โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การพัฒนาปุ๋ยเคลือบเม็ดแบบใหม่
Development of a new polymers coated fertilizer

ชื่อนิสิต นางสาวรัญชนา ว่องไวเกรียงไกร เลขประจำตัว 6033081023

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพัฒนาปุ๋ยเคลือบเม็ดแบบใหม่

Development of a new polymers coated fertilizer

โดย

นางสาวรัญชนา ว่องไวเกรียงไกร

รายงานนี้เป็นสวนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

โครงการ การพัฒนาปุ๋ยเคลือบเม็ดแบบใหม่

โดย นางสาวรัญชนา ว่องไวเกรียงไกร

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

1. รองศาสตราจารย์ ดร. เฟื่องฟ้า อุ่นอบ ประธานกรรมการ
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พร้อมพงศ์ เพียรพินิจธรรม กรรมการ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนวัช อาชวาคม อาจารย์ที่ปรึกษา

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนวัช อาชวาคม)
อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรวีร์ โฮเว่น)
หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ 28 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2563

ชื่อโครงการ การพัฒนาปุ๋ยเคลือบเม็ดแบบใหม่
ชื่อนิสิตในโครงการ นางสาวรัญชนา ว่องไวเกรียงไกร เลขประจำตัว 6033081023
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนวัช อาชวาคม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการเคลือบเม็ดปุ๋ยซึ่งช่วยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารในระยะเวลาที่เหมาะสมและไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม วิธีในการศึกษาและพัฒนาเริ่มจากศึกษาองค์ประกอบจากปุ๋ยตัวอย่างที่มีและค้นหาพอลิเมอร์ที่จะนำมาทำการเคลือบ โดยสามารถแบ่งชนิดสารที่นำมาทดลองได้เป็น 4 ชนิดด้วยกัน คือ 1) พอลิยูรีเทนแบบสำเร็จ 2) อัลคิดเรซิน 3) อะคริลิค และ 4) พอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วน พบว่า พอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วนเป็นพอลิเมอร์ที่ดีที่สุดในการสังเคราะห์ปุ๋ยเคลือบเม็ดด้วยพอลิเมอร์ (Polymer coated fertilizer; PCF) เพราะสามารถยืดเวลาในการปลดปล่อยปุ๋ยได้ถึง 2 วัน ในขณะที่ปุ๋ยเคลือบด้วยพอลิเมอร์ชนิดอื่นไม่สามารถอยู่ได้นานเกิน 6 ชั่วโมง

คำสำคัญ: ปุ๋ยเคลือบ, ควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหาร, พอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วน

Project Title Development of a new polymers coated fertilizer
Student Name Miss Ranchana Wongwaikriangkrai Student ID 6033081023
Advisor Name Assistant Professor Dr. Anawat Ajavakom, Ph.D.
Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2020

Abstract

This research was aimed to investigate and develop a method of coating fertilizers which can be used to control the release of nutrients in an appropriate time and non-toxic chemical to environment. This method started with the selection of the fertilizers and the coating polymers, which are 1) Polyurethane 2) Alkyd resin 3) Acrylic resin and 4) two-part-type Polyurethane. The two-part-type polyurethane was proved to be the best coating polymer, because it could produce the Polymer coated fertilizer (PCF) that extend the releasing time to 2 days, while other types of PCF possess only less than 6 hours releasing time.

Keywords: Coated fertilizers, nutrient control, polyurethane (2 part)

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาและพัฒนาวิธีการเคลือบเม็ดปุ๋ย เพื่อควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารในระยะเวลาที่เหมาะสม ได้ทำการทดลอง วิจัย ศึกษา วิเคราะห์ผลและจัดทำรายงานฉบับนี้ขึ้นมา เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้อ่านและผู้ที่จะทำการวิจัยต่อไป งานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายๆท่านทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนวัช อาชวาคม อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยนี้เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำตั้งแต่เริ่มค้นคว้าหาข้อมูล การทดลอง รวมถึงการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นด้วย ซึ่งโครงการนี้จะเกิดขึ้นและสำเร็จไม่ได้เลยหากไม่มีท่าน

ขอขอบคุณ พี่ปาณิสราภรณ์ พันธุ์กิริยา (พี่เปิ้ล) และ พี่พศวัต ฟองสมุทร (พี่เล) ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาและแนะแนวทางเทคนิคการวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆทุกคนในโรงงาน บริษัท Napnutriscience และ บริษัทเทพวัฒนา ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำเสมอ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้วิชาความรู้ต่าง ๆ อันมีประโยชน์เป็นอย่างยิ่งให้แก่ผู้วิจัยตลอดเวลา 4 ปี ที่ผู้วิจัยได้ศึกษาอยู่ซึ่งทำให้สามารถนำความรู้เหล่านั้นมาใช้กับงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อบิดาและมารดาของผู้วิจัยที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงความรัก ความเข้าใจ และเป็นกำลังใจที่สำคัญแก่ผู้วิจัยเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่าง ๆ มาได้ด้วยดีจนเสร็จสิ้นงานวิจัย

รัญชนา ว่องไวเกรียงไกร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ง

Abstract ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญรูปภาพ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ญ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจของโครงการ 1

1.2 ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 2

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

1.4 วัตถุประสงค์งานวิจัย 8

1.5 ประโยชน์งานวิจัย 8

บทที่ 2 การทดลอง 9

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ 9

2.2 สารเคมี 9

2.3 วิธีการทดลองและผลการทดลอง 10

บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 17

3.1 การหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารพอลิยูรีเทน (Polyurethane) 17

3.2 การหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) 24

3.3 การหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารอะคริลิกเรซิน (Acrylic resin) 29

3.4 การหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารพอลิยูรีเทน (Polyurethane 2 - part) 34

บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง 40

เอกสารอ้างอิง 41

ประวัติผู้วิจัย.....43

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทน 3
รูปที่ 1.2 ปฏิกิริยาการเกิดแอลคิดเรซิน[5] 4
รูปที่ 1.3 อะคริลิก โมโนเมอร์ (acrylic monomer) 5
รูปที่ 1.4 โคพอลิเมอร์ไรเซชันของเมทาคริเลทเอสเทอร์ (Copolymerization of methacrylic esters.) 5
รูปที่ 1.5 การปลดปล่อยธาตุอาหารโดยผ่านกระบวนการออสโมซิส 5
รูปที่ 1.6 พอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่หรือแบบรวมตัว 6
รูปที่ 1.7 พอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น 7
รูปที่ 1.8 ภาพ SEM ของชั้นผิวโพลิยูรีเทน 7
รูปที่ 2.1 ภาพการเคลือบเม็ดปุ๋ยด้วยสารพอลิเมอร์ 10
รูปที่ 2.2 เครื่องโม่ 11
รูปที่ 2.3 เทปุ๋ยลงเครื่อง 12
รูปที่ 2.4 ภาพการทดสอบอย่างง่ายของปุ๋ยเคลือบหลังจากทิ้งไว้ให้ลอย 16
รูปที่ 2.5 เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope : JSM-IT100) 16
รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ในการเคลือบเม็ดปุ๋ยของพอลิยูรีเทน 21
รูปที่ 3.2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ในการเคลือบเม็ดปุ๋ยของพอลิยูรีเทน 23
รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ของสารแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) 25
รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ของแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) เพิ่มเติม 27
รูปที่ 3.5 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ของแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) Industrial Scales 28
รูปที่ 3.6 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ของอะคริลิกเรซิน (acrylic resin) 31
รูปที่ 3.7 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ของอะคริลิกเรซิน (acrylic resin) 34
รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ของพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วน (Polyurethane 2 - part) 36

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงวิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารพอลิยูรีเทน (Laboratory Scales) 11
ตารางที่ 2.2 แสดงวิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารพอลิยูรีเทน (Industrial Scales) 12
ตารางที่ 2.3 แสดงวิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารแอลคิดเรซิน (Laboratory Scales) 13
ตารางที่ 2.4 แสดงวิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารแอลคิดเรซิน (Industrial Scales) 13
ตารางที่ 2.5 แสดงวิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารอะคริลิก Laboratory Scales 14
ตารางที่ 2.6 แสดงวิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสาร Polyurethane (2-part) Laboratory Scales 15
ตารางที่ 3.1 แสดงผลการหาอัตราส่วนและวิธีการทดสอบด้วย water test ในการเคลือบเม็ดปุ๋ย 18
ตารางที่ 3.2 แสดงผลการเคลือบและวิธีการทดสอบด้วย water test ในการเคลือบเม็ดปุ๋ยของพอลิยูรีเทน 20
ตารางที่ 3.3 แสดงผลการเคลือบและทดสอบด้วย water test ในการเคลือบเม็ดปุ๋ยของพอลิยูรีเทน 22
ตารางที่ 3.4 แสดงผลการเคลือบสารแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) และทดสอบด้วย water test 24
ตารางที่ 3.5 แสดงผลการเคลือบสารแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) เพิ่มเติม และทดสอบด้วย water test 26
ตารางที่ 3.6 แสดงผลการเคลือบแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) ในอัตราส่วนที่ต่างกัน และทดสอบด้วย water test 28
ตารางที่ 3.7 แสดงผลการเคลือบอะคริลิกเรซิน (acrylic resin) ในอัตราส่วนที่ต่างกันและทดสอบด้วย water test 29
ตารางที่ 3.8 แสดงผลการเคลือบสารอะคริลิกเรซินและแอลคิดเรซิน และทดสอบด้วย water test 32
ตารางที่ 3.9 แสดงผลการเคลือบสารอะคริลิกเรซินประเภทที่ 2 ในอัตราส่วนที่ต่างกัน และทดสอบด้วย water test 33
ตารางที่ 3.10 แสดงผลการเคลือบพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วน ในอัตราส่วนที่ต่างกันและทดสอบด้วย water test 35
ตารางที่ 3.11 แสดงผลการเคลือบพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วน และทดสอบด้วย water test 37
ตารางที่ 3.12 แสดงผลการส่องด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) 38

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

PC	สารพอลิยูรีเทนเคลือบปุ๋ยคลอไรด์
PC_X	สารพอลิยูรีเทนเคลือบปุ๋ยคลอไรด์ที่มีการใช้ตัวทำละลาย
PS	สารพอลิยูรีเทนเคลือบปุ๋ยซัลเฟต
PS_X	สารพอลิยูรีเทนเคลือบปุ๋ยซัลเฟตที่มีการใช้ตัวทำละลาย
PS_X*	สารพอลิยูรีเทนเคลือบปุ๋ยซัลเฟตที่มีการใช้ตัวทำละลายซึ่งทำการเคลือบโดยใช้โม่
PS_{XR}*	ปุ๋ยซัลเฟตเคลือบที่ทำให้แห้ง ณ อุณหภูมิห้อง
PS_{XB}*	ปุ๋ยซัลเฟตเคลือบที่ทำให้แห้งขณะอยู่ในถุง
PS_{XO}*	ปุ๋ยซัลเฟตเคลือบที่ทำให้แห้งโดยนำเข้าเครื่องอบ
PSS*	ปุ๋ยซัลเฟตที่ผ่านการเคลือบด้วยโม่แล้วนำมาเคลือบสารซิลิเกตต่อ
PSP*	ปุ๋ยซัลเฟตที่ผ่านการเคลือบด้วยโม่แล้วนำมาเคลือบสารพาราฟินต่อ
AS (1 - 5)	สารแอลคิดเรซินเคลือบปุ๋ยซัลเฟต (ชนิดของแอลคิด เรซิน)
$AS5_X$	สารแอลคิดเรซินชนิด modified เคลือบซัลเฟตที่มีการใช้ตัวทำละลาย
$AS5P_X$	สารแอลคิดเรซินชนิด modified เคลือบปุ๋ยซัลเฟตมีใช้ตัวทำละลายและเคลือบซ้ำด้วยพาราฟิน
$AS3P_X$	สารแอลคิดเรซินชนิด medium-oil เคลือบปุ๋ยซัลเฟตใช้ตัวทำละลายและเคลือบซ้ำด้วยพาราฟิน
$AS5_X$*	สารแอลคิดเรซินชนิด modified เคลือบซัลเฟตที่มีการใช้ตัวทำละลายซึ่งทำการเคลือบโดยใช้โม่
AcS	สารอะคริลิกเรซินเคลือบปุ๋ยซัลเฟต
AcS_X (2 - 6)	สารอะคริลิกเรซินเคลือบปุ๋ยซัลเฟตที่มีการใช้ตัวทำละลาย (มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน)
$AcAS5_X$	การเคลือบสารอะคริลิกก่อนในรอบแรกและรอบที่สองเคลือบด้วยแอลคิดเรซินชนิด modified
$AS5Ac_X$	การเคลือบสารแอลคิดเรซินชนิด modified ก่อนในรอบแรกและรอบที่สองเคลือบด้วยอะคริลิก
$Ac^{TH}S_X$ (1 - 4)	สารอะคริลิกเรซินชนิดที่สองเคลือบปุ๋ยซัลเฟตและใช้ตัวทำละลาย (มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน)
P_2S_X (1 - 8)	สารพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วนเคลือบปุ๋ยซัลเฟตและใช้ตัวทำละลาย (มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจของโครงการ

เกษตรกรรมถือเป็นอาชีพหลักของคนไทยมาอย่างช้านาน กล่าวได้ว่าเป็นรากฐานสำคัญอย่างหนึ่งในการประกอบอาชีพ โดยประชากรส่วนใหญ่ในประเทศไทยของเรานั้นประกอบอาชีพเกษตรกร เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีสภาพแวดล้อม และภูมิประเทศเหมาะสมอย่างยิ่งต่อเกษตรกรรม ทำให้ในปัจจุบันอุตสาหกรรมทางการเกษตรมีการเจริญเติบโตพัฒนาเป็นอย่างมาก สามารถเป็นที่ยอมรับ และส่งออกผลิตภัณฑ์ไปยังต่างประเทศได้ มีการแข่งขันที่เพิ่มสูงขึ้นจากทั้งภายในและภายนอกประเทศ ดังนั้นการพัฒนาคุณภาพและปริมาณผลผลิตจึงมีบทบาทสำคัญต่อเกษตรกรให้สามารถแข่งขันทางการตลาดได้ ปุ๋ยเคมีจึงเป็นทางเลือกที่ดีอย่างหนึ่งในการพัฒนาผลผลิตได้อย่างรวดเร็ว และมีคุณภาพ

ปุ๋ยเคมีที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือปุ๋ยไนโตรเจนหรือปุ๋ยยูเรียที่ให้ธาตุอาหารหลักเป็นธาตุไนโตรเจน เนื่องจากเป็นธาตุที่พืชมีความต้องการในปริมาณมากหากแต่ในดินกลับมีปริมาณน้อยซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช โดยปุ๋ยไนโตรเจนหรือปุ๋ยยูเรียจะมีส่วนช่วยให้พืชที่มีใบสีเขียวเกิดการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี จะเห็นได้ว่าการใช้ปุ๋ยเคมีจะทำให้พืชได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอเนื่องจากเราสามารถปรับแต่งปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยให้เหมาะสมต่อความต้องการของพืชได้ หากแต่การใช้ปุ๋ยเคมีก็ไม่ได้มีแต่ข้อดี เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีลงไปทำให้เกิดการเร่งการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดินส่งผลให้จุลินทรีย์บางชนิดลดลง นอกจากนี้ปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปนั้น พืชสามารถดูดซึมธาตุอาหารได้เพียง 50% เท่านั้น สาเหตุมาจากสภาพแวดล้อมที่ควบคุมไม่ได้ เช่น การถูกชะล้างด้วยน้ำ ถูกดูดยึดไว้ด้วยอนุภาคของดิน เกิดการระเหิด ระเหยไปเพราะอุณหภูมิของแสงแดด หรือการเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดซึมได้ ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารไม่เพียงพอ ดังนั้นเกษตรกรจึงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณปุ๋ยให้กับพืช ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตและส่งผลเสียต่อทั้งรากพืชและดิน ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการคิดค้นและวิจัยเพื่อพัฒนาปุ๋ยที่มีความสามารถในการควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารขึ้น โดยปุ๋ยจะค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้า ๆแต่ต่อเนื่องในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ซึ่งจะช่วยลดความสูญเสียที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ดินไม่ขาดความอุดมสมบูรณ์และลดต้นทุนได้ดี อย่างไรก็ตามในปัจจุบันปุ๋ยที่ควบคุมการปลดปล่อยนี้ในทางอุตสาหกรรมไทยกลับพบได้น้อย ไม่แพร่หลาย ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาและพัฒนาวิธีการเคลือบเม็ดปุ๋ยเพื่อควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารนี้[1]

