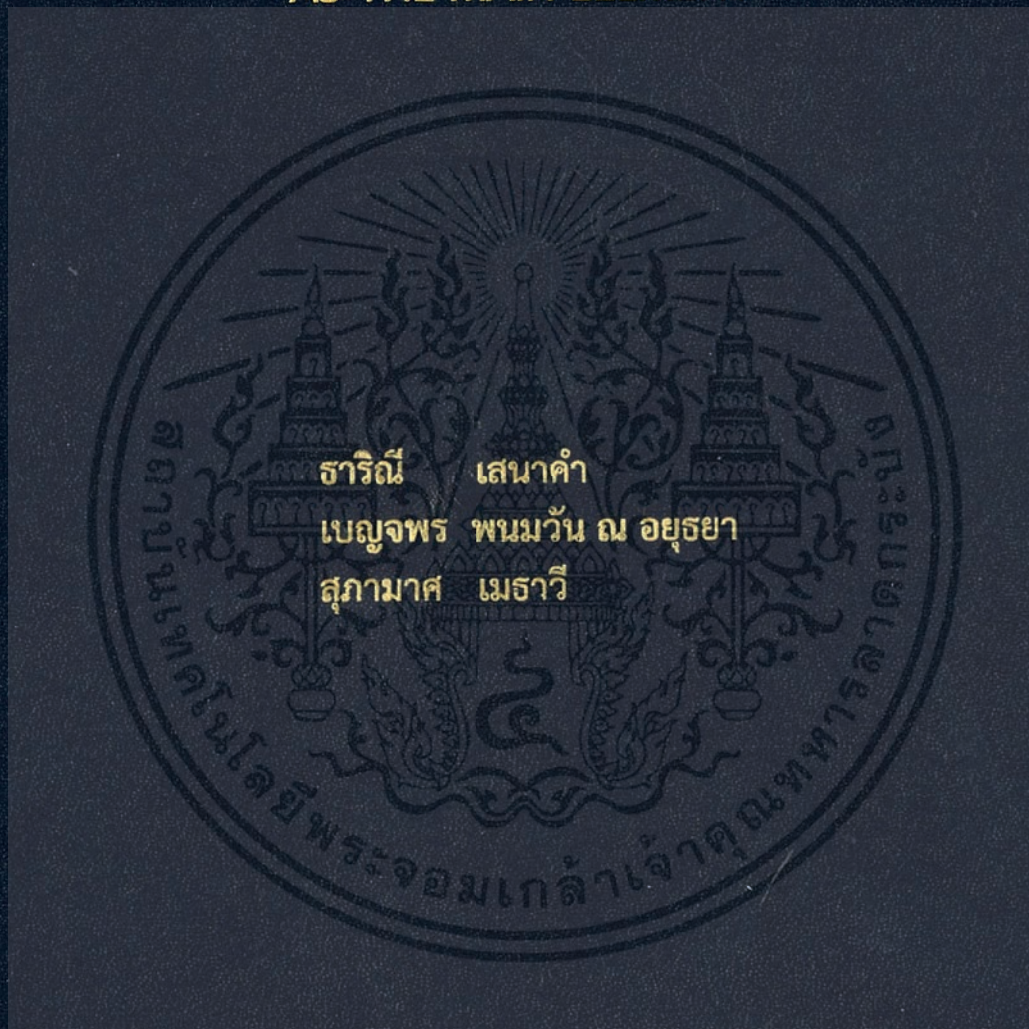


การชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติ  
ที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบหลัก

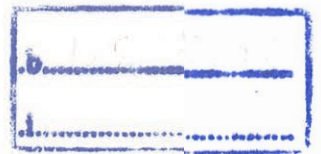
LEACHING OF PHOSPHORUS IN ALUM SLUDGE  
WITH NATURAL MATERIALS FROM CITRIC ACID  
AS THE MAIN ELEMENT



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติ  
ที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบหลัก

LEACHING OF PHOSPHORUS IN ALUM SLUDGE  
WITH NATURAL MATERIALS FROM CITRIC ACID  
AS THE MAIN ELEMENT



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LEACHING OF PHOSPHORUS IN ALUM SLUDGE  
WITH NATURAL MATERIALS FROM CITRIC ACID  
AS THE MAIN ELEMENT



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 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติที่มี  
กรดซิตริกเป็นองค์ประกอบหลัก

LEACHING OF PHOSPHORUS IN ALUM SLUDGE WITH  
NATURAL MATERIALS FROM CITRIC ACID AS THE MAIN  
ELEMENT

ชื่อนักศึกษา

นางสาวธาริณี                      เสนาคำ                      รหัสนักศึกษา 56050702  
นางสาวเบญจพร                      พนมวัน ณ อยุธยา                      รหัสนักศึกษา 56050717  
นางสาวสุภามาส                      เมธาวี                      รหัสนักศึกษา 56050784

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)  
ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ ประธานกรรมการ	
ดร.กลีนุสคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบหลัก		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธาริณี	เสนาคำ	รหัสนักศึกษา 56050702
	นางสาวเบญจพร	พนมวัน ฌ อยุธยา	รหัสนักศึกษา 56050717
	นางสาวสุภามาส	เมธาวี	รหัสนักศึกษา 56050784
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย		

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20 น้ำสับปะรด และน้ำมะนาวโดยใช้น้ำคลองมาเติมปริมาณฟอสฟอรัส 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นเติมลงไปดินตะกอนสารส้ม เพื่อศึกษาผลของสารชะละลายทั้ง 3 ชนิด ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัส ค่าความปั่นกรด-ด่างและค่าพีเอช เหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มก่อนและหลังการเติมน้ำคลองรวมทั้งปริมาณฟอสฟอรัส พีเอช เหล็กและอลูมิเนียมรูปละลายน้ำในสารละลายที่ได้จากการชะละลาย ผลการวิจัยพบว่า น้ำมะนาวที่มีกรดซิตริกสูงถึง 7.54 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเปลี่ยนรูปฟอร์มของฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มมากกว่าน้ำสับปะรด และ น้ำหมักชีวภาพที่มีกรดซิตริกเพียง 0.51 และ 0.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยพบฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนเพิ่มขึ้นและฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำในน้ำที่ถูกชะละลายออกมามีปริมาณฟอสฟอรัสสูงขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของเหล็ก และอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น รวมถึงมีผลต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในดินตะกอนและในสารละลายที่ได้จากการชะละลายที่มีค่าสูงขึ้นโดยตัวชะละลายที่มีปริมาณกรดซิตริกสูงจะส่งผลให้ดินตะกอนมีค่าพีเอชลดลงตามไปด้วยซึ่งจะทำให้ไม่เหมาะสมในการนำดินตะกอนสารส้มไปปลูกพืช

คำสำคัญ : กรดซิตริก ดินตะกอนสารส้ม น้ำคลอง น้ำมะนาว น้ำสับปะรด น้ำหมักชีวภาพ ฟอสฟอรัส เหล็ก อลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Leaching of Phosphorus in Alum sludge with Natural materials from Citric acid as the main element		
Student	Miss Tharinee Senakum	Student ID 56050702	
	Miss Benjaporn Pharnomvan Na Auttaya	Student ID 56050717	
	Miss Supamath Methawee	Student ID 55050784	
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Asst. Prof. PitsamaiChairatu-tai		

### Abstract

This research aims to study the leaching of phosphorus in alum sludge by using natural mixture consisting of citric acid as a component. The three key mixtures use in studying the efficiency of leached phosphorus in alum sludge are Bio-extracted, lemonade and pineapple juice in alum sludge with a concentration of 50-mg/L. After the experiment has been performed, the results show that the best natural mixture for leached phosphorus in alum sludge is lemonade that has citric acid 7.54 percent and can leach phosphorous in alum sludge more than Bio-extracted and pineapple juice that have citric acid 0.51 and 0.06 percent respectively. The result shows there is an increasing level of phosphorus and soluble phosphorus, as well as affecting the ion exchange of Iron and Aluminum. Moreover, the intensity of Hydrogen ion in alum sludge and solution has also increased. The natural mixture, which has the highest citric acid effect to pH in soil, renders it unsuitable for planting.

**Key words :** Alum sludge, Aluminum, Bioextract, Canal water, Citric acid, Iron, Lemonade, Phosphorus, Pineapple

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดีด้วยความกรุณาชี้แนะแนวทาง ให้คำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษจากผศ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ อีกทั้งยังให้กำลังใจในการทำโครงการ การดูแลเอาใจใส่อย่างดี ทำให้โครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงมาได้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และดร.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ที่เข้าร่วมเป็นคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ พร้อมทั้งให้คำชี้แนะคำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาในระดับบัณฑิตศึกษา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมีทุกท่าน ได้แก่ พี่สาคร พี่ชัชชัย พี่ณัฐพลและพี่ปราณีที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทดลอง และขอบคุณพี่สุรินทร์ สำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำในการใช้เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โรงผลิตน้ำประปาบางเขนทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการเก็บตะกอนสารส้มเพื่อทำการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กรมพัฒนาที่ดินทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับน้ำหมักชีวภาพเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณนางสาวศศิพิมล เทพไพฑูรย์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเดินทางไปเก็บดินตะกอนที่โรงผลิตน้ำประปาบางเขน

ขอขอบคุณบิดาของนางสาวธาริณี เสนาคำ ที่ได้พาไปเก็บน้ำหมักชีวภาพจากกรมพัฒนาที่ดินเพื่อนำมาทำการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณนายพิสิฐ วีระพันธ์ นางสาวเสาวลักษณ์ ระวีโรจน์ และนางสาววาสนา ประเสริฐ ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษ จนสำเร็จผ่านพ้นไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณป้านันร้านอาหารร้าน 2 ที่ร้านอาหารใหม่ของคณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับผลไม้และอำนวยความสะดวกในการคั้นน้ำผลไม้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ทุกคน ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือในด้านต่างๆ ให้คำปรึกษา ให้ข้อคิด ให้สติและให้ความรู้สัปดาห์ตลอดการวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการพิเศษในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดาของเราทั้งสามคนตลอดจนครอบครัวที่เป็นแรงบันดาลใจ ให้กำลังใจและคอยสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอดและคอยสอนให้มีความตั้งใจในการศึกษา พยายามต่อสู้บรรคต่างๆ จนทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้ประสบความสำเร็จ

