การดัดแปรเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อการผลิตปุ๋ยละลายช้า

MODIFICATION OF SPENT CATION RESIN AS SLOW RELEASE FERTILIZER

จุฑามาศ ม่วงทอง
นฤมล คงแก้ว
สิริพร เปลี่ยนนุช

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การดัดแปรเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อการผลิตปุ๋ยละลายช้า

MODIFICATION OF SPENT CATION RESIN AS SLOW RELEASE FERTILIZER

จุฑามาศ ม่วงทอง
นฤมล คงแก้ว
สิริพร เปลี่ยนนุช

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODIFICATION OF SPENT CATION RESIN AS SLOW RELEASE FERTILIZER

JUTAMAST MAUNGTONG
NARUMOL KONGKAEW
SIRIPORN PLIANNUT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การดัดแปรเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อการผลิตปุ๋ยละลายช้า Modification of Spent Cation Resin as Slow Release Fertilizer
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจุฑามาศ ม่วงทอง รหัสนักศึกษา 57050577 นางสาวนฤมล คงแก้ว รหัสนักศึกษา 57050609 นางสาวสิริพร เปลี่ยนนุช รหัสนักศึกษา 57050651
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้ โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ประธานกรรมการ	
ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การดัดแปรเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อการผลิตปุ๋ยละลายช้า
ชื่อนักศึกษา นางสาวจุฑามาศ ม่วงทอง รหัสนักศึกษา 57050577
นางสาวนฤมล คงแก้ว รหัสนักศึกษา 57050609
นางสาวสิริพร เปลี่ยนนุช รหัสนักศึกษา 57050651
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2560
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาผลิตเป็นปุ๋ยละลายช้า โดยเรซินที่นำมาใช้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว (Spent Resin, SR) จากระบบกำจัดความกระด้างของการผลิตน้ำสะอาด และนำ SR ไปแช่ในกรดฟอสฟอริกเตรียมเป็นเรซินที่ผ่านการรีเจนเนอร์เรต (Regenerated Resin, RR) นำทั้ง SR และ RR มาแลกเปลี่ยนประจุกับสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ โดยใช้เวลาที่เหมาะสมนาน 3 ชั่วโมง ได้ปุ๋ย 2 แบบ คือ SFR และ RRF พบว่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนโพแทสเซียมไอออนเข้าสู่ SR ได้ดีกว่า RR โดยที่ SRF และ RRF มีปริมาณโพแทสเซียม 69.13 % และ 59.07 % ตามลำดับ นำน้ำสกัดจากปุ๋ยทั้ง 2 แบบในอัตราส่วน 1:10 และ 1:100 มาทำการทดสอบดัชนีการงอก ในน้ำสกัดทุกสูตรเมล็ดพันธุ์สามารถเจริญเติบโต และมีดัชนีการงอกมากกว่า 80 % และจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One – Way ANOVA) พบว่า น้ำสกัดสูตร C (จากปุ๋ย SRF อัตราส่วน 1: 100) ให้ความยาวรากแตกต่างจากน้ำสกัดสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

คำสำคัญ: เรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว, เรซินที่ผ่านการรีเจนเนอร์เรต, น้ำสกัด, ดัชนีการงอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Titie	Modification of Spent Cation Resin as Slow Release Fertilizer
Students	Miss Jutamast Maungtong Student ID 57050577
	Miss Narumol Kongkaew Student ID 57050609
	Miss Siriporn Pliannut Student ID 57050651
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Academic Year	2017
Advisor	Asst.Prof. Krongkaew Tippayasak

Abstract

To produce slow-release fertilizer from spent cationic resin was the aim of this research. This resin, from Water Softening Process, was used as Spent Resin (SR) and the Regenerated Resin (RR) by soaking in phosphoric acid. To produce potassium-slow releasing fertilizer, soaked in Potassium chloride solution for 3 hours, resulting in two types of fertilizer naming as Spent Resin Fertilizer (SRF) and Regenerated Resin Fertilizer (RRF). The result showed that the Potassium ion exchange ability of SR was better than RR as seen from Potassium ion in SRF and RRF were 63.13 and 59.07 %, respectively. The extracted solution from fertilizer and water with ratio 1:10 and 1:100 was examined for the germination index. All seeds can grow in all extracted solution and have germination index of these more than 80 %. From statistical analysis (One-way ANOVA) showed that the root length from the solution of C (SRF- water ratio 1: 100) was significantly difference from the other extracted water (p = 0.05).

Keyword: Spent cation exchange resin, Regenerate resin, Extracted solution, Germination index

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ซึ่งผู้จัดทำโครงงานพิเศษนี้จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ที่ให้โอกาสในการศึกษาโครงงานพิเศษในเรื่องที่สนใจ ให้ความกรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ติดตามตรวจสอบ และมอบความรู้พร้อมทั้งความเอาใจใส่ตลอดการทำโครงงานพิเศษจนสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และ ดร.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการที่ช่วยชี้แนะข้อบกพร่อง และแนวทางแก้ไขรวมถึงติดตามตรวจสอบทำให้โครงงานพิเศษนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัท พี อี แอนด์ พี เทค จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรซินเพื่อใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจัดหาอุปกรณ์สารเคมี และสอนใช้เครื่องมือทำให้การดำเนินโครงงานพิเศษนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ ตลอดจนบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวมา คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นางสาวจุฑามาศ ม่วงทอง
นางสาวนฤมล คงแก้ว
นางสาวสิริพร เปลี่ยนนุช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... จ
สารบัญรูป ..... ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขต 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 เรซิน 3
2.1.1 โครงสร้างของเรซิน 4
2.1.2 ประเภทของเรซิน 5
2.2 การดูดซับ 6
2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน 6
2.3.1 ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน 10
2.3.2 การทำรีเจนเนอเรชัน 11
2.4 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 11
2.4.1 ชนิดของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 11
2.4.2 ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ 12
2.4.3 ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง 13
2.4.4 ปฏิกิริยาอันดับสอง 14
2.5 ปุ๋ย 15
2.5.1 ประเภทของปุ๋ย 16
2.5.2 ปุ๋ยละลายช้า 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.3 ปุ๋ยโพแทสเซียม 18
2.5.4 หลักการใช้ปุ๋ย 20
2.6 ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ 22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย. 28
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 28
3.2 วิธีทดลอง 28
3.2.1 การสุ่มตัวอย่างเรซิน 30
3.2.2 ศึกษาสมบัติพารามิเตอร์เบื้องต้น 30
3.2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย SRF 31
3.2.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย RRF 31
3.2.5 ศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ย 32
3.2.6 การทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยละลายช้าจากการศึกษาดัชนีการงอก 33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 35
4.1 พารามิเตอร์เบื้องต้นของเรซิน 35
4.2 การหาเวลาที่เหมาะสม 36
4.3 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ย 40
4.4 อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม 41
4.5 ปริมาณฟอสฟอรัส 42
4.6 การศึกษาการงอกของเมล็ดถั่วเขียว 43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 45
เอกสารอ้างอิง 48
ภาคผนวก 52
ภาคผนวก ก 53
ภาคผนวก ข 56
ภาคผนวก ค 58
ภาคผนวก ง 66
ภาคผนวก จ 73
ภาคผนวก ฉ 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของปุ๋ยเคมี 17
ตารางที่ 3.2.2 ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของเรซินและดิน 30
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้นของเรซิน 35
ตารางที่ 4.6 การงอกของเมล็ดถั่วเขียวจากการเพาะในน้ำสกัด 43
ตารางที่ ง-1 ค่าพีเอชเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย SRF 66
ตารางที่ ง-2 ค่าการนำไฟฟ้าเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย SRF 67
ตารางที่ ง-3 ค่าการนำไฟฟ้าเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย RRF 68
ตารางที่ ง-4 ค่าพีเอชเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย RRF 68
ตารางที่ ง-5 ค่าฟอสเฟตในปุ๋ยน้ำจากการผลิตปุ๋ย RRF 69
ตารางที่ ง-6 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (CEC) ในปุ๋ย SRF 69
ตารางที่ ง-7 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (CEC) ในปุ๋ย RRF 70
ตารางที่ ง-8 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ย SRF 70
ตารางที่ ง-9 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ย RRF 71
ตารางที่ ง-10 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ย SRF ในน้ำกลั่น 71
ตารางที่ ง-11 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ย SRF ใน $CaCl_2$ 71
ตารางที่ ง-12 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ย RRF ในน้ำกลั่น 72
ตารางที่ ง-13 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ย RRF ใน $CaCl_2$ 72
ตารางที่ จ-1 การงอกของเมล็ดถั่วเขียว 73
ตารางที่ จ-2 ความยาวรากของถั่วงอกในน้ำสกัด 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 2.1 ลักษณะของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน 3
รูปที่ 2.1.1 รูปโครงสร้างเรซิน Divinylbenzene 4
รูปที่ 2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน 9
รูปที่ 2.4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง [A] กับ t สำหรับปฏิกิริยาอันดับศูนย์ 12
รูปที่ 2.4.3 กราฟแสดงลักษณะเฉพาะตัวของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง 13
รูปที่ 2.4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 1/[A] กับ t สำหรับปฏิกิริยาอันดับสอง 14
รูปที่ 2.5 วัฏจักรของโพแทสเซียมในระบบของดิน พืช สัตว์ 19
รูปที่ 4.1 ค่า pH ที่แสดงตามช่วงเวลาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสม 37
รูปที่ 4.2 ค่าการนำไฟฟ้าตามช่วงเวลาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสม 37
รูปที่ 4.3 ค่า pH ที่แสดงตามช่วงเวลาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการรีเจนเนอร์เรต 39
รูปที่ 4.4 ค่าการนำไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่เหมาะสมในการรีเจนเนอร์เรต 39
รูปที่ 4.5 ปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกดูดซับในปุ๋ย 40
รูปที่ 4.6 อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมสะสมในน้ำ 41
รูปที่ 4.7 อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมสะสมใน $CaCl_2$ 41
รูปที่ 4.8 ปริมาณฟอสเฟตในสารละลายจากการรีเจนเนอร์เรต 42
รูปที่ 4.9 การเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วที่ปลูกในน้ำสกัดสูตรต่างๆ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
NR	เรซินใหม่
SR	เรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว
RR	เรซินที่ผ่านการรีเจนเนอร์เรตแล้ว
SRF	ปุ๋ยที่ผลิตโดยวิธีทางตรง
RRF	ปุ๋ยที่ผลิตโดยวิธีแบบ 2 ขั้นตอน
AAS	เครื่องวัดการดูดกลืนแสงโดยอะตอม
Blank	สารละลายที่ไม่มีตัวอย่างที่ต้องการวัด
Conductivity	ค่าการนำไฟฟ้า
µS/cm	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
mS/cm	มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
ppm	1 ส่วนใน 1 ล้านส่วน
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
meq/g	มิลลิอิควิวาเลนท์ต่อกรัม
N	จำนวนกรัมสมมูลของสารละลาย 1 ลิตร
%W/V	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
SD	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
N	จำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่ทำเกษตรกรรมส่วนมาก ซึ่งสิ่งสำคัญในการทำการเกษตรอย่างหนึ่งคือดิน และสารอาหารในดินที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อมีการใช้ดินซ้ำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานทำให้เกิดปัญหาดินเสื่อมคุณภาพ ประเทศไทยมีปัญหาเกี่ยวกับทรัพยากรดิน ปัญหาหนึ่งที่พบคือดินเสื่อมคุณภาพ มีแร่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช โดยดินที่เสื่อมคุณภาพภาพประเภทนี้สามารถแก้ไขปรับปรุงได้ โดยใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เป็นหลัก ดินที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ไม่ดี เช่น เป็นดินที่เหนียวแน่นหนึบหรือเป็นทรายจัด ดินที่เสื่อมคุณภาพประเภทนี้ควรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน เพื่อให้ดินมีความโปร่งอากาศสามารถถ่ายเทได้สะดวก ส่วนดินที่มีปริมาณธาตุอาหารต่ำหรือธาตุอาหารไม่สมดุล และมีสมบัติทางกายภาพไม่ดี ดินที่เสื่อมคุณภาพประเภทนี้ควรใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับสภาพดินให้โครงสร้างกายภาพดีขึ้นและเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้สูงขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้จึงได้ให้ความสำคัญของการปรับปรุงดินที่นำมาใช้ในการเกษตร โดยเลือกใช้เรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาปรับปรุง เนื่องจากเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วถ้านำกลับมาใช้ใหม่อีกรอบประสิทธิภาพอาจจะลดลงจากเดิม ซึ่งอาจทำให้เกิดเป็นของเสียที่เปล่าประโยชน์ หรือหากต้องนำไปกำจัดทิ้ง จะมีขั้นตอนที่ยุ่งยากหรือไม่คุ้มค่าในการกำจัด คณะผู้ศึกษาจึงสนใจศึกษาการนำเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาใช้ประโยชน์ในการผลิตปุ๋ยละลายช้าซึ่งถือเป็นการใช้ประโยชน์จากของเสียที่ไม่ใช้งานแล้ว (Waste utilization)

การศึกษาครั้งนี้มีการนำเรซินประจุบวกที่ผ่านใช้งานแล้วมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อผลิตปุ๋ยโพแทสเซียม โดยใช้หลักการเรซินแลกเปลี่ยนไอออน เพื่อพัฒนาการผลิตปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพในการช่วยพัฒนาคุณภาพดิน เป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่เกษตรกรทางหนึ่ง และเป็นปุ๋ยที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต ลดปัญหาขยะจากของเสีย ลดการสูญเสียทางเศรษฐกิจและสิ้นเปลืองงบประมาณในการกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาการนำเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาใช้ประโยชน์ในการผลิตปุ๋ยละลายช้า

1.2.2 ศึกษาสภาวะของเวลาที่เหมาะสมต่อการผลิตปุ๋ยโพแทสเซียม

1.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับแร่ธาตุและการปลดปล่อยแร่ธาตุของปุ๋ยละลายช้า

1.2.4 ศึกษาดัชนีการงอกของเมล็ดถั่วเขียวในน้ำสกัดที่ได้จากปุ๋ยทั้ง 2 แบบ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 เรซินชนิดประจุบวก DOWEX™ IR 100 ในรูปแคลเซียม ที่ผ่านการใช้งานแล้วไม่คุ้มค่าต่อการนำมาใช้ประโยชน์เพื่อใช้งานซ้ำ

1.3.2 ปรับปรุงเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วเพื่อผลิตปุ๋ย SRF และปุ๋ย RRF ด้วยละลายโพแทสเซียมคลอไรด์

1.3.3 ปัจจัยที่ศึกษา คือ เวลา อัตราเร็วในการปลดปล่อยแร่ธาตุและ ดัชนีการงอกของเมล็ดถั่วเขียวจากน้ำสกัดของปุ๋ย SRF และปุ๋ย RRF

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.4.1 นำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ (Waste utilization)

1.4.2 สามารถนำเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วมาใช้ประโยชน์ในเชิงเกษตรกรรมได้

1.4.3 ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยเพื่อปลดปล่อยแร่ธาตุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เรซิน

เรซิน คือ ของแข็งหรือสารที่มีลักษณะกึ่งของแข็ง เป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่ (Polymer) ซึ่งมีโครงสร้างแบบเชื่อมขวาง (Cross-linked) หรือแบบร่างแห (Three dimensional network) องค์ประกอบทางเคมีของเรซินค่อนข้างหลากหลายขึ้นอยู่กับชนิด และแหล่งกำเนิด ลักษณะการทำงานของเรซินที่กำจัดความกระด้างโดยเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับแคลเซียมไอออนที่เป็นสาเหตุหลักของน้ำกระด้าง เรซินที่ใช้ในระบบกรองน้ำบาดาลไว้สำหรับดื่มหรือระบบกรองใดๆก็ตาม ส่วนใหญ่เป็นเรซินชนิดแคทไอออน (Cation) เรซินมีโซเดียม (Na) ติดอยู่กับหมู่ฟังก์ชัน เมื่อมีน้ำที่มีความกระด้างผ่านมาเข้าสู่ระบบเกิดการแลกเปลี่ยน Na หลุดออกไป แล้วดึงแคลเซียมและแมกนีเซียมหรือไฮโดรเจน (Ca, Mg, H) ที่เป็นส่วนประกอบของความกระด้างเข้ามาเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนกัน แล้วน้ำกระด้างก็จะกลายเป็นน้ำอ่อนเพราะ Na ที่ส่งออกไปจากเรซินไปอยู่ในน้ำในรูปของ Na_2CO_3 ซึ่งไม่ทำให้เกิดความกระด้าง และไม่มีการตกตะกอน เรซินมีจุดเด่นคือ สามารถลดความกระด้างจากการมีแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มีมากเกินไป นอกจากนี้สามารถลดสี กลิ่น รส จากสารบางอย่างในน้ำ เช่นไอออนของเหล็ก ส่วนจุดด้อยของเรซิน คือ ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ ฝุ่นผงตะกอน ไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียหรือไวรัสได้ มีอายุการใช้งานน้อย การรีเจนเนอเรตต้องล้างด้วยเกลือเพื่อฟื้นฟู

สมบัติทั่วไปของเรซิน เพื่อให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

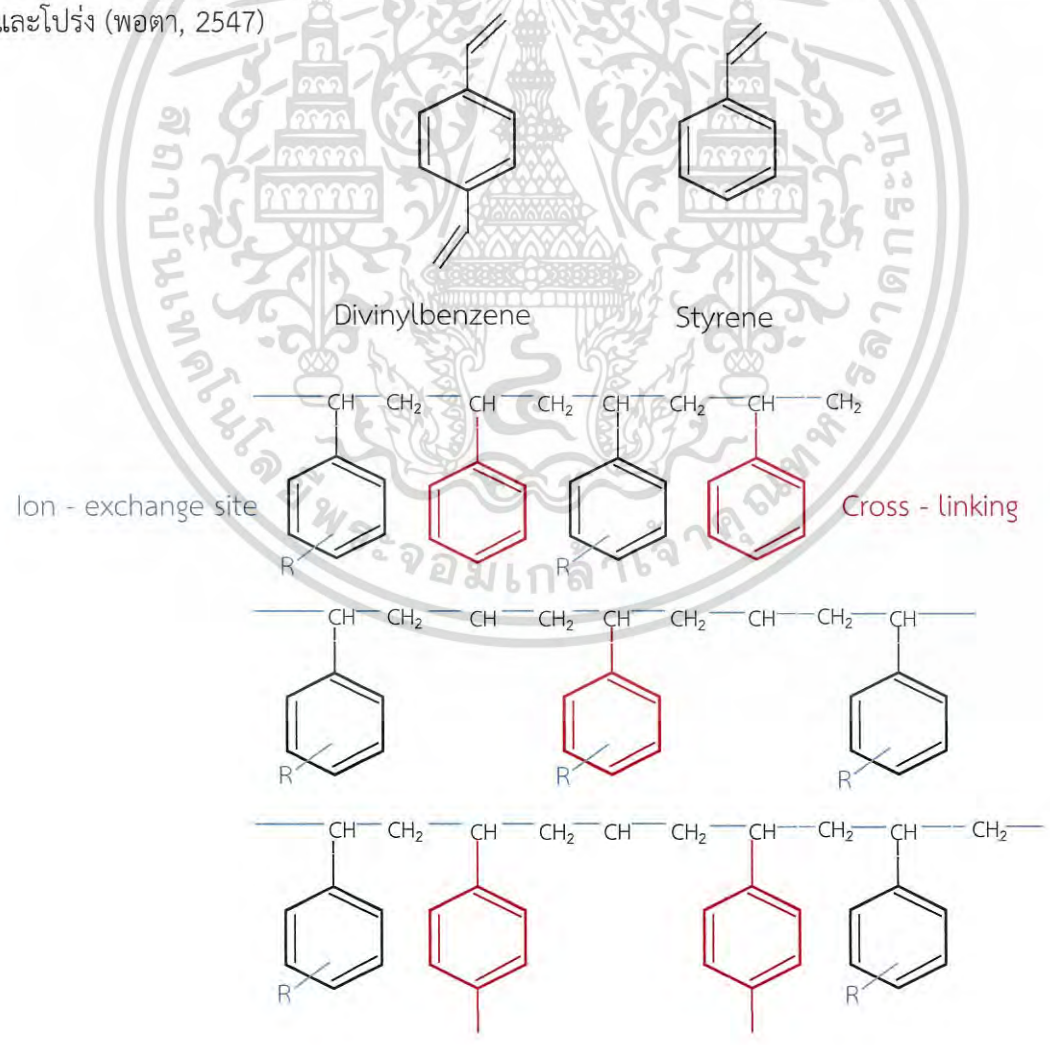
1. มีไอออนอิสระที่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนในน้ำได้
2. ไม่ละลายน้ำ
3. มีช่องว่างภายในโครงสร้างไฮโดรคาร์บอนอย่างพอเพียงเพื่อให้ไอออนต่างๆเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกได้อย่างสะดวก

รูปที่ 2.1 ลักษณะของเรซินแลกเปลี่ยนไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 โครงสร้างของเรซิน

โครงสร้างของเรซินมีความสำคัญต่อการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยน เรซินจะมีโครงร่างตาข่าย 3 มิติ โดยมีกลุ่มไอออนที่มีประจุอยู่ตามตำแหน่งต่างๆบนตาข่าย เรียกว่า เมทริกซ์ (Matrix) ส่วนใหญ่หมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าที่อยู่บนตำแหน่งต่างๆของตาข่าย เรียกว่า หมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆ ของเรซิน โครงสร้างของเรซิน เป็นส่วนที่ทำให้มีรูปร่างเป็นอย่างที่ปรากฏ และรูปร่างอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำ และไม่แตกหักโดยง่าย โครงสร้างนี้สร้างขึ้นจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดเดียวกันเป็นจำนวนมากซึ่งต่อกันเป็นสาย ยาว และมีไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่งมาทำหน้าที่เชื่อมขวางเพื่อให้เกิดเป็นรูปสามมิติที่มีความโปร่ง หรือความพรุน ความโปร่งหรือความพรุนของเรซินขึ้นอยู่กับระดับของการเชื่อมขวาง (Degree of crosslinkage) ซึ่งวัดได้จากปริมาณของสารเชื่อมขวางที่ใช้ ถ้าปริมาณของสารเชื่อมขวาง มากโครงร่างของเรซินจะแข็ง แต่ถ้าปริมาณของสารเชื่อมขวางน้อยโครงสร้างของเรซินจะอ่อน และโปร่ง (พอตา, 2547)