1.2 ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 ความหมายและประเภทของปุ๋ย

ปุ๋ย คือ แหล่งอาหารของพืช ใส่ไปเพื่อบำรุงและเติมเต็มธาตุอาหารในส่วนที่พืชขาด ซึ่งธาตุอาหารหลักของพืชจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ธาตุ คือ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) นอกเหนือจากนี้จะเป็นธาตุอาหารรอง การใส่ปุ๋ยจะทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่มากขึ้นจากเดิม โดยสามารถจำแนกประเภทของปุ๋ยจากวิธีการผลิตออกเป็น 2 ประเภท คือ ปุ๋ยสังเคราะห์/ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ (synthetic fertilizer) และ ปุ๋ยธรรมชาติ (natural fertilizer)

1.2.1.1 ปุ๋ยสังเคราะห์/ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ (synthetic fertilizer) คือ ปุ๋ยที่ได้จากกระบวนการทางเคมี อาจมีธาตุอาหารหลักเพียงธาตุเดียวหรือหลายธาตุ สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชได้ง่ายและรวดเร็ว แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. ปุ๋ยเดี่ยวหรือแม่ปุ๋ย คือ ปุ๋ยที่มีธาตุอาหาร N , P และ K เป็นองค์ประกอบเพียงธาตุใดธาตุหนึ่งหรือสองธาตุ ซึ่งปริมาณของธาตุอาหารจะคงที่ เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต โพแทสเซียมคลอไรด์ ฯลฯ
2. ปุ๋ยผสม คือ ปุ๋ยที่มีการนำแม่ปุ๋ยมาผสมรวมกัน หลาย ๆ ชนิด โดยสามารถคำนวณสัดส่วนตามที่ต้องการได้

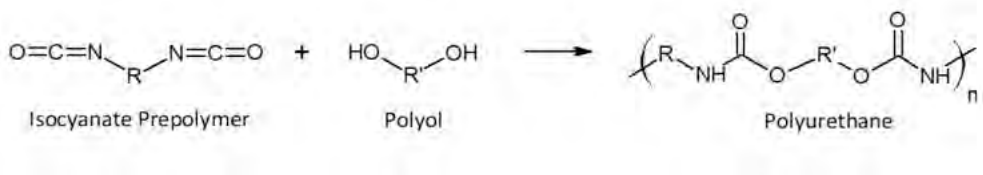
1.2.1.2 ปุ๋ยธรรมชาติ (natural fertilizer) คือ ปุ๋ยที่ได้จากสิ่งมีชีวิต เช่น พืช สัตว์ จุลินทรีย์ นำมาผ่านกระบวนการทางธรรมชาติเพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลาย มักมีปริมาณธาตุอาหารน้อยเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์จะแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. ปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยที่ได้จากการนำซากพืช ซากสัตว์ มากองสุมไว้แล้วรดน้ำเพื่อให้ชื้นจากนั้นทิ้งไว้รอให้เกิดสลายตัว
2. ปุ๋ยคอก คือ ปุ๋ยที่ได้จากมูลสัตว์ เช่น โค กระบือ สุกร ฯลฯ อาจจะใช้ในรูปปุ๋ยคอกแบบสด แบบแห้ง หรือนำไปหมักให้เกิดการย่อยสลายก่อนแล้วค่อยนำไปใช้
3. ปุ๋ยพืชสด คือ ปุ๋ยที่ได้จากการปลูกพืชบำรุงดิน ได้แก่ พืชตระกูลถั่วต่าง ๆ แล้วทำการไถกลบ[2]

1.2.2 ข้อมูลของสารเคลือบ

1.2.2.1 พอลิยูรีเทน (Polyurethane)

พอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาควบแน่นระหว่างไดไอโซไซยาเนตหรือพอลิเมอริกไอโซไซยาเนตกับโพลิออล โดยพอลิยูรีเทนประกอบไปด้วยพันธะยูรีเทน ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่ -OH ของโพลิออลกับหมู่ -NCO ของไอโซไซยาเนต[3]



รูปที่ 1.1 ปฏิกิริยาการเกิดพอลิยูรีเทน

พอลิยูรีเทน แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ 1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) และ 2. เทอร์โมเซต (Thermosetting plastics) แต่โดยทั่วไปพอลิยูรีเทนส่วนใหญ่มักจะเป็นชนิดเทอร์โมเซต คือ ไม่สามารถหลอมเหลวแล้วขึ้นรูปใหม่ได้

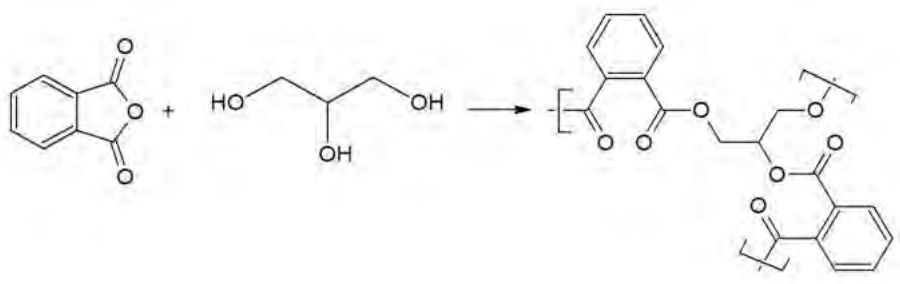
นอกจากนี้เมื่อนำพอลิยูรีเทนมาแบ่งประเภทจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมี พบว่าสามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเภท คือ

1. Adhesives
2. Sealants
3. Thermoplastics
4. Foame (Rigid and Flexible)
5. Millable Gume
6. Coating
7. Castable Elastomers

โดยในการทดลองครั้งนี้เราได้เลือกพอลิยูรีเทนประเภท Coating มาใช้ในการทดลอง[4]

1.2.2.2 อัลคิดเรซิน (Alkyd resin)

อัลคิดเรซินเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ประเภทพอลิเอสเทอร์ที่มีโครงร่างแบบตาข่าย ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (condensation polymerization) ระหว่างพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) ซึ่งปกติจะใช้กลีเซอรอล (glycerol) กับพอลิเบสิกคาร์บอกซิลิกแอซิด (polybasic carboxylic acid) ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้พทาลิกแอนไฮไดรด์ (phthalic anhydride) และมีกรดไขมันหรือน้ำมันเป็นตัวปรับปรุงสมบัติ ถ้ามีการเติมมอนอเมอร์ชนิดอื่นลงไปเราจะเรียกว่า โมดิฟายอัลคิด (modified alkyd) เช่น สไตรีเนดอัลคิด (styrenated alkyd)



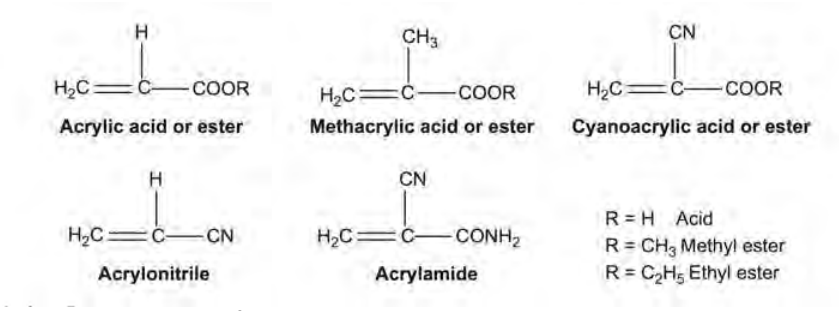
รูปที่ 1.2 ปฏิกิริยาการเกิดแอลคิดเรซิน[5]

โดยทั่วไปอัลคิดเรซินจะมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -83 °C – 0 °C ส่งผลให้อัลคิดเรซินที่อุณหภูมิห้องมีสถานะเป็นของไหลหนืดและใช้งานยาก ต้องนำไปละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อให้กลายเป็นสารละลายง่ายต่อการใช้งาน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

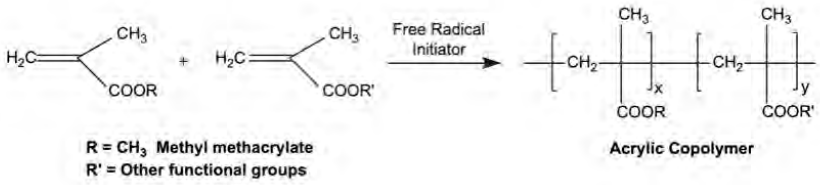
1. แบ่งตามกลไกการเกิดการเชื่อมโยง ได้แก่
    1. ชนิดออกซิไดซิง (oxidizing) เป็นอัลคิดชนิดแห้งเร็ว (drying alkyd) ซึ่งจะประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณเพียงพอที่จะเกิดการเชื่อมโยง
    2. ชนิดนอนออกซิไดซิง (nonoxidizing) เป็นอัลคิดชนิดไม่แห้ง (non-drying alkyd) ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณน้อย ไม่เพียงพอที่จะเกิดการเชื่อมโยง เป็นเรซินกลุ่มที่ให้ไฮดรอกซีได้
2. แบ่งตามปริมาณของน้ำมันที่มีอยู่ในอัลคิด คือ ดูที่ปริมาณน้ำมันหรือ Oil length ถ้ามีอัตราส่วนที่มากกว่าเรซิน จะเรียกว่า Long oil alkyd ขณะที่ถ้ามีอัตราส่วนที่น้อยกว่า จะเรียกว่า Medium oil alkyd และ Short oil alkyd โดยมีเกณฑ์ดังนี้
    - อัลคิดที่มีค่า Oil length มากกว่า 60% จะเรียกว่า Long oil alkyd
    - อัลคิดที่มีค่า Oil length ในช่วง 40 - 60% จะเรียกว่า Medium oil alkyd
    - อัลคิดที่มีค่า Oil length น้อยกว่า 40% จะเรียกว่า Short oil alkyd[6]

1.2.2.3 อะคริลิกเรซิน (Acrylic resin)

อะคริลิกเรซินเป็นพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์ สามารถเตรียมได้จากกรดอะคริลิก อนุพันธ์ และเอสเทอร์ของกรดอะคริลิก สูตรโครงสร้าง คือ CH_2 = CHR ซึ่งใช้สารตั้งต้น ได้แก่ เมทิล อะคริเลท (methyl acrylate), เอทิล อะคริเลท (ethyl acrylate), เมทิล เมทาคริเลท (methyl methacrylate)



รูปที่ 1.3 อะคริลิก โมโนเมอร์ (acrylic monomer)



รูปที่ 1.4 โคพอลิเมอร์ไรเซชันของเมทาคริเลทเอสเทอร์ (Copolymerization of methacrylic esters.)

แบ่งได้เป็นได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. อะคริลิกของแข็ง เป็นอะคริลิกประเภทเทอร์โมพลาสติกเรซิน อยู่ในรูปของแข็ง
2. อะคริลิกเหลว เป็นอะคริลิกที่อยู่ในรูปของสารละลาย ผลิตได้จากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน
3. อะคริลิกอิมัลชัน มักใช้เป็นส่วนผสมของสีทาบ้าน

โดยในการทดลองครั้งนี้เราได้เลือกอะคริลิกประเภท อะคริลิกเหลว มาใช้ในการทดลอง[7]

1.2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.2.3.1 Osmosis

การออสโมซิส คือ การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่าน จากที่ที่มีความเข้มข้นของน้ำสูงไปยังบริเวณที่ที่มีความเข้มข้นของน้ำต่ำ โดยในที่นี้ได้อาศัยกระบวนการออสโมซิสในการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยที่ถูกเคลือบ คือ เนื่องจากปกติวัสดุที่ใช้เคลือบจะมีรูเล็ก ๆ ที่เรามองไม่เห็นเมื่อมีน้ำมาล้อมรอบทำให้ภายนอกปุ๋ยเคลือบมีความเข้มข้นของน้ำสูง ขณะที่ภายในปุ๋ยเคลือบมีความเข้มข้นของน้ำต่ำ ดังนั้นจึงเกิดการออสโมซิสให้น้ำเข้ามาภายในปุ๋ยเคลือบและละลายสารอาหารที่อยู่ภายในเม็ดปุ๋ยออกมาอย่างช้า ๆ [8]

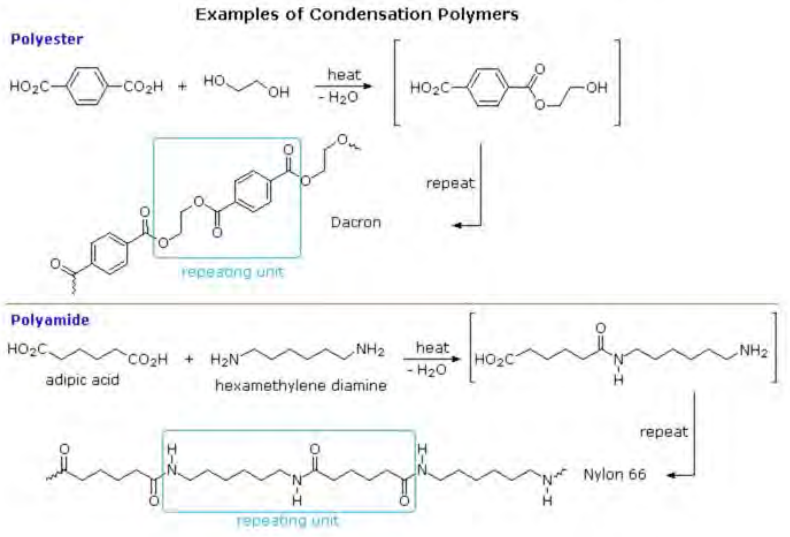
รูปที่ 1.5 การปลดปล่อยธาตุอาหารโดยผ่านกระบวนการออสโมซิส

1.2.3.2 Polymerization

พอลิเมอร์ไรเซชัน คือ ปฏิกิริยาในการเตรียมพอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ มี 2 ประเภท คือ

1. พอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่หรือแบบเติม (Chain or Addition polymerization)

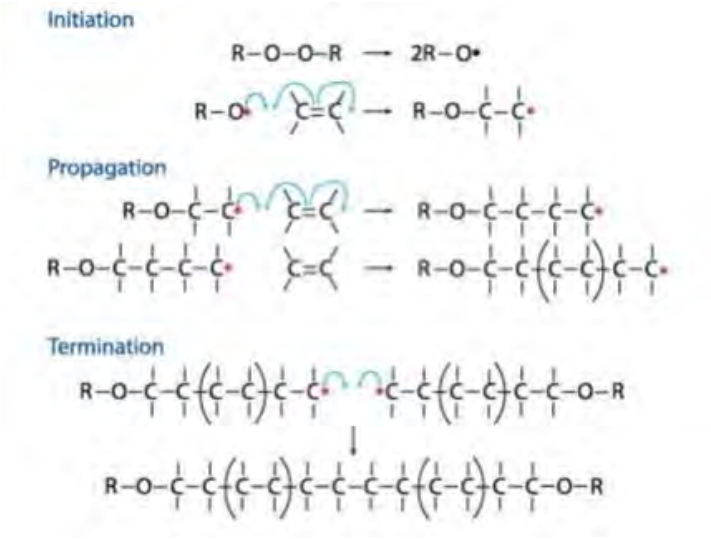
เป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดได้ทั้งแบบฟรีแรดิคัล (Free radical) และ แบบไอออนิก (Ionic) ก็ได้ แต่ปกติจะนิยมใช้แบบฟรีแรดิคัลมากกว่า โดยมักใช้สารตั้งต้นเป็นพวก ออแกนิคเปอร์ออกไซด์ (Organic peroxide) และ อินออแกนิคเปอร์ออกไซด์ (Inorganic peroxide)[9]



รูปที่ 1.6 พอลิเมอร์ไรเซชันแบบลูกโซ่หรือแบบรวมตัว

2. พอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น (Step or Condensation polymerization)

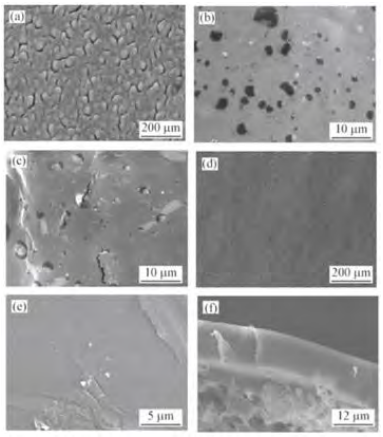
เป็นปฏิกิริยาที่ต้องใช้มอนอเมอร์ 2 ชนิด โดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) แต่ถ้าหากมอนอเมอร์แสดงสมบัติเฉพาะมากกว่า 2 หมู่ จะได้พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างที่มีกิ่งก้านซึ่งจะก่อให้เกิดการเชื่อมโยงภายในโมเลกุล กลายเป็นพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยง (Crosslinked polymer) หรือพอลิเมอร์แบบร่างแห (Network polymer)[10]



