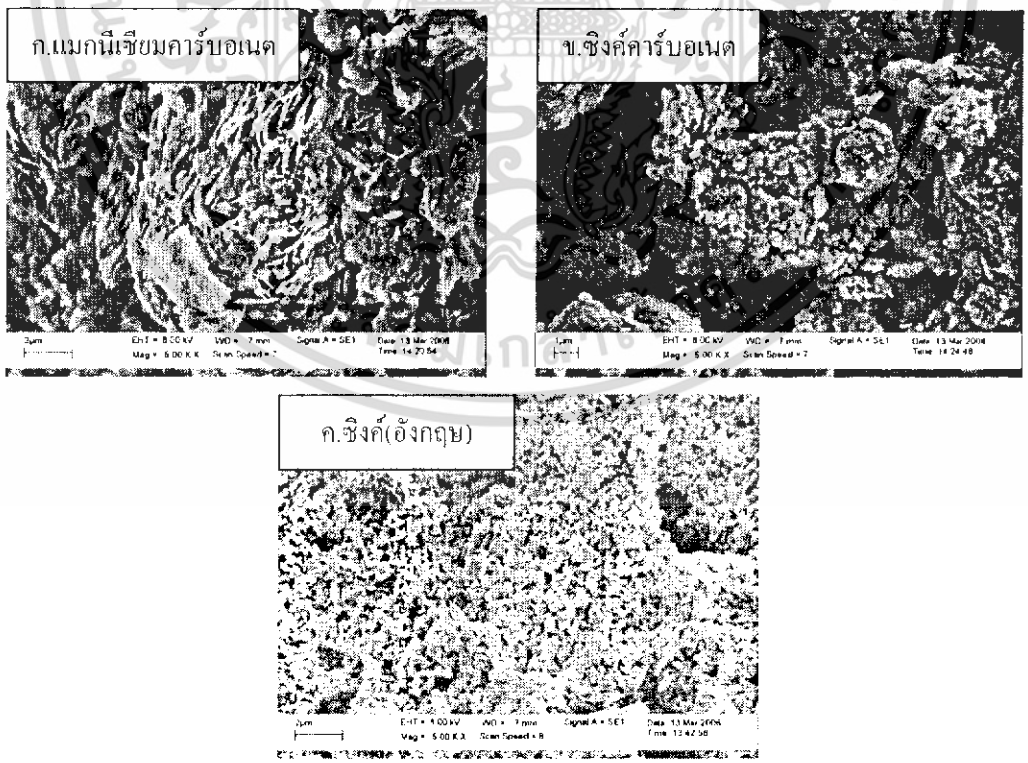
จากรูปที่ 4.15 ผลการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารเติมแต่งเอทิลีนไกลคอล พบว่าที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีค่า T-10 ต่ำมากที่ประมาณ 7.4 และเอทิลีนไกลคอลในช่วงร้อยละ 4-8 โดยน้ำหนัก มีค่าที่ T-10 ค่อนข้างคงที่ประมาณ 18 ชั่วโมง และเมื่อใช้เอทิลีนไกลคอลร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ให้ค่า T-10 มากที่สุด สามารถช่วยในการรักษาสภาพการแขวนลอยของอนุภาคได้นานขึ้น สำหรับงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เอทิลีนไกลคอล ที่ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับค่า T-10 ของผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศออสเตรเลียและอังกฤษ

4.5 เสถียรภาพของสารตัวอย่างชนิดอื่น

แร่ธาตุเสริมที่ช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดี อาทิ แร่ธาตุแคลเซียม แร่ธาตุแมกนีเซียม แร่ธาตุสังกะสี ซึ่งแร่ธาตุแคลเซียม ศึกษาอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด ต่าง ๆ พบว่า ใช้สารตั้งต้นในลักษณะของของเหลวข้น ซึ่งให้ค่า T-10 ที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปเป็นการศึกษาแร่ธาตุแมกนีเซียม ในรูปของแร่แมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต และแร่ธาตุสังกะสี ในรูปของแร่ซิงค์ออกไซด์ ซิงค์คาร์บอเนต โดยแบ่งการศึกษาเป็นดังนี้

4.5.1 ศึกษาลักษณะการกระจายตัวและขนาดอนุภาค

เป็นการศึกษาด้วยภาพจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 5000 เท่า โดยการพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค เมื่อทำการผสมเป็นสารตัวอย่างแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งสารตัวอย่างนำมาศึกษานั้น คือ แมกนีเซียมคาร์บอเนต และซิงค์คาร์บอเนต



รูปที่ 4.16 ลักษณะการกระจายตัวและผลึกของสารตัวอย่าง เมื่อวิเคราะห์โดย SEM ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 แมกนีเซียมคาร์บอเนต ซิงค์คาร์บอเนต และซิงค์ที่นำเข้าจากประเทศอังกฤษ มีขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาค เป็น 1.28 2.3 และ 0.25 ไมครอน สำหรับแมกนีเซียมคาร์บอเนต มีลักษณะเป็นผลึกแบบแผ่น การกระจายตัวสม่ำเสมอ ส่วนซิงค์คาร์บอเนตมีลักษณะเป็นผลึกแบบทรงกลม ซึ่งมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับแร่ธาตุอื่น ๆ อาจส่งผลให้ความเสถียรภาพในการแขวนลอยลดลง ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่เป็นกลุ่มแร่ธาตุซิงค์ที่นำเข้าจากประเทศอังกฤษมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยค่อนข้างเล็กมากประมาณ 0.25 ไมครอน มีลักษณะการกระจายของอนุภาคที่สม่ำเสมอ

4.5.2 ความเสถียรภาพของสารตัวอย่าง

เป็นการศึกษาใน 2 ลักษณะคือ การผสมและปั่นกวนในห้องทดลอง และการผสมและปั่นกวนโดยใช้เครื่องบด ชนิด บอลมิลล์ ซึ่งการเตรียมสารตัวอย่างในระดับห้องทดลองนั้น ต้องใช้เวลานานเพื่อให้สารเข้ากันได้ดี ส่วนการเตรียมโดยการลดขนาดอนุภาคด้วยเครื่องบด ชนิดบอลมิลล์ ใช้เวลาในการผสมน้อย ลักษณะของสารตัวอย่างที่เป็นของเหลวข้นเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.3

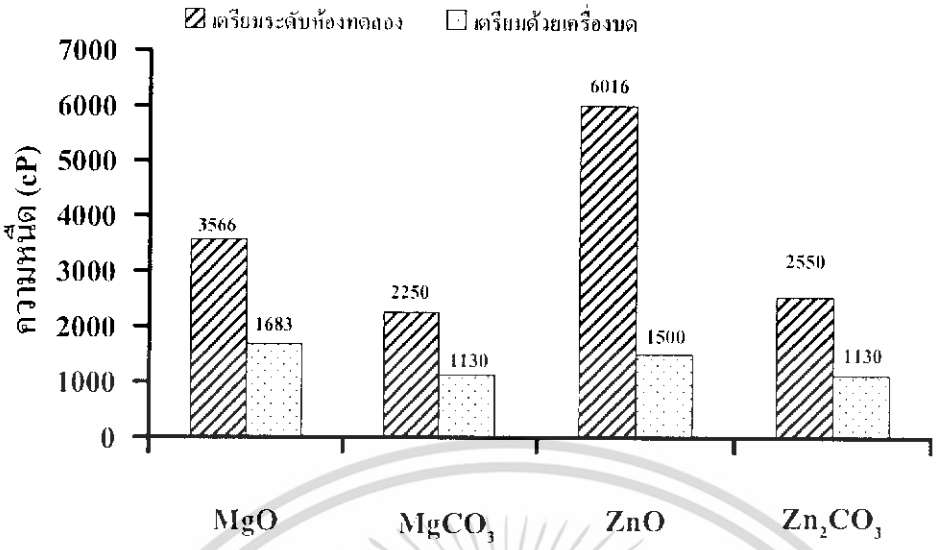
ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีโดยใช้ลักษณะการเตรียมด้วยวิธีต่าง ๆ