รูปที่ 2.1.1 รูปโครงสร้างเรซิน Divinylbenzene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ประเภทของเรซิน เรซินที่ใช้งานสามารถจำแนกตามองค์ประกอบของหมู่ฟังก์ชันได้ 4 ประเภท คือ

1. เรซินชนิดประจุบวก – กรดแก่ (Strong acid cation resin) มี Functional group เป็น Sulfonic acid มีไอออน คือ R – SO_3^- เรซินแบบประจุบวก-กรดแก่ เป็นเรซินที่มีอายุการใช้งานมากที่สุดในจำพวกเรซินระจุบวก โดยเรซินประจุบวก ปกติจะอยู่ในรูปของ Sodium form (R – SO_3Na_2) สามารถใช้ในการจับไอออนของความกระด้างเพื่อทำน้ำอ่อน (Softening) เท่านั้น ลำดับความยากง่ายในการถูกจับสำหรับไอออนประจุบวกมีดังนี้ Ca^{2+} >Mg^{2+}>Na^+>Hydrogen form ซึ่งมีความสามารถในการจับไอออนประจุบวกทั้งหมดสภาพ ข้อดีของเรซินกรดแก่ คือจะทำการจับอนุภาคไอออนในน้ำที่เป็นบวกได้ดีกว่าชนิดกรดอ่อน ในลักษณะเดียวกันด่างแก่ก็สามารถจับอนุภาคไอออนลบได้ดีกว่าด่างอ่อน ซึ่งกรดแก่- ด่างแก่ ราคาจะสูงกว่ากรดอ่อน – ด่างอ่อน

2. เรซินประจุบวก – กรดอ่อน (Weak acid cation resin) มี Functional group เป็น Carboxylic Acid มีไอออน คือ R – COOH โดยสามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับด่างโซดาไฟ หรือเกลือของกรดอ่อนได้ เช่น $NaHCO_3$ แต่ไม่สามารถจับไอออนประจุบวกของเกลืออินทรีย์ได้

3. เรซินประจุลบ – ด่างแก่ (Strong base anion resin) มี Funtional group เป็น Quaternary amine – NH_2, NHR และ NR_2 ติดอยู่กับโครงสร้างของเรซิน มีไอออน คือ R – NOH แต่ที่พบเห็นโดยทั่วไปจะอยู่ในรูป R – NCl เพราะมีเสถียรภาพสูงกว่าการใช้งาน

4.เรซินประจุลบ – ด่างอ่อน (Weak base anion resin) มี Funtional group เป็น Primary amine จนถึง Tertiary amine มีไอออนคือ R – NH_2 เรซินชนิดนี้จะแตกตัวและจับไอออนได้ในสารสะลายที่เป็นกรด เช่น กรดเกลือ กำมะถัน และเกลือของกรดอ่อน เรซินนี้กำจัดได้เฉพาะกรดแก่ เช่น HCl, H_2SO_4, HNO_3 ออกจากน้ำ

หมู่ฟังก์ชัน (Functional group) เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมต่างๆของเรซิน ความสามารถหรืออำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เช่น ถ้าส่วนโครงสร้างของเมทริกซ์มีประจุลบ หมู่ฟังก์ชันจะมีประจุบวกและเรียกว่าเป็น สารแลกเปลี่ยนแคทไอออน (Cation exchanger) ถ้าโครงสร้างเมทริกซ์มีประจุบวก หมู่ฟังก์ชันจะมีประจุลบ จึงเป็นสารแลกเปลี่ยนแอนไอออน (Anion exchanger) เส้นที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางเคมีที่นิยมใช้แพร่หลายในปัจจุบันจะมีโครงร่างเป็นสารพวก Polystyrene ที่เชื่อมขวางด้วย Divinylbenzene หมู่ฟังก์ชันสารแลกเปลี่ยนแคตไอออนจะเป็นพวก Sulfonic, Carboxylic หรือ Phosphonic ส่วนเรซินที่นำไปใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนไอออนจะมีหมู่ฟังก์ชันเป็น Quaternary ammonium, Primary amine, Secondary amine, Tertiary amine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างชนิดแลกเปลี่ยนแคทไอออน (Cation exchanger) เรซินชนิดนี้จะมีหมู่ธาตุที่เป็นกรดอยู่ในอะโรมาติกนิวเคลียส เตรียมได้โดยนำกรดซัลฟิวริกทำปฏิกิริยากับโพลิเมอร์ของสไตรีนกับไดไวนิลเบนซีน หมู่ $-SO_3H$ จะเข้าไปอยู่ในโพลีเมอร์

โครงสร้างชนิดแลกเปลี่ยนแอนไอออน (Anion exchangers) เรซินชนิดนี้จะมีหมู่ธาตุที่เป็นเบสอยู่ในอะโรมาติกนิวเคลียส เตรียมได้โดยทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่ของเบสกับโพลิเมอร์ของโพลิสไตรีนกับไดไวนิลเบนซีนที่ถูกทำคลอโรเมทิลเลต (Chloro methylate) แล้ว ถ้ากลุ่มของเบส คือ Quaterary amine group ($-CH_2N(CH_3)_3)_4$ เรซินที่เตรียมได้จะมีฤทธิ์เป็นเบสแก่ เรียกว่าแอนไอออนเอ็กซ์เชนจ์ชนิดแก่ (Strong anion exchangers) จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแอนไอออนได้ดี ถ้ากลุ่มของเบสเป็น Tertiary และ Secondary amine ($-CH_2NH(CH_3)_2^+$, $(-CH_2NH_2(CH_3)^+)$ ความแรงของเบสจะลดน้อยลงตามลำดับ จัดเป็นเรซินที่มีความแรงขนาดกลาง (Moderately basic anion exchangers) แต่ถ้ากลุ่มของเบสคือเอมีน ($-NH_2$) จะมีความเป็นเบสต่ำมากจัดเป็นเรซินชนิดอ่อน (Weak anion exchangers)

2.2 การดูดซับ (Sorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่อยู่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างหน้า (Interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเฟส 2 เฟส เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยชนิดของสารที่เกิดการดูดซับเรียกว่า “ตัวดูดซับ” (Adsorbent) และสารที่ถูกดูดซับเรียกว่า “ตัวถูกดูดซับ” (Adsorbate) การดูดซับจะเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ สำหรับการดูดซับระหว่างเฟสของเหลว – ของแข็งนั้น ในการดูดซับโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยสารจะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับ และมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุลซึ่งสามารถจำแนกการดูดซับออกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นแบบผันกลับได้เนื่องจากแรงทางกายภาพ แรงการกระทำที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับเป็นแรงที่อ่อน เช่น แรงแวนเดอวาลส์ แรงกระทำระหว่างโมเลกุลมีขั้วซึ่งมีไดโพลแบบถาวร แรงกระทำที่เกิดจากโมเลกุลที่มีขั้วเหนี่ยวนำให้อะตอมหรือโมเลกุลอื่นมีขั้ว หรือแรงลอนดอนที่เกิดขึ้นจากแรงระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้วด้วยกัน โดยแรงดังกล่าวจะไม่มีพลังงานจากกายภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อยจึงสามารถขจัดตัวถูกดูดซับให้หลุดออกจากผิวของตัวดูดซับได้ง่าย ด้วยเหตุนี้เอง จึงอาจเกิดการดูดซับแบบหลายชั้นขึ้นได้

การดูดซับทางเคมี

เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ทำให้ตัวถูกดูดซับเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยจะมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมของตัวถูกดูดซับแล้วเกิดการจัดเรียงอะตอมขึ้นเป็นสารประกอบใหม่ที่มีพันธะเคมีที่แข็งแรงมากขึ้น กระบวนการนี้จะมีพลังงานเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่ามาก จึงเป็นการยากที่จะขจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวของตัวดูดซับได้

การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน

เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับซึ่งมีประจุที่ตรงข้ามกันหรือเกิดจากการที่มีการแทนที่ของประจุระหว่างผิวของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ

การดูดซับแบบจำเพาะ

เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างแรงยึดเหนี่ยวของหมู่ฟังก์ชัน (Functionnal group) บนผิวของตัวถูกดูดซับโดยที่ดูดซับจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง

2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

การแลกเปลี่ยนไอออน เป็นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนกับสารของแข็งกับไอออนในสารละลาย สารที่มีประจุสามารถแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่นที่มีประจุชนิดเดียวกัน เพื่อจับกับหมู่ที่มีประจุตรงกันข้ามของ Ion exchanger ด้วยแรง Electrostatic force สารต่างชนิดกันจะจับด้วยแรงไม่เท่ากัน ขึ้นกับจำนวนประจุและความหนาแน่นของประจุ หรือ Charge density (จำนวนประจุ/หน่วยมวลสาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

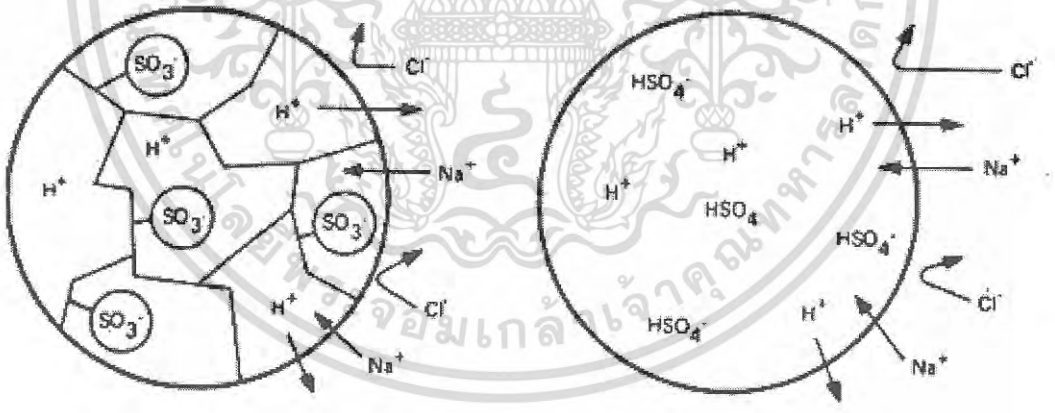
ในปีค.ศ. 1850 นักวิทยาศาสตร์ชื่อโธมัส (Thomas) และ เวย์ (Way) เป็นผู้ศึกษาค้นคว้าทดลองครั้งแรกสำหรับกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) โดยการสังเกตจากการทดลองใส่ปุ๋ยลงในดินและ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของดิน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ พบว่าเมื่อนำสารละลาย Ammonium sulfate ที่ใส่ลงไปในดิน แล้วนำน้ำที่ผ่านชั้นดินมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่าประกอบด้วย Calcium sulfate เข้าไปแทนที่ Ammonium sulfate จะเห็นว่าดินมีความสามารถในการดึงดูดแอมโมเนีย (Ammonia) ซึ่งมีประจุบวกได้ดีกว่า ประจุบวกชนิดอื่นในที่นี้คือแคลเซียม ทำให้สารละลายดังกล่าวมีความเหมาะสมในงานเกษตรกรรม ต่อมานักวิทยาศาสตร์ชื่อ Eichhorn ได้ค้นพบปฏิกริยาการแลกเปลี่ยนไอออนโดยดินซีโอไลต์ (Zeolites) และได้มีการสังเคราะห์ดินจากโรงงานเป็นครั้งแรกชื่อว่า Sodium alumino silicates ซึ่งมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนโดย นำมาใช้กำจัดความกระด้างออกจากน้ำเป็นครั้งแรกแต่ Alumino silicates มีข้อเสียเมื่อนำมาใช้งานคือเมื่อละลายลงในน้ำที่ค่า pH ต่ำกว่า 7 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุจะลดลง Alumino silicates มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุเพียง 10,000 ถึง 15,000 เกรน โดยใช้เกลือ 10 ปอนด์ เพื่อฟื้นฟูสภาพ Alumino silicate สามารถนำมาพัฒนาเป็นแมงกานีสกรีนแซนด์ (Manganese green sand) โดยใช้แมงกานีสคลอไรด์ (Manganese chloride) เข้าไปทำปฏิกริยาและสามารถฟื้นฟูสภาพด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate) ได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้กำจัดเหล็กละลายน้ำได้ การแลกเปลี่ยนไอออนสามารถใช้ถ่านกำมะถัน (Sulfonate coal) ในกระบวนการสร้างถ่านจะได้รับ Functional group ซึ่งสามารถนำมาแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกที่อยู่ในน้ำได้ การแลกเปลี่ยนประจุนี้พบในทิศทางที่ตรงกันข้าม สิ่งสำคัญสำหรับการเดินระบบถ่านกำมะถัน (Sulfonate coal) คือ 2 ค่า pH อยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างกวาง ทำให้เป็นที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม ต่างๆ ในยุคนั้น แต่ข้อบกพร่องคือความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุจะต่ำกว่า Alumino silicate และเมื่อฟื้นฟูสภาพด้วยเกลือแกง (NaCl) 10 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุตของถ่านกำมะถันความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุจะได้ประมาณ 5,000 เกรน หลังจากนั้นได้มีการสังเคราะห์ โพลิเมอร์ชนิด Phenol formaldehyde polymer โพลิเมอร์ชนิดนี้จะใช้ซัลโฟเนต (Sulfonate) เพื่อสร้างเป็นประจุบวกกรดแก่ (Strong acid cation) ส่วนโพลิเมอร์ประจุลบนั้นก็ใช้วิธีเดียวกันเพียงแต่มีหมู่ Functional เป็น Amine (NHx)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์โพลิเมอร์ประจุลบด่างอ่อนชนิดแรก แต่รูปแบบโพลิเมอร์ประจุบวกที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายจะอยู่ในรูปไฮโดรเจน (Hydrogen) และโพลีเมอร์ประจุลบที่นิยมใช้กันจะอยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ (Hydroxide) จะสามารถผลิตน้ำให้บริสุทธิ์ได้ข้อเสียของโพลิเมอร์ประจุลบนี้สามารถปรับระดับค่า pH ได้สูงขึ้น และไม่สามารถกำจัดสีออกจากน้ำได้ มีการสังเคราะห์โพลิเมอร์ชนิด Styrene และ Divinylbenzene ขึ้นมา โพลิเมอร์ชนิดนี้สามารถผลิตได้ทั้งประจุบวกแบบกรดแก่ (Strong acid cation) และประจุแบบด่างแก่ (Strong base anion) การสังเคราะห์โพลิเมอร์ประจุบวกแบบกรดแก่นั้นสามารถทำได้โดยการนำโพลิเมอร์มาทำปฏิกิริยากับกรด Sulfuric acid ส่วนการสังเคราะห์โพลีเมอร์ประจุลบแบบด่างแก่เริ่มแรกจะใช้ Chloromethylated และ Aminate ซึ่งเป็นพื้นฐานในการผลิตเรซินในปัจจุบัน (พรศักดิ์, 2550)

การแลกเปลี่ยนไอออน มี 2 ชนิด คือ

1. Anion exchanger: มีหมู่ที่มีประจุบวก จะจับกับไอออนที่มีประจุลบ
2. Cation exchanger: มีหมู่ที่มีประจุลบ จะจับกับไอออนที่มีประจุบวก



รูปที่ 2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน

ไอออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตกราฟ (มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange capacity)

หมายถึงปริมาณไอออนที่เรซินสามารถแยกออกจากน้ำ (มักมีหน่วยสมมูลย์ หรือวัดในหน่วยกิโลเกรนของหินปูน) หรือหน่วยปริมาตรของเรซิน หน่วยแสดงขีดความสามารถเรซินอาจเป็นได้หลายแบบ ดังนี้

1. หน่วยสมมูลย์ต่อปริมาตรเรซิน เช่น meq/mL, eq/L
2. หน่วยสมมูลย์ต่อน้ำหนักของเรซิน meq/g
3. หน่วยน้ำหนักในเทอมหินปูนต่อปริมาตรของเรซิน เช่น กิโลกรัมต่อลิตรหรือกิโลกรัมต่อลูกบาศก์ฟุต

ขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนแบ่งออกเป็นขีดความสามารถสูงสุดและขีดความสามารถใช้งาน

ขีดความสามารถสูงสุด หมายถึง ความสามารถทั้งหมดในการแลกเปลี่ยนไอออนโดยพิจารณาจากจำนวนทั้งหมดของส่วนที่มีไว้สำหรับแลกเปลี่ยนไอออนในโครงร่างตาข่ายโมเลกุลของเรซิน โดยนำเรซินมาฟื้นฟูด้วยสารเคมีเพื่อให้อยู่ในรูปไอออนที่มีประจุก่อน แยกไอออนมาวิเคราะห์ปริมาณของไอออนทั้งหมดที่สามารถแลกเปลี่ยนได้โดยเรซินมีค่าเท่ากับจำนวนหมู่ไอออนที่จับอยู่กับโครงร่างของเรซิน เช่น นำเรซินที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุบวกให้อยู่ในรูปของไฮโดรเจนด้วยกรด แล้วแยกเอาไฮโดรเจนไอออนออกมาโดยใช้สารละลายเกลือแกงและเก็บรวบรวมไฮโดรเจนไอออนที่แยกออกมานี้แล้วน้ำไปไทเทรตหาปริมาณไฮโดรเจนไอออนโดยใช้สารละลายด่างมาตรฐานที่รู้ความเข้มข้นแน่นอน

ขีดความสามารถในการใช้งาน หมายถึง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้ประโยชน์จริงและการใช้งาน โดยบรรจุเรซินไว้ในคอลัมน์แล้วทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนจนกระทั่งถึงจุดยุติที่กำหนดหรือเมื่อเริ่มปรากฏไอออนที่ไม่ต้องการในน้ำที่ออก ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนนี้แปรผันตามอัตราการไหล ความสูงของชั้นเรซิน ขนาดของเม็ดเรซิน ระดับการรีเจนเนอเรชัน อุณหภูมิ ความเข้มข้น และชนิดของไอออนในน้ำที่ต้องการกำจัดออกลักษณะและคุณสมบัติที่ต้องการของน้ำออก ขีดความสามารถนี้ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานและสภาพของเรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การรีเจนเนอเรชัน (Regeneration)

การทำรีเจนเนอเรชัน หมายถึง การฟื้นฟูเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วให้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนอีก เพราะว่าไอออนอิสระส่วนใหญ่ในเรซินถูกนำไปแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่นในน้ำจนหมด การทำรีเจนเนอเรชันคือการขับไล่ไอออนในเรซินที่แลกมาจากน้ำ และเติมไอออนอิสระให้กับเรซินกลับคืนสู่สภาพเดิม และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนอีกครั้ง สารเคมีที่ใช้เติมไอออนอิสระเรียกว่า สารรีเจนเนอแรนต์ (Regenerant)

2.4 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีหมายถึง ความเร็วที่ตัวทำปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยเวลา โดยที่หน่วยความเข้มข้นของสารเป็น mol/dm^3 ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจึงมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่อวินาทีชั่วโมง หรือวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเกิดเร็วหรือช้าเพียงใด

2.4.1 ชนิดของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรืออาจจะเรียกย่อๆ ว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ย (Average rate) หมายถึง อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลง หรือการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นปฏิกิริยาจนสิ้นสุดการเกิดปฏิกิริยาหรือสิ้นสุดการทดลองในหนึ่งหน่วยเวลา มีได้ค่าเดียว

2. อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous rate) หมายถึง อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลง หรือการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น ณ ช่วงใดช่วงหนึ่ง ขณะที่ปฏิกิริยากำลังดำเนินอยู่ในหนึ่งหน่วยเวลา ที่ช่วงนั้น อัตราการเกิดปฏิกิริยานี้มีได้หลายค่า ที่เวลาต่างกันจะมีค่าไม่เท่ากัน คือ ตอนเริ่มต้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่ามาก เมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไป อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงตามลำดับ เพราะความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง

3. อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ จุดใดจุดหนึ่งของเวลาหมายถึง อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลง หรือการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น ณ เวลาใดเวลาหนึ่งในช่วงสั้นๆ ขณะที่ปฏิกิริยากำลังดำเนินอยู่ในหนึ่งหน่วยเวลา อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ จุดใดจุดหนึ่งของเวลา หาได้โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปเขียนกราฟ (ให้ปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงเป็นแกนตั้ง เวลาเป็นแกนนอน) เมื่อต้องการทราบอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เวลาใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ลากเส้นตั้งฉากตรงจุดเวลานั้นไปตัดเส้นกราฟลากเส้นสัมผัสให้ผ่านจุดตัด แล้วหาค่าความชัน (Slope) ของเส้นสัมผัส ค่าความชันก็คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ขณะนั้น (ณปภัช, 2560)

2.4.2 อันดับศูนย์ (Zero order) ปฏิกิริยาอันดับศูนย์เป็นปฏิกิริยาที่ศึกษาได้ง่ายเพราะมีกฎอัตราเป็นดังนี้

$$r = k[A^0] = k \tag{2.1}$$

ตัวอย่าง การสลายตัวของ NH_3 บนผิวของโมลิบดีนัม (ตัวเร่งปฏิกิริยา) การเพิ่มความดัน (เพิ่มความเข้มข้น) ของแก๊สไม่ได้ช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งเราจะเรียกว่า เป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero-order reaction)

$$-d\frac{[A]}{dt} = k[A]^0 = k$$

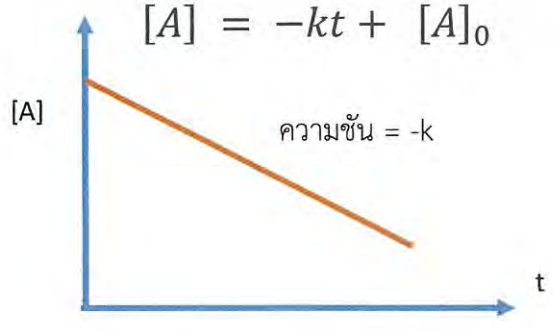
$$-d\frac{[A]}{dt} = kdt$$

$$\int_{[A]_b}^{[A]} d[A] = k\int_0^t dt$$

$$[A_0] - [A] = kt$$

$$[A] = [A_0] - kt$$

จะเห็นได้ว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะคงที่ตลอดเวลาที่เกิดปฏิกิริยา ถ้าเราเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง [A] กับ t ก็จะได้กราฟเป็นเส้นตรงที่มีความชัน -k