ธาริณี เสนาคำ

เบญจพร พนมวัน ณ อยุธยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>3</b>
2.1 ดินตะกอนสารส้ม.....	3
2.1.1 แหล่งที่มาของดินตะกอนสารส้ม.....	3
2.1.2 องค์ประกอบของดินตะกอนสารส้ม.....	4
2.1.3 คุณสมบัติของดินตะกอนสารส้ม.....	5
2.1.4 ประโยชน์ของดินตะกอนสารส้ม.....	5
2.2 การนำดินตะกอนสารส้มไปบำบัดน้ำเสีย.....	6
2.2.1 การตกตะกอนเชิงเคมี.....	6
2.2.2 ปรากฏการณ์การดูดซับ.....	6
2.2.3 ปฏิกริยาการแลกเปลี่ยนแอนไอออน.....	7
2.3 ฟอสฟอรัสในดิน.....	7
2.3.1 รูปฟอร์มของฟอสฟอรัสในดิน (ปีทมา, 2543).....	7
2.3.2 กระบวนการเปลี่ยนรูปฟอร์มของฟอสฟอรัสในดิน (มุกดา, 2544).....	8
2.3.3 กระบวนการตรึงฟอสฟอรัสในดิน.....	9
2.3.4 กระบวนการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดิน (เกตน์ณนิภา, 2556).....	12
2.4 น้ำหมักชีวภาพ (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559).....	13
2.5 น้ำสับประรด.....	15
2.6 น้ำมะนาว.....	16
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b> .....	<b>22</b>
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	22
3.2 สารเคมีที่ใช้ทดลอง.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3	ขั้นเตรียมการทดลอง ..... 24
3.4	การทดลอง ..... 24
3.4.1	ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำน้ำหมักชีวภาพไปชะละลาย ฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้ม ..... 24
3.4.2	ศึกษาการชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติที่มีกรดซิตริก เป็นองค์ประกอบหลัก ..... 25
3.5	ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ..... 27
<b>บทที่ 4</b>	<b>ผลการวิจัยและการอภิปรายผล ..... 28</b>
4.1	ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำน้ำหมักชีวภาพไปชะละลายฟอสฟอรัสใน ดินตะกอนสารส้ม ..... 28
4.1.1	ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมเพื่อนำไปชะละลาย ฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้ม ..... 28
4.1.2	ผลค่าความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอชและความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนใน ดินตะกอนสารส้มและสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ ..... 31
4.1.3	ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมต่อการชะละลายเหล็กใน ดินตะกอนสารส้ม ..... 32
4.1.4	ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมต่อการชะละลายอลูมิเนียมใน ดินตะกอนสารส้ม ..... 34
4.2	ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วย วัสดุธรรมชาติที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบหลัก ..... 35
4.2.1	ผลการศึกษาประสิทธิภาพการชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้ม ด้วยวัสดุธรรมชาติ ..... 35
4.2.2	ผลค่าความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอชและความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนใน ดินตะกอนสารส้มและสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ .. 38
4.2.3	ผลการศึกษาประสิทธิภาพการชะละลายเหล็กในดินตะกอนสารส้มด้วย วัสดุธรรมชาติ ..... 40
4.2.4	ผลการศึกษาประสิทธิภาพการชะละลายอลูมิเนียมในดินตะกอนสารส้ม ด้วยวัสดุธรรมชาติ ..... 41
<b>บทที่ 5</b>	<b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ..... 44</b>
5.1	สรุปผลการวิจัย ..... 43
5.2	ข้อเสนอแนะ ..... 43
	เอกสารอ้างอิง ..... 44
	ภาคผนวก ..... 46
	ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ดินและน้ำ ..... 47
	ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ ..... 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐาน.....	55
ภาคผนวก ง ผลการทดลอง.....	61
ภาคผนวก จ ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบในดินตะกอนสารส้ม .....	5
2.2 ปริมาณฮอโรโมนและกรดฮิวมิคในน้ำหมักชีวภาพพด.2 .....	15
2.3 ชนิดและปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในน้ำหมักชีวภาพพด.2 .....	15
2.4 กรดอินทรีย์ในน้ำสับปะรด 100 มิลลิลิตร.....	15
2.5 แร่ธาตุต่างๆในน้ำสับปะรด 100 มิลลิลิตร.....	16
2.6 กรดอินทรีย์ในน้ำมะนาว .....	16
2.7 แร่ธาตุต่างๆในน้ำมะนาว 100 มิลลิลิตร.....	17
3.1 รูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอนสารส้มก่อนและหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ.....	25
3.2 รูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายดินตะกอนสารส้ม.....	25
3.3 รูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอนสารส้มที่ชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ.....	26
3.4 รูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในสารละลายที่ชะละลายด้วยวัสดุธรรมชาติ.....	27
4.1 ความเป็นกรด-ด่าง : พีเอชและความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน.....	32
4.2 ความเป็นกรด-ด่าง : พีเอชและความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน.....	38
ค-1.1.1 ตารางค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร.....	55
ค-1.2.1 ตารางค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร.....	56
ค-1.3.1 ตารางค่าพื้นที่ได้กราฟของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต.....	57
ค-2.1 ตารางค่าการดูดกลืนแสงอะตอมของสารมาตรฐานเหล็กที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร.....	59
ค-3.1 ตารางค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานอลูมิเนียมที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร.....	61
ง-1.1 ความเป็นกรด-ด่าง : พีเอช.....	61
ง-1.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus).....	62
ง-1.3 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available phosphorus).....	63
ง-1.4 ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (Ortho Phosphate).....	63
ง-1.5 เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Iron).....	64
ง-1.6 อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Aluminium).....	65
ง-1.7 เพอร์เซ็นต์ความชื้น.....	66
ง-2.1 ความเป็นกรด-ด่าง : พีเอช.....	66
ง-2.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus).....	66
ง-2.3 ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (Ortho Phosphate).....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-2.4	เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Iron).....67
ง-2.5	อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Aluminium).....67
ง-3.1	ความเป็นกรด-ด่าง : พีเอช.....68
ง-3.2	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus ).....69
ง-3.3	ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available phosphorus).....70
ง-3.4	ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (Ortho Phosphate).....70
ง-3.5	เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Iron).....71
ง-3.6	อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Aluminu).....72
ง-3.7	เปอร์เซ็นต์ความชื้น.....73
ง-4.1	ความเป็นกรด-ด่าง : พีเอช.....73
ง-4.2	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) .....73
ง-4.3	ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (Ortho Phosphate).....74
ง-4.4	เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Iron).....74
ง-4.5	อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Aluminum).....74
ง-4.6	ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิดริก.....74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การตรึงฟอสฟอรัสที่โครงสร้างของแร่ดินเหนียว.....	10
2.2	แบคทีเรียชนิดต่างๆในสารเร่งซูเปอร์ พด.2.....	13
4.1	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ.....	29
4.2	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ.....	30
4.3	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ.....	30
4.4	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ.....	31
4.5	ปริมาณเหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้ในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ.....	33
4.6	ปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำได้ในสารละลายหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ.....	33
4.7	ปริมาณอลูมิเนียมที่เปลี่ยนแปลงได้ในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ.....	34
4.8	ปริมาณอลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้ในสารละลายหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ.....	35
4.9	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ.....	36
4.10	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ.....	36
4.11	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ.....	37
4.12	ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้หลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ.....	37
4.13	ปริมาณเหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้ในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ.....	40
4.14	ปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำได้ในสารละลายหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ.....	40
4.15	ปริมาณอลูมิเนียมที่เปลี่ยนแปลงได้ในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ.....	41
4.16	ปริมาณอลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้ในสารละลายหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ.....	42
ค-1	กราฟมาตรฐานของฟอสเฟตที่ใช้ในการวิเคราะห์ไอออนโครมาโทกราฟี.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำดินตะกอนสารส้มมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีสารประกอบของอลูมิเนียมและเหล็กซึ่งสามารถดูดซับกับไอออนต่างๆ ในน้ำได้ เช่น โครเมียม ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และฟอสฟอรัส เป็นต้น โดยเฉพาะการศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับฟอสฟอรัสที่กัลยาวดี และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ พบว่าปฏิกิริยาจะเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 1 ชั่วโมง โดยพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับ คือ พีเอช 4 และเมื่อเพิ่มปริมาณดินตะกอนจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการดูดซับยังไม่มีการศึกษาถึงการใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ขณะที่กรณิกา และคณะ (2556) ได้อธิบายถึงรูปฟอร์มของฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียชุมชน รูปฟอร์มฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอลูมิเนียมและเหล็กออร์โธฟอสเฟตซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชค่อนข้างน้อย (อาภารัตน์, 2549) แต่อย่างไรก็ตาม พีชยังสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ หากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณรากพืชเป็นกลุ่มที่ผลิตเอ็นไซม์หรือกรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก แลคติก ฟอรั่มิก อะซิติก และซักซินิก เป็นต้น ซึ่งเอ็นไซม์หรือกรดอินทรีย์เหล่านี้สามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น (เกตุณณิกา, 2556) โดยเฉพาะกรดซิตริกที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง (สมเกียรติ, 2551)

ขณะที่वासนา และคณะ (2558) ได้นำน้ำสับปะรดที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบมาทำการชะละลายสารประกอบฟอสฟอรัสที่ดูดซับอยู่ในรูปอลูมิเนียมและเหล็กออร์โธฟอสเฟตให้มาอยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ รวมทั้งช่วยลดความเป็นพิษของเหล็กและอลูมิเนียมได้ด้วย แต่มีข้อเสีย คือทำให้พีเอชของดินมีความเป็นกรด ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาหาตัวชะละลายที่ทำให้พีเอชของดินตะกอนสารส้มเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ได้แก่ น้ำหมักชีวภาพที่มีกรดอินทรีย์หลายชนิด น้ำสับปะรด และน้ำมะนาวที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง

### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษารูปฟอร์มฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มและในสารละลายที่ได้จากการชะละลาย
- 2) เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติ

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) รูปฟอร์มฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช สำหรับในสารละลายที่ได้จากการชะละลายทำการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้
- 2) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของดินตะกอนสารส้ม ค่าพีเอช เหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มทั้งก่อน และหลังการผ่านน้ำคลอง รวมทั้งพีเอช เหล็กและอลูมิเนียมรูปละลายน้ำในสารละลายที่ได้จากการชะละลาย
- 3) วัสดุธรรมชาติที่นำมาชะละลายฟอสฟอรัส ได้แก่ น้ำหมักชีวภาพ น้ำมะนาว และน้ำสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถใช้ประโยชน์จากดินตะกอนสารส้มซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำประปาในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้
- 2) ได้ดินตะกอนสารส้มที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชไม้ดอก
- 3) สามารถใช้ประโยชน์จากวัสดุจากธรรมชาติในการเพิ่มประสิทธิภาพการชะลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มให้มาอยู่ในรูปที่พืชสามารถดึงไปใช้ประโยชน์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ดินตะกอนสารส้ม

#### 2.1.1 แหล่งที่มาของดินตะกอนสารส้ม

กระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปาเขตบางเขนใน 1 วัน จะมีการเติมสารเคมีต่างๆภายในโรงงานผลิตน้ำบางเขน ประกอบด้วยระบบต่างๆที่เป็นขั้นตอนของการผลิตน้ำอย่างครบถ้วน คือ ระบบสูบน้ำดิบ ระบบจ่ายสารเคมี ระบบการตกตะกอน ระบบการกรองน้ำ ระบบฆ่าเชื้อโรคและระบบถังเก็บน้ำใส ระบบสูบน้ำส่งน้ำและสูบน้ำเริ่มจากขั้นตอนแรก คือ

2.1.1.1 ระบบสูบน้ำดิบโรงงานผลิตน้ำบางเขนรับน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาจากโรงสูบน้ำสำแล น้ำดิบที่สูบขึ้นมาจะลำเลียงผ่านทางคลองประปา ซึ่งจะเกิดการฟอกตัวตามธรรมชาติ ทำให้น้ำดิบมีการปรับปรุงคุณภาพดีขึ้น แล้วใช้เครื่องเติมอากาศ Aerator เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าโรงงาน หลังจากนั้นโรงงานจะสูบน้ำดิบขึ้นมาจากคลองประปา โดยมีตะแกรงหยาบ และตะแกรงละเอียดกันไว้ที่หน้าสถานีสูบน้ำดิบ เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุเหล่านี้เข้าสู่กรรมวิธีผลิตน้ำประปา

2.1.1.2 ระบบจ่ายสารเคมีน้ำดิบจะถูกส่งไปตามท่อน้ำดิบ ซึ่งระหว่างนี้จะปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยการเติมสารเคมีในท่อลำเลียงน้ำดิบ คือปูนขาว (Lime) เรียกว่า Pre-lime เพื่อปรับสภาพให้มีความเป็นกรด-ด่างในน้ำดิบ ช่วยให้สารส้มทำปฏิกิริยาดีขึ้นและคลอรีน (Chlorine) เรียกว่า การเติมคลอรีนก่อนบำบัด (Pre-chlorine) เพื่อกำจัดสี กลิ่น ตะไคร่ในน้ำดิบ

2.1.1.3 ระบบตกตะกอน เมื่อเติมสารเคมีแล้ว น้ำดิบจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน (Clarifier) ในขั้นตอนนี้สารเคมีจะถูกกวนให้สัมผัสและทำปฏิกิริยากับตะกอนหรือความขุ่นที่อยู่ในน้ำ จับเป็นก้อนเล็กๆแล้วค่อยๆมีขนาดโตขึ้นตกลงสู่ก้นถัง เหลือแต่น้ำใสไหลไปยังบ่อกรอง (Filter) สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนจะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ความขุ่นของน้ำที่ออกจากถังตกตะกอนจะมีค่าความขุ่นไม่เกิน 5 หน่วยความขุ่น NTU (Nephelometric Turbidity Unit) นอกจากนี้ยังมีการเติมสารส้ม (Alum) ในท่อแยกเข้าสู่ถังตกตะกอนในอัตราส่วนที่พอเหมาะพอดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำดิบในแต่ละฤดูกาล ซึ่งในช่วงฤดูน้ำหลากที่น้ำดิบมีความขุ่นสูง อาจจะมีการเติมสารช่วยเร่งการตกตะกอน (Poly-electrolyte)

2.1.1.4 การกรอง น้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะไหลมายังบ่อกรองน้ำ ซึ่งมีผงดำนแอนทราไซด์และทรายกรองเป็นสารกรอง มีหัวกรอง (Filter Nozzle) เพื่อกรองเอาตะกอนที่ละเอียดออกอีกครั้ง น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะใสมาก มีความขุ่นไม่เกิน 2 หน่วยความขุ่น ถังกรองที่ใช้เป็นแบบชนิดกรองเร็ว เมื่อใช้งานได้ประมาณ 48 ชั่วโมง จะต้องมีการล้างกลับ (Back Wash) โดยการพ่นลมและน้ำขึ้นมาจากใต้บ่อกรอง เพื่อให้ทรายขยายตัวและให้ตะกอนที่อยู่ติดหน้าผิวทรายไหลตามน้ำออกไป ใช้เวลาในการล้างประมาณ 15 นาทีต่อ 1 บ่อ