รูปที่ 1.7 พอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่น

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wang Limin และคณะ (2011) จากงานวิจัยพบว่าการใช้ปุ๋ยยูเรียโดยตรงส่งผลให้เกิดการสะสมของไนโตรเจนในดินบริเวณที่ใช้ปุ๋ยมากเกินไปซึ่งจะทำให้เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อมภายในดิน ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นวัสดุเคลือบปุ๋ยยูเรียเพื่อลดอัตราการปลดปล่อยของธาตุไนโตรเจนจากปุ๋ย วัสดุเคลือบที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือโพลียูรีเทน โดยโพลียูรีเทนเกิดจากการรวมกันของไอโซไซยาเนตกับพอลิออลบนผิวของปุ๋ยยูเรีย ได้เป็นพื้นผิวที่มีความหนา 10-15 ไมโครเมตร พื้นผิวนี้จะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำเข้ามาในเนื้อปุ๋ย และผิวเคลือบนี้ยังช่วยให้ยูเรียถูกปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ ส่งผลให้มีการสะสมของไนโตรเจนในดินน้อยลงและช่วยให้พืชเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง[11-12]



รูปที่ 1.8 ภาพ SEM ของชั้นผิวโพลิยูรีเทน

Yuechao Yanng และคณะ (2018) จากการวิจัยนี้พบว่าการใช้วัสดุเคลือบโพลียูรีเทนซึ่งมีวัตถุดิบหลักคือถ่านหิน น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ ซึ่งมีราคาแพง ไม่สามารถทดแทนได้ในระยะเวลาอันสั้น และวัสดุเคลือบโพลียูรีเทนย่อยสลายในดินได้ยาก จึงได้มีการคิดค้นไบโอเบสโพลียูรีเทน ซึ่งจะใช้วัตถุดิบหลักคือ ลิกนิน (lignin), เซลลูโลส (cellulose), และแป้ง (starch) วัตถุดิบหลักเหล่านี้มาจากน้ำมันปาล์ม โดยผ่านปฏิกิริยาอิพอกซิเดชัน (epoxidation) และ ไฮดรอกซิเลชัน (hydroxylation) ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์มีราคาถูกกว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์โพลียูรีเทน สามารถทดแทนใหม่ได้ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม[13]

1.4 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ศึกษาและพัฒนาปุ๋ยเคลือบเม็ดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยสามารถควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารได้นานประมาณ 3 เดือน
2. ศึกษาวิธีการสังเคราะห์ปุ๋ยเคลือบเม็ดจาก lab scale สู่ industrial scale

1.5 ประโยชน์งานวิจัย

สามารถหาสารเคลือบพร้อมกับวิธีในการเคลือบเม็ดปุ๋ยได้ ซึ่งสามารถช่วยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารให้ได้นานตามระยะเวลาที่กำหนด และสามารถสังเคราะห์ปุ๋ยเคลือบเม็ดจาก lab scale สู่ industrial scale

บทที่ 2
การทดลอง

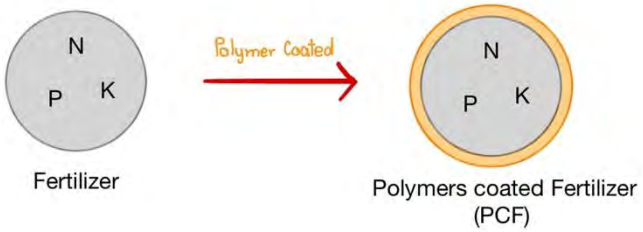
2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง
2. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. Hot plate/stirrer
4. บีกเกอร์
5. แท่งแก้ว
6. ตู้อบ
7. เครื่องโม่
8. ไดร์เป่าผม
9. เครื่อง SEM : Scanning Electron Microscope JSM-IT100

2.2 สารเคมี

1. Polyurethane one-part
2. Soya bean long-oil alkyd resin
3. Soya bean long-oil alkyd resin
4. Soya bean medium-oil alkyd resin
5. Styrene modified alkyd resin
6. Urea formaldehyde resin
7. P-Toluenesulfonic acid catalyst
8. Acrylic resin
9. Thermoplastic acrylic resin
10. Short-oil alkyd resin
11. Polyisocyanate
12. Universal catalyst
13. Xylene
14. Silicate
15. Paraffin

2.3 วิธีการทดลองและผลการทดลอง



รูปที่ 2.1 ภาพการเคลือบเม็ดปุ๋ยด้วยสารพอลิเมอร์

ในการทำการทดลองจะนำเม็ดปุ๋ยมาเคลือบด้วยสารเคลือบ (Polymers coated) เพื่อทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารตามระยะเวลาที่กำหนด (รูปที่ 2.1) คือ ระยะเวลาประมาณ 3 เดือน โดยระหว่างการทดลองอาจจะมีการเพิ่มสารบางตัวเข้าไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับตัวเคลือบ หรืออาจมีการใส่ตัวทำลายลงไปเพื่อให้สารเคลือบสามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น ในการเคลือบเราจะดูลักษณะทางกายภาพว่าเคลือบดีแล้วหรือไม่ ลองนำไปทดสอบ water test ดูการลอยและการละลายของเม็ดปุ๋ย จากนั้นจึงจะเพิ่ม ตัวแปรอื่น ๆ เข้าไป เช่น อุณหภูมิ สารเคลือบรอบที่สอง (ซิลิเกต, พาราฟิน) ฯลฯ เพื่อช่วยในการเคลือบให้ดีขึ้น

ชนิดของปุ๋ยที่นำมาทดลองมี 2 ชนิด คือ 1. ปุ๋ยคลอไรด์ (Cl) และ 2. ปุ๋ยซัลเฟต (SO_4^{2-}) ซึ่งภายในประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อพืช ได้แก่ N, P (P_2O_5) และ K (K_2O) โดยสารที่จะนำมาทดลองเคลือบมีทั้งหมด 4 ชนิด โดย 3 ชนิดแรกเป็นสารแบบสำเร็จ ได้แก่ 1. พอลิยูรีเทน (Polyurethane) 2. อัลคิดเรซิน (Alkyd resin) และ 3. อะคริลิกเรซิน (Acrylic resin) ในขณะสารชนิดที่ 4 คือพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วน (2-part Polyurethane) คือ เป็นสารที่นำมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์เอง โดยมีไอโซไซยาเนต (isocyanate) ทำปฏิกิริยากับพอลีออล (polyol) ดังนั้นเพื่อทำการทดลองตามที่คิด เราจึงวางแผนที่จะนำสารมาเคลือบปุ๋ยในอัตราส่วนที่เหมาะสม ตามระยะเวลาและช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ ดังการทดลองข้างล่างต่อไปนี้

2.3.1 วิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารพอลิยูรีเทน (Polyurethane) Laboratory Scales

ทำการเตรียม polymer ในปริมาณที่กำหนดลงในบีกเกอร์ จากนั้นให้ความร้อนด้วย hot plate เพื่อทำให้เนื้อสารของพอลิยูรีเทนเหลวมากขึ้น ช่วยในการเคลือบเม็ดปุ๋ย ใช้งานได้ง่ายขึ้น ระหว่างที่รอทำการเตรียมปุ๋ยใส่ลงไปในบีกเกอร์ 10 กรัม ตั้งบน hot plate สักครู่เพื่อไล่ความชื้นออกจากตัวปุ๋ย เมื่อ polymer มีความเหลวไม่หนืดเท่าช่วงแรกก่อนที่จะให้ความร้อน จากนั้นทำการเทสารลงในบีกเกอร์ปุ๋ยแล้วคนหรือคลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว สังเกตดูว่า polymer เริ่มแห้ง ให้ยกลงมาจาก hot plate แล้วเทออกมาจากบีกเกอร์ เพื่อทำการตากให้แห้ง ณ อุณหภูมิห้อง จะได้ปุ๋ยเคลือบเม็ดตามที่ต้องการ

ตารางที่ 2.1 แสดงวิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารพอลิยูรีเทน (Laboratory Scales)

	Type of fertilizer	PU coating (%wt)	Temp (^{o}C)	Solvent	other	Composite name
1	ปุ๋ยคลอไรด์ (Cl)	20%	อุณหภูมิห้อง	-	-	PC1
2	ปุ๋ยคลอไรด์ (Cl)	20%	อุณหภูมิห้อง	-	ฉีดพ่นละอองน้ำ	PC2
3	ปุ๋ยคลอไรด์ (Cl)	10%	80 – 100	-	-	PC3
4	ปุ๋ยคลอไรด์ (Cl)	5%	40 – 80	-	-	PC4
5	ปุ๋ยคลอไรด์ (Cl)	5%	40 – 80	Xylene	-	PC_X
6	ปุ๋ยซัลเฟต (SO_4^{2-})	10%	80 – 100	-	-	PS1
7	ปุ๋ยซัลเฟต (SO_4^{2-})	5%	80 – 100	-	-	PS2
8	ปุ๋ยซัลเฟต (SO_4^{2-})	5%	40 – 80	Xylene	-	PS_X

2.3.2 วิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารพอลิยูรีเทน (Polyurethane) Industrial Scales

ทำการเตรียมพอลิยูรีเทนต่อปุ๋ยในปริมาณ 1.25% ของน้ำหนักปุ๋ยลงในบีกเกอร์ จากนั้นชั่งปุ๋ยชนิดปุ๋ยซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในปริมาณ 10 กิโลกรัม ใส่ลงไปในโม่ ทำการเปิดเครื่องโม่เพื่อให้ปุ๋ยวิ่งสักพักแล้วเทพอลิยูรีเทนที่เตรียมไว้ในบีกเกอร์ลงไป โดยค่อย ๆ เท เมื่อเทเสร็จปล่อยให้คลุกเคล้ากันสักครู่ เปิดลมจากท่อเป่าเพื่อช่วยให้แห้งเร็วขึ้นตามช่วงอุณหภูมิที่กำหนด เมื่อได้ผลิตภัณฑ์แล้วจะทำการแยกเป็น 3 ส่วน เพื่อนำไปทำให้แห้งด้วยวิธีที่ต่างกัน คือ 1. ตากในห้อง 2. อยู่ในถุงแล้วมัดปาก 3. อบในเตาอบ

รูปที่ 2.2 เครื่องโม่

รูปที่ 2.3 เทปู๋ยลงเครื่อง

ตารางที่ 2.2 แสดงวิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารพอลิยูรีเทน (Industrial Scales)

	วิธีการทำปู๋ยให้แห้ง	Other	Composite name
1	ตากในห้อง	-	PS_{XR}*
2	อยู๋ในถุงแล้วมัดปาก	-	PS_{XB}*
3	อบในเตาอบ	-	PS_{XO}*
4	ตากในห้อง	silicate	PSS_{XR}*
5	อยู๋ในถุงแล้วมัดปาก	silicate	PSS_{XB}*
6	อบในเตาอบ	silicate	PSS_{XO}*
7	ตากในห้อง	paraffin	PSP_{XR}*
8	อยู๋ในถุงแล้วมัดปาก	paraffin	PSP_{XB}*
9	อบในเตาอบ	paraffin	PSP_{XO}*

2.3.3 วิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารแอลคิดเรซิน (Alkyd resin)

Laboratory Scales

ทำการเตรียมแอลคิดเรซินแต่ละชนิดต่อปู๋ยในปริมาณที่กำหนดลงในบีกเกอร์และเตรียมปู๋ยชนิดซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่จะใช้เคลือบปริมาณ 20 กรัม จากนั้นเทสารลงในบีกเกอร์ปู๋ยแล้วคนหรือคลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว สังเกตดูว่าเริ่มแห้งแล้วจึงเทออกมาจากบีกเกอร์ เพื่อทำการตากให้แห้ง ณ อุณหภูมิห้อง (อาจมีการเพิ่มตัวทำละลายหรือสารบางอย่าง)

ตารางที่ 2.3 แสดงวิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารแอลคิดเรซิน (Laboratory Scales)

	Type of alkyd resin	Alkyd coating (%wt)	Solvent	Other	Composite name
1	Soya bean long oil alkyd ชนิด A	5%	-	-	AS1
2	Soya bean long oil alkyd ชนิด B	5%	-	-	AS2
3	Soya bean medium oil alkyd	5%	-	-	AS3
4	Urea formaldehyde alkyd	5%	-	-	AS4
5	Styrene modified alkyd	5%	-	-	AS5
6	Styrene modified alkyd	5%	Xylene	-	$AS5_X1$
7	Styrene modified alkyd	5%+5%	Xylene	-	$AS5_X2$
8	Styrene modified alkyd	5%	Xylene	paraffin	$AS5P_X$
9	Soya bean medium oil alkyd	5%+5%	Xylene	paraffin	$AS3P_X$

2.3.4 วิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) Industrial Scales

ทำการเตรียมแอลคิดเรซินชนิด Styrene modified alkyd ในปริมาณที่กำหนดลงในบีกเกอร์ จากนั้นชั่งปุ๋ยชนิดซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในปริมาณ 5 กิโลกรัม ใส่ลงไปในโม่ ทำการเปิดเครื่องโม่เพื่อให้ปุ๋ยวิ่งสักพักแล้วเทแอลคิดที่เตรียมไว้ลงไป ค่อย ๆ เท เมื่อเทเสร็จปล่อยให้คลุกเคล้ากันสักครู่ เปิดลมจากท่อเป่าเพื่อช่วยให้แห้งเร็วขึ้นตามช่วงอุณหภูมิที่กำหนด โดยจะทำการโม่สามรอบ ตามอัตราส่วนที่กำหนด 3 อัตราส่วน ดังนี้

ตารางที่ 2.4 แสดงวิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารแอลคิดเรซิน (Industrial Scales)

	Alkyd coating (%wt)	Solvent	Composite name
1	5%	Xylene	$AS5_X1$*
2	10%	Xylene	$AS5_X2$*
3	15%	Xylene	$AS5_X3$*

2.3.5 วิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารอะคริลิก (Acrylic) Laboratory Scales

ทำการเตรียมอะคริลิกประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ในปริมาณที่กำหนดลงในบีกเกอร์และเตรียมปุ๋ยชนิดซัลเฟต (SO_4^{2-}) ปริมาณ 20 กรัม จากนั้นเทสารลงในบีกเกอร์ปุ๋ยแล้วคนหรือคลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว สังเกตดูว่าเริ่มแห้งแล้วจึงเทออกมาจากบีกเกอร์ เพื่อทำการตากให้แห้ง ณ อุณหภูมิห้อง (อาจมีการเพิ่มตัวทำละลายหรือสารบางอย่างในอัตราส่วนที่กำหนด)

ตารางที่ 2.5 แสดงวิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารอะคริลิก Laboratory Scales

	Type of alkyd resin	Acry coating (%wt)	Solvent	Composite name
1	Acrylic resin ประเภทที่ 1	5%	-	AcS
2	Acrylic resin ประเภทที่ 1	1%	Xylene	AcS_X1
3	Acrylic resin ประเภทที่ 1	5%	Xylene	AcS_X2
4	Acrylic resin ประเภทที่ 1	10%	Xylene	AcS_X3
5	Acrylic resin ประเภทที่ 1	15%	Xylene	AcS_X4
6	Acrylic resin ประเภทที่ 1	20%	Xylene	AcS_X5
7	Acrylic resin ประเภทที่ 1 + Styrene modified alkyd	5%+5%	Xylene	$AcAS5_X$
8	Styrene modified alkyd + Acrylic resin ประเภทที่ 1	5%+5%	Xylene	$AS5Ac_X$
9	Acrylic resin ประเภทที่ 2	2%	Xylene	$Ac^{TH}S_X1$
10	Acrylic resin ประเภทที่ 2	3%	Xylene	$Ac^{TH}S_X2$
11	Acrylic resin ประเภทที่ 2	4%	Xylene	$Ac^{TH}S_X3$
12	Acrylic resin ประเภทที่ 2	5%	Xylene	$Ac^{TH}S_X4$

2.3.6 วิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสาร Polyurethane (2-part) Laboratory Scales