รูปที่ 2.4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง [A] กับ t สำหรับปฏิกิริยาอันดับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First-order reaction) คือ ปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังหนึ่ง

$$r = -\frac{d[A]}{dt} = k[A] \qquad (2.2)$$

ทำการอินทิเกรตจาก t = 0 ถึง t = t

$$\frac{d[A]}{[A]} = -kd$$

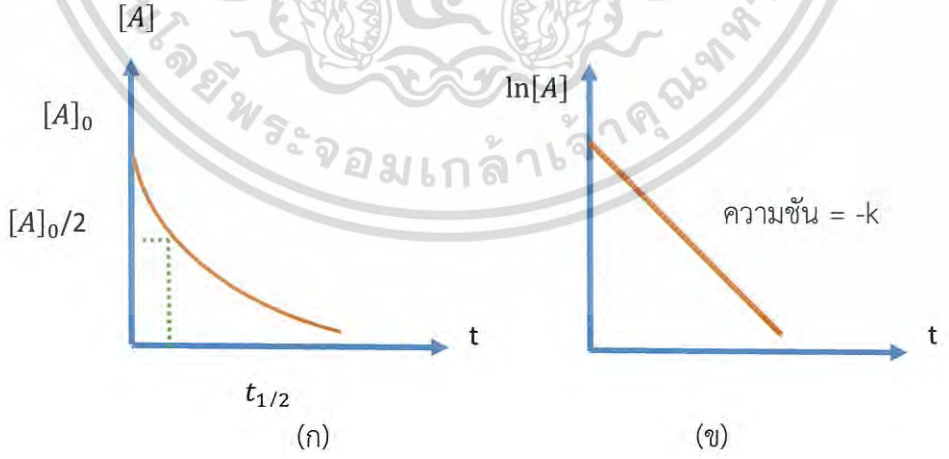
$$\int_{[A]_0}^{[A]} \frac{d[A]}{[A]} = -k\int_0^t dt$$

จะได้ (เมื่อ [A]0 เป็นความเข้มข้นของ A ที่เวลา t = 0)

$$\int_{[A]}^{[A]} \frac{d[A]}{[A]} = -k\int_0^t dt$$

กราฟของ ln [A] กับเวลา t จะได้กราฟเป็นเส้นตรงที่มีความชัน - k (k = ค่าคงที่อัตรา) เมื่อเวลาผ่านไป ค่า [A] ก็จะลดลงไปเช่นกัน

$$ln[A] - ln[A]_0 = -kt$$



(ก) (ข)

รูปที่ 4.2.3 กราฟแสดงลักษณะเฉพาะตัวของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง [A] กับ t ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ln [A] กับ t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 ปฏิกิริยาอันดับสอง (Second-order reaction) คือ ปฏิกิริยาที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังสอง หรือขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นสองชนิด แต่ละชนิดยกกำลังหนึ่ง

กรณีที่มีสารตั้งต้นชนิดเดียว

อัตราการเกิด $$r = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2 \quad (2.3)$$

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2$$

$$-\frac{d[A]}{[A]^2} = k\,dt$$

$$-\int_{[A]_0}^{[A]} \frac{[A]}{[A]^2} = k\int_0^t dt$$

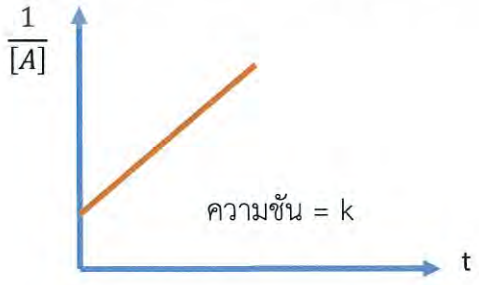
$$\frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A]_0} = kt$$

$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$$

กรณีที่มีสารตั้งต้น 2 ชนิด

อัตราการเกิด $$r = -\frac{d[A]}{dt} = k[A] \quad (2.4)$$

$$\frac{1}{[A]} = kt + \frac{1}{[A]_0}$$



รูปที่ 4.2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 1/[A] กับ t สำหรับปฏิกิริยาอันดับสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ปุ๋ย

คำจำกัดความเกี่ยวกับปุ๋ย

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518 ได้ให้คำจำกัดความของคำว่าปุ๋ยไว้ว่า "ปุ๋ยหมายถึง สารอินทรีย์ หรือ อนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นอาหารธาตุแก่พืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินเพื่อบำรุงการเจริญเติบโตแก่พืช"

1) ธาตุอาหารปุ๋ย (Fertilizer element) หมายถึง ธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ย เช่น ธาตุอาหารไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K)

2) วัสดุปุ๋ย (Fertilizer material) หมายถึง วัสดุใดๆ ที่มีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชอยู่ตั้งแต่หนึ่งธาตุขึ้นไป และสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ เช่น ยูเรีย เป็นวัสดุปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน

3) ปุ๋ยผสม (Mixed fertilizer) หมายถึง วัสดุใดๆที่มีวัสดุปุ๋ยตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปผสมกัน และมี ธาตุอาหารปุ๋ยตั้งแต่ 2 ธาตุขึ้นไปเป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุนั้น

4) เกรดปุ๋ย (Fertilizer grade) หมายถึง การรับประกันปริมาณต่ำสุดของธาตุอาหารปุ๋ยที่มีอยู่ในปุ๋ยชนิดนั้น โดยจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P_2O_5) และโพแทสเซียมที่ละลายน้ำ (Water soluble K_2O)

5) สัดส่วนปุ๋ย (Fertilizer ratio) หมายถึง สัดส่วนของ N: P_2O_5: K_2O ที่เป็นเกรดของปุ๋ยแต่ละชนิด เช่น ปุ๋ยเกรด 6-24-6 จะมีสัดส่วนปุ๋ยเป็น 1:4:1 เป็นต้น

6) ปุ๋ยสมบูรณ์และปุ๋ยไม่สมบูรณ์ (Complete and incomplete fertilizers) หมายถึง ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารปุ๋ยครบทั้ง 3 ธาตุ และปุ๋ยที่มีธาตุอาหารปุ๋ยไม่ครบทั้ง 3 ธาตุ เช่น อาจมีเพียง 1 หรือ 2 ธาตุ ตามลำดับ

7) ตัวเติมในปุ๋ย (Filler) หมายถึง วัสดุหรือสารใดๆ ที่ใช้ผสมลงไปในปุ๋ยผสมเพื่อให้ปุ๋ยผสมมีน้ำหนักครบตามต้องการ สารที่เติมลงไปต้องไม่ทำปฏิกิริยากับวัสดุปุ๋ยหรือธาตุอาหารปุ๋ยที่ใช้ เช่น ทรายละเอียด ขี้เลื่อย หรือสารสังเคราะห์อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ประเภทของปุ๋ย

ปุ๋ยเคมี คือสารประกอบอนินทรีย์ที่ให้ธาตุอาหารพืช เป็นสารประกอบที่ผ่านกระบวนการผลิตทางเคมี เมื่อใส่ลงไปในดินที่มีความชื้นที่เหมาะสม ปุ๋ยเคมีจะละลายให้พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว ปุ๋ยเคมีมีอยู่ 2 ประเภท คือ

1) ปุ๋ยเดี่ยวหรือแม่ปุ๋ย ได้แก่ ปุ๋ยพวกแอมโมเนียมซัลเฟต โพแทสเซียมคลอไรด์ ฯลฯ ซึ่งเป็นสารประกอบทางเคมี มีธาตุอาหาร ปุ๋ยคือ N หรือ P หรือ K เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยหนึ่งหรือสองธาตุแล้วแต่ชนิดของสารประกอบที่เป็นแม่ปุ๋ยนั้น ๆ มีปริมาณของธาตุอาหารคงที่

2) ปุ๋ยผสม ได้แก่ ปุ๋ยที่มีการนำเอาแม่ปุ๋ยหลาย ๆ ชนิดมาผสมรวมกัน เพื่อให้ปุ๋ยที่ผสมได้มีปริมาณและสัดส่วนของธาตุอาหาร N P และ K ตามที่ต้องการ

ปุ๋ยอินทรีย์ คือสารประกอบที่ได้จากสิ่งที่มีชีวิต ได้แก่ พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ผ่านกระบวนการผลิตทางธรรมชาติ ปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย ระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี รากพืชจึงชอนไชไปหาธาตุอาหารได้ง่ายขึ้น ปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณธาตุอาหารอยู่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี และธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เมื่อใส่ลงไปในดินพืชจะไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันที แต่ต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน แล้วปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นออกมาในรูปสารประกอบอินทรีย์ จากนั้นพืชจึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ ปุ๋ยอินทรีย์ มี 3 ประเภท คือ

1) ปุ๋ยคอก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มาจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์เลี้ยง โดยอาจจะใช้ในรูปปุ๋ยคอกแบบสด แบบแห้ง หรือ นำไปหมักให้เกิดการย่อยสลายก่อนแล้วค่อยนำไปใช้ ซึ่งต้องคำนึงถึงชนิดของดินและพืชที่ปลูกด้วย โดยเฉพาะการใช้แบบสดอาจทำให้เกิดความร้อน และมีการดึงธาตุอาหารบางตัวไปใช้ในการย่อยสลายมูลสัตว์ ซึ่งอาจจะทำให้พืชเหี่ยวตายได้

2) ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ซึ่งได้จากการนำชิ้นส่วนของพืช วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาหมักในรูปของการกองซ้อนกันบนพื้นดินหรืออยู่ในหลุม เพื่อให้ผ่านกระบวนการย่อยสลายให้เน่าเปื่อยเสียก่อน โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์

3) ปุ๋ยพืชสด เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการปลูกพืชบำรุงดินซึ่งได้แก่พืชตระกูลถั่วต่าง ๆ แล้วทำการไถกลบเมื่อพืชเจริญเติบโตมากที่สุด ซึ่งเป็นช่วงที่กำลังออกดอก

ปุ๋ยชีวภาพ คือปุ๋ยที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่ และมีคุณสมบัติพิเศษสามารถสังเคราะห์สารประกอบธาตุอาหารพืชได้เอง หรือสามารถเปลี่ยนธาตุอาหารพืชที่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้มาอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ ปุ๋ยชีวภาพมี 2 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) กลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์สารอาหารพืชไนโตรเจนได้เอง ได้แก่ ไรโซเบียมที่อยู่ในปมรากพืชตระกูลถั่ว แฟรงเคียที่อยู่ในปมของรากสนทะเล สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อยู่ในโพรงใบของแหนแดง และยังมีจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดินอย่างอิสระอีกมากที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้แก่พืชได้เช่นกัน

2) กลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยทำให้ธาตุอาหารพืชในดินละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น เช่น ไมคอร์ไรซาที่ช่วยให้ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในดินละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้

ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการผลิตที่ใช้อุณหภูมิสูงถึงระดับที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งที่เป็นโรคพืช โรคสัตว์ และโรคมนุษย์ รวมทั้งจุลินทรีย์ทั่วๆไปด้วย จากนั้นนำจุลินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นปุ๋ยชีวภาพที่เลี้ยงไว้ในสภาพปลดปล่อยเชื้อมาผสมกับปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวและทำการหมักต่อไป นอกจากจะช่วยตรึงไนโตรเจนให้แก่พืชแล้ว ยังช่วยผลิตสารฮอร์โมนพืชเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของรากพืช และจุลินทรีย์บางชนิดสามารถควบคุมโรคพืชในดินและกระตุ้นให้พืชสร้างภูมิคุ้มกันโรคได้ (ยงยุทธ, 2551)

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของปุ๋ยเคมี

ข้อดี	ข้อเสีย
- ใช้ปริมาณน้อยเพราะมีปริมาณธาตุอาหารต่อหน่วยน้ำหนักของปุ๋ยสูง - ราคาถูก เมื่อคิดเป็นราคาต่อหน่วยน้ำหนักของธาตุอาหาร - หาได้ง่าย เพราะเป็นผลิตผลที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม - ให้ผลทางด้านธาตุอาหารเร็วกว่าปุ๋ยอินทรีย์	- ปุ๋ยเคมีไม่มีคุณสมบัติปรับปรุงสภาพทางฟิสิกส์ของดิน - ปุ๋ยเคมีทุกชนิดมีไอออนละลายน้ำออกมามีความเค็ม ถ้าใช้ในอัตราสูงจะเกิดอันตรายแก่พืช การใช้จึงต้องระมัดระวัง - ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม สามารถทำให้ดินเป็นกรดเพิ่มขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ปุ๋ยละลายช้า

ความหมายของปุ๋ยละลายช้า Slow- release fertilizers ความหมายที่ว่า ปุ๋ยที่ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้พืชอย่างช้าๆ เป็นปุ๋ยเคมีที่บรรจุอยู่ในสารเคลือบโพลิเมอร์ชนิดพิเศษ มีความแตกต่างกับปุ๋ยธรรมดาทั่วๆไป โดยที่การทำงานของปุ๋ยละลายช้าจะเริ่มขึ้นทันทีที่สัมผัสกับความชื้นในดินหรือเครื่องปลูกที่เปียกชื้น เม็ดปุ๋ยจะเริ่มดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของสารเคลือบซึ่งเป็นรูเล็กมากเข้าไปละลายธาตุอาหารภายในที่มีความเข้มข้นสูง และสารละลายนั้นจะค่อยๆ ซึมผ่านเปลือกของโพลิเมอร์ที่เคลือบไว้ออกมาทีละน้อย อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเป็นเวลานาน พอเหมาะกับความต้องการของพืช ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอและต่อเนื่องตลอดช่วงอายุของพืช โดยการแพร่กระจายไปยังบริเวณรากพืชในปริมาณที่สม่ำเสมอทุกวัน ซึ่งปุ๋ยธรรมดาทั่วไปจะละลายน้ำอย่างรวดเร็วทันทีที่สัมผัสน้ำ และสลายธาตุอาหารออกมาอย่างสูง ใน 2-3 วันแรก แล้วปริมาณปุ๋ยจะลดอย่างรวดเร็วและหมดไปในเวลาอันสั้น ส่วนปุ๋ยละลายช้าใส่ให้กับต้นพืชเพียงครั้งเดียวก็จะสามารถเก็บธาตุอาหารไว้ภายในเม็ดได้นาน

2.5.3 ปุ๋ยโพแทสเซียม

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีองค์ประกอบอยู่ในหินและแร่ต่างๆ พบมากในผิวโลกเป็นลำดับที่ 7 แร่ปฐมภูมิที่มีโพแทสเซียม ได้แก่ ออร์โทเคลส (Orthoclase) ไมโครไคลน์ (Microcline) มัสโคไวต์ (Muscovite) และไบโอไทต์ (Botite) และยังพบในเกลือโพแทสอยู่มากในหินตะกอน ซึ่งเกิดจากการทับถมของตะกอนภายในทะเลหลังจากการระเหยของน้ำทะเล แร่นี้มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ย โพแทสเซียมมาก เกลือของโพแทสเซียมที่ใช้ผลิตเป็นปุ๋ย เรียกว่า ปุ๋ยโพแทส (Potash fertilizer)

ในปัจจุบัน 95% ของเกลือโพแทสทั่วโลกใช้เป็นปุ๋ย ส่วนอีก 5% ที่เหลือใช้ในอุตสาหกรรมด้านอื่นๆ และอีก 92% ของปุ๋ยคือโพแทสเซียมคลอไรด์หรือ Muriate of potash : MOP เกลือโพแทสของ Muriatic acid หรือกรดไฮโดรคลอริก ส่วนที่เหลือเป็นปุ๋ยโพแทสชนิดอื่นๆ ได้แก่ โพแทสเซียมซัลเฟต (Sulfate of potash; SOP) โพแทสเซียมไนเทรต และโพแทสเซียมฟอสเฟต หินตะกอนซึ่งมีแร่โพแทส เกิดในทะเลปิดสมัยโบราณ ซึ่งน้ำทะเลได้ระเหยออกไปเรื่อยๆจนมีความเข้มข้นสูงในระดับหนึ่ง เกิดการตกผลึกของแมกนีเซียมคาร์บอเนต เกลือแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมซัลเฟต ส่วนที่เหลือเป็นของเหลวคือเกลือโซเดียมและเกลือโพแทสเป็นส่วนใหญ่

เมื่อน้ำระเหยต่อไปอีกจะได้การตกผลึกของโซเดียมคลอไรด์ แมกนีเซียม และโพแทสเซียมคลอไรด์ ทำให้พบชั้นแร่เรียงตัวกันเป็นชั้นๆแร่ซิลไวต์ (Sylvite) เป็นแร่ที่มีโพแทสเซียมสูงที่สุด แต่ส่วนใหญ่ที่ขุดพบได้เป็นแร่ซิลวิไนต์ (Sylvinite) ซึ่งประกอบไปด้วยแร่ซิลไวต์และฮาไลต์ (Hallite)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมกันอยู่ แร่ไคไนต์ (Kainite) และแลงไบไนต์ (Langbeinite) ก็ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตปุ๋ยโพแทสเซียม สำหรับแร่แลงไบไนต์ สามารถนำมาแต่งแร่และขจัดสิ่งเจือปนที่มีเกลือคลอไรด์ออกไปจะได้ปุ๋ยธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน

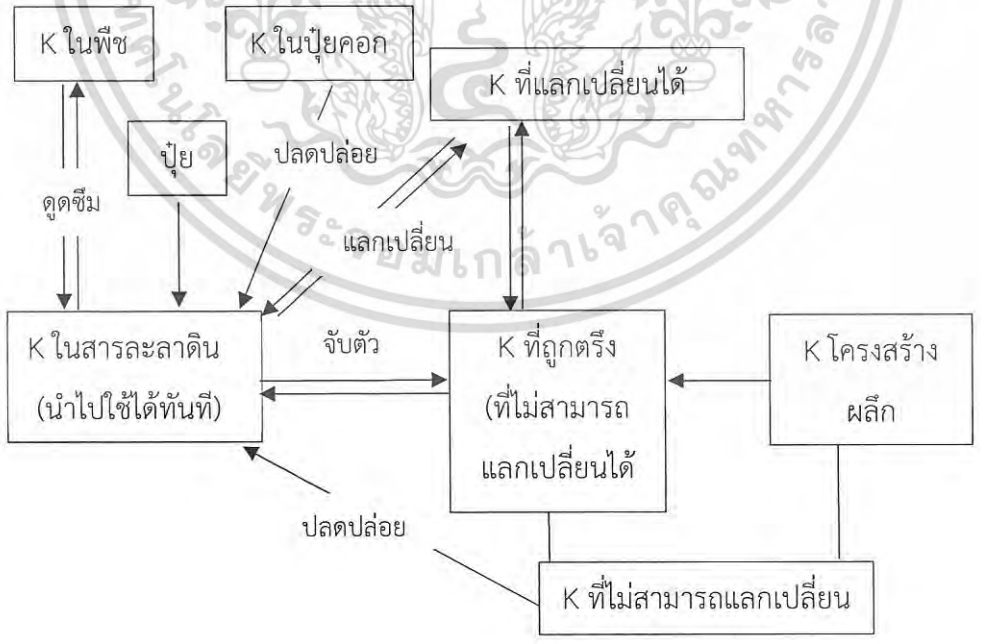
การเปลี่ยนแปลงของปุ๋ยโพแทสเซียมในดิน

โพแทสเซียมในดินแบ่งตามความเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดังนี้

รูปที่พืชดูดไปใช้ได้ง่าย คือ โพแทสเซียมไอออนในสารละลายดิน และโพแทสเซียมไอออนที่แลกเปลี่ยนได้

รูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชอย่างช้าๆ (Slowly available K) คือโพแทสเซียมที่ถูกตรึง (Fixed K) ที่แทรกอยู่ในแร่ดินเหนียวพวก 2:1 หรือเป็นรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (Non exchangeable)

รูปที่ไม่เป็นประโยชน์กับพืช (Unavailable K) คือ โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ต่างๆในดิน สำหรับธาตุในดินอาจสูญหายไปได้ 3 ทาง คือ พืชดูดซึมไปใช้ การถูกชะล้าง และการติดไปกับมวลดินที่กร่อน การที่พืชเจริญเติบโตในดินได้โดยไม่ขาดแคลนโพแทสเซียม แสดงว่านอกจากรากพืชจะดูดธาตุนี้ในรูปที่เป็นประโยชน์จากสารละลายดินที่แลกเปลี่ยนได้มาใช้แล้ว ดินนั้นยังสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมที่ถูกตรึงและเป็นองค์ประกอบของแร่ ออกมาให้พืชใช้ได้อย่างต่อเนื่องและพอเพียงด้วย แต่ถ้าพืชชนิดนั้นๆต้องการโพแทสเซียมในปริมาณที่สูงกว่าความสามารถที่ดินจะมีให้ได้ ก็จะเป็นต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มในอัตราที่เหมาะสม



รูปที่ 2.5 วัฏจักรของโพแทสเซียมในระบบของดิน พืช สัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 หลักการใช้ปุ๋ย

ปุ๋ยเคมี เมื่อใส่ลงไปในดินจะมีโอกาสสูญเสียไปมากกว่าครึ่งหนึ่ง สำหรับธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียม ส่วนฟอสฟอรัสนั้น พืชดึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้เพียงไม่เกินร้อยละ 10 ของปริมาณที่ใส่ลงไปในดิน ฟอสฟอรัสที่เหลือทั้งหมด จะทำปฏิกิริยากับดิน กลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก พืชดึงดูดไปใช้ไม่ได้ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยลงไปในดิน เพื่อให้พืชสามารถดึงดูดไปใช้ได้มากที่สุดและสูญเสียน้อยที่สุด จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ปุ๋ยชนิดเดียวกัน สูตรเดียวกันใส่ลงไปในดินโดยวิธีแตกต่างกัน พืชจะใช้ประโยชน์จากปุ๋ยได้ไม่เท่ากัน หลักการใช้ปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพ คือ

ชนิดของปุ๋ยที่ใช้ถูกต้อง การใช้ปุ๋ยที่ถูกต้องนั้น หมายถึง สูตร อัตราส่วน และรูปของธาตุอาหารในปุ๋ย ปุ๋ยเคมีจะมีทั้งสามอย่างนี้ แตกต่างกันออกไป สูตรปุ๋ย หรือบางทีเรียกว่า "เกรดปุ๋ย" หมายถึง ตัวเลขเขียนบอกปริมาณธาตุอาหาร ที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมี โดยบอกเป็นค่าของเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) และปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (K_2O) สูตรปุ๋ยจะเขียนไว้ที่ภาชนะบรรจุปุ๋ย เห็นได้อย่างชัดเจน เช่น 20-10-5 ตัวเลขแรกจะบอกปริมาณไนโตรเจนว่ามีอยู่ 20 กิโลกรัม เลขที่สองบอกปริมาณ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีอยู่ 10 กิโลกรัม เลขตัวที่สามบอกปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้มีอยู่ 5 กิโลกรัม รวมเป็นธาตุอาหารทั้งหมด 35 กิโลกรัม ในปุ๋ยหนัก 100 กิโลกรัม