2.1.1.5 ระบบฆ่าเชื้อโรคและถังเก็บน้ำใส น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำใส น้ำที่ได้นี้อาจยังมีแบคทีเรียหลงเหลืออยู่จะต้องมีการฆ่าเชื้อโรค เพื่อให้มีความปลอดภัยต่อการบริโภค ตาม มาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (WHO) โดยจะเติมคลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อโรค (Post-Chlorination) ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อโรคได้เกือบทุกชนิดและจำทำลายสารอินทรีย์ กลิ่น สี รส และเหล็กได้ ที่สำคัญยังมีคลอรีนหลงเหลือ (Free Residual Chlorine) ติดไปกับน้ำ เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่อาจเฝ้าระวังเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปนเปื้อนเข้ามาภายหลังได้ หลังจากการฆ่าเชื้อโรคแล้วจะมีการเติมปูนขาว (Post-lime) ลงไปอีกเล็กน้อย เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของเส้นท่อประปาที่จะส่งและลำเลียง

2.1.1.6 ระบบสูบน้ำและสูบน้ำประปาที่ผลิตได้จะถูกสูบน้ำเข้าอุโมงค์ส่งน้ำและท่อส่งน้ำขนาดใหญ่ไปยังสถานีสูบน้ำตามย่านชุมชนต่างๆ แล้วสูบน้ำเข้าเส้นท่อประปาและเส้นท่อจ่ายน้ำเพื่อสู่ประชาชนในขั้นตอนการตกตะกอน เช่น ปูนขาว (CaO) สารส้ม ( $Al_2(SO_4)_3$ ) หรือสารโพสเฟอริกแอซิดเพื่อช่วยในการรวมตะกอนและตกตะกอนอนุภาคของแข็งในน้ำดิบ ทำให้ได้น้ำที่ใสหรืออาจใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) หรือเฟอร์ริกซัลเฟต ( $Fe_2(SO_4)_3$ ) ร่วมกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตน้ำประปาจะมีของเสียเกิดขึ้นในขั้นตอนการตกตะกอนที่เรียกว่าตะกอนสารส้ม ซึ่งมีปริมาณสูงถึง 75,000-105,000 กิโลกรัมต่อวัน หรือประมาณ 75-105 ตันต่อวัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น (การประปานครหลวง, 2555) ส่วนใหญ่กากตะกอนเหล่านี้ จะถูกปล่อยทิ้งตากแดดและยังไม่มีหรือนำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร ทำให้มีปริมาณของตะกอนเพิ่มขึ้นจนพื้นที่ตากตะกอนไม่เพียงพอ และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดการกับตะกอนเหล่านี้เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ลักษณะของตะกอนที่ได้จากกระบวนการตกตะกอน จะมีสารเคมีบางส่วนปะปนอยู่ โดยเฉพาะสารส้มและเหล็ก ซึ่งสารส้มที่ใช้ในการผลิตน้ำประปามีสูตรโมเลกุล คือ  $Al_2(SO_4)_3 \cdot XH_2O$  ซึ่ง X มีค่าเท่ากับ 14.3 หรือ 18 เมื่อสารส้มละลายน้ำจะมีการแตกตัวของไอออนบวกและลบดังสมการที่ 2.1



อลูมิเนียมไอออน ( $Al^{3+}$ ) จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำได้  $Al(H_2O)_6^{3+}$  ซึ่งไอออนที่ประกอบด้วยโลหะและน้ำเรียกว่า อะควาเมทัลไอออน (Aqua metal ion) ส่วนโมเลกุลของน้ำที่ล้อมนั้นเรียกว่า ลิแกนด์ (ligand) แต่เพื่อความสะดวกในการเขียน บางครั้งจึงตัดโมเลกุลของน้ำออกให้เหลืออยู่เพียงอลูมิเนียมไอออน ( $Al^{3+}$ ) เนื่องจากอลูมิเนียมเป็นกรดที่สามารถให้โปรตอนได้ ( $H^+$ ) จึงพร้อมที่จะเกิดการไฮโดรไลซ์ (Hydrolyzed) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอลูมิเนียมโดยมีไอออนของ  $OH^-$ ,  $F^-$  หรือ  $SO_4^{2-}$  เป็นลิแกนด์ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอลูมิเนียมซัลเฟตและไฮดรอกไซด์ แต่อลูมิเนียมซัลเฟตจะพบมากที่สุด (วาทวัน และคณะ, 2556)

### 2.1.2 องค์ประกอบของดินตะกอนสารส้ม

ดินตะกอนสารส้มที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำประปามีองค์ประกอบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบในดินตะกอนสารส้ม

Chemical composition	Unit	Amount
Aluminum ( as Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	mg/g	458-463
Iron ( as Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	mg/g	11.9-12.3
Calcium ( as CaO )	mg/g	11.6-11.7
Magnesium ( as MgO)	mg/g	7.4-7.6
Humic acid ( as TOC )	mg/g	96.4-98.5
Cl <sup>-</sup>	mg/g	16.0-16.2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/g	8.2-8.4
SiO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/g	10.6-11.8
H <sub>2</sub> O at 105°C (moisture content )	%	10.2
H <sub>2</sub> O at 1000°C	mg/g	260-270

ที่มา : การประปานครหลวง (2555)

### 2.1.3 คุณสมบัติของดินตะกอนสารส้ม (ชัยวัฒน์, 2547)

1. อุดมด้วยสารอนินทรีย์
2. ขาดสารอินทรีย์ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช
3. ขาดสารกลุ่มเส้นใย (fiber)
4. มีปริมาณสารอลูมิเนียมสูงกว่าดินทั่วไป เนื่องจากการใช้สารส้มเป็นตัวตกตะกอน
5. ปริมาณมวลสารที่มีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน
6. มีตะกอนดินในปริมาณมากพอที่จะเป็นวัตถุดิบในเชิงอุตสาหกรรม
7. ตะกอนดินมีคุณสมบัติเป็นเนื้อดินเบา อุ่มน้ำ และจะพองตัวได้เมื่อชุ่มน้ำ

### 2.1.4 ประโยชน์ของดินตะกอนสารส้ม (ชัยวัฒน์, 2547)

ตะกอนดินจากการผลิตน้ำประปา ไม่เหมาะสำหรับการใช้ถมที่ทั่วไป เนื่องจากคุณสมบัติของการเป็นเนื้อดินที่เบา จะพองตัวเมื่อชุ่มน้ำ แต่สามารถทำประโยชน์ทางเศรษฐกิจได้ดังนี้

2.1.4.1 ปรงแต่งด้วยอินทรีย์สารหรือปุ๋ยในกลุ่มปุ๋ยหมัก เพื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยและแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับพืช ในประเทศญี่ปุ่นมีโครงการในลักษณะนี้ คือทำให้กลายเป็นดินวิทยาศาสตร์ที่มีความต้องการของตลาด โดยเฉพาะตลาดปลูกไม้ดอกไม้ประดับ

2.1.4.2 นำมาเป็นสารเติมแต่ง (additive) ในการปรับปรุงของเสีย (waste) หรือของเสียจากชุมชน หรือโรงงานน้ำตาลให้เป็นดินที่มีคุณภาพ เนื่องจากกากของเสียที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน หรือโรงงานน้ำตาล จะมีปริมาณสารอินทรีย์ที่สูงเกินไป และบางครั้งส่งกลิ่นเหม็นเน่าเนื่องจากผ่านขบวนการหมักไม่สมบูรณ์ การนำกากตะกอนจากการผลิตน้ำประปามารวมกับของเสียจากชุมชนหรือโรงงานน้ำตาล จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มคุณค่าให้ดินตะกอนได้

2.1.4.3 คุณสมบัติของตะกอนดินที่ขาดสารกลุ่มเส้นใย กากใยและขาดสารอินทรีย์ทำให้มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นเครื่องปั้นดินเผา แม้จะมีปริมาณของมวลสารอลูมิเนียมผสมอยู่ก็สามารถทำเครื่องปั้นดินเผาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การนำดินตะกอนสารส้มไปบำบัดน้ำเสีย

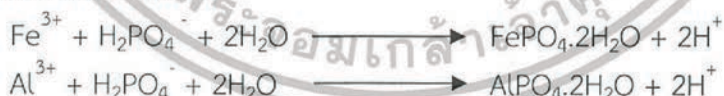
ดินตะกอนสารส้มที่ได้จากการผลิตน้ำประปา ในขั้นตอนการตกตะกอน เช่น ปูนขาว (CaO) สารส้ม ( $Al_2(SO_4)_3$ ) หรือสารโพสเฟอริกแอซิดเพื่อช่วยในการรวมตะกอนและตกตะกอนอนุภาคของแข็งในน้ำดิบ ทำให้ได้น้ำที่ใส หรืออาจใช้เฟอริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) หรือเฟอริกซัลเฟต ( $Fe_2(SO_4)_3$ ) ร่วมกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตน้ำประปาจะมีของเสียเกิดขึ้นในขั้นตอนการตกตะกอนที่เรียกว่า ตะกอนสารส้มทั้งนี้ลักษณะของตะกอนที่ได้จากกระบวนการตกตะกอนจะมีสารเคมีบางส่วนปะปนอยู่ โดยเฉพาะสารส้มและเหล็ก (การประปานครหลวง, 2555)

การนำดินตะกอนสารส้มไปบำบัดน้ำเสียที่มีสารประกอบฟอสฟอรัส จะใช้กระบวนการดูดซับ (adsorption process) โดยการใช้สารดูดซับ (adsorbent) เป็นตัวดูดซับฟอสเฟต ซึ่งสารดูดซับที่ใช้ เช่น activated alumina (ซึ่งมีในดินตะกอนสารส้ม) โดยรูปแบบการดูดซับเป็นการทำให้การเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับโมเลกุลที่ผิวหน้า และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีทั้งของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้นและจำนวนชั้นของโมเลกุลตัวถูกดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับทางกายภาพ ได้แก่ การจัดเรียงตัวของโมเลกุล การกระจายตัว และการเหนี่ยวนำ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554) โดยสารประกอบของฟอสฟอรัสในดินมีอยู่เป็นจำนวนมากส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ยาก เนื่องจากแร่ธาตุต่างๆ ในดินชอบที่จะทำปฏิกิริยากับอนุกรมฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้จะทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุในดินกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยากและไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชจึงเกิดการตรึงฟอสฟอรัสในดินขึ้นซึ่งคือการที่ฟอสเฟตที่ถูกเปลี่ยนรูปจากรูปที่ละลายน้ำได้ (soluble form) ไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble form) ขบวนการตรึงฟอสฟอรัสในดินขึ้นอยู่กับขบวนการที่สำคัญ 3 ขบวนการคือ

### 2.2.1 การตกตะกอนเชิงเคมี (Chemical precipitation)

เป็นปฏิกิริยาระหว่างแคตไอออน (cation) พวก เหล็ก อลูมิเนียม แคลเซียมและแมกนีเซียมกับฟอสเฟตไอออนที่ไม่ละลายน้ำ สามารถแบ่งปฏิกิริยาออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

2.2.1.1 โดยเหล็กและอลูมิเนียมไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนเกิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำดังสมการ



(กฤตย์ สมสาร, 2549)

2.2.1.2 ในสภาพของดินต่าง แคลเซียมและแมกนีเซียมทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ ดังสมการ



### 2.2.2 ปรากฏการณ์การดูดซับ (adsorption phenomena)

ประจุลบของฟอสเฟตไอออนจะถูกดูดซับยึดอยู่กับไอออนบวกบริเวณผิวของแร่ดินเหนียว (clay mineral) ด้วยแรงยึดเหนี่ยวทางด้นไฟฟ้า (electrostatic bonding) คือ ประจุลบของฟอสเฟตไอออนจะดูดซับอยู่กับประจุบวกของแร่ดินเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนแอนไอออน (anion exchange reaction)

เป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออน (OH<sup>-</sup>) กับฟอสเฟตไอออนในสารละลายดิน เมื่อฟอสเฟตเข้าไปแทนที่ สามารถเกิดพันธะเคมีกับโครงสร้างของแร่ดินเหนียวได้ฟอสเฟตชนิดนี้ยากที่จะถูกปลดปล่อยออกมาทำให้เกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ

## 2.3 ฟอสฟอรัสในดิน

ฟอสฟอรัสที่อยู่ในสารละลายดินเท่านั้นที่พืชสามารถดูดใช้ได้ แต่จากการที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายดินมีค่อนข้างต่ำมาก สำหรับวิธีการเพิ่มฟอสฟอรัสในสารละลายดินมีเพียงพอลือว่าเป็นสิ่งที่มีความซับซ้อน เพราะฟอสฟอรัสพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่นๆที่อยู่ในดินแล้วเกิดเป็นสารประกอบต่างๆ เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ฟอสฟอรัสมีปริมาณต่ำและไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช

### 2.3.1 รูปร่างของฟอสฟอรัสในดิน (ปีทมา, 2543)

#### 2.3.1.1 อนินทรีย์ฟอสฟอรัส (inorganic phosphorus)

2.3.1.1.1 ฟอสฟอรัสในสารละลายดิน ฟอสฟอรัสในสารละลายดินจัดได้ว่าเป็นรูปแบบที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันทีหรือละลายน้ำได้ดี ได้แก่ ไดไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟตไอออน (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) และโมโนไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟตไอออน (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ที่อยู่ในสารละลายดินและเกลือฟอสเฟตซึ่งจะแตกตัวให้ออออนทั้งสองนี้ได้ง่ายฟอสเฟตไอออนอยู่ในสารละลายดินจะง่ายและว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาการตรึงทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและเป็นด่างโดยจะทำปฏิกิริยาตกตะกอนกับเหล็กและอะลูมิเนียมในดินกรดและทำปฏิกิริยากับแคลเซียมเกิดเป็นแคลเซียมฟอสเฟตที่มีการละลายน้ำยากขึ้นในดินด่าง ทำให้สูญเสียความเป็นประโยชน์ต่อพืชไปและการแตกตัวของฟอสเฟตจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลายดิน กรณีที่ดินมีค่าพีเอชเป็นกลางจะพบไอออนทั้งสองนี้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่หากดินเป็นกรดอ่อนๆ (pH 6–8) จะพบไดไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟตไอออน (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) ในสัดส่วนที่สูงกว่า ส่วนในสารละลายของดินด่าง (pH 6.8–7.2) จะพบโมโนไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟตไอออน (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) สูงกว่าอีกเช่นกัน

2.3.1.1.2 ฟอสฟอรัสรูปที่ถูกดูดยึดคือ ไอออนฟอสเฟตที่ถูกนำออกมาจากสารละลายดิน โดยที่ผิวของคอลลอยด์นั้นจะถูกดูดยึดไว้ (Adsorbed P) เมื่อเวลาผ่านไปจะเคลื่อนที่แทรกเข้าไปในโครงสร้างส่วนที่เป็นช่องว่างของคอลลอยด์ดิน เรียกกระบวนการนี้ว่าการยึดภายในโครงสร้างคอลลอยด์ดิน ปริมาณการดูดยึดฟอสฟอรัสที่พื้นผิวหรือภายในโครงสร้างนั้นไม่สามารถระบุได้ง่ายจึงเรียกรวมกันว่า การดูดยึด (sorption)

2.3.1.1.3 ฟอสฟอรัสรูปที่ตกตะกอนธาตุอะลูมิเนียม เหล็ก และแคลเซียมฟอสเฟต ถือเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของฟอสเฟตที่ตกตะกอนในดิน โดยฟอสเฟตจะยึดเกาะที่พื้นผิวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต เหล็กหรืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ สารประกอบเหล่านี้สามารถแตกตัวละลายออกมาได้ถ้าฟอสเฟตไอออนในสารละลายของดินลดลงเพื่อรักษาสภาวะสมดุลทางเคมี แต่ในเวลาต่อมาความเป็นประโยชน์ของสารประกอบฟอสเฟตเหล่านี้จะลดลงเนื่องจากสารประกอบดังกล่าวมีผลึกขนาดใหญ่ขึ้น ความสามารถในการละลายของฟอสเฟตในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะน้อยลงและเมื่อเกิดการแทรกตัวของเหล็กและอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ระหว่างอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต และสารประกอบฟอสเฟตเกิดการตกตะกอน ทำให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ยากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.2 อินทรีย์ฟอสฟอรัส (organic phosphorus)

สารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสจะพบมากในดินชั้นบนที่มีการทับถมของเศษซากพืชหรือตะกอนที่ถูกพัดพามารูปฟอร์มของสารประกอบอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดิน ได้แก่ อินซิทอลฟอสเฟต (inositol phosphates) ซึ่งพบประมาณร้อยละ 30–45 ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน กรดนิวคลีอิก (nucleic acids) ซึ่งโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 2 ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ฟอสโฟไลปิด (phospholipids) พบปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 1 ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน และอินทรีย์ฟอสฟอรัสอื่นๆ (unidentified organic phosphorus) ที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารประกอบชนิดใดซึ่งพบเป็นปริมาณมากกว่าร้อยละ 62 ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปอินทรีย์นี้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง แต่ฟอสฟอรัสอินทรีย์ที่ปรากฏอยู่ในดินนั้นมีปริมาณน้อยมาก เนื่องจากเกิดการสลายตัวได้ง่ายเมื่อมีการย่อยสลายซากพืชและซากสัตว์ โดยจุลินทรีย์ในจะดินปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สู่ดินได้ 2 รูป คือ ในรูปของสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ มีโมเลกุลเล็กเหมาะต่อการดูดไปใช้ของรากพืช และรูปฟอสเฟตไอออนในสารละลายดิน

### 2.3.2 กระบวนการเปลี่ยนรูปฟอร์มของฟอสฟอรัสในดิน (มุกดา, 2544)

#### 2.3.2.1 กระบวนการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Mineralization)

กระบวนการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์ฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ดีที่บริเวณรากพืช มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม และขึ้นอยู่กับปริมาณฟอสฟอรัสในดินพืช พืชจะเร่งการดูดใช้ฟอสฟอรัสมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลในการเร่งให้เกิดกิจกรรมการเปลี่ยนรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสจากดินและในธรรมชาติของอินทรีย์ฟอสฟอรัสก็มีส่วนควบคุมการเปลี่ยนรูปโดยกรดนิวคลีอิก (Nucleic acid) จะเปลี่ยนรูปได้ง่ายที่สุด ส่วนไฟติน (phytin) จะเปลี่ยนรูปได้ยากที่สุด

#### 2.3.2.2 กระบวนการดูดซึมฟอสฟอรัส (Immobilization of phosphorus)

กระบวนการดูดซึมฟอสฟอรัสเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินสามารถที่จะย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเพื่อเปลี่ยนรูปฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชดูดซึมไปใช้ได้และบางส่วนจุลินทรีย์จะนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ปริมาณที่จุลินทรีย์จะดูดซึมไปใช้มีกายน้อยเพียงใดขึ้นกับปริมาณอินทรีย์วัตถุหรืออัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและฟอสฟอรัส เช่นค่า C:N 300:1 หรือมีฟอสฟอรัสต่ำ จะเกิดกระบวนการดึงฟอสฟอรัสจากดินไปใช้ในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์มากกว่าการย่อยสลายให้อินทรีย์ฟอสฟอรัส

#### 2.3.2.3 กระบวนการละลายได้ของสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ (Solubility of inorganic phosphorus)

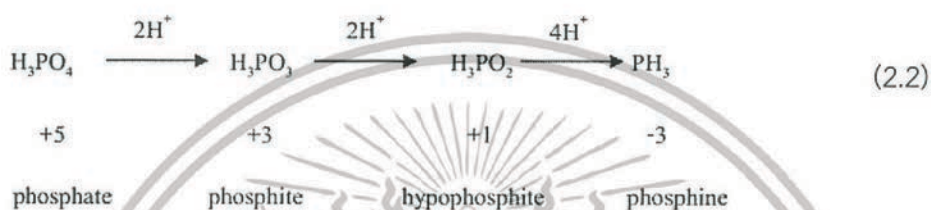
กระบวนการละลายของสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นอนินทรีย์สารมักจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้น้อยมาก สารประกอบที่พบก็มีตั้งแต่ประเภทที่ละลายน้ำได้บ้าง คือ โมโนไดแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งมีอยู่ในสารละลายดินในปริมาณที่น้อยมาก และพวกที่ละลายน้ำได้น้อยมาก คือฟลูออโรออปาไทต์ (fluorapatite) และไฮดรอกซีออปาไทต์ (hydroxyapatite) ในสภาวะที่ดินเป็นกรดจะพบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่รวมตัวเป็นสารประกอบของเหล็กและอลูมิเนียมส่วนในดินด่างจะพบในรูปฟอร์มสารประกอบของแคลเซียม จุลินทรีย์ในดินมีบทบาทในการทำให้อินทรีย์ฟอสฟอรัสละลาย โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นนั้นได้ทำให้เกิดกรดอินทรีย์และกรดอินทรีย์ กรดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกรดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเม็ดดินเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้มีผลไปละลายอนินทรีย์ฟอสฟอรัส โดยทำให้ฟอสฟอรัสละลายน้ำได้ง่ายขึ้นและอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน

### 2.3.2.4 กระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชันของสารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

(Oxidation and reduction of inorganic phosphorus)

กระบวนการออกซิเดชันและรีดักชันของสารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัส เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่สามารถเปลี่ยนเลขออกซิเดชัน (Oxidation state) ได้ตั้งแต่ -3 ถึง +5 โดยเป็นกิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิดที่เพิ่มออกซิเจนให้แก่ phosphite ( $\text{HPO}_3^{2-}$ ) เป็น phosphate ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) ดังสมการที่ 2.2



### 2.3.3 กระบวนการตรึงฟอสฟอรัสในดิน

การตรึงฟอสฟอรัสในดิน เป็นกระบวนการที่สารประกอบของฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ง่าย ทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุ ไอออนและสารประกอบต่างๆในดินแล้วกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยากและมีประโยชน์ต่อพืชน้อยลง ซึ่งการตรึงฟอสฟอรัสจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับการเกิดปฏิกิริยาในดินและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบในดิน

#### 2.3.2.1 ปฏิกิริยาการตรึงฟอสฟอรัสในดิน (มุกดา, 2544)

การตรึงฟอสเฟตในดินแบ่งชนิดของปฏิกิริยาได้ 3 ชนิดด้วยกัน

##### 2.3.2.1.1 ปฏิกิริยาการดูดซับที่ผิว (adsorption reaction) อนุภาคของดินที่มี

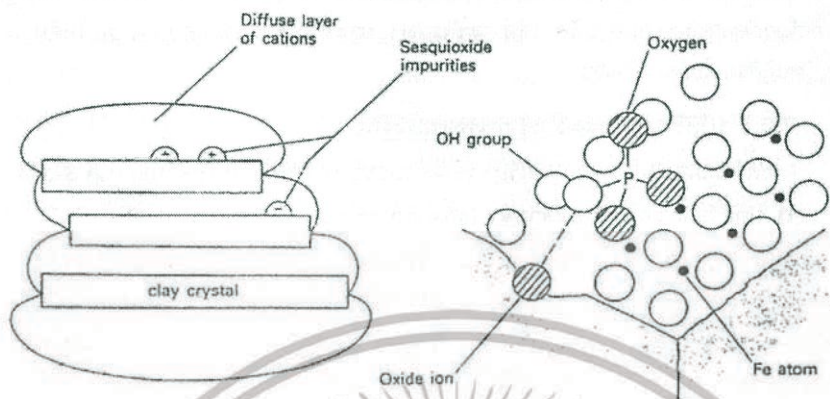
ขนาดเล็กอยู่ในสภาพคอลลอยด์ เช่น พวกแร่ดินเหนียว อินทรีย์วัตถุและออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมจะมีประจุไฟฟ้าแฝงอยู่ และไอออนฟอสเฟตก็มีประจุไฟฟ้าแฝงอยู่เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถจะดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) ซึ่งเป็นการดูดซับภายนอกด้วยแรงดึงดูดยึดติดกัน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals' forces) ซึ่งจะมีผลทำให้ไอออนฟอสเฟตรวมอัดตัวอยู่รอบๆพื้นผิวของคอลลอยด์เท่านั้น โดยโครงสร้างของคอลลอยด์ไม่เปลี่ยนแปลง