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ	MgO		$MgCO_3$		Zn_2O		Zn_2CO_3	
	Lab	Mill	Lab	Mill	Lab	Mill	Lab	Mill
1. ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (ppm)	0.13	0.06	0.09	0.05	0.21	0.13	0.10	0.08
2. ความเข้มข้นของไนเตรต (ppm)	15.2	18.6	18.6	33.2	9.3	8.2	10.3	7.1
3. ความถ่วงจำเพาะ	1.498	1.279	1.192	1.120	1.464	1.354	1.403	1.285
4. ความเป็นกรด – ด่าง	9.57	9.53	8.67	9.42	8.19	7.45	8.01	7.57
5. ความหนืด (cP)	3566	1683	2550	1130	6016	1500	2550	1133

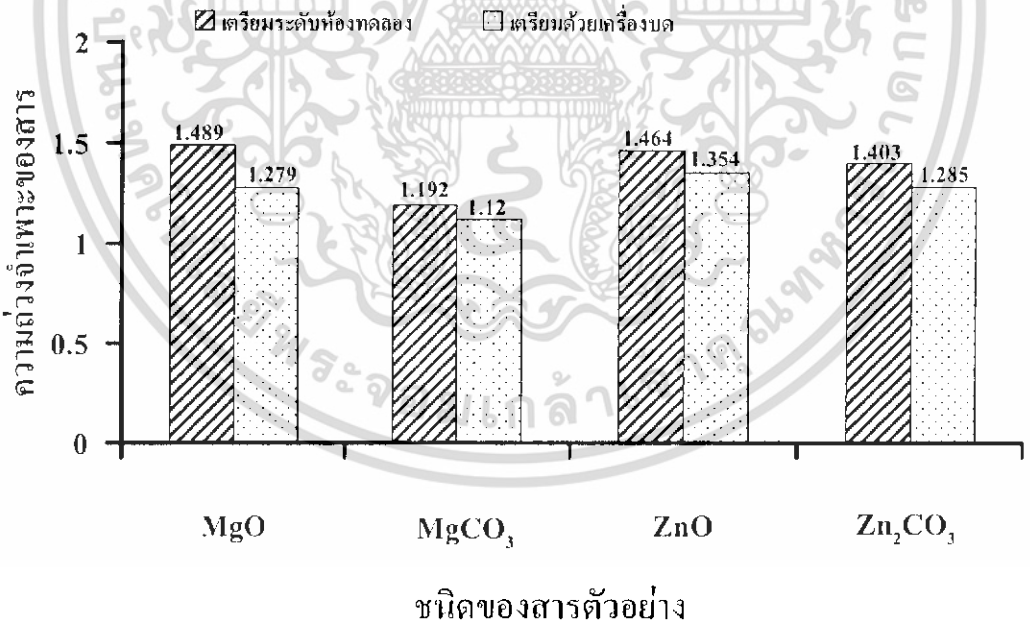
* Lab คือ เตรียมระดับห้องทดลอง ** Mill คือ เตรียมโดยใช้เครื่องบด ชนิดบอลมิลล์

จากตารางที่ 4.3 พบว่าความถ่วงจำเพาะและความหนืดของสารที่เตรียมในห้องทดลอง มีค่ามาก สำหรับปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย นั้นมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสารตัวอย่างที่เตรียมในห้องทดลองและเตรียมด้วยเครื่องบดชนิด บอลมิลล์ สำหรับความถ่วงจำเพาะและความหนืด แสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.17 และ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบความหนืดของสารตัวอย่างจากการเตรียมด้วยวิธีต่างๆ



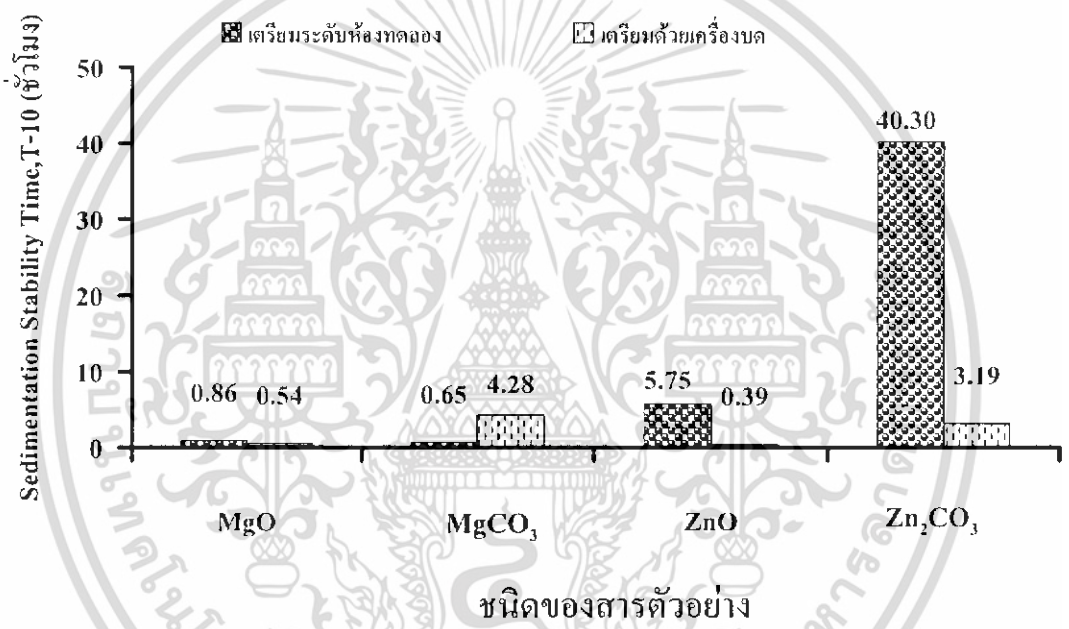
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบความถ่วงจำเพาะของสารตัวอย่างจากการเตรียมด้วยวิธีต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบความหนืดของสารตัวอย่างที่เตรียมในระดับห้องทดลอง และระดับโรงงานต้นแบบ พบว่าสารตัวอย่างที่เตรียมในระดับห้องทดลองให้ค่าความหนืดที่สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากวิธีการเตรียมสารตัวอย่างด้วยเครื่องบดนั้นเป็นการลดขนาดของอนุภาคด้วย เมื่อขนาดของอนุภาคใหญ่มีผลต่อการเคลื่อนที่ ส่งผลทำให้ความหนืดของสารตัวอย่างสูงขึ้นกว่าสารที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า จึงทำให้สารตัวอย่างที่เตรียมในระดับห้องทดลองมีค่าความหนืดมากกว่า ส่วนรูปที่ 4.18 เป็นการเปรียบเทียบความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของเหลว สารที่เตรียมทั้ง 2 วิธีให้ค่าที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากขนาดอนุภาคไม่ค่อยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถ่วงจำเพาะของสารตัวอย่าง

จากนั้นนำสารตัวอย่างที่เตรียมด้วยวิธีต่างๆ มาทดสอบเสถียรภาพในการรักษาสภาพการแขวนลอยของสารตัวอย่าง แล้วนำข้อมูลที่ได้สร้างเป็นความสัมพันธ์ เพื่อพิจารณาค่า T-10 ดังแสดงในรูปที่ 4.19