อัตราส่วนของปุ๋ยนั้น เป็นสัดส่วนเปรียบเทียบกันระหว่างธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในสูตรปุ๋ย เรโชปุ๋ยจะบอกเป็นตัวเลขลงตัวน้อยๆระหว่างไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ของสูตรปุ๋ยนั้นๆ นั่นคือ ปุ๋ยสูตรต่างๆที่มีอัตราส่วนเดียวกันจะแตกต่างกันที่ปริมาณธาตุอาหารรวม ที่มีอยู่ในปุ๋ย เช่น สูตร 10-10-10 มีธาตุอาหารรวม N P K หนัก 30 กิโลกรัม ในปุ๋ยหนัก 100 กิโลกรัม ส่วนปุ๋ย 20-20-20 มีธาตุอาหารรวมหนัก 60 กิโลกรัม ในปุ๋ยหนัก 100 กิโลกรัมซึ่งมากกว่าปุ๋ยสูตรแรกเท่าตัว ปุ๋ยที่มีอัตราส่วนเดียวกัน จะบอกให้ทราบว่าเป็นปุ๋ยชนิดเดียวกันสามารถใช้แทนกันได้

ใช้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสม ปริมาณปุ๋ยที่พอเหมาะ หมายถึง จำนวนหรืออัตราส่วนปุ๋ยที่ใช้ต่อไร่หรือต่อต้น ที่พืชจะได้รับความพอเหมาะนี้มีอยู่ 2 ลักษณะคือ พอเหมาะในแง่ของปริมาณที่พืชควรจะได้รับเพื่อให้ได้ผลิตผลสูงสุด ถ้าน้อยกว่านั้นก็จะทำให้พืชไม่เจริญเติบโตและให้ผลผลิตไม่สูงเท่าที่ควร หรือถ้าให้มากเกินกว่านั้นก็อาจเป็นพิษแก่พืชหรือจะไม่ทำให้พืชเติบโต และให้ผลิตผลเพิ่มขึ้น แต่ทำให้เสียเงินโดยเปล่าประโยชน์ประการหนึ่ง และอีกประการหนึ่งก็คือ พอเหมาะในแง่ของหลักเศรษฐกิจ กล่าวคือ ปริมาณของปุ๋ยที่ใช้จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับราคาของปุ๋ย และราคาของผลิตผลที่จะขายได้ การพิจารณาความพอเหมาะพอดีของจำนวนปุ๋ย หรืออัตราส่วนปุ๋ยที่จะใช้ จะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาศัยหลักเกณฑ์ และวิธีการต่างๆ หลายประการมาประกอบการพิจารณา อาทิ ชนิดของพืช ระดับความชื้น และความอุดมสมบูรณ์เดิมของดิน วิธีการปลูก การดูแล และการบำรุงรักษา ตลอดจนราคาของปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยให้พืชขณะที่พืชต้องการ พืชที่ปลูกในดินที่ไม่อุดมสมบูรณ์ด้วยธาตุอาหาร มักจะแคระแกร็น และให้ผลิตผลต่ำ การใส่ปุ๋ยจะช่วยยกระดับธาตุอาหารที่ขาดแคลนให้มีปริมาณเพียงพอกับความต้องการของพืช อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินเดียวกันกับพืชชนิดเดียวกัน อาจจะให้ผลแตกต่างกันได้เป็นอย่างมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจังหวะเวลา (Timing) ของการให้ปุ๋ยแก่พืชนั้นตรงกับระยะเวลาที่พืชมีความต้องการธาตุอาหารนั้นๆ มากที่สุดหรือไม่ ช่วงจังหวะความต้องการธาตุอาหารมากที่สุดของพืช แต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป พืชที่มีอายุสั้น เช่น พืชไร่และข้าว จะมีจังหวะการดึงดูดธาตุอาหารที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัดอย่างน้อย 3 ช่วงด้วยกัน คือ ช่วงแรกที่พืชเริ่มงอก พืชมักจะต้องการธาตุอาหารน้อยและช้า เพราะระยะนี้ระบบรากยังน้อย และต้นยังเล็กอยู่ ช่วงที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นระยะที่พืชต้องการธาตุอาหารเป็นจำนวนมาก ช่วงที่มีการเติบโตเต็มที่แล้ว และเป็นระยะสร้างเมล็ดหรือสร้างผล ความต้องการธาตุอาหารในระยะนี้ จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งฝักหรือเมล็ดแก่ ระยะที่พืชต้องการธาตุอาหารจากดินมากที่สุด และดึงดูดธาตุอาหารจากดินในอัตราที่รวดเร็วมากที่สุดก็คือ ช่วงที่สอง เพราะเป็นระยะที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว และต้องการสะสมธาตุอาหารไว้ในต้นและใบให้เพียงพอสำหรับการสร้างเมล็ดและผลที่จะมีขึ้นในช่วงที่สาม ดังนั้นการให้ปุ๋ยแก่พืชระยะที่สำคัญก็คือ ระยะที่สองนี้ ซึ่งพืชควรจะได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยที่ให้เพียงพอ

การใส่ปุ๋ยให้พืชตรงจุดที่พืชสามารถดึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายและเร็วที่สุด นอกจากจังหวะการใส่แล้ว วิธีการใส่ เพื่อให้พืชดึงดูดไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ก็มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากในทันทีทันใดที่ปุ๋ยลงไปอยู่ในดิน ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลง และการเคลื่อนย้ายของปุ๋ยจะเกิดขึ้นทันที

ธาตุไนโตรเจนในปุ๋ย จะเคลื่อนที่ได้รวดเร็วมาก เพราะละลายน้ำได้ง่าย ไนโตรเจนในรูปไนเทรตจะถูกน้ำพัดพาออกไปจากชั้นของดินได้อย่างรวดเร็ว ถ้ารากพืชดึงดูดเอาไว้ไม่ทันก็จะสูญเสียไปหมด และไม่เกิดประโยชน์ต่อพืชแต่อย่างใด ปกติแล้วปุ๋ยไนโตรเจนในดินจะสูญเสียไปโดยการชะล้างประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนที่ใส่ลงไปไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม ถึงแม้จะดูดยึดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวได้ และถูกชะล้างได้ยากก็จริง เมื่อดินมีการถ่ายเทอากาศดี จะถูกแปรรูปโดยจุลินทรีย์ในดินจะทำปฏิกิริยาเพิ่มออกซิเจน (Oxidized) ให้กลายเป็นไนเทรต (NO_3- N) ได้ง่ายและเร็วมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธาตุฟอสฟอรัสในปุ๋ย ถึงแม้จะละลายน้ำได้ง่ายแต่เมื่ออยู่ในดิน จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับแร่ธาตุต่างๆ ในดิน กลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยาก ความเป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง และไม่เคลื่อนย้ายไปไหน ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตตรงจุดไหน ฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ง่ายก็มักจะอยู่ตรงจุดนั้น ถ้าจะเคลื่อนย้ายจากจุดเดิมก็เป็นระยะใกล้ๆ ในรัศมี 1-5 ซม. เท่านั้น ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตให้กับพืช จึงต้องให้อยู่ใกล้กับรากมากที่สุด เพื่อที่รากจะไม่เป็นอันตรายจากปุ๋ยนั้น การใส่บนผิวดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยกว่าใส่ใต้ผิวดินในบริเวณที่รากจะแพร่กระจายไปได้ถึง ซึ่งผิดกับปุ๋ยไนโตรเจน ที่ใส่บนผิวดินก็สามารถซึมลงมายังบริเวณรากที่อยู่ใต้ผิวดินได้ง่าย ดังนั้น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนใต้ผิวดินจึงไม่มีข้อดีไปกว่า ใส่บนผิวดิน

ธาตุโพแทสเซียม จะเคลื่อนย้ายได้ง่ายกว่าฟอสเฟต แต่จะช้ากว่าไนโตรเจน โพแทสเซียมในปุ๋ย ละลายน้ำได้ง่ายพอๆกับไนโตรเจน แต่เนื่องจากมีประจุบวกซึ่งดูดยึดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวได้ จึงถูกชะล้างได้ยาก แต่ก็ยังเป็นประโยชน์ได้ง่ายแก่พืชอยู่ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมจึงสามารถใส่บนผิวดิน หรือใต้ผิวดินก็ได้แต่การเคลื่อนย้ายจะช้ากว่าไนโตรเจน และในเวลาเดียวกันการสูญเสียโดยการชะล้างก็จะน้อยกว่าด้วย

2.6 ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (Seed vigour)

เมล็ดที่มีความแข็งแรงสูงจะมีความสามารถในการงอกสูงในขณะที่เมล็ดที่ไม่แข็งแรงจะมีความสามารถในการงอกต่ำกว่า สามารถตรวจสอบได้หลายวิธี เช่น การเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ การวัดดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์

การเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ เป็นการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เพื่อใช้การทำนายว่าเมล็ดพันธุ์นั้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานๆ แล้วเปอร์เซ็นต์การงอกจะสูงหรือไม่ ทำได้โดยนำเมล็ดจากแหล่งใดแหล่งหนึ่งที่ต้องการตรวจสอบมาใส่ในตู้อบ อุณหภูมิ 40 - 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100 % เป็นเวลา 2- 8 วัน แล้วนำเมล็ดพันธุ์พืชมาเพาะเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ การงอกถ้าหากว่ามีเปอร์เซ็นต์การงอกสูง แสดงว่าเมล็ดนั้นแข็งแรง ดังนั้น เมล็ดพืชจากแหล่งนั้นเมื่อถูกไว้ในที่ๆไม่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นเวลา 12 – 18 เดือน เมื่อนำมาเพาะปลูกจะมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงเมล็ดที่ผ่านการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์แล้วมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำก็ไม่ควรเก็บเมล็ดพันธุ์นั้นไว้ เพราะอัตราการงอกในฤดูกาลต่อไปจะไม่ดี วิธีการนี้เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการผลิตเมล็ดพันธุ์เพื่อการจำหน่ายหรือเพื่อเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้เพาะปลูกในฤดูกาลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์โดยอาศัยหลักการที่ว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูงจะงอกได้เร็วกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ การวัดดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Germination index หรือ Speed of germination) เป็นวิธีการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดจากอัตราการความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ โดยอาศัย หลักการว่าเมล็ดที่แข็งแรงย่อมงอกได้อย่างรวดเร็ว แต่ทั้งนี้เมล็ดพันธุ์ต้องไม่มีการพักตัวหรือการพักตัวสิ้นสุดแล้ว วิธีคล้ายกับการทดสอบความงอกมาตรฐานซึ่งอาจทำควบคู่ไปด้วยกันแต่ต้องทำการตรวจนับการงอกทุกวัน นับจากวันแรกที่เมล็ดงอกการประเมินผลค่าดัชนีการงอกได้ จากผลรวมของสัดส่วนระหว่าง จำนวนต้นกล้าที่งอกต่อจำนวนวันหลังเพาะ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐ (2545) ศึกษาความเป็นไปได้ที่ในการผลิตปุ๋ยเคมีให้มีความสมารถในการชะลอการปลดปล่อยแร่ธาตุ โดยใช้สารเคลือบที่มีโปรตีนจากกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลักที่จะนำมาเคลือบปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 สารเคลือบที่ใช้ประกอบด้วยโปรตีนจากกากถั่วเหลือง (Soy Protein Isolate; SPI) น้ำกลั่น สาร Crosslinking agent fromaldehyde และสี อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 7%, 82.5%, 3% และ 0.5% โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าลักษณะของฟิล์มที่เคลือบปุ๋ยซึ่งได้แก่ความหนาแน่นของฟิล์มเคลือบ และโครงสร้างของฟิล์มแน่นมีความสำคัญต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ย โดยถ้าฟิล์มเคลือบมีความหนาเพิ่มขึ้นและโครงสร้างเนื้อฟิล์มแน่นขึ้นมีจำนวนรูพรุนน้อยและมีขนาดของรูพรุนเล็กจะทำให้ปุ๋ยที่ผ่านการเคลือบสามารถชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ในระยะเวลายาวนานขึ้น ปัจจัยที่ทำให้ฟิล์มที่เคลือบปุ๋ยมีความหนาเพิ่มมากขึ้นคือจำนวนครั้งในการเคลือบส่วนปัจจัยที่ผลทำให้โครงสร้างของเนื้อฟิล์มมีความหนาแน่นขึ้นมีจำนวนรูพรุนน้อยลง และมีขนาดของรูพรุนเล็ก ได้แก่ การใช้สารเคลือบที่มีความเข้มข้นของโปรตีนจากกากถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น การใช้สารเคลือบที่มี Mineral oil เป็นสาร Plasticizer ที่ไม่ละลายน้ำแทน Glycerin เป็นสารที่ละลายน้ำ และการเพิ่มการเชื่อมโยงพันธะโปรตีนโดยการ Activate ฟิล์มเคลือบด้วยสารละลาย Formaldehyde ทำให้โครงสร้างของเนื้อฟิล์มเคลือบเปลี่ยนจากโครงสร้างแบบ Amorphous ที่ละลายน้ำง่ายเป็นโครงสร้างแบบผลึกที่ละลายน้ำยาอัดตัวกันอยู่แน่น จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ปุ๋ยเคลือบที่มีการ Activate จะมีแนวโน้มการปลดปล่อยธาตุอาหาร N ได้นานกว่าปุ๋ยเคลือบที่ไม่ผ่านการ Activate และนานกว่าปุ๋ยที่ไม่มีการเคลือบคือปลดปล่อยหมดในระยะเวลาประมาณ 9 วัน และ 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จักรพงศ์ (2548) ผู้วิจัยศึกษาการเตรียมปุ๋ยยูเรียละลายช้าโดยใช้น้ำยางธรรมชาติโดยใช้เทคนิคการตกตะกอนของของผสมยูเรียกับน้ำยางธรรมชาติในกรดแอซิติก ทำให้ได้เม็ดและแผ่นปุ๋ยยูเรียละลายช้า (UCPF) ที่มีขนาด 2.13–2.35 มิลลิเมตร และ 0.34–0.38 มิลลิเมตร ศึกษาอัตราการปลดปล่อยของยูเรียจากเม็ดปุ๋ยและแผ่นปุ๋ยยูเรียละลายช้า (UCPF) โดยวิธี Colometric ด้วยอินดิเคเตอร์ 4–Dimethylaminobenzaldehyde (DMAD) และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 440 nm ที่อัตราส่วนยูเรีย 20, 25, 30 และ 40 ต่อส่วนน้ำยางธรรมชาติ 100 พบว่าเมื่อทดสอบการปลดปล่อยยูเรียในระยะเวลา 20 วัน อัตราส่วนความเข้มข้นของยูเรีย 20, 25, 30 และ 40 ปุ๋ยยูเรียละลายช้าชนิดแผ่นจะมีค่าความเข้มข้นยูเรียที่ปลดปล่อยเท่ากับ 8.222, 8.921, 9.651 และ 10.410 mg/g ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าปุ๋ยชนิดเม็ดที่มีค่าการปลดปล่อย 4.455, 5.397, 5.979 mg/g ตามลำดับ และจากการศึกษาโครงสร้างของเม็ดและแผ่นปุ๋ยยูเรียละลายช้าด้วย Scaning Electron Microscopy (SEM) ที่กำลังขยาย 1800 เท่า โดยก่อนทำการปลดปล่อยยูเรียทั้งสองชนิดพบว่าโมเลกุลเกิดการรวมตัวกันแน่นจนไม่พบรูพรุน แต่หลังจากทำการปลดปล่อยยูเรีย 20 วัน พบว่าชนิดแผ่นจะมีการขยายตัวของรูพรุนเป็นบริเวณกว้างและมีจำนวนของรูพรุนเป็นบริเวณกว้างและมีจำนวนรูพรุนมากกว่าปุ๋ยยูเรียชนิดเม็ดอย่างเห็นได้ชัด

กนกอร (2549) ผู้วิจัยศึกษาการดูดซับกรดแลคติกจากสารละลายกรดแลคติกมาตรฐานและอาหารหมักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุลบแบบเบสอ่อน Amberlite IRA-96 ศึกษาการทดลองแลกเปลี่ยนไอออนในระบบเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และถึงสมดุลใน 1 นาที ที่อุณหภูมิ 35 °C ไอโซเทอร์มที่ได้มีรูปร่างตาม แบบสมการของโบล์ทซแมนน์ (Boltzmann equation) ค่าความเข้มข้นสูงสุดของการดูดซับกรดแลคติกของเรซินที่อัตราการเขย่า 200 รอบต่อนาที ความเป็นกรดด่างที่อุณหภูมิ 20, 25, 30 และ 35 °C ได้ค่า 128, 152, 155 และ190 มิลลิกรัมกรดแลคติกต่อกรัมน้ำหนักเปียกเรซิน ตามลำดับ ค่า ΔH_o และ ΔS_o ที่ได้เป็น บวก ค่า ΔG_o มีค่าเป็นลบ เข้มข้นสูงสุดของการดูดซับกรดแลคติกในสารละลายกรดแลคติกมาตรฐาน และในอาหารหมักได้ค่าประมาณ 190 และ 130 มิลลิกรัม กรดแลคติกต่อกรัมน้ำหนักเปียกเรซิน ตามลำดับ การเพิ่มจำนวนเรซินช่วยเพิ่มปริมาณการดูดซับและอัตราการดูดซับกรดแลคติกแต่จะลดประสิทธิภาพของเรซิน อัตราการดูดซับกรดแลคติกของเรซินลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นกรดแลคติกและการเพิ่มอัตราการเขย่าก็ช่วยเพิ่มอัตราการดูดซับกรดแลคติกเช่นกัน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลรวมที่ได้ครอบคลุมสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลจากของแต่ละเฟส ในช่วงมีค่า 10^{-1} วินาที ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ภายในที่คำนวณได้มีค่า 10^{-6} ตารางเซนติเมตรต่อวินาที ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านชั้นฟิล์มที่ได้มีค่า 10^{-6}-10^{-7}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเซนติเมตรต่อวินาที เมื่อความหนาของฟิล์มอยู่ในช่วง 10^{-4}-10^{-5} เมตร ซึ่งบ่งบอกว่าอัตราการดูดซับกรดแลคติกบน Amberlite IRA-96 ถูกกำหนดด้วยกระบวนการแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม

เกษราพร และ โกวิทย์ (2555) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการดูดซับไอออนเงินโดยใช้เรซินไคโตซานเป็นตัวดูดซับ ทำการแบบแบตช์ได้ศึกษาผล ของปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นเริ่มต้นและค่าพีเอชของไอออนเงิน การทดลองพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของไอออนเงินมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น เรซินไคโตซานมีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 2.8 mg/g ไอโซเทอร์มของการดูดซับสอดคล้องกับแบบฟรุนลิชด์จลนศาสตร์ ของการดูดซับสอดคล้องกับสมการ pseudo–second order อัตราเร็วในช่วงเริ่มต้นของการดูดซับและครึ่งเวลาของการดูดซับมีค่า 8.6 mg/g.min และ 2.7 ตามลำดับ กลไกการดูดซับไอออนเงินของเรซินไคโตซานเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน เป็นผลจากการแพร่ภายในรูพรุนและสมดุลของการดูดซับ

Brahim, *et. al.* (2006) ทำการทดลองแบบแบตช์เพื่อการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นในช่วง 1-100 mg/L โดยใช้ชานอ้อยเป็นตัวดูดซับ พบว่าชานอ้อยสามารถดูดซับ ไอออนแคดเมียมได้สูงสุดที่การเขย่า 150 rpm เวลาสัมผัสที่สมดุล 90 นาที และพีเอชอยู่ในช่วง 5-7 อธิบายโดยใช้ไอโซเทอร์มของแลงเมียสามารถดูดซับแคดเมียมได้ 6.79 mg/g ที่อุณหภูมิ 30 °C เนื่องจากค่า R^2 ของแลงเมียร์มากกว่าฟรุนลิชด์

Fel W, *et.al.* (2008) ผู้วิจัยได้ศึกษาการกำจัดแคดเมียม โดยเรซินชนิดกรดแก่ (001X7) ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆได้แก่ ค่าพีเอช, อุณหภูมิ, ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น และอัตราการดูดซับพบว่า เรซินชนิดประจุบวกกรดแก่ (001X7) สามารถดูดซับแคดเมียมได้ดีและในสภาวะสมดุลสามารถอธิบายได้โดยใช้ไอโซเทอร์มฟรุนลิชด์ การดูดซับที่ดีที่สุดอยู่ในสภาวะที่ค่าพีเอช 4-5 โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นแคดเมียม 300-500 mg/L และเรซินสามารถทำการคายซับด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 3 mol/L ซึ่งประสิทธิภาพการคายซับมากกว่า 98% และความสามารถในการดูดซับที่สูงสุดคือ 355 mg/g ที่อุณหภูมิ 293 K หรือ 20 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Partha K, Li. *et al.* (2009) การพัฒนาปุ๋ยเคมีที่ปราศจากมลภาวะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สารประกอบนี้ไม่ละลายในน้ำและขึ้นอยู่กับโครงสร้างโพลิเมอร์ฟอสเฟต จลนพลศาสตร์และความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ในสารละลายโกเมน (FeO (OH)) - H_3PO_4 และระบบ FeO (OH) - MgO-H_3PO_4 ได้ศึกษาในอุณหภูมิ 170-300 องศาเซลเซียส รูปแบบพอลิเมอไรเซชันมีความซับซ้อน การปรากฏตัวของ Mg เป็นสารเติมแต่งคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น ปุ๋ยถูกเตรียมโดยการทำให้เป็นโพลิเมอไรเซชันของ Goethite แมกนีเซียมออกไซด์และกรดฟอสฟอรัสเพื่อเพิ่มความยาวของโซ่ที่ 200 องศาเซลเซียส ปุ๋ยนี้สามารถละลายได้ในซิเตรตและเป็นปุ๋ยที่ชะลอการปลดปล่อย