##### 2.3.2.1.2 การดูดซับด้วยพันธะทางเคมี (chemical adsorption) ไอออนของ

ฟอสเฟตจับกับสารคอลลอยด์ด้วยพันธะเคมี หรือจับตัวกันด้วยแขนของไอออนบวกต่อไอออนลบทำให้เกิดโมเลกุลของสารขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นได้เพราะสารคอลลอยด์เหล่านี้มีไฮดรอกซิล (hydroxyl) และซิลิเกต (silicate) ซึ่งอาจหลุดออกไปเหลือแค่ตำแหน่งที่จะต้องทำให้สมดุลด้วยไอออนลบ แล้วไอออนฟอสเฟตก็อาจเข้ามาอยู่ในตำแหน่งนี้ได้ จึงก่อให้เกิดการจับตัวด้วยพันธะเคมี โดยสภาพของโครงสร้างและผลึกจะคงตัวเป็นรูปร่างที่คงที่ แต่เมื่อไอออนของฟอสเฟตเข้ามาแทนที่ไฮดรอกซิลหรือซิลิเกต ไอออนฟอสเฟตที่ถูกดูดซับอยู่โดยรอบพื้นผิวของแร่ดินเหนียวจะเคลื่อนตัวเข้าไปในช่องว่างระหว่างผลึกต่อผลึกของแร่ดินเหนียวและไอออนฟอสเฟตบางไอออนจะเปลี่ยนจากสภาพที่ถูกดูดซับอยู่เป็นการเข้าแทนที่ไอออนลบของผลึก ทำให้ไอออนฟอสเฟตจับตัวกับแร่ดินเหนียวด้วยพันธะเคมีโครงสร้างของผลึกที่ไม่

คงที่เพราะไอออนฟอสเฟตกับไอออนที่ถูกแทนที่ขนาดไม่เท่ากัน เป็นผลให้ผลึกของเคลย์คอลลอยด์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(clay colloid) ที่มีไอออนฟอสเฟตอยู่ถูกจัดเรียงตัวใหม่เพื่อให้ได้โครงสร้างและรูปร่างผลึกที่คงที่ ไอออนฟอสเฟตจึงถูกจับติดแน่นเป็นองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวชนิดใหม่อย่างถาวร ดังนั้นฟอสเฟตจึงถูกตรึงโดยที่ไม่มีโอกาสหลุดออกมาอยู่ในสารละลายดิน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การตรึงฟอสฟอรัสที่โครงสร้างของแร่ดินเหนียว (อิรฟงษ์, 2545)

2.3.2.1.3 ปฏิกริยาการแตกตัวและย่อยสลาย (double decomposition)

สารประกอบฟอสเฟตที่ละลายและแตกตัวให้ไอออนฟอสเฟตและไอออนอื่นๆในดินมีสารประกอบ เช่น เหล็กออกไซด์ เหล็กไฮดรอกไซด์ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมคาร์บอเนต เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม สารประกอบเหล่านี้จะละลายและแตกตัวให้ไอออนบวก เช่น ไอออนของเหล็ก อลูมิเนียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่อยู่ในชั้นสารละลายดิน และเมื่อไอออนฟอสเฟตกับไอออนบวกเหล่านี้ทำปฏิกริยากันจะเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายได้ยากขึ้น เช่น เกิดเป็นเหล็กฟอสเฟต อลูมิเนียมฟอสเฟต แคลเซียมฟอสเฟต และเป็นสารประกอบที่มีสูตรโมเลกุลซับซ้อนยิ่งขึ้นเมื่อเกิดสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายยากจึงเกิดการตรึงฟอสเฟตอย่างช้าๆ แต่การตรึงฟอสเฟตด้วยกระบวนการนี้มีปริมาณต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการดูดซับอยู่ตามผิวอนุภาคดิน

2.3.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการตรึงฟอสฟอรัสในดิน (อาภารัตน์, 2549)

2.3.3.2.1 ความเป็นกรด-ด่างของดิน ในดินกรดจัดคือดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5.5 และดินด่างคือดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7.0 ซึ่งเป็นปัจจัยก่อให้เกิดการตรึงฟอสฟอรัสได้ง่าย ในกรณีดินกรดในสารละลายดินจะมีไอออนพวกเหล็ก อลูมิเนียม และแมกนีสิ ละลายอยู่ในสารละลายดินมาก โดยเฉพาะอลูมิเนียมที่อยู่ในโครงสร้างของอนุภาคดินจะหลุดออกมา และทำปฏิกริยากับน้ำหลายขั้นตอน ผลจากการทำปฏิกริยาจะเกิดโปรตอน (H<sup>+</sup>) และสารประกอบของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (aluminium hydroxide) ซึ่งทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลง ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4 (พัชรี, 2550)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากนั้นฟอสเฟตไอออนที่อยู่ในดินจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบของอลูมิเนียมและเกิดเป็นสารประกอบอลูมิเนียมฟอสเฟตซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำได้ยากและแลกเปลี่ยนไอออนได้น้อย ดังสมการที่ 2.5 และ 2.6



ส่วนในดินที่เป็นต่าง ชั้นสารละลายดินจะมีแคลเซียม แมกนีเซียม และคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม ละลายอยู่เป็นจำนวนมากเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำ ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะช่วยรักษาระดับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินให้อยู่ในช่วงประมาณ 7.0-8.0 ได้ดังสมการที่ 2.7 (พัชรี, 2550)



ต่อมาฟอสเฟตไอออนที่อยู่ในดินจะเข้าทำปฏิกิริยากับแคลเซียมหรือแมกนีเซียมและเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบที่ตกตะกอน ทำให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่ดังสมการที่ 2.8



2.3.3.2 องค์ประกอบของแร่ในดินในดินที่มีแร่ดินเหนียวมอนต์โมริลโลไนต์ (montmorillonite) และเคโอลิไนต์ (kaolinite) แร่ดินเหนียวเหล่านี้จะมีองค์ประกอบของออกไซด์และไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออน โดยฟอสเฟตไอออนจากสารละลายดินเข้าแทนที่ไฮดรอกไซด์ที่อยู่รอบๆ ผิวของอนุภาคของแร่ดินเหนียวโดยการเกิดพันธะทางเคมี และที่เป็นองค์ประกอบของแร่ดินอื่นๆ ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตไอออนลดลง

2.3.3.2.3 ประเภทของลักษณะเนื้อดินจากปัจจัยของแร่ดินเหนียวที่มีอิทธิพลต่อการตรึงฟอสฟอรัสในดิน พบว่า ดินเนื้อละเอียดหรืออนุภาคของดินเหนียวที่มีมาก จะมีตรึงไอออนฟอสเฟตได้มากกว่าดินเนื้อหยาบที่มีอนุภาคดินเหนือน้อยกว่า

2.3.3.2.4 ลักษณะพื้นที่ผิวของสารประกอบที่ปลดปล่อยฟอสเฟตไอออนในการใส่ปุ๋ยที่มีอนุภาคเล็กซึ่งจะมีพื้นที่ผิวมากและละลายน้ำดี แม้ว่าฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะถูกปลดปล่อยออกมาได้รวดเร็วแต่ก็ง่ายต่อการถูกตรึง เนื่องจากฟอสเฟตไอออนที่ถูกปลดปล่อยออกมามีปริมาณมากและทำปฏิกิริยากับสารประกอบอื่นได้อีกด้วย

2.3.3.2.5 ระยะเวลาที่ฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับดิน และระยะเวลาของการตรึงปุ๋ยฟอสเฟตที่อยู่ในดิน ถ้ามีเวลายาวนานจะทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่ละลายได้ยากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2.6 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน อินทรีย์วัตถุจะสลายตัวและค่อยๆ ปลดปล่อยฟอสเฟตไอออน ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมา กรดคาร์บอนิก และกรดอินทรีย์ต่างๆ ได้จากการสลายตัวและปลดปล่อยออกมาของสารอินทรีย์ จะทำให้สารประกอบฟอสเฟตละลายได้มากโดยฟอสเฟตไอออนที่มีการถูกต้องตามผิวอนุภาคแร่ดินเหนียวแล้วบางส่วน จะมีการละลายปลดปล่อยฟอสเฟตกลับคืนออกมา ซึ่งสามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชได้โดยไอออนของกรดอินทรีย์ในดิน ได้แก่ กรดซิตริก และกรดออกซาลิก จะเข้าไปทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยน นอกจากนี้ฮิวมัสในดินอาจเคลือบผิวอนุภาคออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม ทำให้มีผลในการป้องกันไม่ให้ฟอสเฟตไอออนเข้าทำปฏิกิริยาและตกตะกอนกับสารเหล่านั้นได้ง่ายเกินไป

2.3.3.2.7 จุลินทรีย์ในดิน การละลายอนินทรีย์ฟอสเฟตจากรูปฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำ โดยจุลินทรีย์จะสามารถผลิตกรดขึ้นมาละลายหินฟอสเฟตให้อยู่ในรูปของฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ และอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จึงเรียกจุลินทรีย์ กลุ่มนี้ว่า phosphate-dissolving microorganism

### 2.3.4 กระบวนการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดิน (เกตน์ณนิภา, 2556)

#### 2.3.4.1 การปลดปล่อยอินทรีย์ฟอสฟอรัส

เกิดจากจุลินทรีย์ในดินบางชนิดที่มีความสามารถในการเปลี่ยนรูปของอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในกรณีของสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ในรูปของไฟทินและกรดฟอสฟอรัส จุลินทรีย์ในดินจะสร้างเอนไซม์ Phytase, Phosphatase, Nucleotidases และ Glycerophosphatase เพื่อแปรสภาพของอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่เรียกว่า ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) ซึ่งเป็นพวกโมโนและไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวได้แก่ แบคทีเรียสกุล *Bacillus* sp. ราสกุล *Aspergillus* sp., *Thiobacillus*, *Penicillium* sp. และ *Rhizopus* sp. เป็นต้น

#### 2.3.4.2 การปลดปล่อยอนินทรีย์ฟอสฟอรัส

เกิดจากจุลินทรีย์ในดินบางชนิดที่มีความสามารถในการเปลี่ยนรูปฟอร์มของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของหินฟอสเฟตซึ่งพืชยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จะมีจุลินทรีย์ในดินบางชนิดในสกุล *Bacillus* sp. และ *Aspergillus* sp. ที่สามารถผลิตกรดออกมาละลายฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ นอกจากนี้เชื้อราไมคอร์ไรซายังมีบทบาทในการละลายและส่งเสริมการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสอีกด้วยโดยกรดที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นมี 2 ชนิด คือ กรดอินทรีย์ (organic acids) ได้แก่ กรดซิตริก พอร์มิก อะซิติก โปรปิโอนิกแลคติก โกลโคลิก ฟูมาริก และกรดซัคซินิก เป็นต้น ซึ่งส่วนมากถูกสร้างมาจากจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟ โดยจะปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาจำนวนหนึ่งเสมอ ในระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยกรดอินทรีย์บางชนิดอาจเกิดคีเลตกับแคลเซียม เหล็ก และอลูมิเนียม ทำให้การละลายของฟอสฟอรัส มีมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะกรดซิตริก ซึ่งแตกตัวให้ซิเตรทไอออนที่เป็นประจุลบทำให้เกิดการแข่งขันกันระหว่างซิเตรทไอออนของกรดซิตริกและฟอสเฟตในการเข้าทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะประจุบวกต่างๆ ในดิน ได้แก่ แคลเซียมเหล็กแมกนีเซียมและอลูมิเนียม เป็นต้น ส่วนกรดอนินทรีย์ (inorganic acids) ได้แก่ กรดไนตริก และกรดซัลฟูริก จะเกิดจากกิจกรรมของ *Nitrobacter* และ *Thiobacillus* ซึ่งกรดที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะส่งผลให้ค่าพีเอชลดลง และเกิดการละลายของฟอสเฟตมากขึ้น

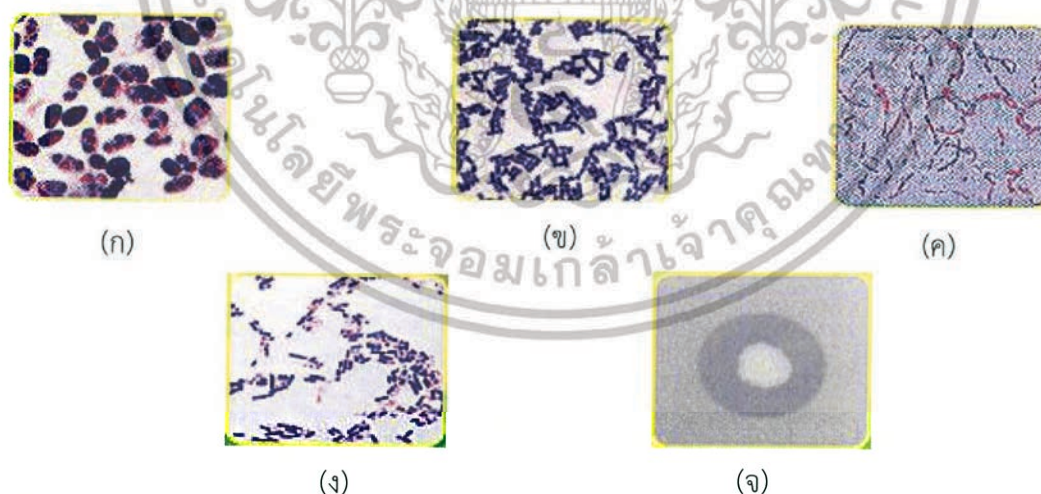
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 น้ำหมักชีวภาพ (กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559)