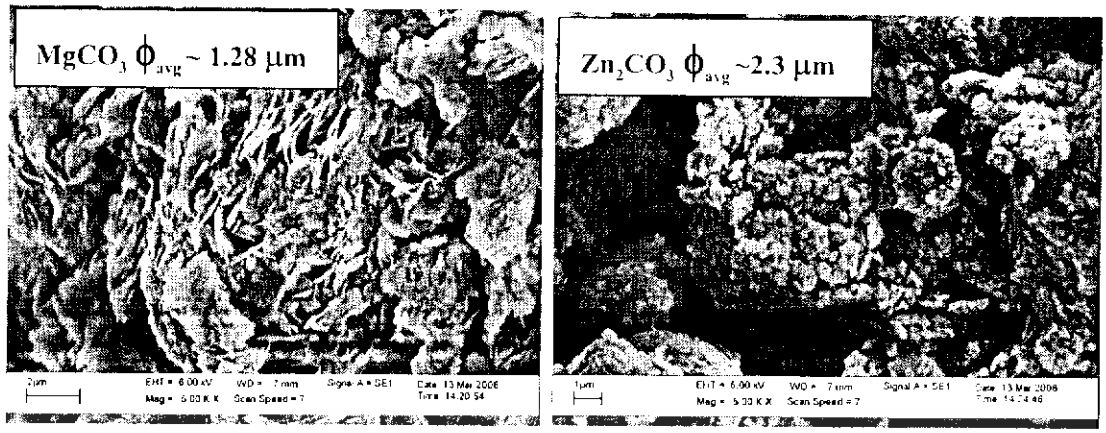


รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่า T-10 ของสารตัวอย่างจากการเตรียมด้วยวิธีต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.19 แสดงเสถียรภาพในการรักษาสภาพการแขวนลอยของสารตัวอย่าง จากการเตรียมสารตัวอย่างในระดับห้องทดลอง และเตรียมด้วยเครื่องบด พบว่าแร่ธาตุในกลุ่มออกไซด์ คือ แมกนีเซียมออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ มีค่าT-10 ลดลงจากการเตรียมด้วยเครื่องบด จาก 0.54 และ 0.39 เป็น 0.86 และ 5.75 ตามลำดับ ส่วนแร่ธาตุแมกนีเซียมคาร์บอเนตนั้นเมื่อใช้การเตรียมสารตัวอย่างด้วยเครื่องบดชนิด บอลมิลล์ ส่งผลให้ค่า T-10 ลดลง จาก 4.28 เป็น 0.65 สำหรับซิงค์คาร์บอเนตนั้นเมื่อเตรียมในระดับห้องทดลองมีผลทำให้ค่า T-10 ที่สูงกว่า

เมื่อพิจารณาเสถียรภาพในการแขวนลอยของสารตัวอย่างที่เตรียมระดับห้องทดลองของแร่แมกนีเซียมคาร์บอเนตและซิงค์คาร์บอเนต ซึ่งให้ค่า T-10 ที่แตกต่างกันมาก เนื่องมาจากลักษณะของอนุภาคที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ลักษณะสัณฐานวิทยาของของอนุภาคที่เตรียมจากแมกนีเซียมคาร์บอเนต และซิงค์คาร์บอเนต ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

จากรูปที่ 4.20 เป็นการเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างที่เตรียมในระดับห้องทดลองของแมกนีเซียมคาร์บอเนตและซิงค์คาร์บอเนต พบว่าลักษณะของสารตัวอย่างที่เตรียมจากแมกนีเซียมคาร์บอเนตนั้นมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 1.28 ไมครอน โดยลักษณะของอนุภาคเป็นผลึกแบบแผ่น การกระจายตัวสม่ำเสมอ ส่วนซิงค์คาร์บอเนต ขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 2.3 ไมครอน ลักษณะของอนุภาคเป็นทรงกลม เมื่อพิจารณาจากลักษณะดังกล่าว พบว่าแมกนีเซียมคาร์บอเนตมีเป็นผลึกแบบแผ่น เกิดการจับตัวกันแล้วทำให้ตกตะกอนเร็วกว่าซิงค์คาร์บอเนตซึ่งลักษณะอนุภาคเป็นทรงกลม

4.5.2 การใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพในการแขวนลอยของแมกนีเซียมคาร์บอเนต

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าแมกนีเซียมคาร์บอเนตมีการตกตะกอนเร็วมาก ส่งผลต่อการนำไปใช้ของเกษตรกร ดังนั้นจะใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ที่เป็นของเหลวข้น ซึ่งมีค่า T-10 ที่สูงอยู่แล้วนำมาผสมในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อช่วยพยุงอนุภาคแมกเนียมคาร์บอเนตให้สามารถรักษาสภาพการแขวนลอยได้นานขึ้น โดยเลือกศึกษาแมกนีเซียมคาร์บอเนต 2 ชนิดคือชนิด A และชนิด B ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดนี้มีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน ตารางที่ 4.4 แสดงสัดส่วนต่าง ๆ ของแมกนีเซียมคาร์บอเนตต่อแคลเซียมคาร์บอเนตโดยปริมาณของแข็งรวม คือ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การควบคุมปริมาณเอนุภาคของของแข็ง เข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมคาร์บอเนต ต่อแคลเซียมคาร์บอเนต

สารตัวอย่าง	สูตรทดลอง					
	1	2	3	4	5	6
แมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด A	30	20	10	-	-	-
แมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด B	-	-	-	30	20	10
แคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด F	10	20	30	10	20	30

ใช้วิธีการผสมและปั่นกวนด้วยเครื่องบด ชนิด บอลมิลล์ ช่วยในการผสมให้สารเข้ากันได้ดี จะได้สารตัวอย่างที่มีลักษณะข้นเป็นเนื้อเดียว จากนั้นนำไปตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และนำไปทดสอบเสถียรภาพในการรักษาสภาพการแขวนลอย ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.21

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติต่าง ๆ ของสารตัวอย่าง เมื่อปรับเปลี่ยนสัดส่วนของปริมาณแมกนีเซียมคาร์บอเนต ต่อแคลเซียมคาร์บอเนต

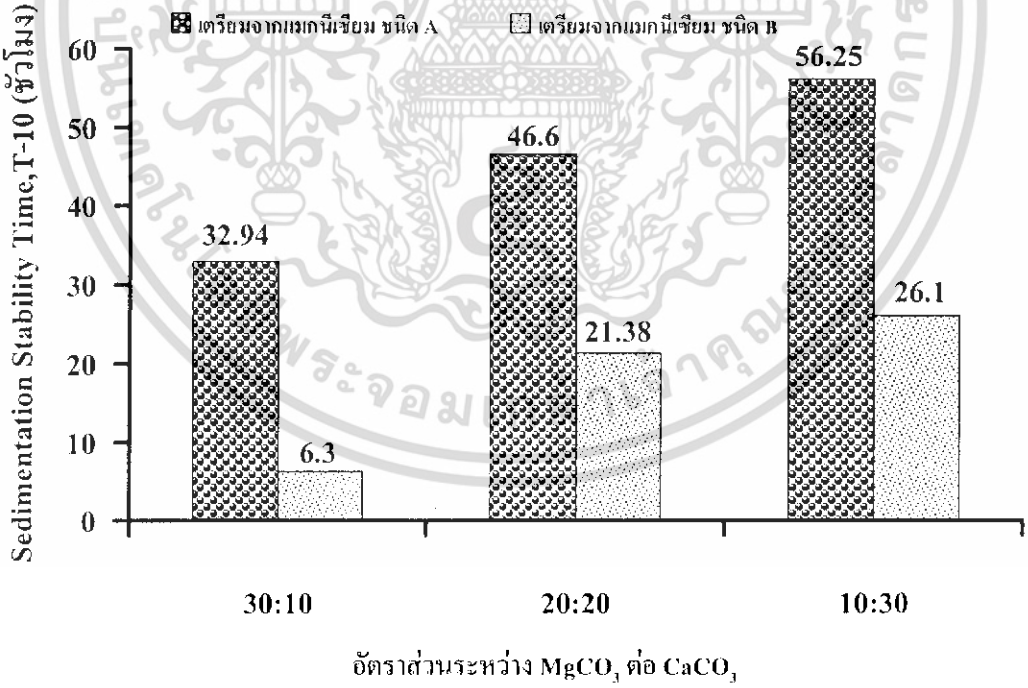
คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ	$MgCO_3$(A) : $CaCO_3$			$MgCO_3$ (B): $CaCO_3$		
	30 : 10	20 : 20	10 : 30	30 : 10	20 : 20	10 : 30
1. ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (ppm)	0.17	0.15	0.12	0.19	0.15	0.11
2. ความเข้มข้นของไนเตรต (ppm)	54.4	53.3	53	50	52	55.7
3. ความถ่วงจำเพาะ	1.2367	1.2351	1.2155	1.2341	1.2245	1.2157
4. ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	9.54	9.51	9.42	8.84	8.74	8.53
5. ความหนืด (cP)	5520	4200	2750	5150	4740	3150

จากตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารตัวอย่างในลักษณะของสารผสมระหว่างแมกนีเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด F ตัวอย่างทั้ง 6 ชนิด ที่ทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมคาร์บอเนตต่อแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนเตรตมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของ แมกนีเซียมคาร์-บอเนตต่อแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด F โดยทั่วไปปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนเตรตแสดงถึงปริมาณของยูเรียที่ใช้ในสูตรผสมมีค่าคงที่ สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่าง พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของปริมาณแมกนีเซียมคาร์บอเนตมากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด F โดยมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นของแมกนีเซียมคาร์บอเนตมีค่ามากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อใช้ปริมาณแมกนีเซียมคาร์บอเนตในสัดส่วนที่มากส่งผลทำให้ความถ่วงจำเพาะในวัฏภาคของเหลวสูงขึ้น

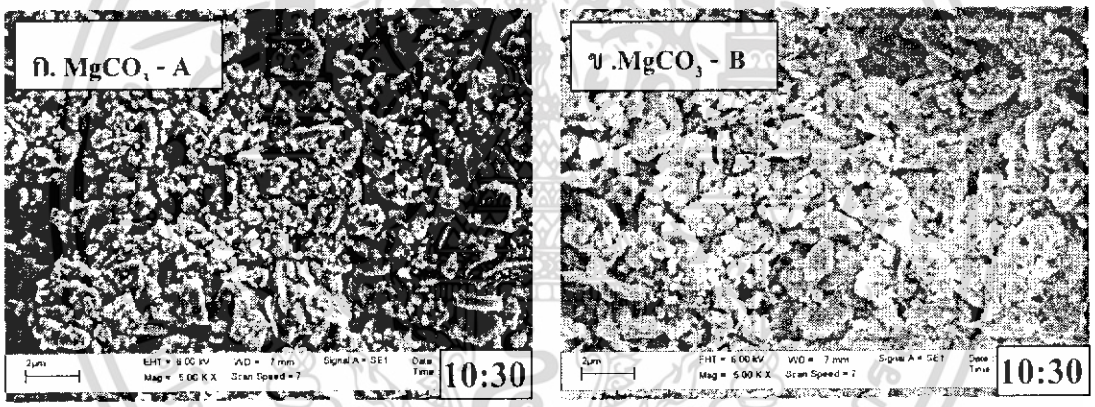
สำหรับค่าความเป็นกรด – ด่าง ของสารผสมที่ใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด A มีค่าอยู่ในช่วง 9.42 – 9.54 และแมกนีเซียมคาร์บอเนตชนิด B มีค่าอยู่ในช่วง 8.84 – 8.53 พบว่าเมื่อสัดส่วนของแมกนีเซียมคาร์บอเนตมากขึ้น ทำให้สารตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่าความหนืดของตัวอย่างนั้น พบว่าเมื่อสัดส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตมากขึ้น ค่าความหนืดลดลงอย่างเห็นได้ชัดจากการใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตชนิด A ที่สัดส่วนแมกนีเซียมคาร์บอเนต ต่อแคลเซียมคาร์บอเนต เท่ากับ 10 ต่อ 30 ค่าความหนืดลดลงเป็นสองเท่า เมื่อเทียบกับที่สัดส่วน 30 ต่อ 10 ซึ่งอาจจะอธิบายได้ว่าแมกนีเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านการบด ลดขนาดอนุภาคด้วยเครื่องบดชนิดบอลมิลล์ แล้วยังคงมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด F ซึ่งแมกนีเซียมคาร์-บอเนตมีลักษณะแนวโน้มเช่นเดียวกัน ดังนั้นค่าความหนืดของตัวอย่างที่ใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตจึงมีค่ามาก จากนั้นนำไปทดสอบการตกตะกอนแล้วนำมาสร้างความสัมพันธ์ แสดงในรูปของค่า T-10 ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบค่า T-10 ของแมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิดA และ B รวมทั้งผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ที่เติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสถียรภาพของการแขวนลอยของตัวอย่าง แสดงในลักษณะของค่า T-10 ดังแสดงผลในรูปที่ 4.21 เสถียรภาพของตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนต ที่เพิ่มขึ้น ถ้าใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตชนิด A ที่สัดส่วน แมกนีเซียมคาร์บอเนต ต่อแคลเซียมคาร์บอเนต เท่ากับ 30 ต่อ10 มีค่า T-10 ประมาณ 32.94 ชั่วโมง ซึ่งมีค่ามากกว่าแมกนีเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และเมื่อเพิ่มสัดส่วนเป็น 20 ต่อ20 มีค่า T-10 ประมาณ 46.6 ชั่วโมง และที่สัดส่วน 10 ต่อ 30 มีค่า T-10 ใกล้เคียงกับตัวอย่างสารแขวนลอยแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ซึ่ง มีค่ามากกว่า 50 ชั่วโมง ส่วนใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนตชนิด B ที่อัตราส่วน 30 ต่อ 10 20 ต่อ 20 และ 10 ต่อ 30 มีค่า T-10 ประมาร 6.3 21.38 และ 26.1 ตามลำดับ จากลักษณะดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต มีส่วนช่วยเพิ่มความสามารถในการรักษาสภาพการแขวนลอยให้กับแมกนีเซียมคาร์บอเนต พิจารณาจากรูปที่ 4.21 พบว่าที่อัตราส่วนต่างๆ ของแมกนีเซียมคาร์บอเนตชนิด A มีค่า T -10 ที่มากกว่าแมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด B เสมอ เนื่องจากสารตัวอย่างที่เตรียมจากแมกนีเซียมคาร์บอเนตชนิด A มีขนาดอนุภาคที่เล็กว่า ดังเห็นได้จากรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคของสารผสมระหว่างแคลเซียมคาร์บอนเนตลักษณะของเหลวข้นกับแมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด A และ B ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

จากรูปที่ 4.22 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคของสารผสมระหว่างแคลเซียมคาร์บอนเนตลักษณะของเหลวข้นกับแมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด A และ B ในอัตราส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตต่อแมกนีเซียมคาร์บอเนต เท่ากับ 10:30 เมื่อพิจารณารูปที่ 4.22ก แสดงลักษณะการกระจายตัวและขนาดอนุภาคอนุภาคของสารผสมระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนตกับแมกนีเซียมคาร์-บอเนต ชนิด A พบว่าอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต (อนุภาคขนาดเล็กในภาพ SEM ที่แทรกตัวอยู่ระหว่างผลึกขนาดใหญ่) มีการกระจายที่สม่ำเสมอ ทำให้อนุภาคแมกนีเซียมคาร์บอเนตที่มีขนาดผลึกใหญ่กว่าไม่จับรวมตัวเป็นก้อน ดังนั้นอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตจึงช่วยพยุงอนุภาคของแมกนีเซียมคาร์บอเนตให้สามารถแขวนลอยได้นานขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.22ข พบว่ามีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายตัวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่น้อยกว่า สามารถใช้เพิ่มเสถียรภาพได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งลักษณะของอนุภาคแมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด B มีลักษณะเป็นผลึก ทำให้เกิดการจับตัวของผลึกแมกนีเซียมคาร์บอเนต ส่งผลทำให้เกิดการตกตะกอนที่เร็วกว่าสารตัวอย่างที่ผสมด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด A ดังนั้นในการผลิตปุ๋ยในลักษณะของสารผสมควรเลือกใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด A และ การเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ในสัดส่วนร้อยละ 20-30 โดยน้ำหนัก เป็นอีกหนึ่งแนวทางในการช่วยเพิ่มเสถียรในการแขวนลอยของอนุภาคแมกนีเซียมคาร์บอเนต