ในการทำการทดลองส่วนนี้สารที่ใช้คือ polyurethane แบบ 2 ส่วน คือต้องเตรียมสารทั้งหมด 3 ตัว แล้วจึงจะนำมาใช้ในการเคลือบเม็ดปุ๋ยตามลำดับการใช้งาน เริ่มจากเตรียม short oil alkyd (A) แล้วนำมาผสมกับ polyisocyanate (B) ตามอัตราส่วนที่กำหนด เมื่อผสมจนเข้ากันแล้ว (ไม่ต้องคนนาน ประมาณ 30 วินาที) เทสารลงในปุ๋ยชนิดซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่เตรียมไว้ 20 กรัม คนให้เข้ากัน เมื่อมองดูว่าเคลือบทั่วแล้วจึงเท amide catalyst (C) ลงไปตามปริมาณที่คำนวณ ในการเตรียมสารจะใช้ xylene เป็นตัวทำละลาย เม็ดปุ๋ยจะจับตัวแข็ง เทออกมาจากบีกเกอร์ใส่ถาด แล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 54 ℃ เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 2.6 แสดงวิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสาร Polyurethane (2-part) Laboratory Scales

	PU 2-part coating A:B:C (%wt)	Composite name
1	$X_1 : Y_1 : Z_1$	P_2S_X1
2	$X_1 : Y_1 : Z_2$	P_2S_X2
3	$X_2 : Y_2 : Z_3$	P_2S_X3
4	$X_3 : Y_3 : Z_1$	P_2S_X4
5	$X_2 : Y_2 : Z_4$	P_2S_X5
6	$X_2 : Y_2 : Z_5$	P_2S_X6
7	$X_2 : Y_2 : Z_6$	P_2S_X7
8	$X_2 : Y_2 : Z_4 + X_2 : Y_2 : Z_4$	P_2S_X8

2.3.7 วิธีในการหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสาร Polyurethane (2-part) Industrial Scales

ทำการเตรียมสารทั้ง 3 ตัว คือ short oil alkyd (A) , polyisocyanate (B) และ amide catalyst (C) ในอัตราส่วนที่กำหนด จากนั้นชั่งปุ๋ยในปริมาณ 1 กิโลกรัม ใส่ลงไปในโม่ ทำการเปิดเครื่องโม่เพื่อให้ปุ๋ยวิ่งสักพักเริ่มผสม A กับ B ให้เข้ากัน แล้วค่อย ๆ เทลงไป เมื่อเทเสร็จปล่อยให้คลุกเคล้ากันสักครู่ เมื่อเห็นว่าคลุกเคล้ากันทั่วแล้วจึงเท C รอสักครู่ เปิดลมจากท่อเป่าเพื่อช่วยให้แห้งเร็วขึ้นตามช่วงอุณหภูมิที่กำหนด

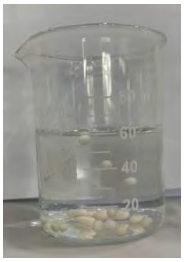
2.3.7.1 ทำการสังเคราะห์ตามวิธีทั่วไปด้านบน โดยใช้ปุ๋ยชนิดซัลเฟตกับสารเคลือบโพลียูรีเทนแบบ 2 ส่วน และมีการเติมสีลงไปเล็กน้อย ในปริมาณเป็นกรัม ของ A : B : C เป็น $X_1 : Y_1 : Z_1$ จะได้ผลิตภัณฑ์ P_2S_X* โดยปุ๋ยมีลักษณะไม่มันวาว บางเม็ดไม่โดนเคลือบ

หมายเหตุ: ไม่สามารถบอกอัตราส่วนที่แท้จริงได้เนื่องจากเป็นความลับของบริษัท

2.3.8 วิธีการทดสอบ

2.3.8.1 Water test

ทำการทดสอบโดยการหย่อนปุ๋ยลงในน้ำ ซึ่งไม่ควรเห็นฟองอากาศเกาะรอบ ๆ เม็ดปุ๋ย แต่หากมีฟองอากาศ สังเกตดูว่าต้องใช้ระยะเวลานานเท่าไหร่ปุ๋ยจึงจะละลายหรือลอยขึ้นมา กล่าวคือ หากปุ๋ยลอยขึ้นมาแสดงว่าเนื้อปุ๋ยได้ละลายออกมาเกือบหมดแล้ว ที่ลอยขึ้นมาจึงน่าจะเป็นเปลือกที่เราทำการเคลือบไป ยิ่งใช้เวลาน้อยแสดงว่าทำการเคลือบได้ไม่ดี ในทางกลับกัน หากใช้เวลานานแสดงว่าเคลือบได้ดี เป็นสิ่งที่เราต้องการ



รูปที่ 2.4 ภาพการทดสอบอย่างง่ายของปุ๋ยเคลือบหลังจากทิ้งไว้ให้ลอย

2.3.8.2 SEM (Scanning Electron Microscope)

ตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope : JSM-IT100) เพื่อทำการเปรียบเทียบดูความหนาของสารเคลือบระหว่างปุ๋ยที่เคลือบเองกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด (ผลิตภัณฑ์ที่นำมาเทียบในที่นี้ คือ ปุ๋ยยี่ห้อ osmocote)

รูปที่ 2.5 เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope : JSM-IT100)

บทที่ 3
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เสนอวิธีในการเคลือบเม็ดปุ๋ย โดยเราได้เลือกชนิดของปุ๋ยที่นำมาทดลองมี 2 ชนิด คือ 1. ปุ๋ยคลอไรด์ (Cl) และ 2. ปุ๋ยซัลเฟต (SO_4^{2-}) สารที่จะนำมาทดลองเคลือบมีทั้งหมด 4 ชนิด โดย 3 ชนิดแรกเป็นสารแบบสำเร็จ ได้แก่ 1. พอลิยูรีเทน (Polyurethane) 2. อัลคิดเรซิน (Alkyd resin) และ 3. อะคริลิกเรซิน (Acrylic resin) ในขณะสารชนิดที่ 4 คือพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วน (2-part Polyurethane) คือ เป็นสารที่นำมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์เอง ซึ่งคาดหวังให้มีระยะเวลาในการปลดปล่อยธาตุอาหารนานประมาณ 3 เดือน โดยขั้นตอน คือ นำพอลิเมอร์มาทำการเคลือบลงบนเม็ดปุ๋ย จากนั้นทำการทดสอบด้วย water test และ เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)

นอกจากนี้ในการทดลองเราได้ทำในส่วนของ Laboratory Scales และ Industrial Scales ควบคู่กันเพื่อพิสูจน์ว่าเมื่อ up scale แล้ว ผลสอดคล้องกับ Laboratory Scales หรือไม่

3.1 การหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารพอลิยูรีเทน (Polyurethane)

3.1.1 Laboratory Scales

จากการทดลองนำปุ๋ยมาเคลือบด้วยสารพอลิยูรีเทนจะได้ตัวอย่างมา 9 ตัวอย่าง (PC1 – PC6, PS1 – PS3) ซึ่งได้กำหนดค่า % การเคลือบและปัจจัยอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิและตัวทำละลาย โดย PC แสดงถึงสารพอลิยูรีเทนเคลือบปุ๋ยคลอไรด์ PC_X แสดงถึงสารพอลิยูรีเทนเคลือบปุ๋ยคลอไรด์ที่มีการใช้ตัวทำละลาย PS แสดงถึงสารพอลิยูรีเทนเคลือบปุ๋ยซัลเฟต และ PS_X แสดงถึงสารพอลิยูรีเทนเคลือบปุ๋ยซัลเฟตที่มีการใช้ตัวทำละลาย ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการหาอัตราส่วนและวิธีการทดสอบด้วย water test ในการเคลือบเม็ดปุ๋ย

	Composite name	Coating (%wt)	Temp (°C)	Picture	Physical properties
1	PC1	20%	Room Temp		เหนียวติดกัน ต้องแกะออก มีความมันวาว
2	PC2	20%	Room Temp		ปุ๋ยชื้นเละแตก ใช้งานไม่ได้
3	PC3	10%	80 - 100		ปุ๋ยแตก ไม่เคลือบ
4	PC4	5%	40 - 80		เคลือบดีขึ้น เหนียวน้อยลง แต่ปุ๋ยยังติดกัน
5	PC_X	5%	40 - 80		เคลือบดีขึ้น เหนียวน้อยลง แต่ปุ๋ยยังติดกัน

	Composite name	Coating (%wt)	Temp (°C)	Picture	Physical properties
6	PS1	10%	80 - 100		ปุ๋ยเหนียวติดกัน แห้งช้า
7	PS2	5%	80 - 100		แห้งเร็วขึ้น แต่ปุ๋ยยังคงเหนียว
8	PS_X	5%	40 - 80		เคลือบได้ง่ายขึ้น แห้งเร็วขึ้น แต่ปุ๋ยยังติดกัน

จากตารางที่ 3.1 ทำการทดลองหาอัตราส่วนโดยเริ่มจากการใช้พอลิยูรีเทน 20% มาเคลือบปุ๋ยคลอไรด์โดยตรง ซึ่งได้ปุ๋ย PC1 ที่เหนียวติดกันและแห้งช้า คาดว่าเพราะลักษณะของเนื้อสารที่มีความเหนียวอยู่แล้วเมื่อนำมาเคลือบจึงทำให้ปุ๋ยติดกัน ในการทดลองต่อมาจึงลองใช้พอลิยูรีเทน 20% มาเคลือบปุ๋ยอีกครั้งหากแต่มีการฉีดละอองน้ำเพิ่มเข้าไป โดยคาดว่าจะช่วยให้แห้งได้เร็วขึ้น แต่ปรากฏว่าปุ๋ย PC2 ชื้นและแตก ไม่สามารถใช้งานได้ คาดว่าเกิดจากละอองน้ำที่ฉีดพ่นเข้าไปโดนปุ๋ยแล้วทำให้ปุ๋ยละลายก่อนที่สารเคลือบจะไปเคลือบ ทำให้ปุ๋ยมีลักษณะดังที่เห็น และเนื่องจากปัญหาความเหนียวของพอลิยูรีเทนที่คาดว่าอาจจะมากเกินไป ในการทดลองครั้งต่อมาจึงได้ทำการลดปริมาณพอลิยูรีเทนลงเป็น 10% และ 5% มีการให้ความร้อนร่วมด้วย ซึ่งทำให้ปัญหาความเหนียวของพอลิยูรีเทนลดลง แต่เมื่อนำมาเคลือบปุ๋ย PC3 และ PC4 ก็ยังคงมีความเหนียวอยู่ ทำให้เกิดปัญหาปุ๋ยติดกัน จากลักษณะดังกล่าวทำให้คาดได้ว่าแม้จะลดเปอร์เซ็นต์การเคลือบลงมาแต่สารเคลือบยังคงมีเนื้อสารที่เหนียวหนืดส่งผลให้ปุ๋ยยังมีปัญหาติดกันดังเดิม ดังนั้นจึงได้คิดทำการเพิ่มตัวละลายเข้ามา โดยทำการเคลือบด้วยพอลิยูรีเทนที่ 5% และใช้ความร้อนร่วมด้วย เมื่อนำไปเคลือบปุ๋ย $PC5_X$ พบว่าเคลือบง่ายขึ้นและแห้งไว แต่ยังคงมีปัญหาปุ๋ยติดกันเช่นเดิม อาจเนื่องมาจากเพราะแม้จะใช้ตัวทำละลายมาช่วยทำให้สารเคลือบใช้งานได้ง่ายขึ้นแต่เมื่อตัวทำละลายระเหยไปจึงทำให้ปุ๋ยที่ถูกเคลือบกลับมาติดกันอีกครั้ง

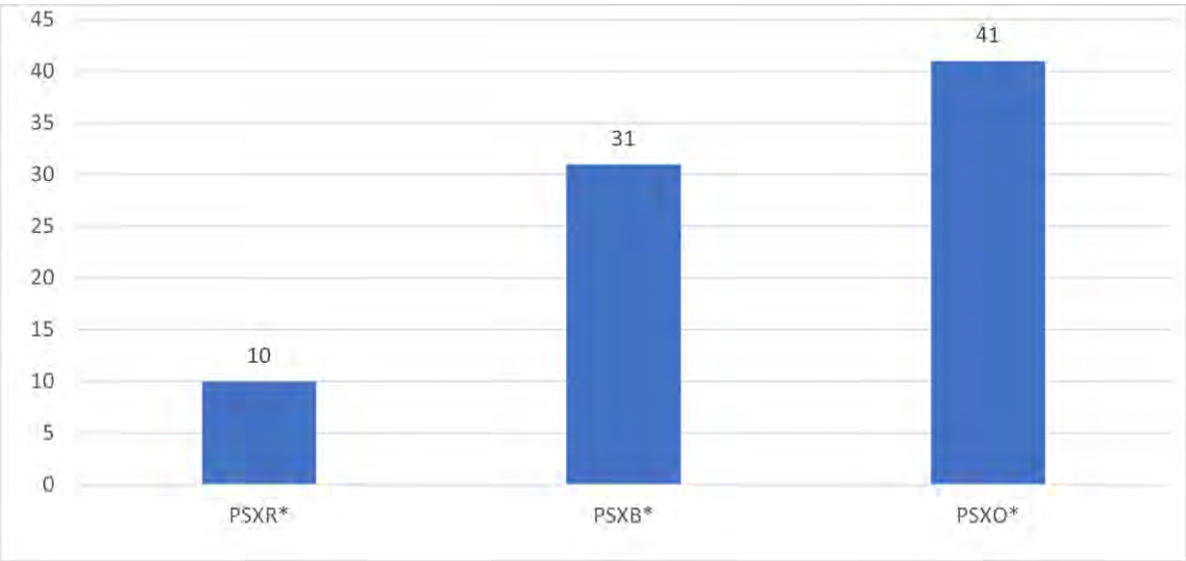
ต่อมาในการทดลองคาบเกี่ยวช่วงหลังได้มีการนำปุ๋ยซัลเฟตมาทำการทดลอง โดยเริ่มทำการทดลองหาอัตราส่วน (พร้อมกับ PC3 และ PC4) ซึ่งใช้พอลิยูรีเทน 10% และ 5% มาเคลือบปุ๋ยโดยตรง ได้ปุ๋ย PS1 และ PS2 ที่เหมือนกับตอนทำ PC3 และ PC4 และมีการใช้ตัวทำละลายมาช่วยได้ปุ๋ย PS3X ที่มีผลเหมือนกันกับการเคลือบข้างต้น

3.1.2 Industrial Scales

หลังจากทำการทดลองในห้องแลป เนื่องจากต้องการเทียบเคียงผล Laboratory Scales กับ Industrial Scales เมื่อได้อัตราส่วนคร่าว ๆ จึงได้ลองทำ Pilot scales เพื่อให้เห็นถึงปัญหาที่อาจพบ โดยมีตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง (PS_X*1 - PS_X*3) ซึ่ง PS_{XR}* แสดงถึงปุ๋ยซัลเฟตที่ทำให้แห้ง ณ อุณหภูมิห้อง PS_{XB}* แสดงถึงปุ๋ยซัลเฟตที่ทำให้แห้งขณะอยู่ในถุง และ PS_{XO}* แสดงถึงปุ๋ยซัลเฟตที่ทำให้แห้งโดยนำเข้าเครื่องอบ จากนั้นจึงนำไปทดสอบด้วย water test ได้ผลแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการเคลือบและวิธีการทดสอบด้วย water test ในการเคลือบเม็ดปุ๋ยของพอลิยูรีเทน

	Composite name	Coating (%wt)	Drying	Picture	Physical	Float up time (min)
1	PS_{XR}*	5%	ตากที่อุณหภูมิห้อง		ปุ๋ยติดกัน ดูมีความชื้น	10
2	PS_{XB}*	5%	ใส่ไว้ในถุงแล้วมัดปาก		ปุ๋ยติดกันและแห้งแข็ง	31
3	PS_{XO}*	5%	นำเข้าเครื่องอบ		ปุ๋ยไม่ค่อยติดกันและแห้งแข็ง	41



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ในการเคลือบเม็ดปุ๋ยของพอลิยูรีเทน