Srinivasa, K. *et. al.* (2010) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการกำจัดแคดเมียมในสารสะลายโดยใช้เรซินประจุบวก (Duolite Es467) ในการทดลองแบบแบตช์ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส ความเร็วรอบ ตัวดูดซับ ความเข้มข้นของแคดเมียม พีเอช ประจุคู่แข่งและอุณหภูมิ จากการศึกษาพบว่า ระยะเวลาที่สัมผัส และความเร็วรอบเป็น 60 rpm และ 600 rpm ตามลำดับ และ การที่มี NaCl อยู่ในสารละลายจะทำให้ เปอร์เซ็นต์การกำจัดจะมีค่าลดลงด้วย เนื่องจาก Cd^{2+} และ Na^{+} จะเข้าแข่งขันในการจับประจุของเรซิน และ ในทางตรงกันข้ามเมื่อค่าพีเอชและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้การดูดซับได้ดี

Hosseinpur, *et. al.* (2014) ผู้วิจัยได้ศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่มีสถานะโพแทสเซียมแตกต่างกัน เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมในทางจลนศาสตร์กับดัชชี้วัดของถั่วโดยศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน และจลนพลศาสตร์การปลดปล่อยโพแทสเซียมโดยการสกัดผลการทดลองพบว่า โพแทสเซียมที่สะสมถูกปล่อยในช่วงจาก 111 to 411 mg/kg พล็อตจำนวนการสะสมของโพแทสเซียมปล่อยออกแสดงให้เห็นความไม่ต่อเนื่องความลาดชันที่ 168 h สมการสองตัวถูกนำไปประยุกต์ใช้กับช่วงเวลาปฏิกิริยาทั้งหมดปริมาณโพแทสเซียมที่ปล่อยออกมาระหว่าง 2-168 และ 168-2017 h มีค่าระหว่าง 55 ถึง 299 และ 44 ถึง 119 มก. / กก. ตามลำดับ การปลดปล่อยจลนพลศาสตร์ของโพแทสเซียมสอดคล้องกับการแพร่กระจายแบบพาราโบลาแบบ Elovich และ Power function models ทั้งสองสมการโพแทสเซียมที่ปล่อยออกมาหลังจาก 2-168 h และ 168-2017 h อัตราการปล่อยโพแทสเซียมคงที่อย่างมีนัยยะสำคัญ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับดัชนีของพืชถั่วและความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่สกัดได้โดยใช้แอมโมเนียมอะซิเตรท 1โมล/ลิตร กับดัชนีของพืชถั่วแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bowei, Li. *et al.* (2016) การตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็นปุ๋ยละลายช้าสำหรับข้าวสาลี เป็นการแลกเปลี่ยนเรซินชนิดประจุบวก – กรดแก่ และเรซินชนิดประจุลบ – เบสอ่อน โดยแช่ใน Hoagland nutrient solution ที่ความเข้มข้น 1X, 5X, 10X และ 15X และนำมาใช้เป็นปุ๋ยในดิน Clinoptilolite เพื่อเปรียบเทียบลักษณะสัณฐานและสรีระวิทยาของข้าวสาลีกับ ข้าวสาลีที่ปลูกใน Vermiculite และพบว่า ไอออนจำนวนมากถูกยึดติดกับพื้นผิวของเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของข้าวสาลี ข้าวสาลีที่ปลูกใน Clinoptilolite จะมีน้ำหนักสูงกว่าข้าวสาลีที่ปลูกใน Vermiculite ที่ความเข้มข้นเดียวกัน คลอโรฟิลล์ในข้าวสาลีมี 2 ชนิด โดยมี Solid media สูงกว่า Liquid cultivation อย่างมีนัยสำคัญ จากข้อมูลการทดลองพบว่า การปลูกข้าวสาลีด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดประจุบวก – กรดแก่ และเรซินชนิดประจุลบ – เบสอ่อน มีแนวโน้มในการปลดปล่อยปุ๋ยได้ช้า

Thanh H. *et. al.* (2016) ผู้วิจัยศึกษาพลวัตการซึมผ่านของน้ำในสารเคลือบผิวและปุ๋ยและความสัมพันธ์กับการปลดปล่อยธาตุอาหารโดยการทดสอบการซึมผ่านของน้ำในสารเคลือบผิว การซึมผ่านของน้ำในปุ๋ย การปลดปล่อยธาตุอาหาร การศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการดูดซึมน้ำของสารเคลือบปุ๋ยโดยการใช้เทคนิคการชั่งน้ำหนัก นอกจากนั้นยังศึกษาการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการดูดซึม และการปลดปล่อยธาตุอาหาร ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าการซึมผ่านของน้ำในสารเคลือบผิวเกิดขึ้นได้เร็ว และเร็วกว่าในปุ๋ย เวลาล่าช้าในการปลดปล่อยธาตุอาหารความสัมพันธ์กับการแทรกซึมในสารเคลือบผิวมากกว่าในปุ๋ย และได้กราฟการดูดซึมเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy) รุ่น AAS-200 NEW ยี่ห้อ PerkinElmer
2. เครื่องกลั่น (Kjeldahl) รุ่น K-350 ยี่ห้อ BUCHI Distillation Unit
3. เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer รุ่น GENES YS 10S UV-Vis ยี่ห้อ Thermo Scientufic
4. เครื่องกรองแบบลดความดัน รุ่น A-36 ยี่ห้อ EYELA
5. เครื่องให้ความร้อน (Hotplate stirrer) รุ่น CB162 ยี่ห้อ Stuart
6. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น New Classic MF (ML204) ยี่ห้อ Mettler Toledo
7. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter) รุ่น Seven Compact ยี่ห้อ Mettler Toledo
8. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity meter) รุ่น FE 30 ยี่ห้อ Mettler Toledo
9. เครื่องกวน (Hotplate stirrer) รุ่น CB162 ยี่ห้อ Stuart
10. เครื่องเขย่า (Orbital shaker) ยี่ห้อ Gallenkamp
11. ตู้อบความร้อน รุ่น UN55 ยี่ห้อ Memmert
12. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.1.2 สารเคมี

1. เรซินชนิดประจุบวก DOWEX™ IR ในรูปแคลเซียมที่ผ่านการใช้งานแล้ว
2. แอมโมเนียมอะซิเทต (Ammonium acetate, NH_4OAc) ยี่ห้อ Loba Chemie (AR)
3. กรดไฮโดรคลอริก 35% (Hydrochloric acid, HCl) ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)
4. แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride, NH_4Cl) ยี่ห้อ Loba Chemie (AR)
5. แอมโมเนียมออกซาเลต (Ammonium oxalate, $(NH_4)_2C_2O_4H_4O$) เกรดวิเคราะห์
6. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide, NH_4OH) ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)
7. เอทานอล (Ethanol, C_2H_6O) 95 % ยี่ห้อ Carlo Erba (AR) เกรดห้องปฏิบัติการ
8. กรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3) ยี่ห้อ Loba Chemie (AR)
9. โบรโมกรีซอลรีน ยี่ห้อ APS Fine Chemie เกรดห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เมธิลเรด ยี่ห้อ Fisher scientific (GR)

11. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)

12. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium hydrogen phthalate, KHP) ยี่ห้อ Loba Chemie (AR)

13.โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl) ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)

14. Buffer pH10

15. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)

16. ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate, $AgNO_3$) ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)

17. โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride, KCl) ยี่ห้อ Alexfinechem (AR)

18. กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid, H_3PO_4) 85% ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)

19. แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride, $CaCl_2$) ยี่ห้อ Carlo Erba (AR)

20. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 1000 ppm

21. สารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 1000 ppm

22. แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate, $CaCO_3$) ยี่ห้อ Loba Chemie (AR)

23. EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid, $C_{10}H_{16}N_2O_8$) ยี่ห้อ Loba Chemie (AR)

24. อินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที (Eriochrome black t Indicator)

25. โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride, KCl) ยี่ห้อ Alexfinechem (AR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การสุ่มตัวอย่างเรซิน

นำตัวอย่างเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้วในสภาพที่แห้งทุกถุงมาในปริมาณที่เท่ากัน กองเรซินแห้งบนกระดาษหนังสือพิมพ์แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน

3.2.2 ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของเรซิน

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์สมบัติของเรซิน

พารามิเตอร์	NR	SR	RR	เครื่องมือ/วิธีการ
ค่า pH	-	✓	✓	เครื่องวัดพีเอช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)
ค่าการนำไฟฟ้า	-	✓	✓	เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)
การอุ้มน้ำ	-	✓	✓	เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	-	✓	✓	Displacement after washing (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
แคลเซียม (Ca)	-	✓	✓	เครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย SRF

1. ชั่งเรซิน SR โดยน้ำหนักแห้ง 20 กรัม แช่ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เข้มข้น 10% (W/V) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:5) ทำ 3 ซ้ำ

2. วัดค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าเพื่อหาระยะเวลาสัมผัสที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนสมบูรณ์ ถ้าวัดครั้งแรกไม่คงที่ให้วัดค่าวัดทุกๆ 10 นาทีใน 1 ชม. และต่อไปทุกๆ 15 นาทีจนคงที่

3. กรองแบบลดความดันชะล้างเรซินด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 33 มิลลิลิตร จนไม่เหลือแคลเซียม (Ca) และคลอไรด์ (Cl) เก็บสารละลายไว้ทดสอบแคลเซียม (Ca) โดยหยดแอมโมเนียมออกซาเลตทดสอบคลอไรด์ (Cl) โดยหยดซิลเวอร์ไนเตรตแล้วนำไปต้มหากเกิดตะกอนสีขาวขุ่นให้ชะล้างต่อ

4. ส่วนสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) นำไปวิเคราะห์แคลเซียมโดยวิธีการไทเทรตด้วย EDTA

5. ส่วนสารละลายที่ชะล้างเรซินครั้งสุดท้ายนำไปวิเคราะห์โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โดยเครื่อง AAS เพื่อตรวจสอบว่าชะล้างเรซินสะอาด

6. ปุ๋ยเรซินที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าโพแทสเซียม (K) โดยวิธีสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเทตและหาความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)

7. ทราบเวลาที่เหมาะสมที่เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้มีประสิทธิภาพดีที่สุดและทราบความเข้มข้นโพแทสเซียมในปุ๋ยเรซิน

8. เพิ่มปริมาณเรซิน SR โดยน้ำหนักแห้งจาก 20 กรัม เป็น 100 กรัม โดยใช้อัตราส่วนเดิมในการผลิตปุ๋ย SRF เพื่อใช้ทำการทดลองต่อไป

3.2.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย RRF

1. ทำให้เรซินอยู่ในรูป H-Form โดยชั่งเรซิน SR โดยน้ำหนักแห้ง 20 กรัม แช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เข้มข้น 5% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:5) ทำ 3 ซ้ำ

2. วัดค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้า เพื่อหาระยะเวลาสัมผัสที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนสมบูรณ์ ถ้าวัดครั้งแรกไม่คงที่ให้วัดค่าวัดทุกๆ 10 นาทีใน 1 ชม. และต่อไปทุกๆ 15 นาทีจนคงที่

3. กรองแบบลดความดันเก็บส่วนสารละลายเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยน้ำทดสอบประสิทธิภาพโดยนำไปวิเคราะห์ ค่าฟอสฟอรัส (P)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กรองชะล้างเรซินด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 33 มิลลิลิตร จนไม่เหลือแคลเซียม (Ca) เก็บสารละลายไว้ทดสอบแคลเซียม (Ca) โดยหยดแอมโมเนียมออกซาเลตแล้วนำไปต้ม หากเกิดตะกอนสีขาวขุ่นให้ชะล้างต่อ

5. ส่วนสารละลายกรดฟอสฟอริกนำไปวิเคราะห์แคลเซียมโดยวิธีการไทเทรตด้วย EDTA

6. แช่เรซินในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เข้มข้น 10% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

7. กรองชะล้างเรซินด้วยน้ำกลั่น ครั้งละ 33 มิลลิลิตรจนไม่เหลือคลอไรด์ (Cl) ทดสอบโดยหยดซิลเวอร์ไนเตรตแล้วนำไปต้มหากเกิดตะกอนสีขาวขุ่นให้ชะล้างต่อ

8. ส่วนสะลายที่ชะล้างเรซินครั้งสุดท้ายนำไปวิเคราะห์โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โดยเครื่อง AAS เพื่อตรวจสอบว่าชะล้างเรซินสะอาด

9. ปุ๋ยเรซินที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าโพแทสเซียม (K) โดยวิธีสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเทตและหาความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)

10. ทราบเวลาที่เหมาะสมที่เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้มีประสิทธิภาพดีที่สุดและทราบความเข้มข้นโพแทสเซียมในปุ๋ยเรซิน

11. เพิ่มปริมาณเรซิน SR โดยน้ำหนักแห้งจาก 20 กรัม เป็น 100 กรัม โดยใช้อัตราส่วนเดิมในการผลิตปุ๋ย RRF เพื่อใช้ทำการทดลองต่อไป

3.2.5 ศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ย

3.2.5.1 ศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ย SRF และ RRF โดยแช่ในสารละลาย CaCl2 0.01 โมลาร์

1. ชั่งปุ๋ยเรซิน 5 กรัม ใส่บีกเกอร์
2. เติมสารละลาย $CaCl_2$ 0.01 โมลาร์ 25 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้ 1 คืน
3. กรองเก็บสารละลายเพื่อวิเคราะห์หาค่าโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยออกมาโดยเครื่อง AAS
4. ทำเหมือนข้อ 2. โดยใช้ปุ๋ยเรซินในบีกเกอร์เดิม ทำจนครบทั้ง 7 วัน
5. ทราบการปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ยละลายช้าในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5.2 ศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ย SRF และ RRF โดยแช่ในน้ำกลั่น

1. ชั่งปุ๋ยเรซิน 5 กรัม ใส่บีกเกอร์
2. เติมสารน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร แช่ทิ้งไว้ 1 คืน
3. กรองเก็บสารละลายเพื่อวิเคราะห์หาค่าโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยออกมาโดยเครื่อง AAS
4. ทำเหมือนข้อ 2. โดยใช้ปุ๋ยเรซินในบีกเกอร์เดิม ทำจนครบทั้ง 7 วัน
5. ทราบการปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ยละลายช้าในแต่ละวัน

3.2.6 การทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยละลายช้าโดยศึกษาดัชนีการงอก

3.2.6.1 การเตรียมน้ำสกัดจากปุ๋ยละลายช้าอัตราส่วน 1:10

1. ชั่งปุ๋ยละลายช้า SRF และปุ๋ยละลายช้า RRF 10 กรัม ใส่ขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร
3. นำเข้าปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 110 rpm เป็นเวลา 15 ชั่วโมง
4. กรองแบบลดความดันเก็บส่วนสารละลายไว้ใช้เป็นน้ำสกัด

3.2.6.2 การเตรียมน้ำสกัดจากปุ๋ยละลายช้าอัตราส่วน 1:100

1. ชั่งปุ๋ยละลายช้า SRF และปุ๋ยละลายช้า RRF 1 กรัม ใส่ขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร
3. นำเข้าปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 110 rpm เป็นเวลา 15 ชั่วโมง
4. กรองแบบลดความดันเก็บส่วนสารละลายไว้ใช้เป็นน้ำสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6.3 การทดสอบการงอกของเมล็ดถั่วเขียว

1. คัดเลือกเมล็ดถั่วเขียวให้มีลักษณะใกล้เคียงกัน

2. ชุดการทดลองควบคุม เพาะเมล็ดถั่วเขียว 10 เมล็ด ใส่ในขวด เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 4 ตัวอย่าง

3. ชุดการทดลองปุ๋ย SRF เพาะเมล็ดถั่วเขียว 10 เมล็ด ใส่ในขวด เติมน้ำสกัดปุ๋ย SRF อัตราส่วน 1:10 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 4 ตัวอย่าง

4. ชุดการทดลองปุ๋ย SRF เพาะเมล็ดถั่วเขียว 10 เมล็ด ใส่ในขวด เติมน้ำสกัดปุ๋ย SRF อัตราส่วน 1:100 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 4 ตัวอย่าง

5. ชุดการทดลองปุ๋ย RRF เพาะเมล็ดถั่วเขียว 10 เมล็ด ใส่ในขวด เติมน้ำสกัดปุ๋ย RRF อัตราส่วน 1:10 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 4 ตัวอย่าง

6. ชุดการทดลองปุ๋ย RRF เพาะเมล็ดถั่วเขียว 10 เมล็ด ใส่ในขวด เติมน้ำสกัดปุ๋ย RRF อัตราส่วน 1:100 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 4 ตัวอย่าง

7. บันทึกการเจริญเติบโตโดยวัดความยาวรากเมื่อครบกำหนด 150 ชั่วโมง

3.2.7 การประกันคุณภาพและการวิเคราะห์ทางสถิติ

1.การประกันคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ได้รับการตรวจสอบว่ามีค่าเที่ยงตรงเหมาะแก่การใช้งาน

2.วิธีการทดลองมีมาตรฐาน ซึ่งอ้างอิงจากกรมพัฒนาที่ดิน

3.กราฟมาตรฐานมีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดี (R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1)

4.ใช้วิธีการในทางสถิติแบบ One-Way ANOVA ในการตรวจสอบค่านัยสำคัญ (ระดับนัยสำคัญ 0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 พารามิเตอร์เบื้องต้นของเรซิน

เรซินที่นำมาใช้งานในวิจัยครั้งนี้มี 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 เป็นเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว (SR) ที่อยู่ในรูป Ca form จากกระบวนการผลิตน้ำสะอาด และประเภทที่ 2 เป็นการฟื้นฟูเรซินจากการนำ เรซินประเภทที่ 1 (SR) มาทำการฟื้นฟู (Regeneration) โดยการใช้กรดฟอสฟอริก 5 % เป็นสารฟื้นฟู (Regenerant) แช่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ Hydrogen form และนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป ลักษณะทางกายภาพของเรซินทั้ง 2 ประเภทเป็นเม็ดกลมขนาดเล็ก สีน้ำตาลอ่อน และไม่มีกลิ่น

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้นของเรซิน

พารามิเตอร์	SR	RR	NR*
พีเอช	7.42 (±0.02)	6.21 (±0.03)	0-14
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	68.10 (±0.45)	32.9 (±1.57)	-
% การอุ้มน้ำ	33.48 (±2.49)	34.14 (±1.47)	50 – 58
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (meq/g)	1.02 (±0.23)	1.53 (±0.03)	2.38
ค่าแคลเซียม (mg as Ca/g)	4,742.22 (±144.90)	37.03 (±6.78)	-

หมายเหตุ $\overline{X}$ (±SD), n = 3

* ข้อมูล จากบริษัท พี อี แอนด์ พี เทค จำกัด

จากตารางที่ 4.1 ค่าพีเอชของ SR มีค่าความเป็นเบสเล็กน้อย แต่ค่าพีเอชของ RR มีค่าเป็นกรดเล็กน้อยเนื่องจากการรีเจนเนอร์เรตเรซินด้วยกรดฟอสฟอริก 5% ค่าการนำไฟฟ้าของ SR มีค่ามากกว่า RR แสดงว่า SR มีสารประกอบอนินทรีย์ที่มีสามารถละลายน้ำได้ ค่าการอุ้มน้ำของเรซินทั้ง 2 ประเภทมีค่าไม่ต่างกันมาก ดังนั้นค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำของเรซินจะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก (Cation exchange capacity, CEC) จะเห็นว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RR มีค่ามากกว่า SR เนื่องจาก RR มีการแลกเปลี่ยนประจุได้ดีจากการรีเจนเนอร์เรตเรซินให้อยู่ในรูปของ H^+ form ซึ่ง H^+ ใน RR สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนได้ดีกว่า Ca^{2+} ใน Ca form ของ SR ค่าแคลเซียมจะเห็นว่าปริมาณแคลเซียมใน SR มีค่ามากกว่า เพราะเป็นเรซินที่อยู่ในรูป Ca form จากกระบวนการผลิตน้ำสะอาด ส่วน RR จะมีปริมาณแคลเซียมน้อยจากการรีเจนเนอร์เรตให้อยู่ในรูปของ H^+ form เรียบร้อยแล้ว ซึ่งเป็นผลทำให้ค่าโพแทสเซียมในเรซินทั้ง 2 ประเภทมีค่าน้อย

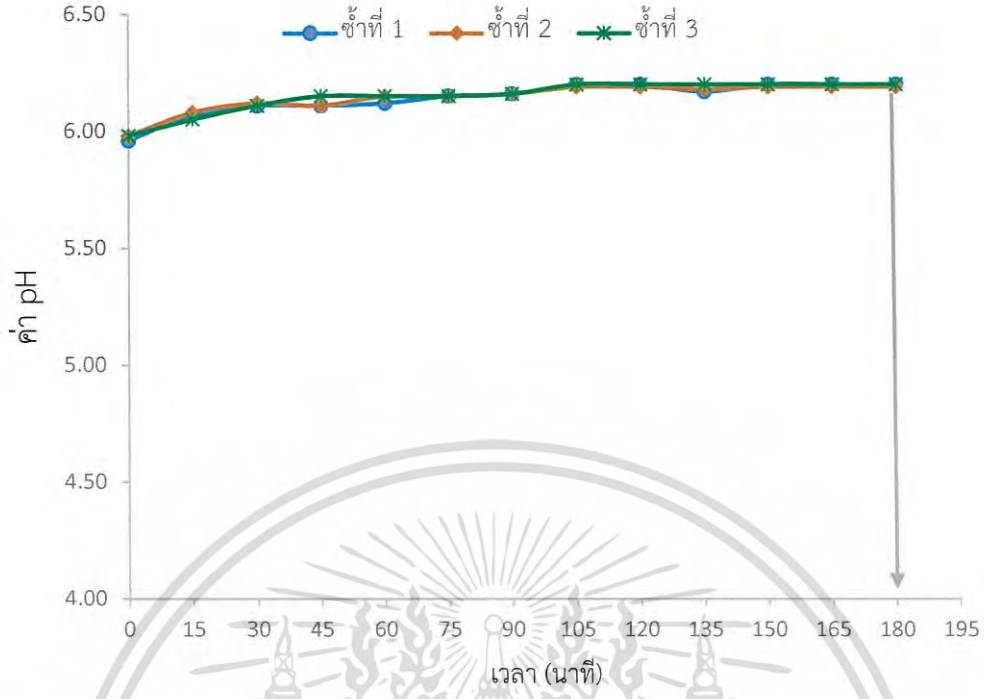
4.2 การหาเวลาที่เหมาะสม (Contact time)