4.6 เสถียรภาพในการแขวนลอยของสารตัวอย่างที่เตรียมระดับโรงงานต้นแบบ

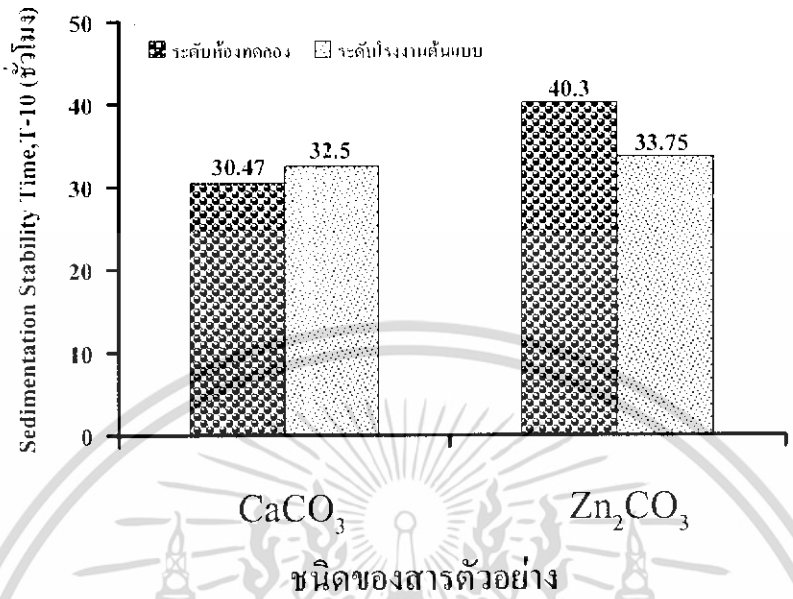
เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และความสามารถในการรักษาสภาพการแขวนลอยของแคลเซียมคาร์บอเนต และซิงก์คาร์บอเนต โดยเทียบกับการเตรียมสารตัวอย่างในระดับห้องทดลอง ควรมีค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน ซึ่งนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษานำไปใช้ในการผลิตในระดับโรงงานต่อไป นำสารตัวอย่างที่เตรียมระดับห้องทดลองและระดับโรงงานต้นแบบตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารตัวอย่างระดับห้องทดลองและระดับโรงงานต้นแบบ

คุณสมบัติทางกายภาพ	ระดับห้องทดลอง		ระดับโรงงานต้นแบบ	
	$CaCO_3$	Zn_2CO_3	$CaCO_3$	Zn_2CO_3
1. ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (ppm)	0.17	0.10	0.10	0.10
2. ความเข้มข้นของไนเตรต (ppm)	10.5	10.3	4.7	7.6
3. ความถ่วงจำเพาะ	1.4144	1.403	1.4310	1.399
4. ความเป็นกรด – ด่าง	7.89	8.01	7.93	8.11
5. ความหนืด (cP)	5096	2550	5200	2600

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารตัวอย่างที่ผลิตขึ้นในระดับห้องทดลอง และระดับโรงงานต้นแบบของสารทั้ง 2 ชนิด พบว่า คุณสมบัติโดยรวมส่วนใหญ่แล้วมีความใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณความเข้มข้นของไนเตรตแตกต่างกัน เนื่องจากระยะเวลาในเก็บ มีผลทำให้ปริมาณความเข้มข้นของไนเตรตเพิ่มขึ้น จากนั้นนำไปทดสอบความสามารถในการรักษาสภาพการแขวนลอยของสารตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.20 เป็นการเปรียบเทียบเสถียรภาพของสารตัวอย่าง ในรูปของค่า T-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าเสถียรภาพของการแขวนลอยของสารตัวอย่างที่ผลิตในระดับห้องทดลองและระดับโรงงานต้นแบบ

รูปที่ 4.23 แสดงเสถียรภาพของสารตัวอย่างระดับโรงงานต้นแบบ แสดงในลักษณะค่า T-10 เสถียรภาพของสารตัวอย่าง แคลเซียมคาร์บอเนต และซิงค์คาร์บอเนต มีค่าT-10ประมาณ 32.5 และ 33.75 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศอังกฤษ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับของต่างประเทศ ซึ่งค่า T-10 ที่เหมาะสมต่อความเสถียรของการแขวนลอยอยู่ในช่วง 30-35 ชั่วโมง จากผลการทดลองส่วนนี้แสดงให้เห็นว่าการผลิตในปริมาณที่มากขึ้นจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่าง ๆ และความเสถียรภาพแขวนลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด A มีขนาดอนุภาค 6 ไมครอน ผลิตภัณฑ์ของประเทศอังกฤษมีขนาด 4.8 ไมครอนและออสเตรเลียมี ขนาด 2.5 ไมครอน ซึ่งแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A มีขนาดอนุภากใหญ่ที่สุด ทำให้สารตกตะกอนเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ประเทศอังกฤษและออสเตรเลีย

ผลการทดลองศึกษาเสถียรภาพในการแขวนลอย โดยใช้วิธีการบดด้วยลูกบอลเซรามิกซ์ พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A มีเสถียรภาพในการแขวนลอย ประมาณ 9.14 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศอังกฤษและออสเตรเลีย มีค่าประมาณ 30-35 ชั่วโมง

ผลการศึกษาเสถียรภาพการแขวนลอยของสารตัวอย่างในลักษณะของเหลวข้นพบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 3 ชนิด มีเสถียรภาพในการแขวนลอยค่อนข้างสูง ประมาณ 60 ชั่วโมง จึงเลือกใช้แคลเซียมคาร์บอเนตในลักษณะของเหลวข้นเป็นสารตั้งต้นในผลิตภัณฑ์

ผลการศึกษาการเพิ่มความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของเหลว ที่มีผลต่อเสถียรภาพของการแขวนลอย จากผลการศึกษาดังกล่าวเลือกใช้เอทิลีไกลคอล ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นสารช่วยเพิ่มความถ่วงจำเพาะ เนื่องจากให้เสถียรภาพในการรักษาสภาพการแขวนลอยประมาณ 30.47 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

ผลการศึกษาเสถียรภาพของสารตัวอย่างอื่น ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมคาร์บอเนต ซิงค์ออกไซด์ ซิงค์คาร์บอเนต ทั้ง 4 ชนิด ที่เตรียมในห้องทดลองและเตรียมด้วยเครื่องบด ชนิด บอลมิลล์ พบว่าสารตัวอย่างกลุ่มสังกะสีที่เตรียมด้วยเครื่องบด ให้ค่าเสถียรภาพในการรักษาสภาพการแขวนลอยที่สูงขึ้นอยู่ในช่วง 5.75 -8.75 ชั่วโมง ส่วนกลุ่มแมกนีเซียมให้ค่าที่ลดลงเมื่อเตรียมในระดับห้องทดลอง

ผลการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ลักษณะของเหลวข้นเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพในการแขวนลอยของแมกนีเซียมคาร์บอเนต อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดซึ่งเตรียมจากแมกนีเซียม ชนิด A คือ 30 ต่อ10ให้ค่าเสถียรภาพในการรักษาสภาพการแขวนลอยประมาณ 32.94 ชั่วโมง