จากตารางที่ 3.2 ในขั้นแรกของการวางแผน คือ ใช้ปุ๋ยซัลเฟตต่อพอลิยูรีเทนในอัตราส่วน 5% โดยใช้เครื่องโม่ในการเคลือบเม็ดปุ๋ย แต่เมื่อทำการทดลองจริงใช้อัตราส่วน 1.25% เนื่องจากในขณะที่ค่อย ๆ เทสารลงเคลือบเม็ดปุ๋ยปรากฏว่าปุ๋ยติดกัน เม็ดปุ๋ยไม่วิ่ง ทำให้ต้องใช้สารเพียง 1.25% เท่านั้น จากนั้นจึงทำการเป่าลมร้อนเพื่อให้ปุ๋ยแห้งและมีการแซะเม็ดปุ๋ยที่ติดเครื่องออก และเป่าลมร้อน ทำสลับกันไปเช่นนี้จนกระทั่งปุ๋ยเริ่มแห้ง เมื่อนำปุ๋ยออกมาพบว่าปุ๋ยยังไม่แห้งดี จึงได้ทำการแบ่งเป็น 3 ส่วน เพื่อนำไปทำให้แห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน คือ 1. ใส่ในถาดแล้วตากที่อุณหภูมิห้อง 2. ใส่ไว้ในถุงแล้วมัดปากทิ้งไว้ และ 3. นำเข้าเครื่องอบ พบว่า ปุ๋ย PS_{XR}* แห้ง แต่ไม่แข็ง เหมือนมีความชื้น คาดว่าน่าจะเกิดจากความชื้นในบรรยากาศ และปุ๋ยติดกัน ต่อมาปุ๋ย PS_{XB}* แห้งและแข็ง แต่ติดกันมากกว่าปุ๋ย PS_{XR}* คาดว่าน่าจะเกิดจากการทับกัน เนื่องจากตอนใส่ลงในถุงเม็ดปุ๋ยยังไม่แห้งดี เมื่อใส่ลงไปและปิดปากถุงตั้งไว้ทำให้ทับถมกัน ดังนั้นเมื่อสารพอลิยูรีเทนแห้งจึงเกิดการติดกัน และ ปุ๋ย PS_{XO}* แห้งแข็ง ติดกันน้อยกว่าปุ๋ย PS_{XR}* และ ปุ๋ย PS_{XB}* หลังจากนั้นนำไปทดสอบด้วยวิธี water test

จากการทดสอบด้วย water test พบว่าปุ๋ยยังเคลือบได้ไม่ดี ทั้ง 3 ตัวเมื่อทำการหย่อนลงไปในน้ำแล้วเกิดฟองอากาศรอบ ๆ เม็ดปุ๋ย โดยปุ๋ย PS_{XR}* อยู่ได้ประมาณ 10 นาที จะสังเกตเห็นว่าปุ๋ยเริ่มละลาย ปุ๋ย PS_{XB}* อยู่ได้ 31 นาที และปุ๋ย PS_{XO}* อยู่นานประมาณ 41 นาที ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 3.1 จากลักษณะดังกล่าวเป็นไปตามแนวโน้มกับลักษณะทางกายภาพเมื่อตอนแห้ง คือ ปุ๋ย PS_{XR}* เห็นชัดว่ามีความชื้นและดูไม่แข็งแรง ส่วนปุ๋ย PS_{XB}* เนื่องจากติดกันมาก เมื่อแตกออกจากกันทำให้เกิดรูขึ้น เมื่อนำมาเทียบกับปุ๋ย PS_{XO}* ที่ไม่ค่อยติดกัน ซึ่งคาดว่าสารเคลือบตัวปุ๋ยได้ทั่วถึงมากกว่า ปุ๋ย PS_{XO}* จึงใช้เวลาในการละลายปุ๋ยนานกว่า

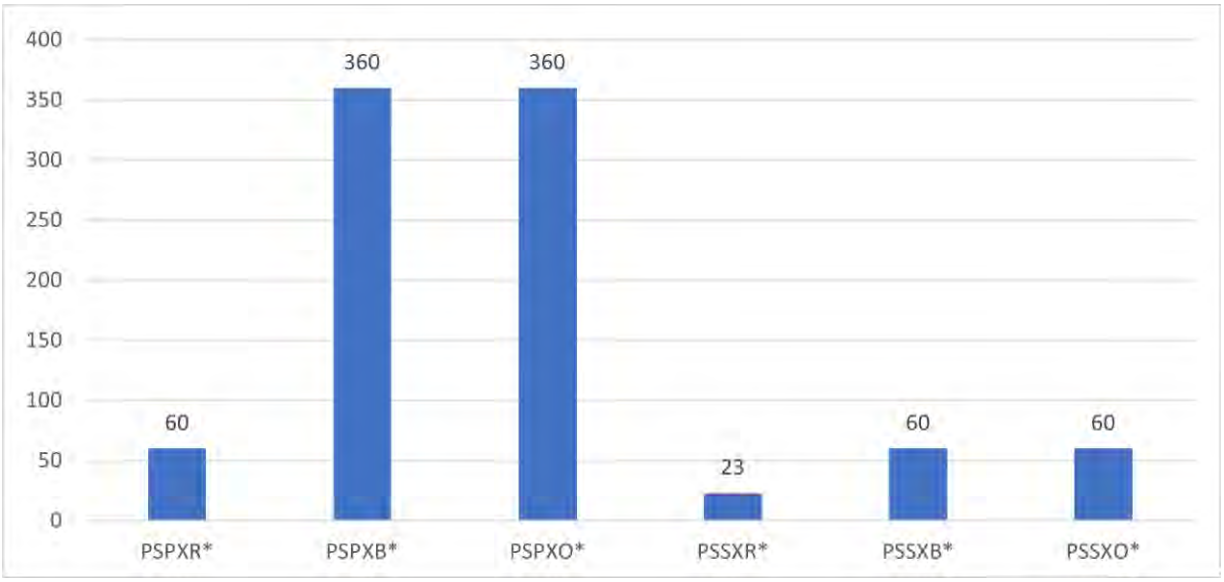
3.1.3 Laboratory Scales (2)

จากการทดลองใน Industrial Scales พบว่าเวลาในการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยยังห่างไกลจากเป้าหมายที่ตั้งไว้อยู่มาก ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม พบว่า ในบางงานวิจัยได้ใช้พาราฟิน (paraffin) ในการช่วยเป็นตัวควบคุมการปลดปล่อยด้วยเช่นกัน จึงได้มีความคิดและวางแผนนำพาราฟินมาทำการเคลือบซ้ำรอบที่สองหลังจากรอสารเคลือบพอลิยูรีเทนแห้ง แต่นอกจากพาราฟินแล้วสารอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ คือ ซิลิเกต (silicate) โดยมีตัวอย่าง 6 ตัวอย่าง (PSS*1 – PSS*3, PSP*1 – PSP*3) ซึ่ง PSS* แสดงถึงปุ๋ยซัลเฟตที่ผ่านการเคลือบด้วยโม่แล้วนำมาเคลือบสารซิลิเกตต่อ และ PSP* แสดงถึงปุ๋ยซัลเฟตที่ผ่านการเคลือบด้วยโม่แล้วนำมาเคลือบสารพาราฟินต่อ ผลแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการเคลือบและทดสอบด้วย water test ในการเคลือบเม็ดปุ๋ยของพอลิยูรีเทน

	Composite name	Coating (%wt)	Drying	Picture	Physical	Float up time (min)
1	PSP_{XR}*	5%	ตากที่อุณหภูมิห้อง		มีความมันวาว สีหม่นขึ้น	60
2	PSP_{XB}*	5%	ใส่ไว้ในถุงแล้วมัดปาก		มีความมันวาว สีหม่นขึ้น	>360 (6 h) (มีฟอง)
3	PSP_{XO}*	5%	นำเข้าเครื่องอบ		มีความมันวาว สีหม่นขึ้น	>360 (6 h)
4	PSS_{XR}*	5%	ตากที่อุณหภูมิห้อง		ปุ๋ยมีความด้าน ไม่ค่อยมันวาว สีออกหม่น	23

5	PSS_{XB}*	5%	ใส่ไว้ในถุงแล้วมัดปาก		ปุ๋ยมีความด้าน ไม่ค่อยมันวาว สีออกหม่น	>60
6	PSS_{XO}*	5%	นำเข้าเครื่องอบ		ปุ๋ยมีความด้าน ไม่ค่อยมันวาว สีออกหม่น	60



รูปที่ 3.2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ในการเคลือบเม็ดปุ๋ยของพอลิยูรีเทน

จากตารางที่ 3.3 ทำการนำปุ๋ยจากการโม่ใน Industrial Scales ซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกันมาเคลือบด้วยพาราฟิน โดยเริ่มแรกใช้ 5% เพื่อดูว่าปริมาณเพียงพอหรือไม่ พบว่า ปริมาณมากเกินไป ส่วนที่เหลือที่ไม่ได้ทำการเคลือบไหลนอง จึงได้ทำการลดลงมาเหลือ 3% พบว่า ปริมาณกำลังดี ไม่ทำให้สารไหลเจิ่งนองและไม่น้อยเกินไปจนดูเหมือนไม่ได้เคลือบ ปุ๋ย PSP_{XR} * เมื่อทำการเคลือบด้วยพาราฟินแล้วมีความมันวาวเล็กน้อย จับแล้วรู้สึกมันมือ เนื่องจากพาราฟินเป็นเทียนไข นอกจากนี้ ทั้ง PSP_{XB}* และ PSS_{XO}* ยังให้ผลการเคลือบที่มีลักษะคล้ายคลึงกับปุ๋ย PSP_{XR} * คือมีความมันวาวเล็กน้อยและสีของเม็ดปุ๋ยหม่นขึ้น จากนั้นจึงทำการเคลือบด้วยซิลิเกต พบว่า ปุ๋ยทั้ง 3 แบบให้ผลที่คล้ายคลึงกันเช่นกัน คือ มีความด้าน ไม่ค่อยมันวาว สีออกหม่น จากนั้นจึงจะนำไปทดสอบด้วย water test

เมื่อทำการทดสอบด้วย water test แล้ว พบว่า ปุ๋ย PSP_{XB}*กับ PSP_{XO}* ทั้ง 2 ตัว เป็นตัวที่อยู่ได้นานที่สุดคือมากกว่า 6 ชั่วโมงแต่ยังน้อยกว่า 1 วัน แต่ PSP_{XO}* ดีกว่า PSP_{XB}* เนื่องจากเมื่อหย่อนลงน้ำแล้วสังเกตเมื่อเวลาผ่านไป

จะเห็นได้ว่ามีฟองเกาะรอบ ๆ ปุ๋ยน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าการเคลือบนั้นดีกว่า ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 3.2 แต่ถึงอย่างนั้น แม้จะสามารถทำให้เคลือบอยู่ได้นานมากขึ้นหลายชั่วโมงแต่ยังไม่สามารถทำให้อยู่ได้เป็นวัน

3.2 การหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารแอลคิดเรซิน (Alkyd resin)

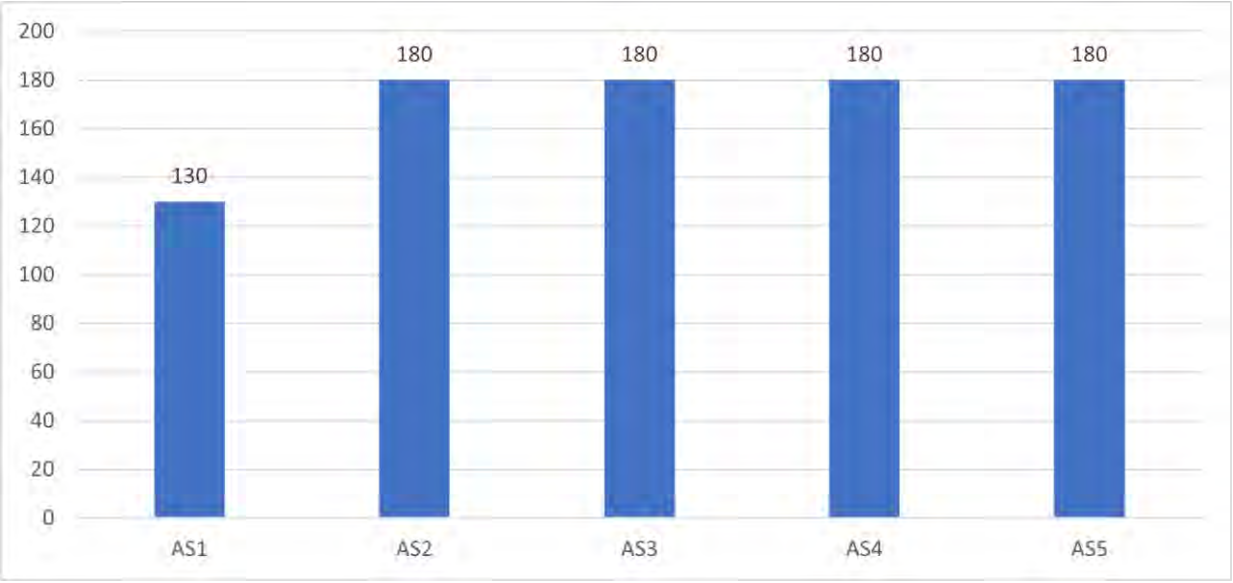
3.2.1 Laboratory Scales

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าแม้จะสามารถเคลือบได้โดยมีระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นแต่ยังเพิ่มได้ไม่มาก ดังนั้นจึงได้ลองหาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อลองเปลี่ยนสารที่เคลือบใหม่ เนื่องจากสารที่ใช้อยู่ในขณะนี้ดูเหมือนจะไม่ใช่สารที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ แล้วจึงมาพบว่าสารแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการเคลือบเช่นกัน จึงได้ลองนำมาใช้ทำการทดลอง โดยมีสารแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) ทั้งหมด 5 ชนิด ซึ่งมีทั้งแบบ Long – oil alkyd resin, Medium – oil alkyd resin, Urea formaldehyde alkyd resin และ Styrene modified alkyd resin โดยมีตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง (AS1 – AS5) ซึ่ง AS แสดงถึงสารแอลคิดเรซินเคลือบปุ๋ยซัลเฟต ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการเคลือบสารแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) และทดสอบด้วย water test

	Composite name	Coating (%wt)	Picture	Physical	Float up time (min)
1	AS1	5%		เคลือบได้ไม่ค่อยดี เปลือกหลุดเป็นขุย	130 (2 h 10 min)
2	AS2	5%		เคลือบได้ไม่ค่อยดี เปลือกหลุดเป็นขุย	~ 180 (3 h)
3	AS3	5%		เคลือบได้ดี เปลือกไม่หลุด ดูแข็ง	~ 180 (3 h)

4	AS4	5%		เคลือบได้ไม่ค่อยดี เปลือกหลุดเป็นขุยเล็กน้อย	~ 180 (3 h)
5	AS5	5%		เคลือบได้ดี เปลือกไม่หลุด แข็ง	~ 180 (3 h)



รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ของสารแอลคิดเรซิน (Alkyd resin)

จากตารางที่ 3.4 พบว่า เมื่อทำการเคลือบ AS1 จะเห็นเปลือกหลุดเป็นขุย สารแอลคิดที่ใช้มีลักษณะเหนียวเกินไปและแห้งช้า ทำให้ปุ๋ยติดกันและสารเคลือบบางส่วนติดกับภาชนะ เคลือบได้ไม่ค่อยดี AS2 เคลือบได้ไม่ค่อยดี เปลือกหลุดเป็นขุยเช่นเดียวกันกับ AS1 ต่อมาในการเคลือบ AS3 เคลือบได้ดี เปลือกไม่หลุด มีความมันวาว จับแล้วแข็ง เป็นสารที่ไม่เหนียวมากและแห้งเร็ว เป็นตัวที่น่าสนใจ AS4 เคลือบได้ไม่ค่อยดี เปลือกหลุดเป็นขุยเล็กน้อย สารที่ใช้มีลักษณะเหนียวหนืดและแห้งช้า สุดท้าย AS5 เคลือบได้ดี เปลือกไม่หลุด ดูแข็งแรง เม็ดปุ๋ยเรียงตัวสวย สารที่นำมาเคลือบไม่เหนียวจนเกินไป ใช้งานง่ายและแห้งไว เป็นสารอีกชนิดที่น่าสนใจ และหลังจากเคลือบเสร็จจึงนำไปทดสอบด้วยวิธีอย่างง่าย