ในการหาเวลาที่เหมาะสมในแช่การแช่เรซินเพื่อให้เกิดสภาวะสมดุลของการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างไอออนที่มีอยู่ในเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้ว ซึ่งในเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้วจะอยู่ในรูปของ Ca^{2+} ที่มาจากความกระด้างของน้ำ และส่วนของสารละลายที่นำมาใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน โดยเรซินที่นำมาใช้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ใช้ในการผลิตปุ๋ย SRF โดยการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ และส่วนที่ทำการรีเจนเนอร์เรตให้เป็นรูป Hydrogen form โดยการแช่ในกรดฟอสฟอริก 5 % เพื่อใช้ในการผลิตปุ๋ย RRF ที่อัตราส่วนสารละลายต่อเรซิน เป็น 1 : 5 เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนได้อย่างมากพอ จนได้ระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนไอออนที่เหมาะสม

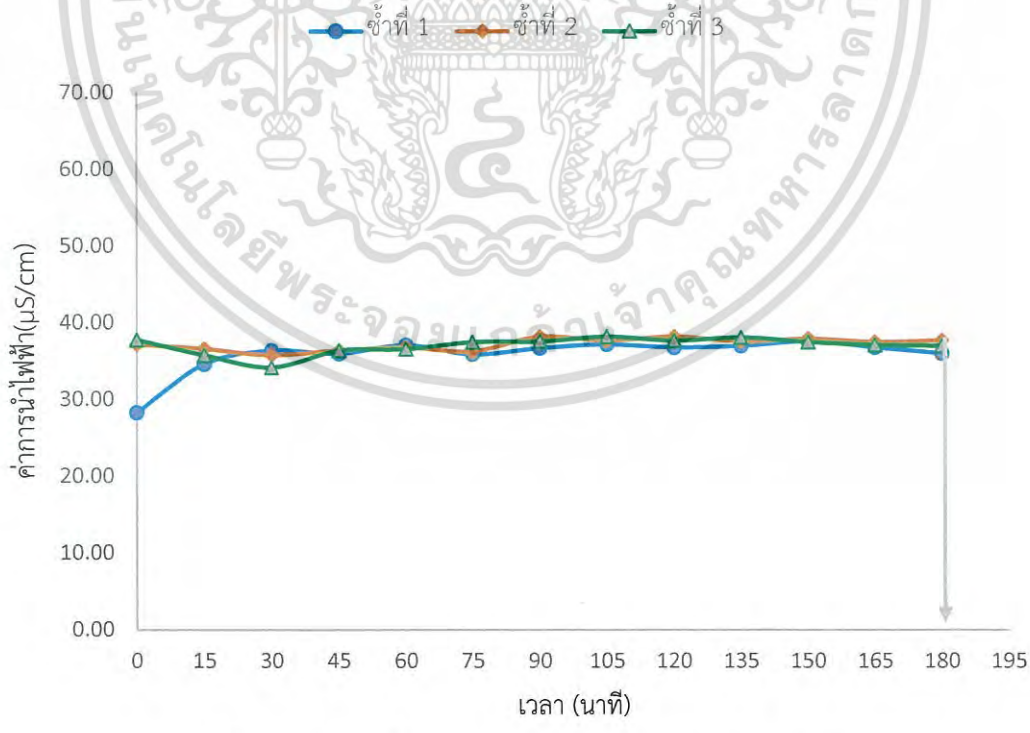
4.2.1 เวลาที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย SRF

การศึกษาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เรซินในสารละลายโพแทสเซียมจนถึงสภาวะสมดุล ซึ่งทำการทดลองโดยการใช้ SR ทำการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมที่ความเข้มข้น 10 % (W/V) เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนได้มากเกินพอ เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว และทำการตรวจสอบโดยการแปรค่าเวลาในการวัดค่า pH และค่า Conductivity ทุกๆ 15 นาที จนได้ระยะเวลาที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ค่า pH ที่แสดงตามช่วงเวลาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสม



รูปที่ 4.2 ค่าการนำไฟฟ้าตามช่วงเวลาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสม

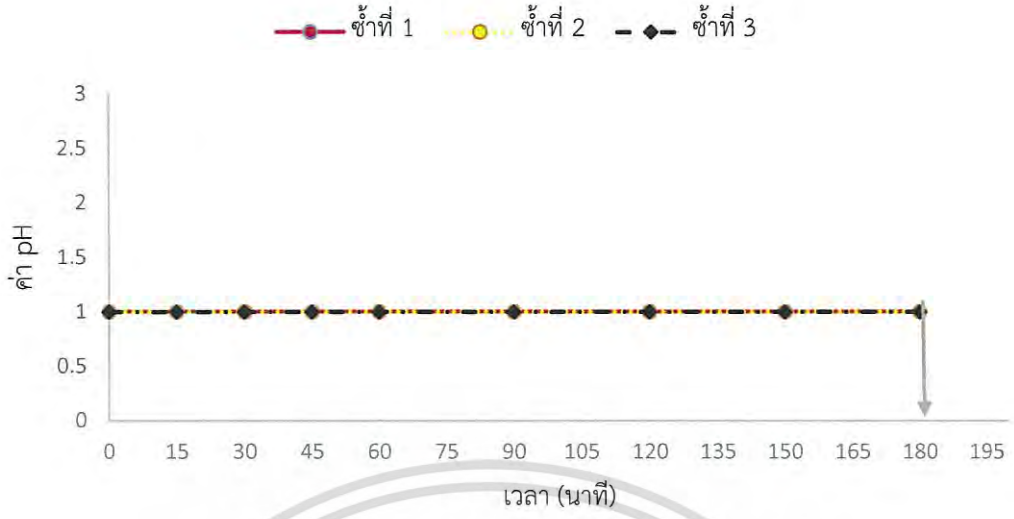
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่า เส้นกราฟของการทดลองทั้ง 3 ซ้ำ พบว่าในช่วงแรกของการแช่เรซิน ค่า pH ที่ได้จะมีค่าเป็นกรดเล็กน้อย และแนวโน้มของค่า pH จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการแช่ที่มากขึ้น จนกระทั่งถึงจุดที่เส้นกราฟค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 105 นาทีเป็นต้นไป แสดงให้เห็นว่าเรซินมีการแลกเปลี่ยนไอออนตั้งแต่ช่วงเวลาเริ่มต้นของการแช่ และแลกเปลี่ยนไอออนจนถึงจุดคงที่ที่ช่วงเวลา 105 นาทีเป็นต้นไป และจากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่ากราฟในช่วงแรกค่าค่อนข้างไม่แน่นอน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายังเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินและลายละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ และกราฟค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 105 นาทีเป็นต้นไป เพราะการแลกเปลี่ยนไอออนค่อนข้างคงที่และสมบรูณ์แล้ว ดังนั้น เพื่อการแลกเปลี่ยนที่สมบูรณ์ จึงใช้เวลาในการทำการทดลอง และเวลาที่เหมาะสมของการแลกเปลี่ยนไอออนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อทำการแลกเปลี่ยนไอออนจนสมบูรณ์และนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

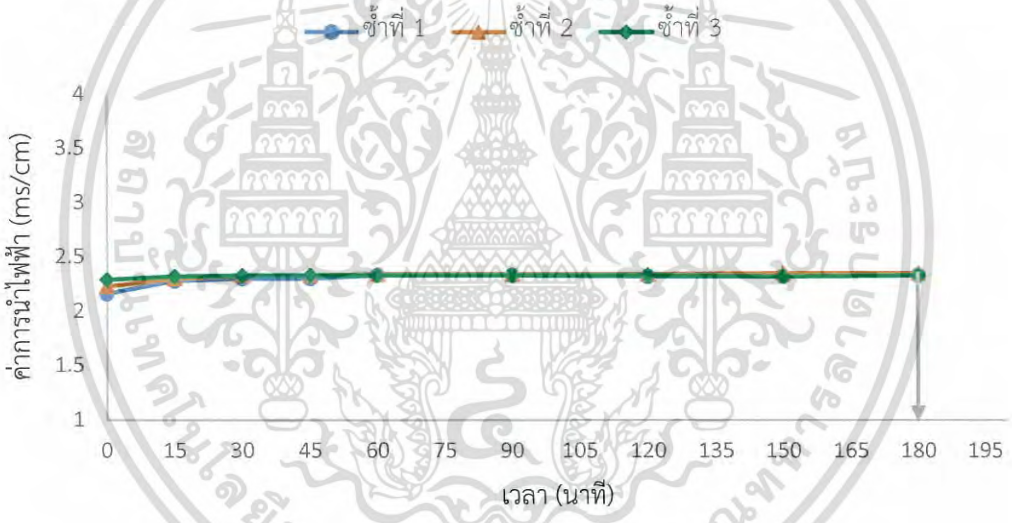
4.2.2 เวลาที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย RRF

การศึกษาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เรซินในสารละลายกรดฟอสฟอริก จนถึงสภาวะสมดุล ซึ่งทำการทดลองโดยการใช้ SR ทำการแช่ในสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น 5 % เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนได้มากเกินพอ ไม่ทำให้เรซินแปรสภาพหรือเกิดการเสียหาย และทำการตรวจสอบโดยการแปรค่าเวลาในการวัดค่า pH และค่า Conductivity ทุกๆ 15 นาที จนได้ระยะเวลาที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ค่า pH ที่แสดงตามช่วงเวลาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการรีเจนเนอร์เรต



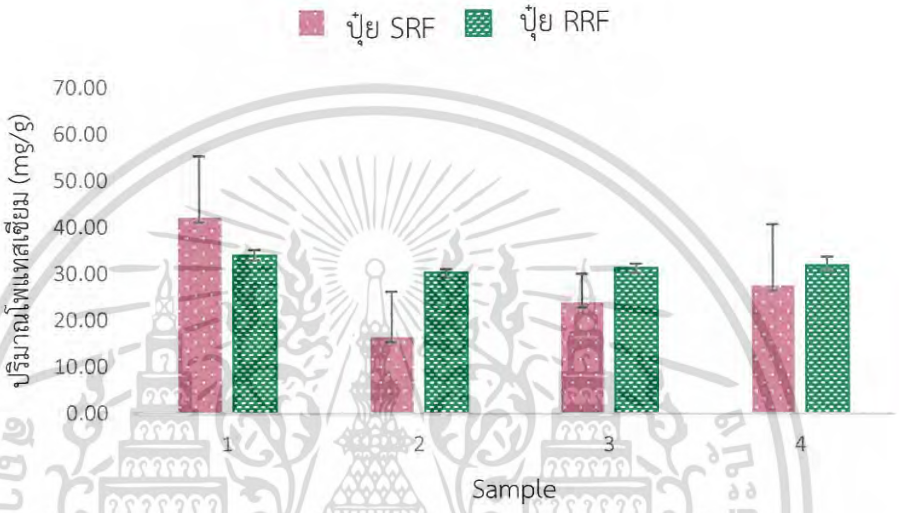
รูปที่ 4.4 ค่าการนำไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่เหมาะสมในการรีเจนเนอร์เรต

จากรูปที่ 4.3 จากกราฟจะเห็นว่าเส้นกราฟของทุกตัวอย่าง เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนที่คล้ายกันและมีค่าคงที่ตั้งแต่เวลาที่เริ่มแช่ แสดงให้เห็นว่าเรซินเกิดการแลกเปลี่ยนได้ทันทีตั้งแต่การเริ่มแช่ และเมื่อดูจากค่าการนำไฟฟ้า ในรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเส้นกราฟของทุกตัวอย่าง มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยเส้นกราฟในช่วงแรกจะมีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำ และค่ายังไม่คงที่ทำให้ทราบว่าเรซินยังมีการแลกเปลี่ยนไอออนอยู่ การแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงเวลา 60 นาที เส้นกราฟค่อนข้างคงที่ การแลกเปลี่ยนไอออนค่อนข้างเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ จึงใช้เวลาในการรีเจนเนอร์เรตเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนอย่างสมบูรณ์และเหมาะสมในการนำเรซินไปใช้ในการดูดซับโพแทสเซียมคลอไรด์ เพื่อเป็นการผลิตปุ๋ย RRF ในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ย

ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยที่เรซินแลกเปลี่ยนประจุไว้ จะนำไปไล่ที่ด้วยแอมโมเนียมอะซิเตท ทำการเปรียบเทียบอัตราการดูดซับโพแทสเซียมของ SR และ RR ซึ่งทำการทดลองโดยการใช้ SR และ RR ที่ทำการดูดซับโพแทสเซียมคลอไรด์ 10 % ตามระยะเวลาในการสัมผัสที่เหมาะสม มาวัดค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยคิดเป็นอัตราส่วนโพแทสเซียมต่อปุ๋ย 1 กรัม



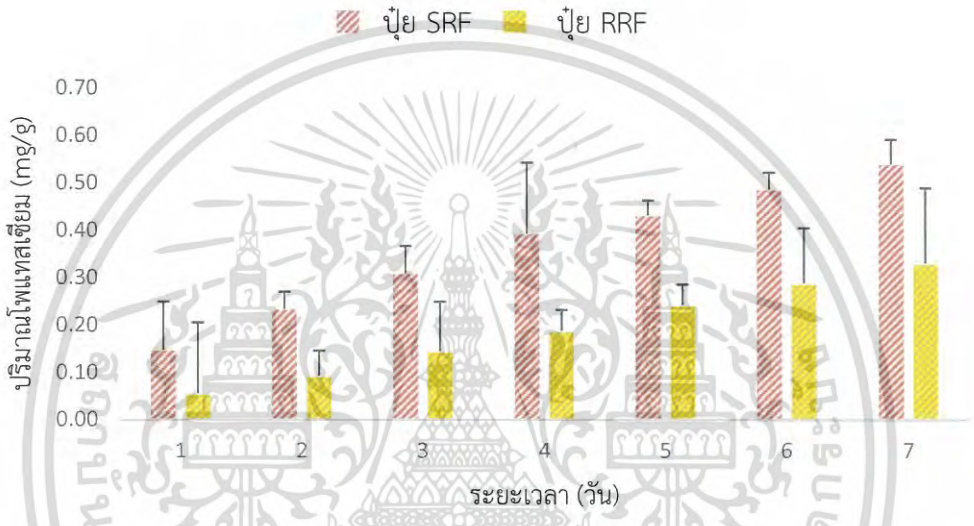
รูปที่ 4.5 ปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกดูดซับในปุ๋ย

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว (SR) มีค่า 1.02 (±0.23) meq/g จากรูป 4.5 ค่าโพแทสเซียมเฉลี่ยที่คิดเป็นน้ำหนักปุ๋ยแห้ง SRF 1g จะมีค่าโพแทสเซียม 27.50 mg/g เมื่อเทียบค่ากับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ 69.13 % ส่วนค่าโพแทสเซียมเฉลี่ยที่คิดเป็นน้ำหนักปุ๋ยแห้ง RRF 1g จะมีค่าโพแทสเซียม 35.25 mg/g เมื่อนำไปเทียบกับ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของเรซินที่ผ่านการรีเจนเนอร์เรตแล้ว (RR) ที่มีค่า 1.53 (±0.03) จะได้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ 59.07 % แสดงให้เห็นว่าปุ๋ย SRF ที่ผ่านการรีเจนเนอร์เรตแล้วมีค่าความสามารถในการดูดซับโพแทสเซียมได้ดีกว่าปุ๋ย RRF ดังการคำนวณตามภาคผนวก ค-5

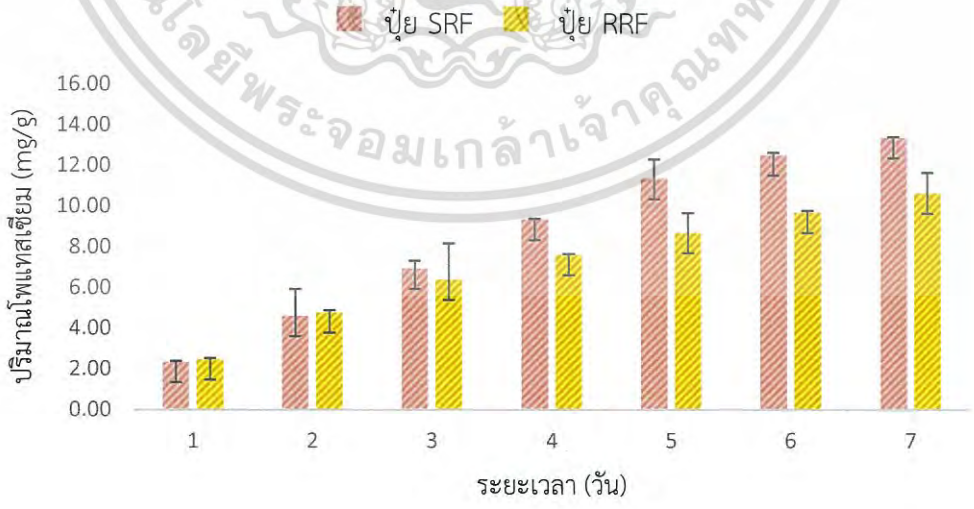
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม

อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม จะดูอัตราการปลดปล่อยปริมาณโพแทสเซียมในแต่ละวัน และอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมสะสมในปุ๋ยทั้ง 2 แบบ ซึ่งจะทำการทดลองโดยการแช่ปุ๋ยทั้ง 2 แบบ ในน้ำที่มีค่า pH ใกล้เคียงกับดิน และใน $CaCl_2$ 0.01 โมลาร์ ที่เปรียบเสมือนเป็น Soil Solution (หนังสือปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อมดินและอากาศ, 2558) แล้วนำมาวัดค่าอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ยทั้ง 2 แบบ ในแต่ละวัน จนครบ 7 วัน



รูปที่ 4.6 อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมสะสมในน้ำ



รูปที่ 4.7 อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมสะสมใน $CaCl_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 จะเห็นว่าอัตราการปลดปล่อยปุ๋ย SRF จะมีอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมในที่มากกว่าปุ๋ย RRF ทั้งในน้ำและใน $CaCl_2$ ส่วนอัตราการปลดปล่อยปุ๋ยในแต่ละวันของปุ๋ยทั้ง 2 แบบ จะมีปริมาณที่ค่อนข้างสม่ำเสมอในทุกๆวัน

4.5 ปริมาณฟอสฟอรัส

การหาปริมาณฟอสฟอรัสเป็นการตรวจสอบปุ๋ยน้ำจากขั้นตอนการรีเจนเนอร์เรตเรซินด้วยกรดฟอสฟอริก 5 % ซึ่งอยู่ในรูปของ แคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$) เพื่อการหาปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

รูปที่ 4.8 ปริมาณฟอสเฟตในสารละลายจากการรีเจนเนอร์เรต

จากการผลิตปุ๋ย RRF จะมีการใช้กรดฟอสฟอริก 5 % ในการรีเจนเนอร์เรตซึ่ง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในการปรับ pH ของน้ำที่ใช้รดต้นไม้ให้อยู่ในช่วงที่พืชสามารถดูดสารอาหารไปใช้ได้ดี ซึ่งอยู่ในช่วง 5.8 – 6.2 และนอกจากนี้ การใช้กรดฟอสฟอริกยังสามารถแตกตัวทำให้ได้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจากนำไปปรับ pH ซึ่งจากรูป 4.8 จะเป็นปริมาณฟอสฟอรัสที่มีในปุ๋ยน้ำ ซึ่งมีปริมาณฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 3.61 mg/l แล้วนำไปคำนวณหาค่า Q (ดังภาคผนวก ค-6) ได้ $3.51*10^{-8}$ และเมื่อเทียบกับค่า Ksp ($Ca_3(PO_4)_2$) = $2.07*10^{-33}$ จะพบว่าค่า Ksp น้อยกว่าค่า Q กรดฟอสฟอริกจึงสามารถเกิดการตกตะกอนเป็นแคลเซียมฟอสเฟตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การศึกษาการงอกของเมล็ดถั่วเขียว

การหาดัชนีการงอกของเมล็ดถั่วเขียว เป็นการอาศัยหลักการที่ว่า เมล็ดพันธุ์ใดมีความแข็งแรงย่อมมีการงอกได้เร็วว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ (ปวิณ และคณะ, 2553) โดยทำการทดลองนำเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวมาเพาะในน้ำสกัดที่มีการกำหนดอัตราส่วนจนได้น้ำสกัดทั้ง 4 สูตรมาใช้ในการทดสอบและมีการควบคุมปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมให้เหมือนกัน ทำการเปรียบเทียบอัตราการงอกเพื่อหาดัชนีการงอกของเมล็ด และเพื่อตรวจสอบว่าปุ๋ยทั้ง 2 แบบ ไม่มีสารที่เป็นอันตราย และไม่รบกวนการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์

ตารางที่ 4.6 การงอกของเมล็ดถั่วเขียวจากการเพาะในน้ำสกัด

น้ำสกัด	จำนวนเมล็ดที่งอก	ความยาวรากเฉลี่ย (ซม.)	การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (%)	ความยาวรากสัมพัทธ์ (%)	ดัชนีการงอกของเมล็ด (%)
A : ชุดควบคุม	40	7.46 (±3.70)	-	-	-
B : ปุ๋ย SRF 1:10	39	8.97 (±4.04)	97.50	120.16	117.15
C : ปุ๋ย SRF 1:100	40	11.16 (±5.13)	100.00	149.48	149.48
D : ปุ๋ย RRF 1:10	39	10.73 (±4.82)	97.50	143.74	140.15
E : ปุ๋ย RRF 1:100	39	9.18 (±0.71)	97.50	123.02	119.95

หมายเหตุ $\overline{X}$ (±SD), n = 4

จากการศึกษาการงอกของเมล็ดถั่วเขียวด้วยน้ำยาสกัดจากปุ๋ยทั้ง 2 แบบ ที่แบ่งเป็น 2 อัตราส่วน จำนวน 40 เมล็ด พบว่าจำนวนเมล็ดถั่วเขียวที่งอกจากน้ำสกัดทั้ง 4 สูตร มีจำนวนที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่า เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้วเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีความใกล้เคียงกัน และมีความแข็งแรงเหมาะสมในการทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด และในน้ำสกัดทั้ง 4 สูตร ไม่มีสารประกอบที่มีส่วนของตัวยับยั้งการงอกของเมล็ด ความยาวรากของเมล็ดในน้ำสกัดทั้ง 4 สูตร มีความยาวมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวรากในชุดควบคุม โดยความยาวรากสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ C > D > E > B > A (ชุดควบคุม) คือ 11.16 (±5.13) > 10.73 (±4.82) > 9.18 (±0.71) > 8.97 (±4.04) > 7.46 (±3.70) ตามตารางที่ 4.6