เสถียรภาพในการแขวนลอยของสารตัวอย่างที่เตรียมระดับโรงงานต้นแบบ พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตและซิงค์ออกไซด์ในระดับโรงงานต้นแบบมีเสถียรภาพในการแขวนลอยมากกว่า 30 ชั่วโมง ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งในระดับโรงงานต้นแบบสามารถรักษาสภาพการแขวนลอยได้ดีกว่าในห้องทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการทดสอบสภาพการแขวนลอยของสารคอลลอยด์ มีหลากหลายวิธี เช่น ทดสอบโดยการกระเจิงของแสง การตรวจวัดค่าศักย์การนำไฟฟ้าของอนุภาค และอื่น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับความลักษณะงานวิจัย ข้อเสนอแนะต่อไปในการพัฒนางานวิจัยนี้ คือ ควรมีการเปรียบเทียบการวัดความสามารถในการตกตะกอนหลาย ๆวิธีเพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสม และสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายอัตราเร็วในการตะกอนจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างแร่ธาตุเสริมอื่น ๆ ต่อไป เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เล่มที่ 18

[2] Shaw, Duncan J. ***Introduction to colloid and surface chemistry***, 4th ed., Oxford : Butterworth-Heinemann, c1992

[3] อุบลทิพย์ นิมมานนิตย์, ***คอลลอยด์*** , ภาควิชาเภสัชกรรม , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ , 2540

[4] Sydney Ross, Ian D. Morrison, ***Colloidal System and Interfaces, Wiley &Son***, New York, 1988

[5] Christie J. Geankoplis, ***Transport Processes and Unit Operation***, 4th ed., Prentice Hall, New Jersey, 2003, pp.154-169

[6] ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, ***Chemical Engineering Practice1***, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ชื่อทางการค้าของสารตัวอย่าง

แคลเซียมคาร์บอเนต - ชนิด A ชื่อทางการค้า 9QQ

แคลเซียมคาร์บอเนต - ชนิด B ชื่อทางการค้า Carbomag

แคลเซียมคาร์บอเนต - ชนิด C

เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศฝรั่งเศส ชื่อทางการค้า Socal 31 เป็นการแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอน ซึ่งมีลักษณะค่อนข้างละเอียด สีขาว ไม่มีกลิ่น มีลักษณะเป็นผงสีขาว คุณสมบัติต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ก.1 *คุณสมบัติต่าง ของแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด Socal 31*

Specifications	**Analytical Method**	**Limits**	**Unit**
Mean particle diameter	*Solvay Method (MTS001)*	*0.05 – 0.10*	μm
Yield Value	Solvay Method (MTS010)	70-170	Pa
Brightness (457 nm)	Based on ISO 2470	≥ 96	%
Residue on sieve (45μm)	Based on ISO 787-18	≤ 1000	ppm
Loss on drying	Based on ISO 787 - 2	≤ 7	g/kg
Characteristic	**Analytical Method**	**Typical Values**	**Unit**
Yield Value	Solvay Method (MTS001)	110	Pa
Mean Particle Diameter	Solvay Method (MTS010)	0.07	μm
Brightness	Based on ISO 2470	≥ 96	%
Residue on sieve (45μm)	Based on ISO 787-18	≤ 1000	ppm
Loss on drying	Based on ISO 787 - 2	≤ 7	g/kg
CaCO3-Content	Based on ISO 3262-1	98.9	%
Free flowing density	Based on ISO 903	210	g/l
Density after tamping	Based on ISO 787-11	350	g/l
Specific surface	Based on ISO 9277	20	m*2/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมคาร์บอเนต - ชนิด D ชื่อทางการค้า FMT-60

- ชนิด E ชื่อทางการค้า FMT-90

- ชนิด F ชื่อทางการค้า FMT-98

ซึ่งแคลเซียมคาร์บอเนตทั้ง 3 ชนิด เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตกลุ่มเปียก มีลักษณะเป็นของเหลวข้น ผู้ผลิต บริษัท F.M.T (ประเทศไทย) จำกัด แสดงคุณสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ ข.2

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติต่างๆ ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีลักษณะของเหลวข้น

Product Name	FMT-60	FMT-90	FMT-98
Grade	Pre-Coating	Top-Coating	Top-Coating
Particle size Distribution < 2 μm	61.0 ± 2%	94.0 ± 2%	98.0 ± 2%
Solid content	75.0 ± 1%		
pH	9.5 ± 0.5		9.5 ± 1
Brightness	94.5 ± 1%		93.5 ± 1 %
Viscosity (Brookfield at 100 rpm	< 400 cps	< 500 cps	< 700 cps
Residual on 43 μm	< 50 ppm		
Abrasion	< 25 mg		< 15 mg
Acid insoluble residue (Hydrochloric Acid)	< 0.50 %		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด A ชื่อทางการค้า M001-01(Magnesium carbonate light: China)

เป็นสารเคมีที่นำเข้าจากประเทศจีน โดย บริษัทเคมมิน จำกัด เป็นตัวแทนในการจัดจำหน่าย ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

Typical Specification

Moisuture:	2.5 % max
HCl insoluble matter:	0.1 % max
CaO:	0.45 % max
MgO :	41 -45 %
SO_4	0.15 % max
Cl	0.15 % max
Fe	0.03 % max
Mn	0.004 % max
$Mg(OH)_2$	0.5 % max
Plus sieve (40 mesh/cm)	0.025 % max
Specific volume ml/g	5.4

แมกนีเซียมคาร์บอเนต ชนิด B ชื่อทางการค้า M001-04 (Magnesium carbonate gold star:Japan)

เป็นสารเคมีที่นำเข้าจากประเทศจีน โดย บริษัทเคมมิน จำกัด เป็นตัวแทนในการจัดจำหน่าย ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

Typical Specification

Soluble salts:	1.0 % max
Acid insoluble substance:	0.05 % max
Heavy metals:	30 ppm max
Arsenic	4 ppm max
Iron	200 ppm max
Calcium	0.45 % max
Moisture Content	2.5 % max
Magnesium oxide	40 – 43.5 %
Ignition loss	54.23 %
Bulk density	0.26 g/ml
Screen residue (+75μm)	0.01 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการคำนวณ

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ แคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A พบว่า มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ไมครอน มีค่าความหนาแน่นของของไหล 1.339 กรัมต่อลบ.ซม^3 และความหนาแน่นของของแข็งแคลเซียมคาร์บอเนต 2.6 กรัมต่อลบ.ซม^3 ซึ่งวัดความหนืดได้ 3760 เซนติพอยด์ จงคำนวณหาแรงจากภายนอก แรงเสียดทาน แรงลอยตัว ความเร็วสุดท้ายของการตกตะกอน

จากสูตรการคำนวณ

m_p = มวลของอนุภาค (กรัม)

D_p = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (ไมครอน)

A = พื้นที่หน้าตัดของอนุภาค (ตารางเมตร)

V_p = ปริมาตรของอนุภาค (ลบ.ซม^3)

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค (กรัมต่อลบ.ซม^3)

ρ_f = ความหนาแน่นของของไหล (กรัมต่อลบ.ซม^3)

g = ค่าคงที่แรงโน้มถ่วง (เมตรต่อวินาที^{2})

μ = ค่าความหนืด (เซนติพอยด์)

v_t = ความเร็วสุดท้ายของการตกตะกอน (เมตรต่อวินาที)

C_D = ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (ไร้หน่วย)

N_{Re} = เรย์โนลนัมเบอร์ (ไร้หน่วย)

F_g = แรงภายนอก (นิวตัน)

F_D = แรงลาก (นิวตัน)

F_b = แรงลาก (นิวตัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.การคำนวณแรงจากภายนอก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณแรงจากภายนอก

มวลของอนุภาค

$$m_p = \frac{\pi D_p^3 \rho_p}{6}$$

$$= \frac{3.14 \times (6 \times 10^{-6} m)^3 \times (2.6 g/cm^3) \times (100 cm)^3}{6 \times 1 m^3}$$

$$= 9.36 g$$

∴มวลของอนุภาคสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A มีค่า 9.36 กรัม

แรงจากภายนอก

$$F_g = m_p g$$

$$= \frac{(9.36 g) \times (9.8 m/s^2) \times (1N) \times (1kg)}{(1kg.m/s^2) \times (1000 g)}$$

$$= 0.091 N$$

∴แรงจากภายนอกของสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A มีค่า 0.091 นิวตัน

2. การคำนวณแรงลาก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาแรงลาก

ความเร็วสุดท้ายจากการค่าสุดท้าย

$$v_t = \frac{g D_p^2 (\rho_p - \rho_f)}{18 \mu}$$

$$= \frac{(9.8 m/s^2) \times (6 \times 10^{-6} m)^2 \times (2.26 - 1.339 g/cm^3)}{18 \times (3760 cP)}$$

$$= 4.8 \times 10^{-9} \ m/s$$

∴ความเร็วสุดท้ายในการตกตะกอนของสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A มีค่า 4.8×10^{-9} เมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรย์โนลนัมเบอร์

$$N_{\mathrm{Re}} = \frac{D_p v \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(6\times10^{-6}\,m)\times(4.8\times10^{-9}\,m/s)\times(1.339\,g/cm^3)}{3760\,cP}$$

$$= 1.025\times10^{-11}$$

∴เรย์โนลนัมเบอร์ของสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A มีค่า 1.025×10^{-11}

สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

$$C_D = \frac{24}{D_p v \rho/\mu} = \frac{24}{N_{\mathrm{Re}}}$$

$$= \frac{24}{1.025\times10^{-11}}$$

$$= 2.341$$

∴ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A มีค่า 2.341

พื้นที่หน้าตัดของอนุภาค

$$A = \frac{\pi D_p^2}{4}$$

$$= \frac{(3.14)\times(6\times10^{-6}\,m)^2}{4}$$

$$= 2.82x10^{-11}\,m^2$$

∴ พื้นที่หน้าตัดของอนุภาคสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A มีค่า $2.82x10^{-11}$ ตารางเมตร

แรงลาก

$$F_D = \frac{C_D v^2 \rho_f A}{2}$$

$$= \frac{(2.341)\times(4.8\times10^{-9}\,m/s)^2\times(1.339\,g/cm^3)\times(2.82\times10^{-11}\,m^2)}{2\times\left[\ (100cm)^3/(1m)^3\ \right]}$$

$$= (1.018\times10^{-21}\,g.m/s^2)\times(1kg/1000g)$$

$$= 1.018\times10^{-24}\ kg.m/s^2\ (1N = kg.m/s^2)$$

∴แรงลากของสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A มีค่า 1.018×10^{-24} นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณแรงลอยตัว

สูตรที่ใช้ในการคำนวณแรงลอยตัว

$$F_b = \frac{m\rho_f g}{\rho_p} = \rho_f V_p g$$

$$= \frac{(9.36g)\times(1.339g/cm^3)\times(9.8m/s^2)}{2.6g/cm^3}$$

$$= (47.23g.m/s^2)\times(1kg/1000g)$$

$$= 0.047\ kg.m/s^2\ (1N = kg.m/s^2)$$

∴แรงลอยตัวของสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนตชนิด A มีค่า 0.047 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง การตกตะกอนของสารตัวอย่าง

ตารางที่ ค.1 การทดสอบการตกตะกอนของสารตัวอย่างแคลเซียมคาร์บอเนต ชนิด A ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

เวลา (ชั่วโมง)	ระดับความสูงของชั้นตะกอน (เซนติเมตร)		
	$CaCO_3$ ชนิด A	ออสเตรเลีย	อังกฤษ
1	34	34.0	34.0
2	33.7	32.5	33.0
3	33.2	32.5	33.0
4	32.8	32.5	33.0
5	32.5	32.5	33.0
6	32.1	32.5	33.0
7	31.9	32.5	33.0
8	31.2	32.0	32.9
9	30.7	32.0	32.9
10	30	32.0	32.9
20	25	31.0	31.5
30	18.4	30.8	30.3
40	18	29.0	28.2
50	17.9	25.0	26.0
60	17.9	20.2	21.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ผลการศึกษาการเพิ่มความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของของเหลวโดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้นในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก

แคลเซียมคลอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความถ่วงจำเพาะ
2	1.0556
4	1.0649
6	1.0815
8	1.0923
10	1.1122
20	1.1438
30	1.2233
40	1.2742
50	1.3995
60	1.5220

ตารางที่ ค.3 ผลการศึกษาการเพิ่มถ่วงความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของของเหลวโดยใช้ยูเรีย ที่ความเข้มข้นในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก

ยูเรีย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความถ่วงจำเพาะ
2.00	0.9898
4.00	0.9923
6.00	0.9974
8.00	0.9986
10.00	1.0000
12.00	1.0010
14.00	1.0070
16.00	1.0150
18.00	1.0200
20.00	1.0258

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ผลการศึกษาการเพิ่มถ่วงความถ่วงจำเพาะของวัฏภาคของของเหลวโดยใช้เอทิลีนไกลคอล ที่ความเข้มข้นในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก

เอทิลีนไกลคอล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความถ่วงจำเพาะ
2.00	1.0320
4.00	1.0350
6.00	1.0420
8.00	1.0426
10.00	1.0443
12.00	1.0450
14.00	1.0462
16.00	1.0486
18.00	1.0498
20.00	1.0523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ผลศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเอทิลีนไกลคอล ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

เวลา (ชั่วโมง)	ความสูงของชั้นตะกอนเอทิลีนไกลคอล ที่ปริมาณต่าง ๆ (เซนติเมตร)				
	2%	4%	6%	8%	10%
1	32	32.5	32.2	32	33
2	32	32.5	32.2	32	33
3	32	32.5	32.2	32	33
4	32	32.5	32.2	32	33
5	32	32.5	32.2	32	33
6	32	32.5	32.2	32	33
7	32	32.5	32.2	32	33
8	24	32.5	32.2	32	33
9	24	32.5	32.2	32	33
10	24	32.5	32.2	32	33
20	22.2	28.2	27.9	28	33
30	20	20	15.2	17.5	30.5
40	17	16	10	13	13.5
50	15	13	7	9	11.3
60	8	0	0	0	10.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 เปรียบเทียบการตกตะกอนของสารตัวอย่าง 9QQ เมื่อเติมและไม่เติมเอทิลีนไกลคอล เข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล

เวลา (ชั่วโมง)	ความสูงของระดับชั้นตะกอน (ชั่วโมง)	
	ไม่เติมเอทิลีนไกลคอล	เติมเอทิลีนไกลคอล
1	34.0	34.0
2	33.7	34.0
3	33.2	34.0
4	32.8	34.0
5	32.5	34.0
6	32.1	34.0
7	31.9	34.0
8	31.2	34.0
9	30.7	34.0
10	30.0	34.0
20	25.0	34.0
30	18.4	30.5
40	18.0	13.5
50	17.9	13.5
60	17.9	13.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ผลการศึกษาการตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดต่าง ๆ เทียบกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากประเทศออสเตรเลียและอังกฤษ