น้ำหมักชีวภาพเป็นของเหลวซึ่งได้จากการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากพืช หรือสัตว์ที่มีลักษณะสด อวบน้ำหรือมีความชื้นสูงโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนน้อย ทำให้ได้ฮิวโมน หรือสารเสริมการเจริญเติบโตของพืช เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน และไซโตไคนิน รวมทั้งกรดอินทรีย์ หลายชนิด เช่น กรดแลคติก กรดอะซิติก กรดอะมิโน และกรดฮิวมิก

สารเร่งซุเปอร์ พด.2 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ เพิ่มประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน ไขมัน ช่วยลดกลิ่นเหม็นระหว่างการหมัก และเพิ่มการละลายธาตุอาหารในการหมักเปลือกไข่ ก้าง และกระดูกสัตว์ในเวลาสั้นและได้คุณภาพ ซึ่งเจริญเติบโตในสภาพเป็นกรด ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 5 สายพันธุ์ ได้แก่ แบคทีเรียละลายอินทรีย์ฟอสฟอรัส แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีน แบคทีเรียย่อยสลายไขมัน และยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ ดังรูปที่ 2.2-2.6 โดยสารเร่งซุเปอร์ พด.2 มีจุดเด่นดังนี้

- 1) สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้จากวัตถุดิบได้หลากหลาย เช่น ผัก ผลไม้ ปลา หอยเชอรี เปลือกไข่ เศษก้างและกระดูกสัตว์
- 2) เพิ่มประสิทธิภาพการละลายธาตุอาหารในการหมักวัตถุดิบจากเปลือกไข่ ก้าง และกระดูกสัตว์
- 3) เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ในสภาพความเป็นกรด
- 4) จุลินทรีย์ส่วนใหญ่สร้างสปอร์ ทำให้ทนต่อสภาพแวดล้อมและเก็บรักษานาน
- 5) สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในเวลาสั้นและได้คุณภาพ
- 6) ช่วยให้พืชแข็งแรง ต้านทานต่อการเข้าทำลายของโรค / แมลง



รูปที่ 2.2 แบคทีเรียชนิดต่างๆในสารเร่งซุเปอร์ พด.2 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2559)

(ก) แบคทีเรียละลายอินทรีย์ฟอสฟอรัส

(ข) แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก

(ค) แบคทีเรียย่อยสลายโปรตีน

(ง) แบคทีเรียย่อยสลายไขมัน

(จ) ยีสต์ผลิตแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการนำไปใช้นิยมนำสารเร่งซูปเปอร์ พด.2 ไปหมักกับสารอื่นๆ เช่น ผัก ผลไม้ หอยเชอรี่ โดยมีส่วนผสมดังต่อไปนี้คือ

- 1) ปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากผักและผลไม้ จำนวน 50 ลิตร (ใช้เวลาการหมัก 7 วัน)
 

ผักหรือผลไม้	40	กิโลกรัม
กากน้ำตาล	10	กิโลกรัม (หรือน้ำตาลทราย5กิโลกรัม)
น้ำ	10	ลิตร (หรือให้ท่วมวัสดุหมัก)
สารเร่งซูปเปอร์ พด.2	1	ซอง (25 กรัม)
- 2) ปุ๋ยอินทรีย์น้ำจากปลาหรือหอยเชอรี่ จำนวน 50 ลิตร (ใช้เวลาการหมัก 15 - 20 วัน)
 

ปลาหรือหอยเชอรี่	30	กิโลกรัม
ผลไม้	10	กิโลกรัม
กากน้ำตาล	10	กิโลกรัม (หรือน้ำตาลทราย5กิโลกรัม)
น้ำ	10	ลิตร (หรือให้ท่วมวัสดุหมัก)
สารเร่งซูปเปอร์ พด.2	1	ซอง (25 กรัม)

การเตรียมน้ำหมักชีวภาพตามส่วนผสมดังกล่าวมีขั้นตอนดังนี้คือ

- 1) ทิ้งหรือสับวัสดุพืชหรือสัตว์ให้เป็นชิ้นเล็กๆ
- 2) ผสมกากน้ำตาลกับน้ำในถังหมักคนให้ส่วนผสมเข้ากัน
- 3) ใส่สารเร่งซูปเปอร์ พด.2 จำนวน 1 ซอง ในส่วนผสมของกากน้ำตาลกับน้ำคนให้เข้ากัน นาน 5 นาที
- 4) นำเศษพืชหรือสัตว์ใส่ลงไปจนถึงหมักและคนส่วนผสมให้เข้ากัน
- 5) ปิดฝาไม่ต้องสนิทและตั้งไว้ในที่ร่ม
- 6) ในระหว่างหมักคนหรือกวน 1-2 ครั้งต่อวันเพื่อระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และทำให้ส่วนผสมคลุกเคล้าได้ดียิ่งขึ้น

สำหรับการผลิตน้ำหมักชีวภาพโดยวิธีการต่อเชื้อทำได้โดยนำน้ำหมักชีวภาพที่ใช้สารเร่งซูปเปอร์ พด.2 ที่หมักเป็นเวลา 5-7 วัน ซึ่งจะสังเกตเห็นฝ้าสีขาวที่ผิววัสดุหมัก จำนวน 2 ลิตร แทนการใช้สารเร่งซูปเปอร์ พด. 2 จำนวน 1 ซองในการผลิตน้ำหมักชีวภาพ 50 ลิตร และใช้วัสดุหมัก 30-40 กิโลกรัม

น้ำหมักชีวภาพที่หมักสมบูรณ์แล้วจะสังเกตได้จากการเจริญของจุลินทรีย์น้อยลงโดยคราบเชื้อที่พบในช่วงแรกจะลดลงไม่พบฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลิ่นแอลกอฮอล์ลดลง และความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 3-4

น้ำหมักชีวภาพพด.2 ที่ได้มีคุณสมบัติต่างๆไปดังนี้คือ

- 1) มีฮอร์โมนหรือสารเสริมการเจริญเติบโตหลายชนิด เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน ไซโตไคนิน ดังตารางที่ 2.2
- 2) มีกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดแลคติก กรดอะซิติก กรดอะมิโน และกรดฮิวมิก
- 3) มีวิตามินบี เช่น วิตามินบีสอง และไนอะซิน
- 4) มีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 3-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปริมาณธาตุอาหารพืช ทั้งกลุ่มธาตุอาหารหลักและรอง แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ปริมาณฮอร์โมนและกรดฮิวมิกในน้ำหมักชีวภาพพด.2

ชนิดน้ำหมักชีวภาพ	ฮอร์โมน (มิลลิกรัมต่อลิตร)			กรดฮิวมิก (เปอร์เซ็นต์)
	ออกซิน	จิบเบอเรลลิน	ไซโตไคนิน	
น้ำหมักชีวภาพจากปลา	4.01	33.07	3.05	3.36
น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่	6.85	37.14	13.62	3.07
น้ำหมักชีวภาพจากผักประเภทกินใบ	4.43	16.57	22.64	0.95
น้ำหมักชีวภาพจากผักประเภทกินผล	0.27	28.93	11.28	0.83
น้ำหมักชีวภาพจากน้ำนมและผลไม้	48.04	360.60	25.60	0.87
น้ำหมักชีวภาพจากน้ำนมดิบ	1.63	17.18	15.12	1.39
น้ำหมักชีวภาพจากพืชสมุนไพร	1.34	17.40	23.81	1.01

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2559)

ตารางที่ 2.3 ชนิดและปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในน้ำหมักชีวภาพพด.2

ชนิดน้ำหมักชีวภาพ	ธาตุอาหาร (เปอร์เซ็นต์)					
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	แคลเซียม	แมกนีเซียม	ซัลเฟอร์
น้ำหมักชีวภาพจากผักผลไม้	0.14	0.04	0.53	0.08	0.06	0.11
น้ำหมักชีวภาพจากปลา	0.98	1.12	1.03	1.66	0.24	0.20
น้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่	0.73	0.2	0.89	2.90	0.32	0.22
น้ำหมักชีวภาพจากน้ำนมดิบ	0.38	0.19	0.60	0.28	0.09	0.16

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2559)

## 2.5 น้ำสับปะรด

สับปะรดถือเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูง เพราะมีสารอาหารและแร่ธาตุหลายชนิด

### 2.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำสับปะรด

#### 1) กรดอินทรีย์ในน้ำสับปะรด

การวิเคราะห์ชนิดของกรดอินทรีย์ที่พบในน้ำสับปะรด แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 กรดอินทรีย์ในน้ำสับปะรด 100 มิลลิลิตร

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้	หน่วย
กรดซิตริก	0.864	กรัมต่อน้ำสับปะรด 100 มิลลิลิตร
กรดมาลิก	0.461	กรัมต่อน้ำสับปะรด 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือขึ้นต้นการค้า  
ที่มา : M. Camara *et al.* (1994)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) แร่ธาตุในน้ำสับประรด

การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ที่พบในน้ำสับประรด แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แร่ธาตุต่างๆ ในน้ำสับประรด 100 มิลลิลิตร

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้	หน่วย
เถ้า	0.386	กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
โซเดียม	2.24	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
โพแทสเซียม	124	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
แคลเซียม	11.5	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
แมกนีเซียม	15.4	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
ฟอสฟอรัส	3.16	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
ทองแดง	0.059	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
เหล็ก	0.265	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
แมงกานีส	0.295	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
สังกะสี	0.074	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

ที่มา : M. Camara et al. (1994)

## 2.6 น้ำมะนาว

มะนาวเป็นไม้ผลชนิดหนึ่ง ผลมีรสเปรี้ยวจัด จัดอยู่ในสกุลส้ม (*Citrus*) ผลสีเขียว เมื่อสุกจัดจะเป็นสีเหลือง เปลือกบาง ภายในมีเนื้อแบ่งกลีบๆ ชุ่มน้ำมาก นับเป็นผลไม้ที่มีคุณค่า นิยมใช้เป็นเครื่องปรุงรส นอกจากนี้มะนาวยังเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมการถนอมอาหารอีกด้วยเนื่องจากภายในมะนาวมีองค์ประกอบที่เป็นประโยชน์

### 2.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว

#### 1) กรดอินทรีย์ในน้ำมะนาว

การวิเคราะห์ชนิดของกรดอินทรีย์ที่พบในน้ำมะนาว แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 กรดอินทรีย์ในน้ำมะนาว

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้	หน่วย
กรดซิตริก	3.3±0.08	กรัมต่อน้ำมะนาวต่อมิลลิลิตร

ที่มา : Nelofer Jamil (2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) แร่ธาตุในน้ำมะนาว

การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ที่พบในน้ำมะนาว แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แร่ธาตุต่างๆ ในน้ำมะนาว 100 มิลลิลิตร

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้	หน่วย
แคลเซียม	7.172	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
เหล็ก	0.042	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
แมกนีเซียม	6.123	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
ฟอสฟอรัส	6.123	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
โพแทสเซียม	127.078	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
โซเดียม	1.007	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
สังกะสี	0.042	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
ทองแดง	0.042	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร
ซิลิเนียม	0.084	มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

ที่มา : Catherine Smith (2015)

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 กรณิกา ใจเขียว และคณะ (2556) ศึกษาคุณภาพของฟอสฟอรัสในคอลัมน์ตะกอนสารส้มหลังจากผ่านการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ชุดคอลัมน์ 3 ชุด คือ ทRAY ดินตะกอน และ ดินตะกอนผสมสารส้ม พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ลักษณะของน้ำก่อนและหลังผ่านคอลัมน์ สมบัติทางเคมีของดินตะกอนที่ใช้ในการทดลองและรูปฟอร์มฟอสฟอรัสที่ได้จากการสกัดแบบลำดับชั้น 6 ขั้นตอน ที่ระดับความลึก 0-5, 11-15, 26-30 เซนติเมตร รูปฟอร์มฟอสฟอรัสที่พบประกอบด้วยรูปที่ดูยึดติดแบบหลวมๆ รูปสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่แลกเปลี่ยนไอออนได้และรูปที่อยู่ในเซลล์จุลินทรีย์ในดิน โดยที่ทั้ง 2 รูปนี้ เป็นรูปที่สลายตัวได้ง่ายหรือเป็นประโยชน์ต่อพืช ขณะที่อีก 3 รูปจัดอยู่ในกลุ่มที่ย่อยสลายได้ยาก ประกอบด้วยรูปที่ยึดกับเหล็กและอลูมิเนียม รูปที่ยึดกับแคลเซียมและแมกนีเซียมและรูปที่ตกค้างในดิน ผลการศึกษาพบว่า น้ำหลังผ่านคอลัมน์ดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้มมีความเป็นกรด-ด่างและค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น สำหรับค่าซีไอดี และออร์โธฟอสเฟตมีค่าลดลง และเมื่อนำดินตะกอนหลังจากการผ่านการบำบัดน้ำเสียมาวิเคราะห์พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้มอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง ส่วนความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในระดับปานกลาง และปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับสูง ขณะที่ผลการสกัดแบบลำดับชั้นเพื่อบอกรูปฟอร์มฟอสฟอรัสพบว่า รูปฟอร์มที่พบมากที่สุดในดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้ม ที่ระดับความลึก 0-5 ซม. คือรูปที่ยึดกับเหล็กและอลูมิเนียม