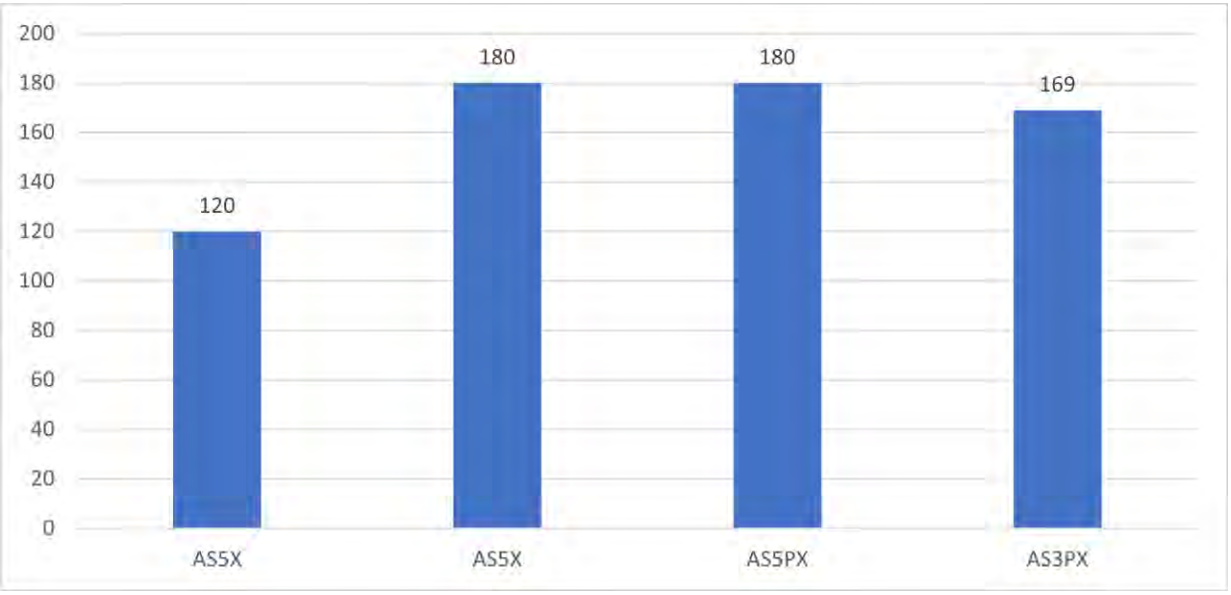
หลังทดสอบด้วย water test ทำให้เห็นได้ว่าเรายังคงเคลือบสารได้ไม่ค่อยดี เนื่องจากเมื่อหย่อนปุ๋ยลงน้ำแล้วยังคงเกิดฟอง และเฉลี่ยแล้วปุ๋ยทุกสูตรอยู่ได้ประมาณเพียง 3 ชั่วโมง จึงเริ่มละลาย ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังนั้นจึงคาดว่าอาจเกิดจากเปอร์เซ็นต์สารเคลือบที่น้อยเกินไป

ด้วยเหตุนี้จึงคิดจะเพิ่มเปอร์เซ็นต์จาก 5% เป็น 10% แต่ที่ 10% เมื่อทำการเคลือบแล้วปุ๋ยมักจะเหนียวติดกันมากขึ้นและใช้เวลานานในการแห้ง จึงคิดจะทำการเคลือบ 2 รอบ คือใช้ 5% ในการเคลือบรอบแรก เมื่อแห้งแล้วจึงนำมาเคลือบรอบที่สอง และอีกแนวทางคือ ทำการเคลือบ 3 รอบ โดย 2 รอบแรกทำเหมือนที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนในรอบที่ 3 ทำการเคลือบด้วยพาราฟินทับอีกชั้นเพื่อต้องการอุดรูที่อาจเกิดขึ้นจากการเคลือบไม่ดีหรือปุ๋ยที่ติดกันแล้วหลุดออกจากกันจนทำให้มีพื้นที่ที่เคลือบไม่ทั่ว โดยในรอบนี้ได้เลือกสารแอลคิดที่มีคุณสมบัติในการเคลือบดีที่สุดมา 2 ชนิด โดยมีตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง ($AS5_X1$ – $AS5_X3$, $AS3_X$) ซึ่ง $AS5_X$ แสดงถึงสารแอลคิดเรซินเคลือบปุ๋ยซัลเฟตที่มีการใช้ตัวทำละลาย $AS5P_X$ แสดงถึงสารแอลคิดเรซินเคลือบปุ๋ยซัลเฟตที่มีการใช้ตัวทำละลายและเคลือบซ้ำด้วยพาราฟิน ได้ผลดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการเคลือบสารแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) เพิ่มเติม และทดสอบด้วย water test

	Composite name	Coating (%wt)	Picture	Physical	Float up time (min)
1	$AS5_X$	5%		มีความมันวาว เปลือกไม่เป็นขุย ชั้นเคลือบดูบางและเหมือนเคลือบไม่ทั่ว มีสีขาว	120 (2 h)
2	$AS5_X$	5%+5% = 10%		มีความมันวาว เปลือกไม่เป็นขุย ชั้นเคลือบดูหนาขึ้นแต่ยังเหมือนเคลือบไม่ทั่ว มีสีออกเหลือง	~ 180 (3 h)
3	$AS5P_X$	5%+5% = 10%		ความมันวาว เปลือกไม่เป็นขุย มีสีขาวหม่นออกเหลืองเล็กน้อย	~ 180 (3 h)

4	$AS3P_X$	5%+5% = 10%		มีความมันวาว เปลือกหลุดเล็กน้อยบางเม็ด มีสีขาวหม่นออกเหลืองไม่มาก	169 (2 h 49 min)



รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ของแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) เพิ่มเติม

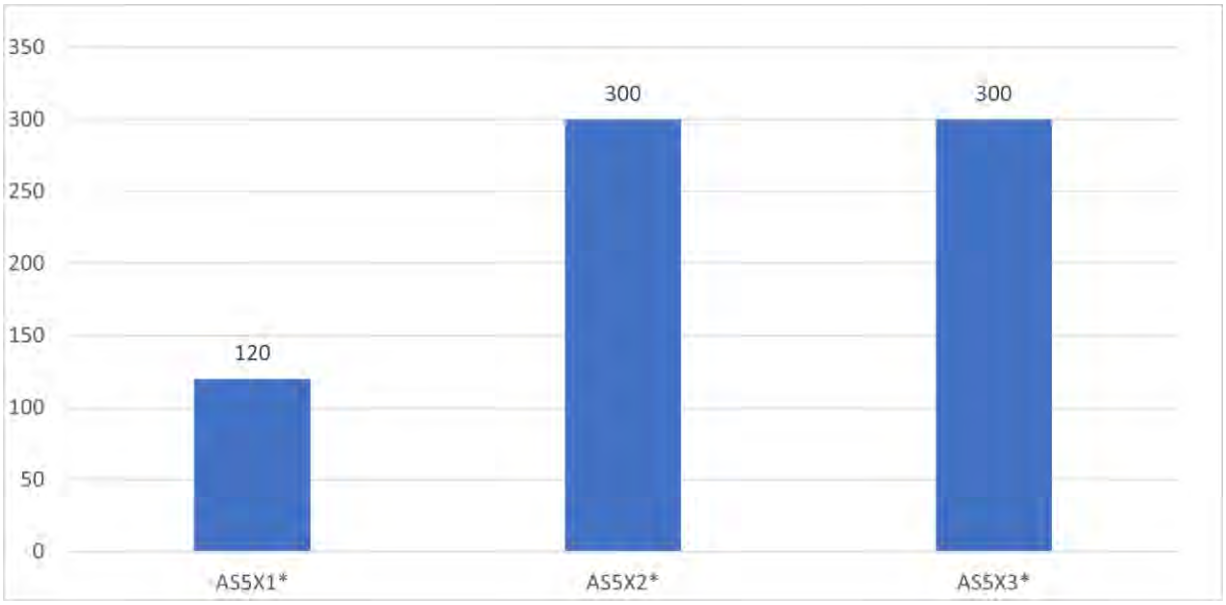
จากตารางที่ 3.5 ตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างเมื่อทำการเคลือบโดยเพิ่มปริมาณสารเคลือบแบบเคลือบทับซ้ำกัน พบว่า ส่วนใหญ่มีลักษณะมันวาว มีสีที่เปลี่ยนไปจากเดิมเล็กน้อย และยังคงดูเคลือบไม่ทั่ว ถึงแม้จะทำการเคลือบด้วยสารแอลคิดเรซินถึง 2 ครั้ง และ เคลือบด้วยพาราฟินอีก 1 ครั้ง โดยภายนอกดูเหมือนจะเคลือบได้ทั่ว แต่เมื่อนำไปทดสอบ water test พบว่าทุกตัวนั้นเกิดฟองเมื่อหย่อนลงน้ำ ใช้เวลาประมาณ 120-180 นาที (2-3 h) ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 3.4 จากลักษณะดังกล่าวนี้ทำให้คาดว่าอาจจะเกิดจากการที่สารเคลือบหลุดติดกับภาชนะที่ใช้ในการคลุกเคล้าเพื่อเคลือบเม็ดปุ๋ย และในขณะที่สารกำลังจะแห้งมักจะเหนียวและทำให้ปุ๋ยติดกันตรงส่วนที่ติดเมื่อเอาออกจากกันจึงทำให้เกิดรูได้

3.2.2 Industrial Scales

จากที่เคยกล่าว เมื่อทำการทดลองในห้องแลปได้ชนิดของสารและอัตราส่วนคร่าว ๆ จึงได้นำไปทำ Pilot scales โดยวางแผนใช้ปุ๋ยซัลเฟตต่อแอลคิดเรซินในอัตราส่วนที่ต่างกัน 3 อัตราส่วนโดยมีตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง ($AS5_X1^*$ - $AS5_X3^*$) ซึ่ง $AS5_X^*$ แสดงถึงปุ๋ยสารแอลคิดเรซินเคลือบซัลเฟตที่มีการใช้ตัวทำละลายซึ่งทำการเคลือบโดยใช้โม่ ได้ผลดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการเคลือบแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) ในอัตราส่วนที่ต่างกัน และทดสอบด้วย water test

	Composite name	Coating (%wt)	Picture	Physical	Float up time (min)
1	$AS5_X1$*	5%		มีความมันวาวเล็กน้อย ขาวหม่น ดูเคลือบไม่ทั่วเม็ดปุ๋ย	120 (2 h)
2	$AS5_X2$*	10%		มีสีออกเหลืองเล็กน้อย มีความมันวาว แต่ยังมีบางส่วนที่เคลือบไม่ทั่ว	300 (5 h)
3	$AS5_X3$*	15%		สีเหลือง มีความเหนียวและมันวาว ปุ๋ยติดกัน	300 (5 h)



รูปที่ 3.5 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ของแอลคิดเรซิน (Alkyd resin) Industrial Scales

จากตารางที่ 3.6 โดยค่อย ๆ เทสารเคลือบลงไปบนเม็ดปุ๋ย ขณะทำ $AS5_X1$* ระหว่างที่เครื่องโม่กำลังหมุนเพื่อเคลือบปุ๋ยจึงทำการโยนก้อนพาราฟินลงไปเพื่อให้ละลายและเคลือบเม็ดปุ๋ยไปด้วย แต่ปรากฏว่าพาราฟินไม่ละลาย เนื่องจากความร้อนของโม่ไม่สูงพอในการหลอมเหลวพาราฟิน จึงนำพาราฟินออกมา และทำการเคลือบต่อไป โดยจะพบว่า $AS5_X1$* ใช้เวลาในการโม่จนปุ๋ยเกือบแห้ง ใช้เวลาไม่นาน คาดว่าเพราะปริมาณของสารเคลือบไม่ได้มากเกินไป ในขณะที่ $AS5_X2$* ใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น และปุ๋ยติดกันมากว่ารอบที่ทำ $AS5_X1$* และในรอบสุดท้ายของการเคลือบ $AS5_X3$* ใช้เวลานานที่สุด ปุ๋ยติดกัน ต้องทำการแซะและตีเม็ดปุ๋ยออกจากกัน ทำให้คาดว่าอาจเกิดการเคลือบไม่ทั่ว เสร็จแล้วจึงนำไปทดสอบ water test

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำการทดสอบด้วย water test พบว่าเมื่อหย่อนลงน้ำยังคงพบฟองอากาศเกาะรอบเม็ดปุ๋ยทั้ง 3 อัตราส่วน โดย $AS5_X1$* อยู่ได้เพียง 2 ชั่วโมง คาดว่าน่าจะเป็นเพราะเปอร์เซ็นต์ของสารเคลือบที่น้อยเกินไป ในขณะที่ $AS5_X2$* และ $AS5_X3$* อยู่ได้ประมาณ 5 ชั่วโมง ซึ่ง $AS5_X2$* เมื่อเทียบกับ $AS5_X1$* และ $AS5_X3$* แล้วจะพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่พอจะคาดเดาได้ ในขณะที่ $AS5_X3$* หากเคลือบทั่วคาดว่าจะอยู่ได้นานที่สุด แต่จะเห็นได้ว่าพอ ๆ กับ $AS5_X2$* ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 3.5 ดังนั้นจึงทำให้ทราบว่าการตีเม็ดปุ๋ยออกจากกันนั้นก่อให้เกิดรูขึ้น เป็นอีกสาเหตุที่ทำให้เคลือบได้ไม่ทั่ว

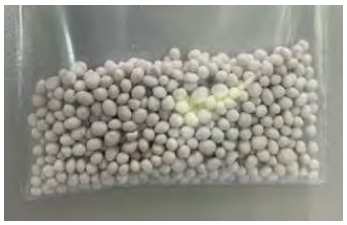
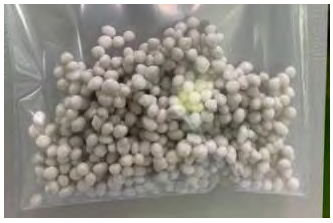
3.3 การหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารอะคริลิกเรซิน (Acrylic resin)

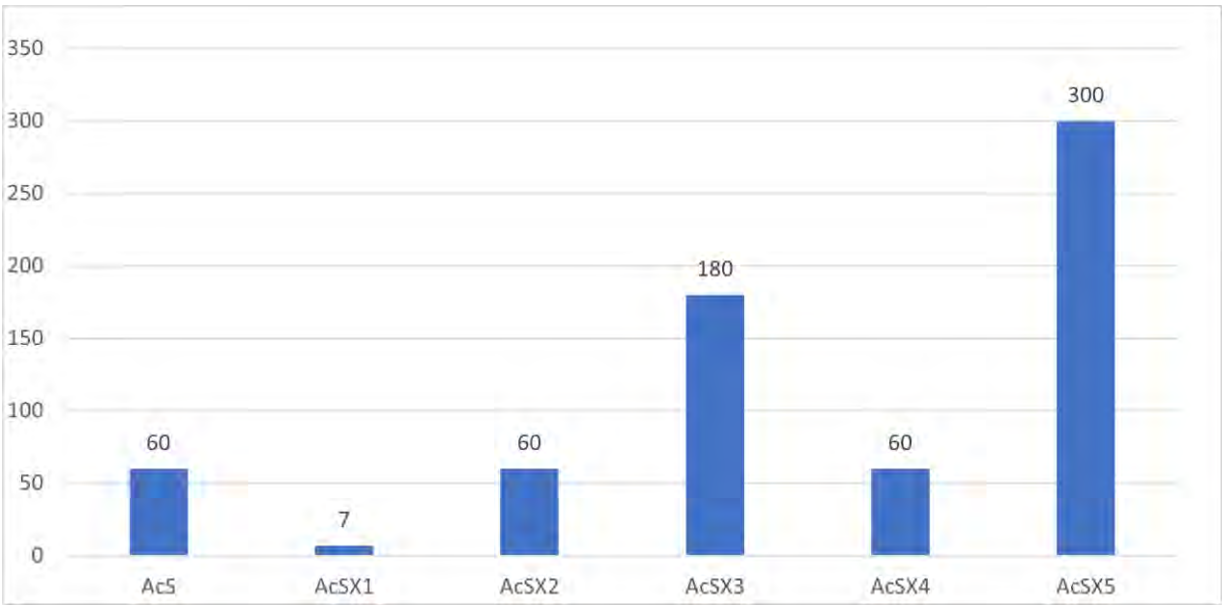
3.3.1 Laboratory Scales

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าสารที่นำมาเคลือบยังเคลือบได้ไม่ดี มักมีปัญหาปุ๋ยติดกัน จึงได้ลองหาสารที่มีความสามารถในการแห้งได้ไวมาทำการทดลอง เนื่องจากคาดว่ายิ่งสารแห้งได้ไวปุ๋ยจะยิ่งติดกันน้อยลง โดยสารที่ได้ลองนำมาทดลองในที่นี้คือ อะคริลิกเรซิน ซึ่งได้นำมาทดลอง 2 ประเภท ในประเภทที่ 1 มีตัวอย่าง 6 ตัวอย่าง (AcS, AcS_X1–AcS_X5) ซึ่ง AcS แสดงถึงสารอะคริลิกเคลือบปุ๋ยซัลเฟต และ AcS_X แสดงถึงสารอะคริลิกเคลือบปุ๋ยซัลเฟตที่มีการใช้ตัวทำละลาย ได้ผลดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงผลการเคลือบอะคริลิกเรซิน (acrylic resin) ในอัตราส่วนที่ต่างกันและทดสอบด้วย water test