จากการหาดัชนีการงอกของเมล็ดพบว่าในน้ำสกัดทุกสูตรมี เปอร์เซ็นต์ดัชนีการงอกมากกว่า 80 % แสดงว่าในน้ำสกัดทุกสูตรไม่มีสารประกอบที่เป็นตัวยับยั้งการงอกของเมล็ด และในน้ำสกัดจากปุ๋ย SRF ในอัตราส่วน 1 : 100 ได้ค่าความยาวรากและค่าดัชนีการงอกมากสุด เนื่องมาจากในน้ำสกัดสูตรนี้มีความสามารถช่วยในการเจริญเติบโตของถั่ว และมีอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะไม่ทำการรบกวนการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเพาะปลูกพืชกับอื่นๆได้ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีที่สุด

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One Way - ANOVA) ได้ค่า P – Value 0.008 ซึ่งน้อยกว่า ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าน้ำสกัดอย่างน้อย 2 สูตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จึงทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบเทอร์กี้ พบว่า น้ำสกัดสูตร C แตกต่างจากน้ำสกัดสูตร B และ E อย่างมีนัยสำคัญ ตามภาคผนวก จ

น้ำสกัด A ชุดควบคุม

น้ำสกัด B จากปุ๋ย SRF อัตราส่วน 1 : 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำสกัด C จากปุ๋ย SRF อัตราส่วน 1 : 100

น้ำสกัด D จากปุ๋ย RRF อัตราส่วน 1 : 10

น้ำสกัด E จากปุ๋ย RRF อัตราส่วน 1 : 100

รูปที่ 4.9 การเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วที่ปลูกในน้ำสกัดสูตรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการนำเรซินประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว มาผลิตเป็นปุ๋ยละลายช้า โดยการเปรียบเทียบระหว่างเรซินที่ผ่านการใช้งานแล้ว (SR) ที่นำมาผลิตเป็นปุ๋ยละลายช้าทางตรง กับเรซินที่นำไปรีเจนเนอร์เรต (RR) เพื่อผลิตปุ๋ยละลายช้าแบบ 2 ขั้นตอน ในการหาเวลาที่เหมาะสมในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินทั้ง 2 แบบ จากการดูค่า pH และค่าการนำไฟฟ้า พบว่าเมื่อเวลา 180 นาที กราฟค่อนข้างคงที่ มีค่าการแลกเปลี่ยนไอออนที่ค่อนข้างสมดุล

นำ SR และ RR มาแลกเปลี่ยนประจุด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ จะได้ปุ๋ย 2 แบบ โดยให้การผลิตปุ๋ยแบบทางตรงเป็นปุ๋ย SRF และการผลิตปุ๋ยแบบ 2 ขั้นตอน เป็นปุ๋ย RRF แล้วนำปุ๋ยทั้ง 2 แบบ ไปทดสอบความสามารถในการดูดซับโพแทสเซียม เมื่อเทียบกับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนในปุ๋ย SRF นำไปเทียบกับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของ SR ที่มีค่า 1.02 (±0.23) meq/g จะได้ความสามารถในการดูดซับโพแทสเซียม 69.13 % ในปุ๋ย RRF เทียบกับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของ RR ที่มีค่า 1.53 (±0.03) meq/g จะได้ความสามารถในการดูดซับโพแทสเซียม 59.07 % และทดสอบอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ยทั้ง 2 แบบ เป็นปุ๋ยละลายช้า เนื่องจากมีอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม ออกมาอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ แต่ในปุ๋ย SRF จะปลดปล่อยโพแทสเซียมในปริมาณที่มากกว่าปุ๋ย RRF เล็กน้อย

จากการนำปุ๋ยทั้ง 2 แบบ มาทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ดัชนีการงอก ด้วยน้ำสกัดจากปุ๋ยทั้ง 4 สูตร พบว่ามีดัชนีการงอกมากกว่า 80% ในน้ำสกัดทุกสูตร และในน้ำสกัดทั้ง 4 สูตร ไม่มีสารยับยั้งการเจริญเติบโต แต่เมื่อเทียบความยาวรากพบว่าในน้ำสกัดสูตร C (ปุ๋ย SRF อัตราส่วน 1:100) มีความยาวรากมากที่สุด มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด ดังนั้นในปุ๋ยทั้ง 2 แบบ เป็นปุ๋ยที่ช่วยในการเจริญเติบโตของพืชได้ และไม่ทำลายการเจริญเติบโตของพืช แต่การใช้ปุ๋ย SRF ในอัตราส่วน 1:100 จะมีประสิทธิภาพในการช่วยเจริญเติบโตมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรนำปุ๋ยที่ผลิตได้ไปทดลองปลูกต้นไม้โดยเฉพาะไม้ดอกเพื่อทดสอบว่าปุ๋ยสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินและพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

5.2.2 ควรใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมตามระยะเวลาที่พืชต้องการ

5.2.3 เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายเรซินได้ควรวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ตกค้างในดินในระยะยาวด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิง

กนกอร ประยูรพันธ. 2549. การประเมินค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของการดูดซับกรดแลคติกด้วยเรซินแบบเบสอ่อน วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมเคมี สาขาวิศวกรรมเคมีบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เกษราพร สุอรุณ และโกวิทย์ ปิยะมังคลา. จลนศาสตร์การดูดซับไอออนเงินโดยเรซินไคโตซาน ว.วิทย์. มข. ปีที่40,ฉบับ 4,2555.หน้า 1285-1300

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมีแก้ไขครั้งที่ 01. กรุงเทพฯ:สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน

กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. คู่มือวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืชปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 1. กรุงเทพฯ:สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์, กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และสุวรรณี จรรยาพูน. 2558. ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อมสำหรับดินอากาศ. กรุงเทพฯ:โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จักรพงศ์ ไชยบุรี. 2548. การศึกษาการเตรียมและการแพร่ของปุ๋ยยูเรียละลายช้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พ.ศ.2548

ชนากานต์ จันบางและคณะ. 2558. การกำจัดไอออนโลหะหนักจากของเสียห้องปฏิบัติการด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกที่ผ่านการใช้งานแล้ว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ณัฐ งามเจตนรมย์. 2545. การพัฒนาปุ๋ยชนิดปลดปล่อยช้าที่เคลือบด้วยโปรตีนจากกากถั่วเหลือง. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ.2545.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธีระวัฒน์ อัจฉฤษ. 2556. การศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดโพแทสเซียมไอออนจากไบโอดีเซลดิบด้วยเรซินและซิลิกาจากเถ้าแกลบ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2556

พรศักดิ์ สมรไกรสร. 2550. พื้นฐานการใช้งานการแลกเปลี่ยนไอออนสำหรับผลิตน้ำทั่วไป. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 สิงหาคม 2560) Available : https://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=584

ธเนศ ภู่จำปาและคณะ. 2553. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากการบำบัดของโรงไฟฟ้าเป็นวัสดุปลูก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปวิณ ภิรมย์. 2553. “ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์พืช” [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 28 สิงหาคม 2560) Available:http://ndbiology.tripod.com/mysite/nd_biology_17.html

พอตา ประสาน. 2547, การกำจัดโลหะออกสารละลายโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนที่ผลิตจาก Hydroxy ethyl cellulosr. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ.2547

มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2551. ไอออนเอ็กซ์เชนจ์โครมาโตกราฟี. [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2560) Available : http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM334/CM334-5.pdf

ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ, หน้า 180 - 196.

รัชดาภรณ์ คุ้มพุ่ม. “เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมในดินด้วยวิธีการทางเคมี” กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานเหมืองแร่ เขต ราชเทวี กรุงเทพฯ,รายงานวิชาการ ฉบับที่ สอพ 2/2551

ศรีนรา แมเร๊าะ. 2554. “ปุ๋ยละลายช้า” [Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2560) Available : https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_20958

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล. อัตราการเกิดปฏิกิริยา.[Online]. (เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 ตุลาคม 2560) Available : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-chemistry2/kinetics/first_order.htm

A.R. Hosseinpur. et al., 2014. Potassium release kinetics and its correlation with pinto bean (Phaseolus vulgaris) plant indices, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahrekord University.

Bowei Li. et al., 2016. Synthesis, characterization and application of ion exchange resin as a slow-release fertilizer for wheat cultivation in space, School of Biological Science and Medical Engineering, Beihang University., Beijing 100191, China, Institute of Environmental Biology and Life Support Technology,Beihang University., Beijing 100191, China, International Joint Research Center of Aerospace Biotechnology&Medical Engineering, Beihang University., Beijing 100191, China.

Fei,w.et al., 2008. Adsorption behavjor and mechanism of cadmjum on Strong - cation exchange resin Trans. Nonferrous Met.Soe.China. 19, 740-744.

Ibrahim. S.C. et al., 2006. Removal of Cadmium from. Aqueous Solutions by Adsorption onto Sugarcane Bagasse. Amerlcan-Euraslan j.Agrie. Environ Scl 1(3), 179-184.

Serpil Edebali and Erol Pehlivan. 2016. Evaluation of chelate and cation exchange resins to remove copper ions, Department of Chemical Engineering, Selcuk University, Campus, 42079 Konya, Turkey.

Serpil Edebali and Erol Pehlivan. 2016. Nitrogen Release from Slow-Release Fertilizers in Soils with different Microbial Activity, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, [Unità di ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura] CREA-CMA, Rome, 00184 (Italy), Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, [Centro di ricerca per lo studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo] CREA-RPS, Rome,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

00184 (Italy),Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS), Tsukuba, 305-8686 (Japan).

Thanh H. Trinh and KuZilati KuShaaria. 2016. Dynamic of Water Absorption in Controlled Release Fertilizer and its Relationship with the Release of Nutrient,Chemical Engineering Department, Universiti Teknologi PETRONAS, Seri Iskandar 32610, Malaysia, Faculty of Chemical Engineering, HCMC University of Technology, HCMC, Vietnam.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

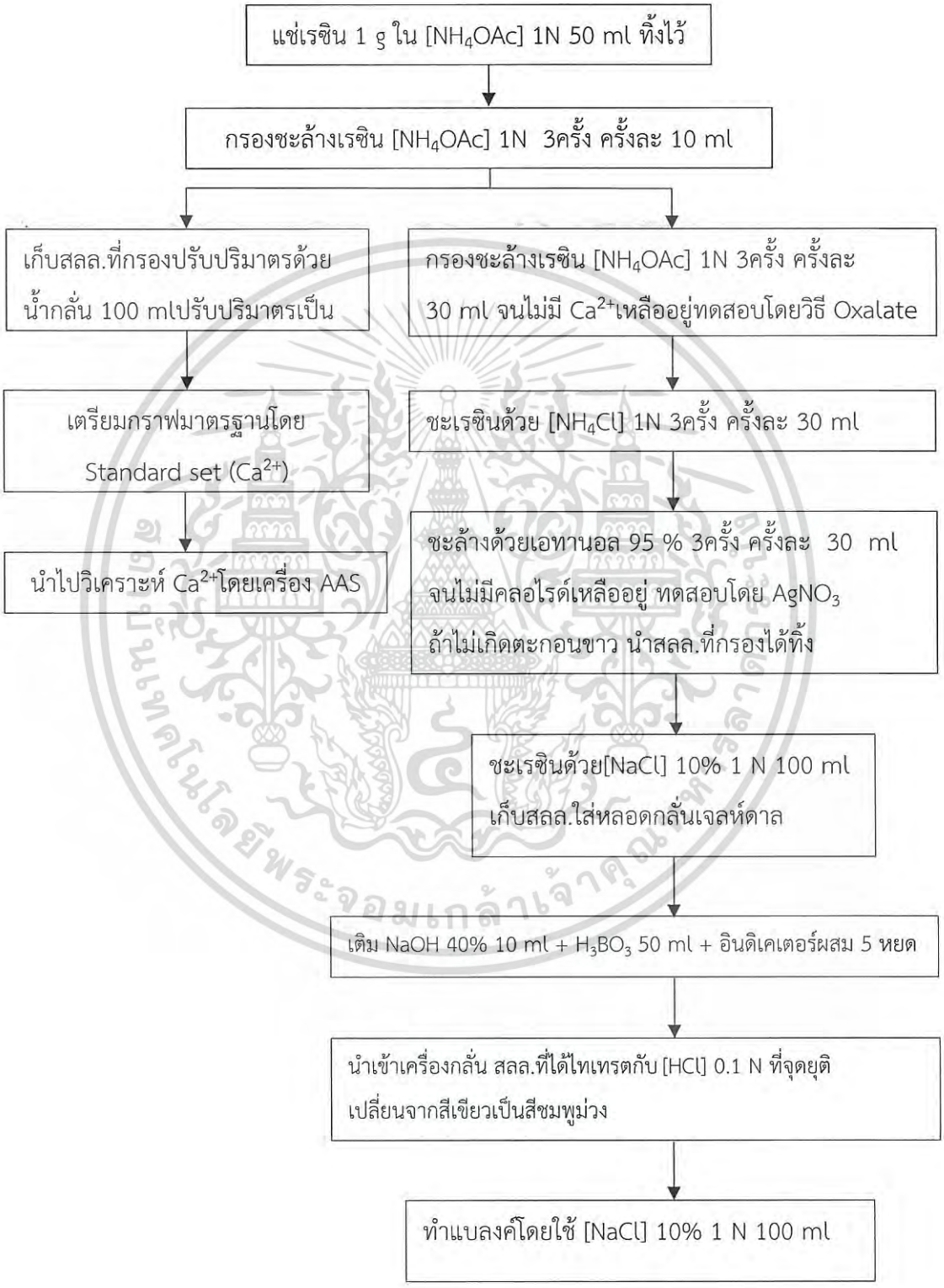
ภาคผนวก ก

การทดลอง

ก-1 การวิเคราะห์โพแทสเซียม; K (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

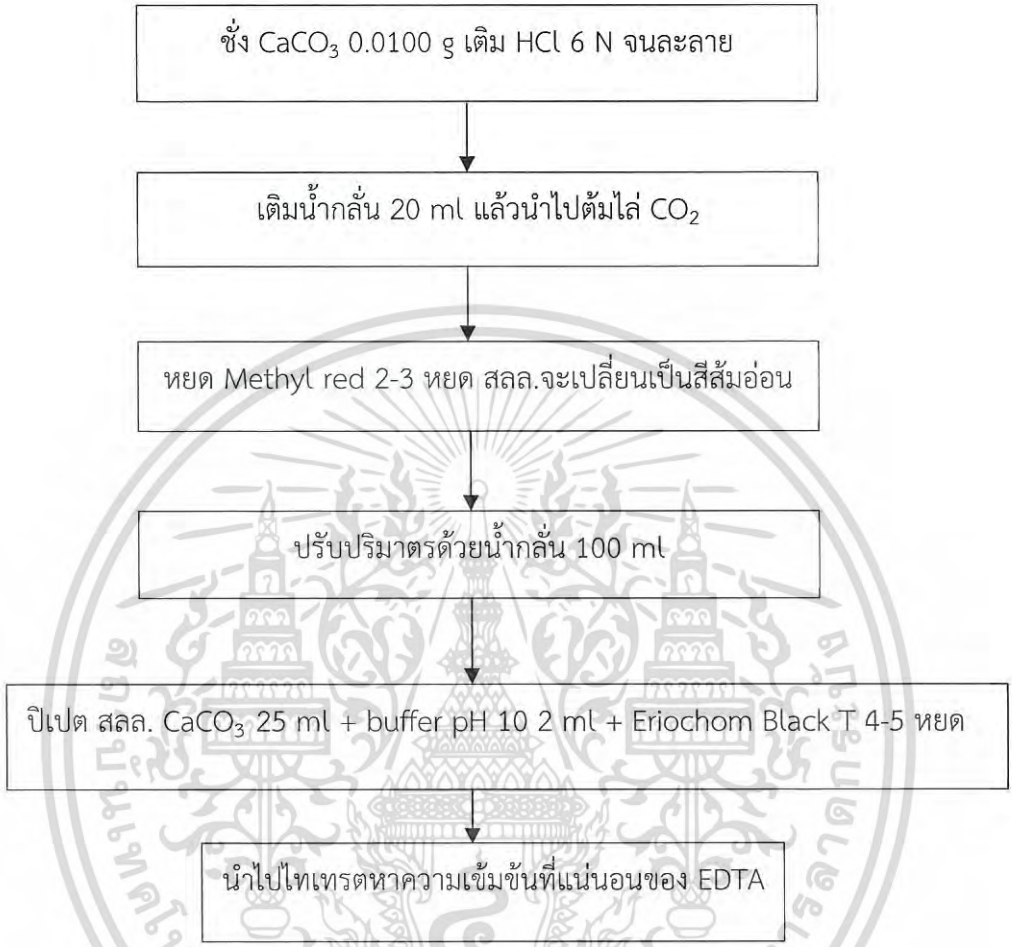
ก-2 การวิเคราะห์ความสามารถการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capasity; CEC) และการวิเคราะห์แคลเซียม; Ca^{2+}



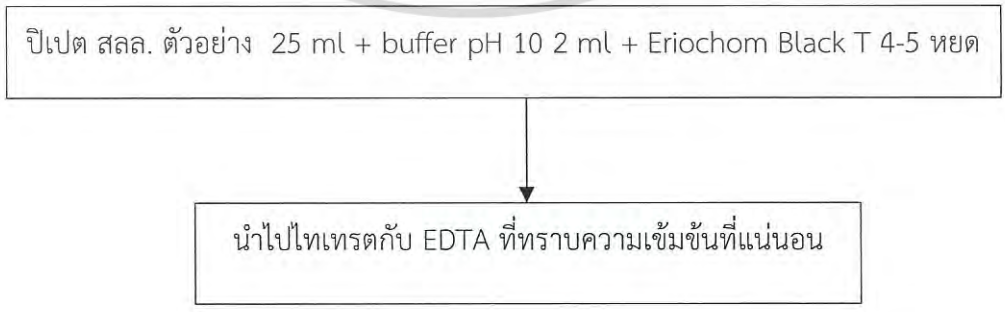
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3 วิเคราะห์หาแคลเซียมโดยวิธีการไทเทรตหาความกระด้าง

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ EDTA



การวิเคราะห์หาแคลเซียมในตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

กราฟมาตรฐาน

ข-1 การเตรียมกราฟมาตรฐานโพแทสเซียม

การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 100 ppm

ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมเข้มข้น 1000 ppm 10 mL

↓

ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 100 mL

การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.7, 2.0 ppm

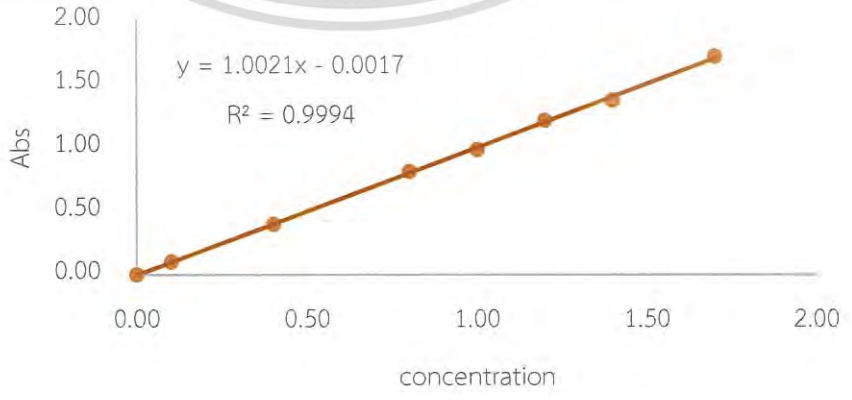
ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมเข้มข้น 100 ppm 10 ml ปรับปริมาตร 100 ml ได้สารสะลายโพแทสเซียมเข้มข้น 10 ppm

↓

เตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.7, 2.0 ppm จากสารสะลายโพแทสเซียมเข้มข้น 10 ppm

↓

ทำกราฟมาตรฐานด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 422 nm



ภาพที่ ข-1 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2 การเตรียมกราฟมาตรฐานแคลเซียม

การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 100 ppm

ปิเปตสารละลายแคลเซียมเข้มข้น. 1000 ppm 10 mL

↓

ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 100 mL

การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 ppm

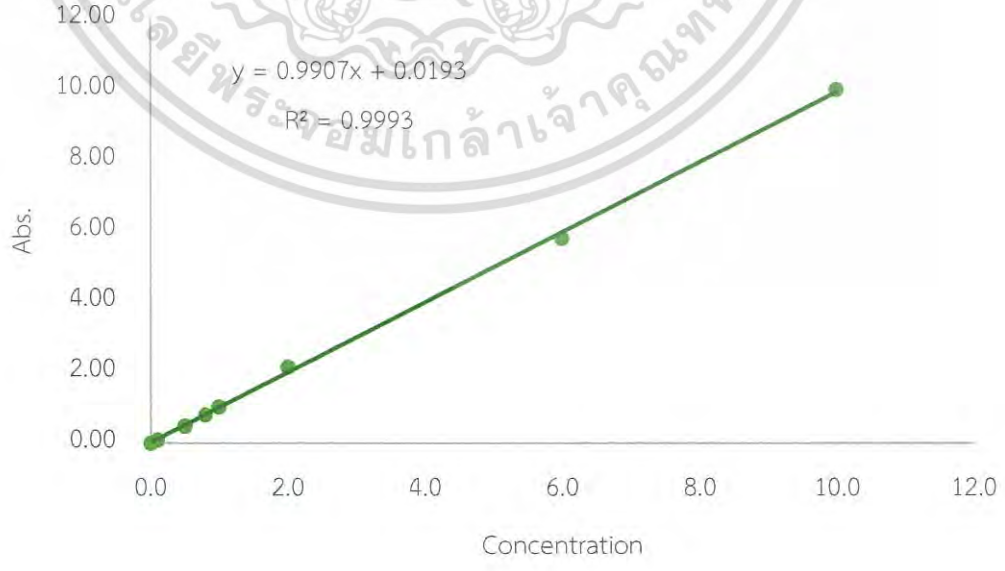
ปิเปตสารละลายแคลเซียมเข้มข้น 100 ppm 10 ml ปรับปริมาตร 100 ml ได้สารละลายแคลเซียมเข้มข้น 10 ppm