2.7.2 กัลยาวัตติ และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาไอโซเทอร์มและจลนพลศาสตร์ของการดูดซับฟอสเฟตด้วยดินตะกอนสารส้ม ซึ่งดินตะกอนสารส้มที่ใช้ทดลอง นำมาจากลานตากตะกอนของโรงผลิตน้ำประปาบางเขน โดยให้ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำเสียเป็น 50 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร และทำการศึกษากว้างๆ ที่เหมาะสมต่อการดูดซับ คือ พีเอช ปริมาณดินตะกอน และระยะเวลาที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในการดูดซับ ผลการทดลองพบว่า ที่พีเอช 4 เป็นพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับฟอสเฟตมากที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณดินตะกอน จะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาที่ใช้ คือ 60 นาที ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงถึง 99 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการศึกษาถึงไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วยดินตะกอนสารส้ม พบว่า มีความสอดคล้องกับสมการของแลงเมียร์ และจลนพลศาสตร์ของการดูดซับเป็นไปตามแบบ Pseudo-second order

2.7.3 เกตน์ณินภา วันชัย (2556) ศึกษาการประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ท้องถิ่นที่ตรึงอยู่บนวัสดุชนิดต่างๆ ในการปรับปรุงคุณภาพดินนาข้าวที่เกิดอุทกภัย กรณีศึกษาของอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยทดสอบผลของเชื้อจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตที่แยกได้ต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข47 ผลการวิจัยพบว่าสามารถแยกเชื้อจุลินทรีย์ที่ปลดปล่อยกรดอินทรีย์มาละลายฟอสเฟตจากดินนาข้าวได้ 2 ชนิด คือ *Burkholderia sp.* และ *Pantoea dispersa*. โดยละลายฟอสเฟตได้ 179.8 และ 187.0 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ตามลำดับ แล้วจึงนำเชื้อทั้งสองชนิดมาตรึงบนวัสดุตรึง 3 ชนิด คือ ไคโตซาน ซีเมนต์แกลบ และกฐิมัทเพื่อทดสอบผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข47 จากผลการทดลองพบว่า จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข47 โดยต้นข้าวมีเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูง จำนวนใบ ความยาวของราก และน้ำหนักแห้งของลำต้นในแต่ละต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของวัสดุตรึง พบว่าซีเมนต์แกลบที่ทำการตรึงเชื้อทั้งสองชนิดจะให้ผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า *Burkholderia sp.* มีความสามารถในการผลิตกรดอินทรีย์ออกมาละลายฟอสเฟตจากดินได้ดีกว่า *Pantoea dispersa*

2.7.4 ขนิษฐา เซะวิเศษ และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษานำตะกอนสารส้มจากโรงผลิตน้ำประปามากำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยสภาวะที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอช ปริมาณตะกอนสารส้ม และระยะเวลา ผลการศึกษาพบว่า พีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดฟอสเฟต คือ พีเอช 4.0 โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตสูงถึง 98 เปอร์เซ็นต์และเมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนสารส้ม พบว่า สามารถกำจัดฟอสเฟตในสารละลายได้มากขึ้น สำหรับผลการศึกษากำจัดไอออนฟอสเฟต ที่ระยะเวลา 1, 7, 14, 21 และ 28 วัน ผลปรากฏว่า ฟอสเฟตในสารละลายจะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ไอออนคลอไรด์ซัลเฟต และพีเอชของสารละลายจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ที่ผิวของตะกอนสารส้ม (Ligand exchange) ของไอออนต่างๆ ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ ( $\text{OH}^-$ ) คลอไรด์ ( $\text{Cl}^-$ ) ซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) และอินทรีย์วัตถุ

2.7.5 วาดวัน สิงหพงษ์ และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาในการกำจัดตะกั่วซีโอไซด์และของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำเสียชุมชนซึ่งมีการเติมตะกั่ว 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสเฟต 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมซูโครสเพื่อให้มีค่าซีโอไซด์ 300 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคอลัมน์จำนวน 3 ชุด ได้แก่ คอลัมน์ทรายดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้ม ที่มีการปล่อยน้ำเสียผ่านคอลัมน์ทุกวันเป็นเวลา 71 วัน ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของคอลัมน์ทรายดินตะกอนและดินตะกอนสารส้มโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 98.31, 99.01 และ 99.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับโดยตะกั่วจะฟอร์มตัวจับกับฟอสเฟตหรือสารประกอบอื่นๆอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำและถูกกำจัดขั้นแรกด้วยการกรองนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นตะกั่วจะถูกไฮดรอกไซด์ให้อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ ( $\text{Pb}(\text{OH})_2$ ) ซึ่งสามารถถูกดูดซับบนดินหรือบนโลหะไฮดรอกไซด์ได้ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเพิ่มขึ้นสำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์พบว่าคอลัมน์ดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้มมีค่ามากกว่าทรายตามลำดับคือ 50.65, 50.85 และ 32.09 เปอร์เซ็นต์ โดยซีโอไซด์จะถูกกำจัดด้วยการกรองและกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพและสุดท้ายคือประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยซึ่งจะถูกกำจัดด้วยการกรองพบว่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอลัมน์ดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้มมีประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยมากกว่า คอลัมน์ทรายคือ 73.42, 72.23 และ 63.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.7.6 สมเกียรติ เกื้อหนุน (2551) ศึกษาการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของอินทรีย์ฟอสฟอรัสในดินนาโดยใช้เชื้อ *Ustilago* sp. AR101 และ PM103 เพื่อส่งเสริมการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าว พบว่ากระบวนการเปลี่ยนอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัส เป็นกระบวนการสลายตัวของอินทรีย์ฟอสฟอรัสจากซากพืช ซากสัตว์ และอินทรีย์วัตถุ รวมถึงเซลล์ที่เป็นองค์ประกอบในจุลินทรีย์ กระบวนการนี้เกิดเมื่อสัดส่วนคาร์บอนกับฟอสฟอรัสในดิน (C:P ratio) มีปริมาณ 300:1 โดยจุลินทรีย์จะผลิตกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ โดยเฉพาะกรดซิตริก ซึ่งมีประสิทธิภาพในการละลายอินทรีย์ฟอสฟอรัสต่างๆ ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสได้

2.7.7 อัจจิมา ทวีกุล และคณะ (2556) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยดินตะกอนสารส้มจากกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยใช้ชุดคอลัมน์ จำนวน 3 ชุด ซึ่งน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียชุมชนที่มีการเติมตะกั่วและฟอสเฟตในปริมาณ 30 และ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมซูโครสเพื่อให้มีค่าซีไอดี 300 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคอลัมน์ทราย ดินตะกอนและดินตะกอนผสมสารส้มในการบำบัดน้ำเสียที่ปล่อยลงคอลัมน์ทุกๆ สัปดาห์ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของคอลัมน์ทราย ดินตะกอน และดินตะกอนผสมสารส้มมีค่าเท่ากับ 93.06, 98.45 และ 98.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการบำบัดออร์โธฟอสเฟตมีค่า 92.44, 99.86 และ 99.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยฟอสเฟตอาจถูกจับอยู่ที่อนุภาคของดิน และบางส่วนอาจอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนหรือห่อหุ้มเป็นผลึกคอลลอยด์ สำหรับผลการศึกษาในการชะละลายของไอออนซัลเฟต คลอไรด์ รวมทั้งชนิดหรือรูปต่างๆ ของไนโตรเจน พบว่าคอลัมน์ดินตะกอน และดินตะกอนผสมสารส้มมีปริมาณซัลเฟตและคลอไรด์เพิ่มมากขึ้น

2.7.8 อานุช แก้ววงศ์ (2548) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากดินตะกอนน้ำเสียชุมชน โดยการนำดินตะกอนหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียชุมชนมาทำการหมักเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืชเนื่องจากในดินตะกอนดังกล่าวจะประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ไนโตรเจนฟอสฟอรัสและแร่ธาตุต่างๆ ในปริมาณที่เป็นปุ๋ยได้ รวมทั้งมีสารอินทรีย์ที่มีผลในการปรับปรุงลักษณะกายภาพเคมี และชีวภาพของดิน อีกทั้งยังทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) ของดินเพิ่มขึ้น โดยสามารถยึดประจุบวกต่างๆ ที่เป็นธาตุอาหารของพืชไว้ได้ดีทำให้การสูญเสียธาตุอาหารของดินจากการชะล้างของน้ำลดลง

2.7.9 วาสนา และคณะ (2558) ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์และเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสีย โดยนำดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสียสังเคราะห์มาผสมกับดินธรรมชาติในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน จำนวน 4 อัตราส่วน ได้แก่ C (0:1), S1 (1:0), S2 (1:1) และ S3 (1:3) ผลการวิจัยพบว่า ในสัปดาห์ที่ 3 ใบของต้นดาวเรืองเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองอ่อน เนื่องจากการขาดธาตุไนโตรเจน แต่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยปรากฏว่า ต้นดาวเรืองมีการเจริญเติบโตและมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกอัตราส่วน รวมถึงเริ่มมีการผลิตดอกตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 โดยอัตราส่วนที่ให้จำนวนดอกมากที่สุด คือ S2 รองลงมาคือ S1 ส่วนระบบรากมีการเจริญเติบโตอย่างปกติในทุกอัตราส่วนหลังจากนั้นจึงนำดินทั้ง 4 อัตราส่วนมาวิเคราะห์ปริมาณของไอออนหรือแร่ธาตุต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการปลูกต้นดาวเรือง ผลปรากฏว่า อัตราส่วน S1 มีปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินก่อนปลูกมากที่สุด ขณะที่ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้กลับมีปริมาณน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งตรงข้ามกับในดินหลังปลูกที่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดลดลง แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้เพิ่มสูงขึ้นในทุกอัตราส่วน สำหรับปริมาณของเหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญ โดยเหล็กจะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโต แต่อลูมิเนียมจะถูกนำไปสะสมอยู่ตามส่วนต่างๆ โดยไม่เป็นพิษต่อต้นดาวเรือง ส่วนปริมาณของเจลดาร์ลไนโตรเจนในดินก่อนปลูก ถือว่าอยู่ในระดับที่ต่ำมาก ขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินอัตราส่วน C และ S3 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งต่างจากอัตราส่วน S1 และ S2 ที่มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ต่อมาได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของฟอสฟอรัสที่ถูกเติมลงในดินตะกอนสารส้ม โดยใช้สารสกัดจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ และกรดซิตริกจากสับปะรด ผลการวิจัยพบว่า กรดซิตริก 7 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเปลี่ยนรูปฟอร์มของฟอสฟอรัสในดินตะกอนมากกว่ากรดซิตริกจากสับปะรด โดยพบฟอสฟอรัสรูปแบบเปลี่ยนได้และฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำมากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของเหล็กและอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น รวมถึงมีผลต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในดินตะกอนและในสารละลายที่ได้จากการสกัดที่มีค่าสูงขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีค่าต่ำลง ส่วนน้ำกลั่นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอน

2.7.10 สุภาพร จันรุ่งเรือง และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาในครั้งเป็นการแยกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตในรูปไตรแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) เฟอริกฟอสเฟต ( $\text{FePO}_4$ ) และอลูมิเนียมฟอสเฟต ( $\text{AlPO}_4$ ) ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์และผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟตต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 จากการคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตจากดินนาที่มีซัลเฟตเจือปน (Paddy acid Sulfate soil) และชุดดินรังสิตในอาหารเลี้ยงเชื้อ National Botanical Research Institute phosphate growth medium (NBRIP) ผลการทดลองพบว่า สามารถคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตได้จำนวน 6 ไอโซเลต (Rs01-06) โดยแบคทีเรียสายพันธุ์ Rs01 มีประสิทธิภาพในการละลายไตรแคลเซียมฟอสเฟต ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) ได้ 878.5 มิลลิกรัม ฟอสเฟตต่อลิตร หลังการบ่มเชื้อไว้ 3 วันจากนั้นทำการจำแนกชนิดของสายพันธุ์ Rs01 โดยการทดสอบแหล่งคาร์บอนด้วยวิธี Biologmicrolog system พบว่าเป็น *Burkholderia multivarans* จากนั้นทำการศึกษาผลของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต Rs01 ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ในชุดดินตาคลีโดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) มี 4 ดำรับการทดลองจำนวน 6 ซ้ำพบว่าการเติม *Burkholderia multivarans* สายพันธุ์ Rs01 ร่วมกับการใส่ยูเรียและโพแทสเซียมคลอไรด์ทำให้ความสูงเส้นรอบวงน้ำหนักแห้งของลำต้นและใบของข้าวโพดหวานที่ระยะออกใหม่ (54 วัน) แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.01$ ) เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมร่วมกัน