เวลา (ชั่วโมง)	ระดับความสูงของชั้นตะกอน (เซนติเมตร)					
	FMT-60	**FMT-98**	**FMT-90S**	**9QQ**	**Australia**	**England**
0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
1	33.7	33.5	33.5	33.0	32.5	33.0
2	33.7	33.5	33.5	33.0	32.5	33.0
3	33.7	33.5	33.5	33.0	32.5	33.0
4	33.7	33.5	33.5	33.0	32.5	33.0
5	33.7	33.5	33.5	33.0	32.5	33.0
6	33.7	33.5	33.5	33.0	32.5	33.0
7	33.5	33.3	33.5	33.0	32.5	33.0
8	33.5	33.3	33.5	33.0	32.0	32.9
9	33.0	33.1	33.2	33.0	32.0	32.9
10	33.0	32.6	33.2	33.0	32.0	32.9
20	32.5	32.4	33.0	33.0	31.0	31.5
30	32.0	32.0	32.7	30.5	30.8	30.3
40	32.0	32.0	32.0	13.5	29.0	28.2
50	32.0	32.0	31.4	11.3	25.0	26.0
60	31.9	31.9	31.2	10.7	20.2	21.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 ผลการตกตะกอนของแร่ธาตุเสริมชนิดต่างๆ โดยไม่ใช้เทคนิคหัวเชื้อเข้มข้น

เวลา (ชั่วโมง)	ความสูงของชั้นตะกอน (เซนติเมตร)			
	$MgCO_3$	MgO	Zn_2CO_3	ZnO
1	30.4	26.5	30.5	24.2
2	29.8	20.7	30	24
3	29.5	15	29.5	23.5
4	28.6	8.5	28.2	23
5	28.5	0	28.2	23
6	27.4	0	28.2	23
7	26.9	0	27.7	22.5
8	25	0	27	0
9	24.8	0	26.1	0
10	22.5	0	26	0
20	21	0	0	0
30	18.5	0	0	0
40	14.5	0	0	0
50	11	0	0	0
60	0	0	0	0

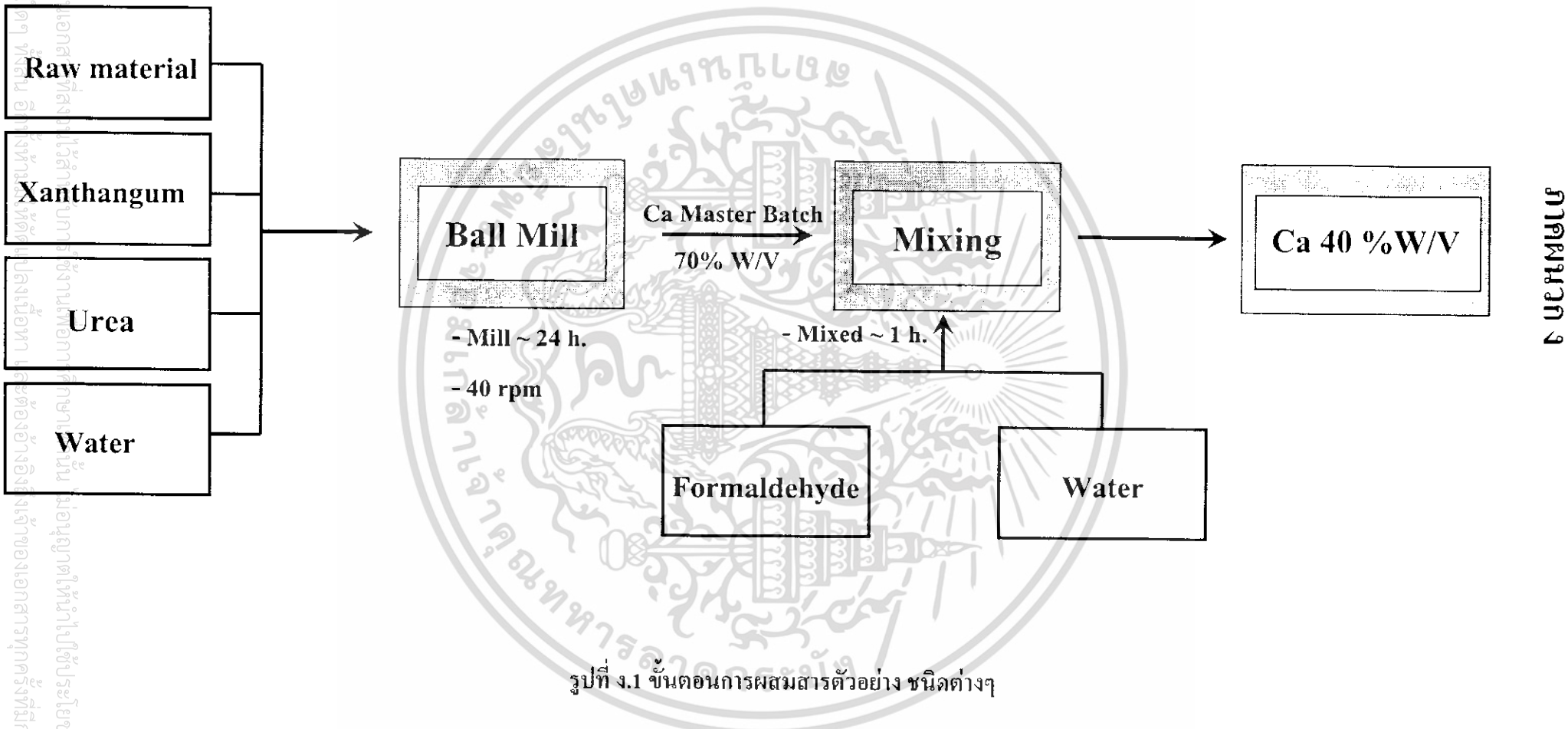
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 ผลการตกตะกอนของแร่ธาตุเสริมชนิดต่างๆ โดยใช้การทำเทคนิคหัวเชื้อเข้มข้น

เวลา (ชั่วโมง)	ความสูงของชั้นตะกอน (เซนติเมตร)				
	MgO	$MgCO_3$	ZnO	Zn_2CO_3	Zn(England)
0	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5
1	28.7	27.5	32.0	31.5	32.0
2	27.6	26.0	32.0	31.5	32.0
3	25.2	25.0	31.4	31.0	32.0
4	24.0	24.8	31.0	30.0	31.8
5	20.0	22.5	30.0	30.3	31.8
6	15.0	19.8	29.0	30.3	31.8
7	0.0	17.3	29.0	30.2	31.8
8	0.0	15.6	29.0	30.0	31.5
9	0.0	13.2	28.6	29.0	31.5
10	0.0	0.0	28.6	29.0	31.5
20	0.0	0.0	28.0	29.0	30.8
30	0.0	0.0	28.0	29.0	29.5
40	0.0	0.0	27.5	29.0	29.0
50	0.0	0.0	23.7	26.9	28.0
60	0.0	0.0	19.8	25.0	27.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 ขั้นตอนการผสมสารตัวอย่าง ชนิดต่างๆ

Experimental Data Sheet

Date: .....

Project : IRPUS-I4810006 :Improvement of colloidal alkaline earth for plant nutrition application

Batch No : .....

Product Name : .....

Remark : .....

Formula :

Trade name & Supplier :			2. Urea	.....%	.....g
1. ☐ Ca.....	.....%	.....g	3. Xanthangum	.....%	.....g
☐ Mg.....	.....%	.....g	4. Ethylene glycol	.....%	.....g
☐ Zn	.....%	.....g	5. Water	.....%	.....g
			6. Other additives	.....%	.....g
			Total weight:		.....g

Chemical & Physical Properties :	**Mixing Method & Condition :**	
1. Concentration of Ammonia (ppm)	☐ Ball mill	☐ Stirrer tank
2. Concentration of Nitrate (ppm)	Mixing Temperature	..... ^{0}C
3. Concentration of Urea (ppm)	Mixing time	..... hrs.
4. Conductivity (mV)	Speed	.....rpm.
5. Viscosity (cP)	Batch size	..... g / liter
6. Specific gravity	Pre-mixing	.....
7. pH		
8. Particle size (μm)		

Sedimentation test result : .....

.....

.....

Comment: .....

.....

Reported by ....

Date :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้