	Composite name	Coating (%wt)	Picture	Physical	Float up time (min)
1	AcS	5%		มีความมันวาว ติดกันบางส่วน แห้งไว ดูแข็ง เปลือกไม่เป็นขุย มีสีหม่นขึ้น	60

2	AcS_X1	1%		ไม่ติดกัน ดูเคลือบไม่ทั่วอย่างชัดเจน มีสีขาว	7
3	AcS_X2	5%		ความมันวาวมากขึ้น ไม่ค่อยติดกัน มีสีขาว	60
4	AcS_X3	10%		มีความมันวาวมาก ติดกันเป็นแผง มีสีขาว	180 (3 h)
5	AcS_X4	15%		ความมันวาวมาก ติดกันเป็นแผง การเคลือบดูหนาขึ้น มีสีขาว	60
6	AcS_X5	20%		มีความวาวอย่างเห็นได้ชัด ชั้นเคลือบดูหนา แห้งติดกันเป็นแผง มีสีขาว	300 (5 h)



รูปที่ 3.6 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ของอะคริลิกเรซิน (acrylic resin)

จากตารางที่ 3.7 ในตอนเริ่มแรกได้ทำการทดลองโดยการใช้สารอะคริลิกเคลือบลงบนปุ๋ยโดยตรง ได้ AcS1 ที่ติดกันเป็นบางส่วน และมีความมันวาว ในการทดลองต่อมาได้ลองนำตัวทำละลายเข้ามาใช้ร่วมด้วยโดยเริ่มที่ 1% อะคริลิก เนื่องจากต้องการว่าจะให้ผลการทดลองอย่างไร ได้เป็น AcS_X2 ไม่ติดกัน ดูเคลือบไม่ทั่วอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากบางส่วนของผิวยังคงเป็นผิวสีขาวของปุ๋ยที่นำมาเคลือบอย่างชัดเจน ต่อมาจึงได้ลองที่ 5% ได้ AcS_X3 ที่มีความมันวาวมากขึ้น ยังคงไม่ค่อยติดกันและดูเคลือบไม่ทั่ว มีสีขาว จากนั้นได้ทำการทดลองที่ 10% ได้ AcS_X4 ที่มีลักษณะติดกันเป็นแผง และมีความมันวาวมากขึ้น มีสีขาว ต่อมาได้ทำการทดลองที่ 15% ได้ AcS_X5 ที่มีความมันวาวมาก ติดกันเป็นแผง เปลือกเคลือบดูหนาขึ้น สีขาว และในการทดลองต่อมา ทำการทดลองที่ 20% ได้ AcS_X6 มีความวาวอย่างเห็นได้ชัด ชั้นเคลือบดูหนามากขึ้น แห้งติดกันเป็นแผง มีสีขาว จากนั้นนำไปทดสอบ water test

เมื่อนำปุ๋ยที่เคลือบด้วยอะคริลิกในเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ มาทำการทดสอบด้วย water test พบว่า AcS1 อยู่ได้ที่ 1 ชั่วโมงจึงเริ่มละลาย โดยตอนหย่อนลงน้ำพบว่ามีฟองอากาศเกาะตามเม็ดปุ๋ย AcS_X2 อยู่ได้ที่ 7 นาที เนื่องจากเปอร์เซ็นต์การเคลือบปุ๋ยน้อยไป ทำให้เคลือบไม่ทั่ว AcS_X3 อยู่ได้ที่ 1 ชั่วโมงเท่ากับ AcS1 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีเปอร์เซ็นต์การเคลือบที่เท่ากัน ต่างกันเพียงที่ AcS1 ไม่ใช้ตัวทำละลาย ขณะที่ AcS3 ใช้ตัวทำลาย ต่อมาที่ AcS_X4 อยู่ได้นานขึ้นเป็น 3 ชั่วโมง อาจเนื่องมาจากเปอร์เซ็นต์การเคลือบที่มากขึ้นทำให้การเคลือบดีขึ้น ต่อมา AcS_X5 อยู่ได้ 1 ชั่วโมง ตอนหย่อนลงน้ำพบฟองอากาศเม็ดเล็ก ๆ เกาะตามเม็ดปุ๋ย สาเหตุอาจเนื่องมาจากตอนทำการทดลองต้องใช้แท่งแก้วคน จึงอาจทำให้ไปกระแทกกับบางส่วนที่เริ่มแห้งแข็ง จึงทำให้เกิดรูได้ และอาจเกิดจากการติดกันของเม็ดปุ๋ยเกิดมีช่องว่างบางส่วนที่ทำให้น้ำเข้าไปได้ และ AcS_X6 อยู่ได้ 5 ชั่วโมง ผิดจากที่คาดหวังว่าจะอยู่ได้นานกว่านี้เนื่องจากดูลักษณะทางกายภาพที่ดูเคลือบทั่วและเคลือบหนา ซึ่งอาจเกิดจากรูเล็ก ๆที่มองไม่เห็น เมื่อเวลาผ่านไปจะพบว่ามีฟองอากาศเล็ก ๆเกิดขึ้นจำนวนมากรอบปุ๋ยที่เคลือบ ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 3.6

จากปัญหาที่พบในข้างต้นจึงได้มีความคิดลองนำแอลคิด $AS5_X$ มาเคลือบลงบนปุ๋ยรอบแรก รอให้แห้ง แล้วจึงทำการเคลือบสารอะคริลิกรอบที่สอง สลับกับนำสารอะคริลิกมาทำการเคลือบลงบนปุ๋ย รอให้แห้ง แล้วจึงนำแอลคิด $AS5_X$ มาเคลือบรอบที่สอง เนื่องจากคาดว่าทั้งอะคริลิกและแอลคิดล้วนมีสมบัติเฉพาะที่ดีเป็นของตัวเอง หากนำมาทำการเคลือบร่วมกัน จึงน่าจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการเคลือบปุ๋ยดีขึ้น โดยมีตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง ($AS5Ac_X$, $AcAS5_X$) ซึ่ง $AS5Ac_X$ แสดงถึงการเคลือบสารแอลคิดก่อนแล้วเคลือบตามด้วยสารอะคริลิก $AcAS5_X$ แสดงถึงการเคลือบสารอะคริลิกก่อนแล้วเคลือบตามด้วยสารแอลคิด ได้ผลตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการเคลือบสารอะคริลิกเรซินและแอลคิดเรซิน และทดสอบด้วย water test

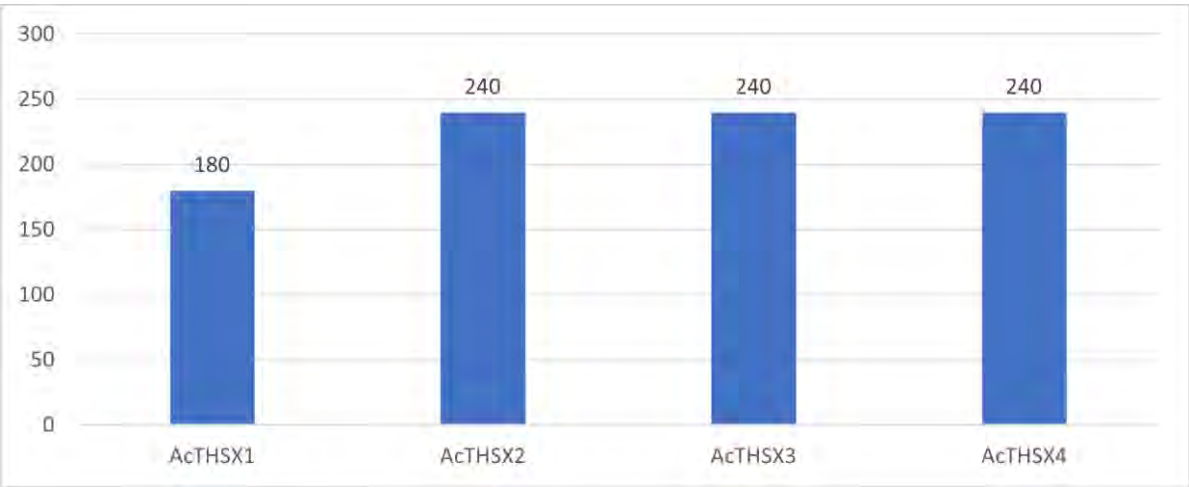
	Composite name	Coating (%wt)	Picture	Physical	Float up time (min)
1	$AS5Ac_X$	5%+5% =10%		เปลือกหลุดเป็นขุย เคลือบได้ไม่ค่อยดี	3 hour 49 min
2	$AcAS5_X$	5%+5% =10%		มีความมันวาว ติดกันบางส่วน มีสีขาว	5 hour 36 min

จากตารางที่ 3.8 พบว่า $AS5Ac_X$ มีลักษระเปลือกหลุดเป็นขุย เคลือบได้ไม่ค่อยดี เมื่อนำไปทดสอบ water test อยู่ได้ประมาณ 3 ชั่วโมง 49 นาที เนื่องจากเมื่อทำการเคลือบแอลคิดลงไปในรอบแรกปุ๋ยจะจับกันเนื่องจากความเหนียว เมื่อปล่อยทิ้งไว้จนคิดว่าแห้งดีแล้วนำสารอะคริลิกมาเคลือบรอบที่ 2 ปรากฏว่าปุ๋ยที่ถูกเคลือบมีความเหนียว เมื่อรอจนแห้ง พบว่าเปลือกหลุดเป็นขุย ในขณะที่ $AcAS5_X$ มีความมันวาว ติดกันบางส่วน สีขาว เมื่อนำไปทดสอบ water test อยู่ได้ประมาณ 5 ชั่วโมง 36 นาที ซึ่งมากกว่า $AS5Ac_X$ เนื่องจากในขั้นตอนการทดลองเมื่อเคลือบชั้นแรกด้วยอะคริลิกก่อนปุ๋ยจะมีความแข็งและมันวาว เมื่อเคลือบชั้นที่ 2 ด้วยแอลคิดเรซิน ปุ๋ยไม่เป็นขุย

ในส่วนต่อมาเป็นอะคริลิกอีกชนิดหนึ่ง มีตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง ($Ac^{TH}S_X1$ - $Ac^{TH}S_X4$) โดย $Ac^{TH}S_X$ แสดงถึงอะคริลิกเรซินประเภทที่ 2 เคลือบปุ๋ยซัลเฟตที่มีการใช้ตัวทำละลาย

ตารางที่ 3.9 แสดงผลการเคลือบสารอะคริลิกเรซินประเภทที่ 2 ในอัตราส่วนที่ต่างกัน และทดสอบด้วย water test

	Composite name	Coating (%wt)	Picture	Physical	Float up time (min)
1	$Ac^{TH}S_X1$	2%		มีความมันวาวบางส่วน ปุ๋ยติดกัน ดูเคลือบไม่ทั่ว มีสีขาว	~ 180 (3 h)
2	$Ac^{TH}S_X2$	3%		มีความมันวาว ปุ๋ยติดกัน มีสีขาว	240 (4 h)
3	$Ac^{TH}S_X3$	4%		มีความมันวาว ปุ๋ยติดกัน มีสีขาว	240 (4 h)
4	$Ac^{TH}S_X4$	5%		มีความมันวาว ปุ๋ยติดกัน ชั้นเคลือบดูหนาขึ้น มีสีขาว	240 (4 h)



รูปที่ 3.7 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ของอะคริลิกเรซิน (acrylic resin)

จากตารางที่ 3.9 เมื่อลองนำอะคริลิกเรซินประเภทที่ 2 มาเคลือบปุ๋ยตามอัตราส่วนต่าง ๆ โดยเริ่มจาก 2% - 5% พบว่า เป็นสารที่ใช้งานง่าย เนื้อสารไม่เหนียวจนเกินไปและแห้งไว แต่ปุ๋ยยังคงติดกัน คาดว่าเนื่องจากความแห้งไวนี้ทำให้ขณะที่ทำการเคลือบยังไม่ทันได้เกลี่ยปุ๋ยออกจากกันกลับพบว่าปุ๋ยติดกันแล้ว เมื่อนำปุ๋ยที่ติดกันออกจากกันจะเกิดรู ทำให้เมื่อนำไปทดสอบด้วย water test พบว่าอยู่ได้ประมาณ 3-4 ชั่วโมง ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งยังคงถือว่าเป็นเวลาที่น้อยกว่าที่ตั้งไว้เยอะมาก

3.4 การหาอัตราส่วนและวิธีการเคลือบที่เหมาะสมของสารพอลิยูรีเทน (Polyurethane 2 - part)

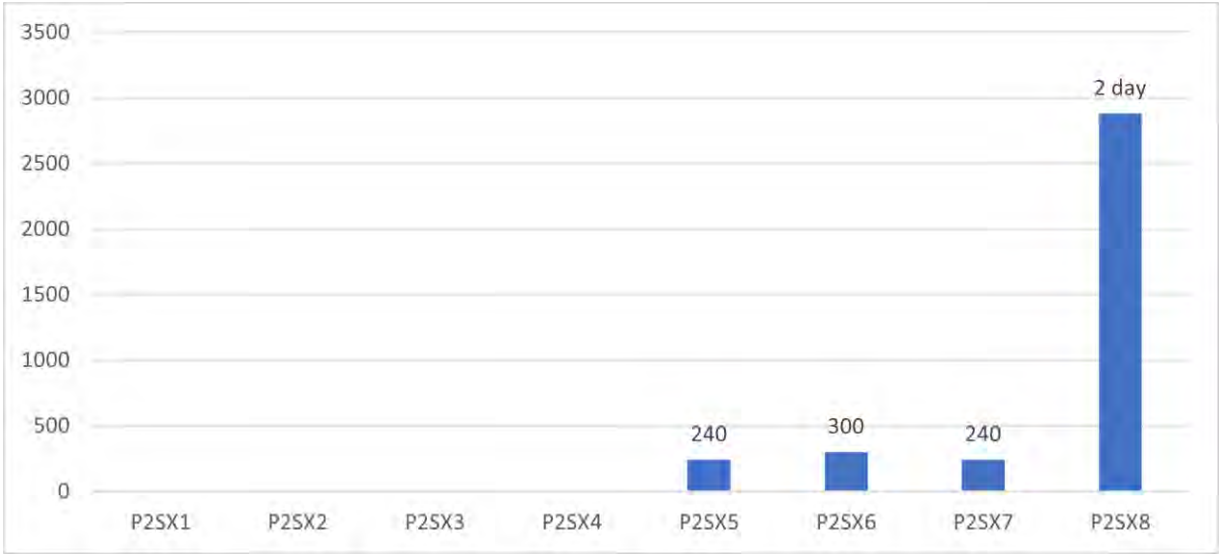
3.4.1 Laboratory Scales

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าทั้งพอลิยูรีเทน แอลคิดเรซิน และอะคริลิกเรซิน สารทั้ง 3 ตัวนั้น แรกเริ่มที่เราได้ทำการทดลองกับพอลิยูรีเทน เราพบว่า เป็นสารที่เป็นของเหลวหนืด ณ อุณหภูมิห้องที่ใช้งานยาก เหนียวและแห้งช้า จึงได้มุ่งเน้นหาสารที่มีคุณสมบัติที่ใช้งานได้ง่ายขึ้น คือสารไม่เหนียวจนเกินไปและแห้งได้ไว เนื่องจากคาดการณ์ไว้ว่ายิ่งแห้งเร็วจะทำให้ปุ๋ยไม่ติดกัน นั้นคือเริ่มจากสารแอลคิดก่อน ซึ่งเรายังคงไม่พอใจในคุณสมบัติ ต่อมาจึงได้มาใช้อะคริลิกเรซินซึ่งมีความสามารถในการแห้งได้ไวกว่า หากแต่เมื่อได้ทำการทดลองดังที่ผ่าน ๆ มาจึงพบว่าปัญหาจริง ๆ คือ ตรงจุดก่อนที่สารจะแห้ง กล่าวคือในปกติทุกครั้งที่ทำการเคลือบเมื่อเราเทสารลงในปุ๋ยแล้วทำการกวนหรือคนให้เข้ากัน จากตอนแรกสารที่เตรียมไว้มีความเหลวไม่หนืดมาก เมื่อคนไปเรื่อย ๆ พบว่าจะเริ่มมีความหนืดมากขึ้นเมื่อก่อนตรงจุดนี้จะเป็นสัญญาณที่เราจะเลิกคนแล้วนำปุ๋ยออกมาตาก หากแต่ที่สังเกตเห็นคือ แม้สารเคลือบจะมีความสามารถในการแห้งเร็วมากเท่าไหร่ แต่เมื่อมาถึงตรงจุดที่เริ่มมีความหนืดนั้น เม็ดปุ๋ยมักจะติดกันก่อนเสมอ ดังนั้นในสารเคลือบตัวที่ 4 เราจึงกลับมาใช้พอลิยูรีเทนที่มีลักษณะแบบ 2 ส่วน คือ จะมีสารในส่วนที่ 1 มาผสมกับสารในตัวที่ 2 ผสมให้เข้ากันก่อนจากนั้นจึงทำการเทเคลือบเม็ดปุ๋ย สารเคลือบในส่วนนี้ต่อให้เราคนไปเรื่อย ๆ มันจะไม่หนืดและจะไม่แห้ง ต้องทำการใส่ตัวเร่งลงไป มันจึงจะเกิดปฏิกิริยาทำให้สารเคลือบก่อนหน้านั้นจับตัวกันแข็งขึ้นมา เป็นคุณสมบัติที่คาดว่าจะตรงตามที่เราต้องการ โดยมีตัวอย่าง 8 ตัวอย่าง ($P2S_X1$ - $P2S_X8$) ซึ่ง $P2S_X$ แสดงถึงสารพอลิยูรีเทนแบบสองส่วนเคลือบปุ๋ยซัลเฟต