↓

เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียมเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 ppm จากสารละลายแคลเซียมเข้มข้น 10 ppm

↓

ทำกราฟมาตรฐานด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 422 nm



ภาพที่ ข-2 กราฟมาตรฐานแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

ค-1 การคำนวณความสามารถการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity ; CEC)

1.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP)

สูตร $$KHP = KHP = \frac{g*1000}{MW*V}$$

g = น้ำหนักของ KHP (g)

MW = มวลโมเลกุลของ KHP (g/mol)

V = ปริมาตรของ KHP ที่เตรียม (ml)

ตัวอย่างการคำนวณ

$$KHP \text{ เข้มข้น} = \frac{5.0250*1000}{204.22*250}$$

$$= 0.0984 \text{ N}$$

1.2 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

สูตร $$C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (N)

V_1 = ปริมาตรของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (ml)

C_2 = ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N)

V_2 = ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ml)

ครั้งที่	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	ปริมาตร KHP (ml)
1	19.50	20.00
2	19.50	20.00
3	19.50	20.00
ค่าเฉลี่ย	19.50	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ $C_{KHP} V_{KHP} = C_{NaOH} V_{NaOH}$

$$= \frac{0.0984*20}{19.50}$$

$$= 0.1009 \text{ N}$$

1.3 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

ครั้งที่	ปริมาตร (HCl) ที่ใช้ (ml)	ปริมาตร NaOH (ml)
1	18.60	20
2	18.70	20
3	19.70	20
ค่าเฉลี่ย	18.73	-

สูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

C_1 = ความเข้มข้นของของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ml)

V_1 = ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N)

C_2 = ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (N)

V_2 = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริก (ml)

ตัวอย่างการคำนวณ

ความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริก $C_{NaOH} V_{NaOH} = C_{HCl} V_{HCl}$

$$= \frac{0.1009*20}{18.67}$$

$$= 0.1082 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 การคำนวณหาค่า CEC (meq/g)

สูตร $$\frac{(A-B)*N}{W}$$

A = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (mL)

B = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ (mL)

N = ความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดไฮโดรคลอริก (N)

w = น้ำหนักเรซิน (g)

ครั้งที่	น้ำหนักเรซินเปียก (g)	น้ำหนักเรซินแห้ง (g)	ปริมาตร (HCl) ที่ใช้ (ml)	RR CEC (meq/g)
แบลงค์	-	-	0.10	-
1	2.0178	1.34	11.81	1.50
2	2.0268	1.35	7.50	1.56
3	2.0142	1.34	9.40	1.54
ค่าเฉลี่ย	-		-	1.53

ตัวอย่างการคำนวณ

CEC (meq/g) = $$\frac{(11.81-0.10)*0.0182}{1.0}$$

= 0.95 (meq/g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-2 การคำนวณปริมาณแคลเซียมโดยวิธีการหาความกระด้าง

2.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายอีดีทีเอ (EDTA)

สูตร $N_1V_1 = N_2V_2$

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (mg/l as Ca)

V_1 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน (mL)

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายอีดีทีเอ (mg/l as Ca)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายอีดีทีเอ (mL)

ตัวอย่างการคำนวณ

ครั้งที่	ปริมาตรที่ปิเปตมา	ปริมาตรไทแทรนต์	ปริมาตรไทแทรนต์	ปริมาตรที่ใช้ (mL)	[EDTA] (mg/L)
		เริ่มต้น	สุดท้าย		
1	25.00	0.00	26.50	26.50	37.73
2	25.00	0.00	27.30	27.30	36.63
3	25.00	0.00	27.40	27.40	36.49
ได้ความเข้มข้น EDTA เฉลี่ย					36.9541

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

$$(\ 40\ mg/l\ as\ Ca\ )(25.00\ ml) = [\ EDTA\ ]\ (\ 26.50\ mg/l\ as\ Ca)$$

$$[EDTA] = 37.73\ mg/l\ as\ Ca$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การหาแคลเซียมในสารละลายด้วยวิธีหาความกระด้าง

สูตร ความกระด้าง $\left(\frac{mg}{l}\ as\ Ca\right) = \frac{[(VEDTA-VBlank)xB]}{V}$

V_{EDTA} = ปริมาตรของ *EDTA* ที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลาย (*ml*)

V_{Blank} = ปริมาตรของ *EDTA* ที่ใช้ในการไทเทรตกับ *Blank* (*ml*)

B = ความเข้มข้นของสารละลาย *EDTA* (*mg/l as Ca*)

V = ปริมาตรตัวอย่างสารละลาย (*ml*)

ตัวอย่างการคำนวณ

ครั้งที่	ปริมาตรที่ปิเปตมา	ปริมาตรไทแทรนต์	ปริมาตรไทแทรนต์	ปริมาตรที่ใช้ (mL)	ความกระด้าง (mg/L as Ca)
		เริ่มต้น	สุดท้าย		
Blank	50.00	20.00	21.50	1.50	
1	50.00	0.00	65.40	65.40	48.33
2	50.00	0.00	60.10	60.10	44.41
3	50.00	0.00	65.30	65.30	48.26
ได้ความกระด้าง เฉลี่ย					47.00

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ความกระด้าง}\left(\frac{mg}{l}\ as\ Ca\right) = \frac{[(VEDTA - VBlank)xB]}{V}$$

$$\text{ความกระด้าง} = \frac{[(65.40-1.50)x37.73]}{50.00}$$

$$= 48.33\ mg/l\ as\ Ca$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-3 การคำนวณหาการอิ่มตัวของเรซิน

$$\text{สูตร} \quad \%\ \text{การอุ้มน้ำ} = \frac{(\text{นน.เรซินเปียก} - \text{นน.เรซินแห้ง})}{\text{นน.เรซินเปียก}} * 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\%\ \text{การอุ้มน้ำ} = \frac{(5.0000-3.3734)}{5} * 100$$

$$= 32.53\ \%$$

ค-4 การคำนวณการงอกของเมล็ดของเมล็ดถั่วงอก

เปอร์เซ็นต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด Percentage of Relative Seed Germination , %RSG)

สูตร % RSG = (จำนวนเมล็ดที่งอกในน้ำสกัด / จำนวนเมล็ดที่งอกในชุดควบคุม) * 100

ตัวอย่างการคำนวณ

% RSG = (39/40) * 100

= 97.5 %

เปอร์เซ็นต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (Percentage of Relative Root Growth, %RRG)

สูตร % RRG = (ความยาวรากเฉลี่ยในน้ำสกัด / ความยาวรากเฉลี่ยในชุดควบคุม) * 100

ตัวอย่างการคำนวณ

% RRG = (10.73 / 7.46) * 100

= 143.83 %

เปอร์เซ็นต์ดัชนีการงอกของเมล็ด (Percentage of The Germination Index, %GI

สูตร % GI = (RSG*RRG)/100

ตัวอย่างการคำนวณ

% GI = (97.5 * 143.83)/100

= 140.23 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-5 การคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับโพแทสเซียม

ปุ๋ย SRF

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่า CEC ของ RF = 1.02 meq/g

ปริมาณโพแทสเซียมใน SR = 27.50 mg/g

แปลง mg/g เป็น meq/g ; meq/g = (mg/g) / MW * Velence

= 27.50 / (39*1)

= 0.70 meq/g

% การดูดซับโพแทสเซียม = [(0.70 meq/g) / (1.02 meq/g)] * 100

= 69.13 %

ปุ๋ย RRF

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่า CEC ของ RF = 1.53 meq/g

ปริมาณโพแทสเซียมใน SR = 35.25 mg/g

แปลง mg/g เป็น meq/g ; meq/g = (mg/g) / MW * Velence

= 35.25 / (39 *1)

= 0.90 meq/g

% การดูดซับโพแทสเซียม = [(0.90 meq/g) / (1.53 meq/g)] * 100

= 59.07 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-6 การคำนวณสมดุลการละลายในปุ๋ยน้ำ $Ca_3(PO_4)_2$

$$Ca_3(PO_4)_2 \rightleftharpoons 3Ca^{2+} + 2(PO)_4^{3-} \quad Ksp = 2.07 \times 10^{-33}$$

จำนวนโมล Ca^{2+} ในสารละลาย

$$Ca^{2+} = 37.04 \frac{ml}{L} * \frac{1\ mol}{40.07\ g} * \frac{1\ g}{1000\ ml}$$

$$= 9.24 * 10^{-4} \text{ mol/L}$$

จำนวนโมล PO_4^{3+} ในสารละลาย

$$PO_4^{3+} = 3.61 \frac{ml}{L} * \frac{1\ mol}{94.97\ g} * \frac{1\ g}{1000\ ml}$$

$$= 3.80 * 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$Q = [Ca^{2+}]^3 [PO_4^{3-}]^2$$

$$= (9.24 * 10^{-4})(3.80 * 10^{-5})$$

$$= 3.51 * 10^{-8}$$

ดังนั้น $Ksp < Q$ = ตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการทดลอง

ตารางที่ ง-1 ค่าพีเอชเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย SRF

เวลา (นาที)	ค่าพีเอชในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD
0	6.38	6.08	6.13	6.20	0.16
15	6.05	6.04	6.16	6.08	0.07
30	6.19	6.21	6.26	6.22	0.04
45	6.16	6.25	6.14	6.18	0.06
60	6.11	6.08	6.09	6.09	0.02
75	6.08	6.15	6.21	6.15	0.07
90	6.18	6.12	6.18	6.16	0.03
105	6.07	6.04	6.17	6.09	0.07
120	6.12	6.35	6.20	6.22	0.12
135	6.26	6.60	6.33	6.40	0.18
150	6.22	6.21	6.26	6.23	0.03
165	6.17	6.33	6.25	6.25	0.08
180	6.10	6.42	6.18	6.23	0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-2 ค่าการนำไฟฟ้าเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย SRF

เวลา (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้า (µs/cm) ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD
0	49.40	65.90	64.40	59.90	9.12
15	63.70	75.50	61.70	66.97	7.46
30	60.10	59.40	58.40	59.30	0.85
45	61.80	41.60	45.10	49.50	10.79
60	48.90	49.10	49.00	49.00	0.10
75	45.50	48.60	43.80	45.97	2.43
90	-	47.60	47.10	47.35	0.35
105	49.90	47.00	47.70	48.20	1.51
120	48.40	44.80	47.10	46.77	1.82
135	45.50	48.80	44.60	46.30	2.21
150	47.50	46.60	57.70	50.60	6.17
165	49.80	46.60	46.60	47.67	1.85
180	49.60	47.20	49.10	48.63	1.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 ค่าการนำไฟฟ้าเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย RRF

เวลา (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้า (µs/cm) ในสารละลายฟอสฟอริก				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD
0	2.16	2.23	2.29	2.23	0.07
15	2.28	2.30	2.32	2.30	0.02
30	2.30	2.33	2.33	2.32	0.02
45	2.30	2.33	2.33	2.32	0.02
60	2.33	2.34	2.33	2.33	0.01
90	2.33	2.34	2.33	2.33	0.01
120	2.32	2.34	2.33	2.33	0.01
150	2.32	2.35	2.32	2.33	0.02
180	2.33	2.35	2.33	2.34	0.01

ตารางที่ ง-4 ค่าพีเอชเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ย RRF

เวลา (นาที)	ค่าพีเอชในสารละลายฟอสฟอริก (pH paper)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD
0	1	1	1	1	0
15	1	1	1	1	0
30	1	1	1	1	0
45	1	1	1	1	0
60	1	1	1	1	0
90	1	1	1	1	0
120	1	1	1	1	0
150	1	1	1	1	0
180	1	1	1	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-5 ค่าฟอสเฟตในปุ๋ยน้ำจากการผลิตปุ๋ย RRF

ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าความเข้มข้น (mg/l)
1	0.7530	3.5880
2	0.7610	3.6260
3	0.7570	3.6070
	เฉลี่ย	**3.6070**

ตารางที่ ง-6 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (CEC) ในปุ๋ย SRF

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักเปียก (g)	ปริมาตร HCl ที่ใช้ (ml)	CEC (meq/g)
แบลงค์	-	-	0.1	-
	1	2.0038	16.00	0.66
1	2	2.0056	14.50	0.68
	3	2.0020	15.00	0.73
			เฉลี่ย	**0.69**
	1	2.0020	13.60	0.62
2	2	2.0078	16.90	0.77
	3	2.0034	16.30	0.74
			เฉลี่ย	**0.71**
	1	2.0016	16.30	0.74
3	2	2.0038	16.50	0.75
	3	2.0012	16.50	0.75
			เฉลี่ย	**0.75**
			ค่า CEC เฉลี่ย	**0.71 ± 0.03**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-7 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (CEC) ในปุ๋ย RRF

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักเปียก (g)	ปริมาตร HCl ที่ใช้ (ml)	CEC (meq/g)
แบลงค์	-	-	0.1	-
	1	2.0003	16.20	0.74
1	2	2.0008	16.00	0.73
	3	2.0003	17.50	0.80
			เฉลี่ย	0.75
	1	2.0053	18.00	0.84
2	2	2.0020	12.50	0.57
	3	2.0030	18.50	0.84
			เฉลี่ย	0.75
	1	2.0024	13.40	0.61
3	2	2.0152	17.90	0.81
	3	2.0082	18.00	0.82
			เฉลี่ย	0.75
			ค่า CEC เฉลี่ย	0.75 ± 0.00

ตารางที่ ง-8 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ย SRF

Sample	ค่า K AAS (mg/l)	K ในปุ๋ยแห้ง 1 g (g)	K ในปุ๋ยแห้ง 1g (mg)	SD
1	5617.00	0.0422	42.2204	13.22
2	2180.00	0.0164	16.3860	9.87
3	3180.00	0.0239	23.9026	6.25
เฉลี่ย	3659.00	0.0275	27.5030	13.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-9 ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ย RRF

Sample	ค่า K AAS (mg/l)	K ในปุ๋ยแห้ง 1 g (g)	K ในปุ๋ยแห้ง 1g (mg)	SD
1	6800.00	0.03	34.00	1.21
2	6060.00	0.03	30.30	0.78
3	6260.00	0.03	31.30	0.99
เฉลี่ย	6373.33	0.03	31.86	1.91

ตารางที่ ง-10 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ย SRF ในน้ำกลั่น

วัน	ค่า K (mg/l)	ค่า K ในปุ๋ย 1 g (mg)	อัตราการปลดปล่อย สะสม 1 g (mg)	SD
1	29.48	0.14	0.14	0.10
2	17.36	0.08	0.23	0.03
3	14.95	0.07	0.30	0.05
4	16.84	0.08	0.39	0.15
5	7.57	0.03	0.43	0.03
6	11.03	0.05	0.48	0.03
7	10.70	0.05	0.53	0.05

ตารางที่ ง-11 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ย SRF ใน $CaCl_2$ 0.01 โมลาร์

วัน	ค่า K (mg/l)	ค่า K ในปุ๋ย 1 g (mg)	อัตราการปลดปล่อย สะสม 1 g (mg)	SD
1	469.95	2.34	2.34	0.03
2	451.20	2.25	4.60	1.32
3	464.45	2.32	6.92	0.38
4	482.80	2.41	9.34	0.03
5	400.30	2.00	11.34	0.95
6	233.55	1.16	12.51	0.11
7	169.70	0.84	13.35	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-12 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ยสูตร RRF ในน้ำกลั่น

วัน	ค่า K (mg/l)	ค่า K ในปุ๋ย 1 g (mg)	อัตราการปลดปล่อย สะสม 1 g (mg)	SD
1	11.32	0.05	0.05	0.14
2	7.32	0.03	0.09	0.05
3	10.43	0.05	0.14	0.10
4	8.55	0.04	0.18	0.04
5	10.94	0.05	0.24	0.04
6	9.18	0.04	0.28	0.11
7	8.34	0.04	0.33	0.15

ตารางที่ ง-13 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในปุ๋ย RRF ใน $CaCl_2$ 0.01 โมลาร์

วัน	ค่า K (mg/l)	ค่า K ในปุ๋ย 1 g (mg)	อัตราการปลดปล่อย สะสม 1 g (mg)	SD
1	494.40	2.47	2.47	0.06
2	462.05	2.31	4.78	0.09
3	321.80	1.60	6.39	1.78
4	243.05	1.21	7.60	0.04
5	216.20	1.08	8.68	0.97
6	198.90	0.99	9.68	0.08
7	189.60	0.94	10.63	1.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ จ-1 การงอกของเมล็ดถั่วเขียว

ความยาวรากของเมล็ดถั่วเขียว วันที่ 6 (cm.)					
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	
ชุด A	6.0 7.5 8.0 9.5 10.0 6.0 6.0 7.5 6.0 4.0	9.0 14.5 9.0 7.0 11.5 11 6.0 11.0 8.0 9.0	9.5 11.0 12.0 6.5 6.0 4.0 7.0 8.5 7.0 7.5 7.9	7.0 9.0 7.0 8.0 9.5 6.5 8.0 6.5 5.0 8.0	
เฉลี่ย	7.0	9.6	7.9	7.45	7.47 ± 3.17
ชุด B (1:10)	10.5 10.0 6.0 8.0 9.0 9.0 10.0 11.0 X	7.0 11.5 10.0 9.0 9.0 11.5 8.0 6.0 11.5 9.5	13.5 11.0 3.0 5.0 8.0 12.0 9.5 11.0 7.0 11.0	6.5 7.0 7.5 11.0 9.0 9.5 6.0 7.0 8.0 9.5	
เฉลี่ย	9.39	9.30	9.10	8.10	8.97 ± 4.05
ชุด C (1:100)	10.0 9.0 14.5 10.0 13.0 11.0 9.5 13.0 9.5 10.5	8.5 9.5 9.0 11.0 10.0 8.0 12.0 10.5 9.0 10.0	15.0 10.0 8.5 12.0 11.0 10.0 11.0 9.5 10.5 11.5	10.0 13.0 17.0 17.0 15.0 15.5 11 10.5 12.0 9.5	
เฉลี่ย	10.95	9.75	10.90	13.05	11.16±5.13
ชุด D (1:10)	15.0 9.5 7.0 13.0 11.0 9.5 13.0 9.5 10.0	11.0 11.5 10.0 11.0 10.0 12.0 9.0 11.0 X	11.0 9.0 12.5 11.0 14.0 8.0 8.0 11.0 8.0 7.0	16.0 6.0 12.0 12.5 11.5 8.0 10.5 9.5 12.0 9.5	
เฉลี่ย	11.00	10.83	9.95	11.15	10.73±4.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุด E (1:100)	5.5 8.5 13.0 6.0 6.0 10.0 12.0 6.0 11.5 8.5	9.5 9.0 11.0 9.5 9.5 6.0 4.5 10.0 X 11.5	10.0 13.5 9.5 9.0 10.0 9.0 9.0 9.0 11.5 12.0	10.5 9.0 7.0 9.0 7.0 7.5 9.5 9.5 8.5 11.0	
เฉลี่ย	**8.70**	**8.94**	**10.25**	**8.85**	**9.18 ± 0.71**

จ-2 ความยาวรากของถั่วงอกในน้ำสกัด

น้ำสกัด	ความยาวรากเฉลี่ย (เซนติเมตร)			
A	7.05	9.60	7.90	7.45
B	9.39	9.30	9.10	8.10
C	10.95	9.75	10.90	13.05
D	11.00	10.83	9.95	11.15
E	8.70	8.94	10.25	8.85

n = 4

H_0 = น้ำสกัดทุกสูตรให้ความยาวรากไม่แตกต่าง

H_1 = น้ำสกัดอย่างน้อย 2 สูตร ให้ความยาวรากที่แตกต่างกัน

จ-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวรากของถั่วเขียว

Source	df	SS	MS	F-Value	P-Value
น้ำสกัด	3	14.450	4.8166	6.33	0.008
Error	12	9.132	0.7610		
Total	15	23.582			

การวิเคราะห์ค่าด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า

จากตารางที่ จ-3 ได้ค่า P – Value 0.008 ซึ่งมีค่าน้อยว่า 0.05 จึงเป็นการปฏิเสธ H_0

สรุปได้ว่า น้ำสกัดอย่างน้อย 2 สูตรให้ความยาวรากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-4 การเปรียบเทียบความยาวรากด้วยวิธีเทอร์กี้

Treatment	N	Mean	Group	
2	4	11.163	A	
3	4	10.185	A	B
4	4	9.185		B
1	4	8.970		B

หมายเหตุ : Treatment 1 หมายถึงความยาวรากในน้ำสกัด B

Treatment 2 หมายถึงความยาวรากในน้ำสกัด C

Treatment 3 หมายถึงความยาวรากในน้ำสกัด D

Treatment 4 หมายถึงความยาวรากในน้ำสกัด E

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธีของเทอร์กี้

จากตาราง จ-4 พบว่า

- สกัดสูตร C แตกต่างจากสูตร B และ E อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

คุณสมบัติของเรซิน

ฉ-1 คุณสมบัติเรซิน DOWEX™ IR 100 H/Na

ประเภทเรซิน	เรซินชนิดประจุบวก – กรดแก่	
ลักษณะ	คล้ายเม็ดเจลสีน้ำตาล	
หมู่ฟังก์ชัน	Sulfonic acid (SO_3^-)	
คุณสมบัติ	Na form	H form
ความจุในการแลกเปลี่ยนทั้งหมด (eq/L)	2.0	1.8
การอิ่มตัว (%)	42 - 50	50 - 58
ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ	1.9	1.9
ขนาดเฉลี่ยของเรซิน (mm)	0.5 – 0.7	0.5 – 0.7
ความเป็นเนื้อเดียวกัน (%)	Max. 2.0	Max. 2.0
ความเป็นเนื้อเดียวกัน (%)	95 - 100	95 - 100
ความสามารถในการเปลี่ยน $Na^+ \rightarrow H^+$ (%)	Max. 11	
ความหนาแน่นรวม (g/L)	840	820
อุณหภูมิสูงสุด (°C)	120	
ค่าพีเอช	0 - 14	
สารรีเจนเนอร์แรนต์ (%)		
[H_2SO_4]	1 – 8	
[HCl]	4 - 8	
[NaCl]	8 - 12	
อัตราการไหล (m/h)		
Co – current regeneration	1 - 10	
Counter – current regeneration	5 - 20	
ความต้องการเรซินทั้งหมด (Bed volumes)	2 - 5	
ความสูงต่ำของเรซิน (mm)	80	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้