ตารางที่ 3.10 แสดงผลการเคลือบพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วน ในอัตราส่วนที่ต่างกันและทดสอบด้วย water test

	Composite name	Coating (%wt)	Picture	Physical	Float up time (min)
1	P_2S_X1	$X_1 : Y_1 : Z_1$		มีความชื้นแฉะ แตกง่าย ไม่แข็งแรง	-
2	P_2S_X2	$X_1 : Y_1 : Z_2$		ไม่มีความมันวาว เปลือกหลุดบางส่วน แต่ไม่แฉะ	-
3	P_2S_X3	$X_2 : Y_2 : Z_3$		มีความมันวาว เล็กน้อย เปลือกหลุดบางเม็ด มีปุ๋ยติดกันบางส่วน	-
4	P_2S_X4	$X_3 : Y_3 : Z_1$		ไม่ค่อยมีความมันวาว เปลือกหลุดเป็นบางส่วน	-
5	P_2S_X5	$X_2 : Y_2 : Z_4$		มีความมันวาว เปลือกไม่หลุดเป็นขุย มีสีขาว	240 (4 h)
6	P_2S_X6	$X_2 : Y_2 : Z_5$		มีความมันวาว เปลือกไม่หลุดเป็นขุย มีสีหม่น	300 (5 h)

7	P_2S_X7	$X_2 : Y_2 : Z_6$		มีความมันวาว เปลือกไม่หลุดเป็นขุย มีบางเม็ดที่เหมือนไม่เคลือบ มีสีหม่น	240 (4 h)
8	P_2S_X8	$X_2 : Y_2 : Z_4$ (เคลือบ 2 ครั้ง)		มีความมันวาว เปลือกไม่หลุดเป็นขุย ชั้นเคลือบดูหนา มีสีขาว	2,880 (2 day)



รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลา (นาที) จากการทดสอบด้วย water test ของพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วน (Polyurethane 2 - part)

จากตารางที่ 3.4.1.1 ในตอนเริ่มแรกการทดลองซึ่งได้ทำการผสมส่วนของ A และ B เพื่อเคลือบปุ๋ยตามอัตราส่วนที่คำนวณ และเมื่อใส่ส่วน C ก่อให้เกิดการเปียกแฉะของปุ๋ย คาดว่าเพราะมีปริมาณที่มากเกินไป ในการทดลองถัด ๆ มาจึงทำการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของส่วน C จากนั้นจึงนำไปทดสอบด้วย water test โดยที่ P_2S_X1- P_2S_X4 ไม่ได้นำไปทดสอบ เนื่องจากเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีการเคลือบที่ไม่ดี P_2S_X5, P_2S_X7 สามารถควบคุมการปลดปล่อยได้ประมาณ 4 ชั่วโมง และ P_2S_X6 สามารถควบคุมการปลดปล่อยได้ประมาณ 5 ชั่วโมง ทั้ง 3 ตัวมีอัตราการปลดปล่อยที่ใกล้เคียงกันและไม่นาน คาดว่าเกิดจากอัตราส่วนทั้ง 3 ส่วนและวิธีการเคลือบที่ยังไม่ดีพอ ในขณะที่ P_2S_X8 สามารถควบคุมการปลดปล่อยได้นานประมาณ 2 วัน เป็นการทดลองที่ดีที่สุดในขณะนี้เนื่องจากสามารถควบคุมการปลดปล่อยได้นานที่สุด อาจเป็นเพราะมีการเคลือบถึง 2 ครั้ง ทำให้ชั้นเคลือบน่าจะมีความหนาและไม่มีรูที่เกิดจากการเคลือบไม่ทั่ว ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 3.8

3.4.2 Industrial Scales

จากการทดลองในห้องแลป ได้อัตราส่วนคร่าว ๆ ซึ่งคิดว่าดีแล้วในขณะนี้จึงนำไปทดลองในส่วนของ Pilot scales และมีการเติมสีลงไปเล็กน้อยเพื่อดูว่าทำการเคลือบติดหรือไม่ เนื่องจากเมื่อทำการเคลือบ สีของสารเคลือบจะเป็นสีใสทำให้มองเห็นไม่ชัดเจนนัก ได้ผลดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 แสดงผลการเคลือบพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วน และทดสอบด้วย water test

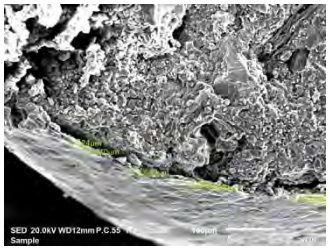
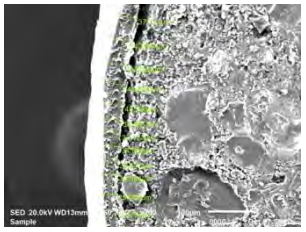
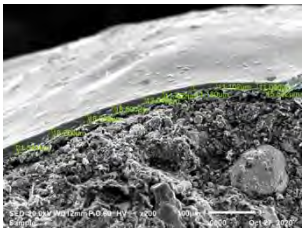
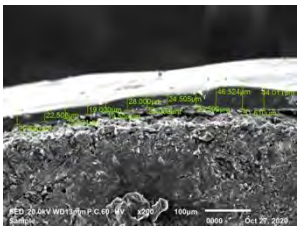
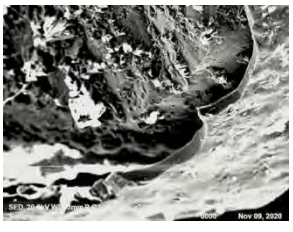
	Composite name	Coating A : B : C (g)	Picture	Physical	Float up time (min)
1	P_2S_X9	$X_1 : Y_1 : Z_1$		ไม่มันวาว บางเม็ดไม่โดนเคลือบ	2,880 (2 day)

จากตารางที่ 3.4.2.1 พบว่าได้ผลิตภัณฑ์ P_2S_X9 ที่ไม่มีความมันวาว บางเม็ดไม่โดนเคลือบอย่างเห็นได้ชัดเจน อาจเกิดจากการที่เมื่อเทสารเคลือบลงไปขณะที่ปุ๋ยกำลังวิ่งในเครื่องโม่แล้วบางส่วนไม่โดนสารเคลือบ ทำให้มีลักษณะอย่างที่เห็น จากนั้นเมื่อนำไปทดสอบด้วย water test พบว่าอยู่ได้ประมาณ 2 วัน ทำให้คาดว่าพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วนที่เคลือบไปนั้นสามารถเคลือบปุ๋ยได้ทั่ว ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารได้นานกว่าตัวเคลือบชนิดอื่น ๆ

3.4.3 SEM

ในส่วนชุดการทดลองสุดท้ายได้นำมาทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) เพื่อดูความหนาของสารที่เคลือบปุ๋ยและเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในท้องตลาด

ตารางที่ 3.12 แสดงผลการส่องด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)

	Composite name	Coating A : B : C (g)	Picture	Average thickness
1	P_2S_X5	$X_2 : Y_2 : Z_4$		5.206 µm
2	P_2S_X6	$X_2 : Y_2 : Z_5$		37.123 µm
3	P_2S_X7	$X_2 : Y_2 : Z_6$		13.943 µm
4	P_2S_X8	$X_2 : Y_2 : Z_4$ (เคลือบ 2 ครั้ง)		29.261 µm
5	osmocote	-		30.205 µm

จากตารางที่ 3.4.3.1 ได้ทำการเลือก P_2S_X มา 4 ตัวอย่างเพื่อนำไปตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) เพื่อดูลักษณะความหนาของสารที่เคลือบปุ๋ย พบว่า P_2S_X1 มีความหนาเฉลี่ย 5.206 μm มีลักษณะที่บางมาก คาดว่าเนื่องจากปริมาณสารเคลือบที่น้อยไป ต่อมา P_2S_X2 มีความหนาเฉลี่ย 37.123 μm พบว่ามีความหนาเพิ่มขึ้นมาจาก P_2S_X1 เยอะมาก อาจเนื่องมาจากการลดปริมาณในพาร์ท C ลงจากตอนแรก ในสารตัวต่อมา P_2S_X3 มีความหนาเฉลี่ย 13.943 μm ซึ่งบางลงกว่า P_2S_X2 ทั้งที่ควรมีความหนามากกว่า ทั้งนี้คาดว่าอาจเกิดจากตอนทำการทดลอง สารเคลือบน่าจะไปติดกับเครื่องแก้วมากกว่า ทำให้มีบางส่วนเคลือบปุ๋ยน้อย และ P_2S_X4 มีความหนาเฉลี่ย 29.261 μm เป็นการเคลือบ 2 ครั้ง ซึ่งมีความหนาที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดที่นำมาเปรียบเทียบ และผลการทดสอบด้วย water test ถือได้ว่ามีความสามารถในการปลดปล่อยได้นานกว่าอีก 3 ตัวที่เหลือ แต่ยังน้อยกว่าตัวที่นำมาเปรียบเทียบซึ่งสามารถอยู่ได้ประมาณ 3 เดือน ทำให้เห็นได้ว่าถึงจะมีความหนาของสารเคลือบใกล้เคียงกันแต่ยังมีประสิทธิภาพได้ไม่ใกล้เคียง ซึ่งอาจจะมีปัญหาในขั้นตอนการเคลือบหรืออาจจะอยู่ที่สารที่นำมาใช้ทดลอง

บทที่ 4
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาพอลิเมอร์ในการเคลือบเม็ดปุ๋ยเพื่อควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารจากทั้ง 4 ชนิด พบว่าสารพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วน สามารถเคลือบปุ๋ยได้ดีที่สุดในขณะนี้ เนื่องจากสามารถควบคุมการปลดปล่อยได้ถึง 2 วัน เมื่อเทียบกับสารอีก 3 ชนิดที่ควบคุมการปลดปล่อยได้มากสุดเพียงประมาณ 6 ชั่วโมง ในขณะที่สารเคลือบดีรองลงมา คือ แอลคิดเรซินชนิด Styrene modified alkyd resin ($AS5_X$) เนื่องจากมีการใช้งานที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก สามารถเคลือบสารได้ดี และแห้งไว เพียงติดปัญหาของเม็ดปุ๋ยที่ติดกันเพียงเท่านั้น นอกจากนี้เมื่อนำชุดเม็ดปุ๋ยที่เคลือบด้วยพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วนไปตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) เพื่อทำการเปรียบเทียบดูความหนาของสารเคลือบระหว่างปุ๋ยที่เคลือบเองกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดพบว่า P_2S_X8 มีความหนาของเปลือกใกล้เคียงกันและเมื่อเทียบกับผลการทดสอบด้วย water test ทำให้ได้ว่า P_2S_X8 ดีที่สุด

งานวิจัยในอนาคตและข้อเสนอแนะ

จากแนวทางในการพัฒนาวิธีเคลือบปุ๋ยเม็ดในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอเสนอแนะเพื่อพัฒนาไปสู่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารที่มีคุณสมบัติในการปลดปล่อยในระยะเวลานานขึ้น โดยการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารพอลิยูรีเทนแบบ 2 ส่วน ต่อจากที่ได้ทำไว้ และในกระบวนการเคลือบให้ใช้สเปรย์ฉีดพ่นสารพอลิเมอร์แทนการเทลงไปตรง ๆ ทำการฉีดพ่นหลายครั้ง ค่อย ๆ ทำ

ในส่วนของวิธีการตรวจสอบของ water test ควรนำน้ำที่ทำการแช่ปุ๋ยมาทดสอบหาสารที่ถูกปลดปล่อยออกมาแทนการมองด้วยตาเปล่า เช่น การลอยหรือฟองอากาศที่มาเกาะ เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่สามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่าปุ๋ยได้ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาจริงหรือไม่

ควรนำเปลือกปุ๋ย osmocote ไปทำการตรวจสอบหาชนิดของสารที่นำมาเคลือบ เช่น เครื่อง FT-IR Spectroscopy (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

เอกสารอ้างอิง

[1] ปุ๋ย Control release หรือปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยดีกว่าอย่างไร http://www.mitrpholmodernfarm.com/news/2020/10/ปุ๋ย-control-release-หรือปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย-ดีกว่าอย่างไร (accessed 7.11.20).

[2] ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย. http://osl101.ldd.go.th/easysoils/s_fertilizer.htm (accessed 7.11.20).

[3] Polymer Properties Database (POLYURETHANES) https://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polyurethane%20type.html (accessed 21.11.20).

[4] การเลือกใช้ยูรีเทน http://www.daichinweld.com/wp-content/uploads/2018/03/แคตตาล็อค-urethan-23-02-2017.pdf (accessed 21.11.20).

[5] Polymer Properties Database (ALKYD RESINS) https://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Alkyd%20Resin.html (accessed 21.11.20).

[6] วิกสิต อธิมุตติกุล, การพัฒนาสารเคลือบผิวประเภทพอลิเอสเทอร์จากน้ำมันชนิดต่างๆ, วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, 2547, 1, 1 – 144

[7] อะคริลิค http://www.acrylicquality.com/16464531/อะคริลิคคืออะไร-แผ่นอะคริลิค (accessed 22.11.20).

[8] หลักการออสโมซิส https://sites.google.com/site/phaenkarsxnwichawithyasastrm1/1-5-hlak-ka-rx-xs-mo-sis (accessed 25.11.20).

[9] Addition (Chain-Growth) Polymers https://preparatorychemistry.com/Bishop_Addition_Polymers.htm (accessed 25.11.20).

[10] Step-Growth Polymers—Condensation Polymers https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Map%3A_Organic_Chemistry_(Smith)/C

hapter_31%3A_Synthetic_Polymers/31.6%3A_Step-Growth_Polymers—Condensation_Polymers (accessed 25.11.20).

[11] L. Qingshan, W. Shu, R. Tiejun, W. Limin, X. Guangzhong, W. Jinming, Synthesis and Performance of Polyurethane Coated Urea as Slow/controlled Release Fertilizer, The national Key Technology R&D Program, 2012, 27(1), 126 – 129

[12] C.F. Uzoh, O.D. Onukwuli, I.H. Ozofor, R.S. Odera, Encapsulation of urea with alkyd resin-starch membranes for controlled N2 release : Synthesis, characterization, morphology and optimum N2 release, Materials Science & Eengineering C, 2019, 121, 133-142.

[13] J. Liu, Y. Yang, B. Gao, Y.C. Li, J. Xie, Bio – based elastic polyurethane for controlled – release urea fertilizer: Fabrication, properties, swelling and nitrogen release characteristics, Cleaner Production, 2019, 209, 528 – 537.

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวรัญชนา ว่องไวเกรียงไกร เกิดเมื่อวันที่ 17 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2541 ที่จังหวัดบึงกาฬ สำเร็จการศึกษาขั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสงวนหญิง จังหวัด สุพรรณบุรี เมื่อปีการศึกษา 2559 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2560 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 1971/10 หมู่ 6 ถนน ปฐมเจดีย์ ตำบล อู่ทอง อำเภอ อู่ทอง จังหวัด สุพรรณบุรี รหัสไปรษณีย์ 72160 อีเมล naraun_17@hotmail.com