2.7.11 ศิริรัตน์ กาวีเขียว (2554) ได้ทำการศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของต้นถั่วเขียว โดยคัดเลือกจากสูตรน้ำหมักที่ดีที่สุด 7 สูตร มีส่วนประกอบและอัตราส่วนดังนี้ สูตรที่ 1 (กล้วยต่อกากน้ำตาล อัตราส่วน 3:1) สูตรที่ 2 (มะพร้าวต่อกากน้ำตาล อัตราส่วน 3:1) สูตรที่ 3 (มะละกอต่อกากน้ำตาล อัตราส่วน 3:1) สูตรที่ 4 (กล้วยต่อมะละกอต่อกากน้ำตาล อัตราส่วน 3:3:1) สูตรที่ 5 (กล้วยต่อมะพร้าวต่อกากน้ำตาล อัตราส่วน 3:3:1) สูตรที่ 6 (มะละกอต่อมะพร้าวต่อกากน้ำตาล อัตราส่วน 3:3:1) สูตรที่ 7 (มะละกอต่อมะพร้าวต่อกล้วยต่อกากน้ำตาล อัตราส่วน 3:3:3:1) ตามลำดับ การติดตามการเปลี่ยนแปลงน้ำหมักชีวภาพได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ และปริมาณกรด เป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่า น้ำหมักทุกสูตรมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นใน 2 วันแรก และคงที่ที่ 30 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาการศึกษาค่าพีเอชลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 10 วัน จากนั้นทำการติดตามการงอกและการเจริญเติบโตของต้นถั่วเขียวเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยนำน้ำหมักแต่ละสูตรมาทำการเจือจางด้วยอัตราส่วน 1:100 (V/V) พบว่า น้ำหมักสูตรที่ 6 ให้อัตราการงอกและการเจริญเติบโต (ความยาวส่วนต้นและความยาวส่วนราก) สูงที่สุด แล้วหาอัตราการเจือจางของน้ำหมักสูตรที่ 6 ต่อการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งอกและการเจริญเติบโตของต้นถั่วเขียวเป็นเวลา 7 วัน โดยใช้อัตราส่วนน้ำหมักต่อ น้ำ 1:10 1:100 1:1,000 1:10,000 และ 1:100,000 (V/V) พบว่า อัตราการเงาจางที่ 1:10,000 ให้อัตราการงอกและการเจริญเติบโตสูงที่สุด แล้วทำการศึกษาความถี่ของการรดน้ำหมักในช่วงเวลาต่างๆ ได้แก่ 3, 7 และ 14 วัน ในห้องปฏิบัติการจนครบวงจรชีวิตของต้นถั่วเขียว โดยใช้อัตราส่วนเงาจางที่ 1:10,000 พบว่า การรดน้ำหมักทุก 3 วัน ให้การเจริญเติบโตจนเก็บผลผลิตได้ดีที่สุดในระยะเวลา 42 วัน ในขณะที่ต้นควบคุมให้ผลผลิตสูงสุดในวันที่ 56 จากนั้นนำไปศึกษาในแปลงทดลอง พบว่า การรดน้ำหมักทุก 3 วัน ให้การเจริญเติบโตจนเก็บผลผลิตได้ดีที่สุดในระยะเวลา 42 วัน ในขณะที่ต้นควบคุมให้ผลผลิตสูงสุดในวันที่ 49 ดังนั้นน้ำหมักชีวภาพสูตรที่ 6 สามารถทำให้การเจริญเติบโตของต้นถั่วเขียวและให้ผลผลิตเร็วกว่าภาวะปกติ

2.7.12 M. Camara et al. (1994) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในสับปะรด พบว่า ในเนื้อและน้ำคั้นสับปะรดมีกรดอินทรีย์ที่สำคัญหลายชนิด เช่น กรดซิตริก มาลิก ทาริก และกรดออกซาลิก เป็นต้น โดยเฉพาะกรดซิตริกที่มีปริมาณสูงกว่ากรดอินทรีย์ชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุที่สำคัญ ได้แก่ โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น ซึ่งโพแทสเซียมที่ตรวจพบมีปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแร่ธาตุชนิดอื่นๆ ทั้งในเนื้อและในน้ำสับปะรด เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติและการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก แสดงให้เห็นว่าระดับของกรดอินทรีย์และโพแทสเซียมเป็นตัวชี้วัดขององค์ประกอบหลักที่มีปริมาณมากที่สุดในสับปะรด

2.7.13 M. Drouillon (2003) ทำการศึกษาปริมาณของกรดคาร์บอกซิลิกที่มวลโมเลกุลต่ำ 2 ชนิด ที่มีผลต่อการสะสมฟอสฟอรัสในดิน โดยศึกษาในดินพีเอช 5 ที่มีอินทรีย์สารอยู่ในปริมาณสูง และมีการสะสมของฟอสฟอรัสที่พืชใช้ประโยชน์ได้ต่ำพบว่าปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกชะละลายโดยกรดซิตริก 10 Mm ( $0.1-2 \text{ mg kg}^{-1}$ ) นั้นมากกว่าปริมาณของฟอสฟอรัสที่ถูกชะละลายด้วยแคลเซียมคลอไรด์  $10^{-3} \text{ M}$  ( $0.007-0.07 \text{ mg kg}^{-1}$ ) และตัวชะละลายทั้ง 2 ได้ถูกปรับพีเอชก่อนที่จะนำไปชะละลาย และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ชะละลายด้วยกรดซิตริก ( $2-44 \text{ mg kg}^{-1}$ ) มีค่ามากกว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ชะละลายด้วยแคลเซียมคลอไรด์ ( $0.2-1.5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนของฟอสฟอรัสที่ละลายได้ในกรด (Molybdate reactive P) และฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved P) คงที่ เมื่อใช้กรดซิตริกเป็นตัวชะละลายนอกจากนี้แล้วพบว่ากรดซิตริกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพีเอชและยับยั้งการหลุดออกของฟอสฟอรัสออกจากบริเวณรากพืช

2.7.14 M. Brestić (2015) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยกรดอินทรีย์จากระบบรากพืชสามารถเพิ่มฟอสฟอรัสในดินได้ ผลการศึกษาพบว่ากรดอินทรีย์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในการปลดปล่อยฟอสฟอรัส โดยที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมล / ลิตร จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ชนิดของกรดอินทรีย์ที่มีผลต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัสมากที่สุดคือกรดซิตริก ตามด้วย กรดมาลิก และกรดอะซิติก ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด มีค่าเท่ากับ 0.1 จะไม่พบปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลาย สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างกรดอินทรีย์กับการชะละลายฟอสฟอรัสจากดิน โดยใช้สมการการแพร่กระจายพาราโบลาพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่จะถูกชะละลายออกมาแปรตามความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ ดังนั้นเมื่อใดที่พืชขาดฟอสฟอรัส การเติมกรดอินทรีย์ลงไปจะช่วยให้พืชสามารถดึงฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดการดูดแสงของอะตอม (Atomic Absorption Spectrophotometer) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Analyst 200
2. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo รุ่น Genesys 10s UV-Vis
3. เครื่องให้ความร้อน (Heating mantle) ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น Fisher stirring hotplate
4. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (conductivity meter) ยี่ห้อ Consort รุ่น C860
5. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ Consort รุ่น C860
6. เครื่องย่อย (Digester) ยี่ห้อ BUCHI รุ่น K-425
7. เครื่องเขย่า (Orbital Shaker) ยี่ห้อ WiseShake รุ่น SHO-1D
8. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Centurion รุ่น 1000 Series
9. ตู้อบ (Incubator) ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น IsoTEMP
10. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AVX220
11. เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion chromatography) ยี่ห้อ Metrohm
12. เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
  - 12.1 ปิเปต (Pipette) พร้อมลูกยาง (Rubber bulb)
  - 12.2 บิวเรต (Burette)
  - 12.3 บีกเกอร์ (Beaker)
  - 12.4 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) พร้อมจุกยางสีดำ (Rubber Cork)
  - 12.5 ขวดปรับปริมาตร (Volume metric flask)
  - 12.6 หลอดทดลอง (Test tube)
  - 11.7 กระบอกตวง (Cylinder)
  - 12.8 กระจกนาฬิกา (Watch glass)
  - 12.9 หลอดย่อย (Kjeldahl digestion flask)
13. อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการทดลอง
  - 13.1 หลอดสำหรับปั่นเหวี่ยง (Centrifuge tube)
  - 13.2 ครกและสาก (Mortar and Pestle)
  - 13.3 กระดาษกรอง (Filter paper) what man GF/C เบอร์ 42
  - 13.4 ถาดสำหรับตากดินตะกอน (Plastic trays)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 สารเคมีที่ใช้ทดลอง

1. โปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) เกรดวิเคราะห์
2. สารละลายกรดไนตริก (Nitric acid,  $\text{HNO}_3$ ) เข้มข้น 65% เกรดวิเคราะห์
3. สารละลายกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) เข้มข้น 95% เกรดวิเคราะห์
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid,  $\text{HCl}$ ) เข้มข้น 35% เกรดวิเคราะห์
5. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) เข้มข้น 27% เกรดวิเคราะห์
6. สารละลายเอทานอล (Ethanol,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) เข้มข้น 95% เกรดวิเคราะห์
7. สารละลายกรดไทโอไกลโคลิก (Thioglycolic acid,  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{S}$ ) เข้มข้น 1% เกรดวิเคราะห์
8. สารละลายมาตรฐานเหล็กสำหรับวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของอะตอม
9. สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตสำหรับวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนไอออน
10. โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium hydrogen carbonate,  $\text{NaHCO}_3$ ) เกรดวิเคราะห์
11. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide,  $\text{NaOH}$ ) เกรดวิเคราะห์
12. โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) เกรดวิเคราะห์
13. แอมโมเนียมอะซิเตรท (Ammonium acetate,  $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_2$ ) เกรดวิเคราะห์
14. แอมโมเนียมออริโนไตรคาร์บอกซิลิกแอซิด (Ammonium-aurintricarboxylic acid,  $\text{C}_{22}\text{H}_{14}\text{O}_9\text{3NH}_3$ ) เกรดวิเคราะห์
15. แอนติโมนีโปแทสเซียมทาร์เตรต (Antimony Potassium Tartrate,  $\text{KSbO}_3\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) เกรดวิเคราะห์
16. แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) เกรดวิเคราะห์
17. โปแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride,  $\text{KCl}$ ) เกรดวิเคราะห์
18. โปแทสเซียมฟลูออไรด์ (Potassium fluoride,  $\text{KF}$ ) เกรดวิเคราะห์
19. โปแทสเซียมอลูมิเนียมซัลเฟตเดคาไฮเดรต (Potassium aluminium sulfatedodecahydrate,  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) เกรดวิเคราะห์
20. นอร์ฟทาไลน์ (Phenolphthalein,  $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ ) เกรดวิเคราะห์
21. กัมอะคาเซีย (Gum acacia) เกรดวิเคราะห์
22. กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ) เกรดวิเคราะห์
23. แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride,  $\text{CaCl}_2$ ) เกรดวิเคราะห์
24. ไดโซเดียมเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติกแอซิด (disodium Ethylene diamine tetra-acetic acid,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ) เกรดวิเคราะห์
25. ไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine,  $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$ ) เกรดวิเคราะห์
26. น้ำกลั่น (Distilled water)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ขั้นตอนเตรียมการทดลอง

#### 1. การเตรียมดินตะกอนสารส้ม

นำดินตะกอนสารส้มจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขนมาผึ่งลมให้แห้งและบดให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช เก็บใส่ถุงซิปล็อคไว้ใช้ในการทดลองต่อไป

#### 2. การเตรียมน้ำหมักชีวภาพ

ติดต่อขอน้ำหมักชีวภาพจากกรมพัฒนาที่ดินโดยไปรับมาประมาณ 1 ลิตร เมื่อวันที่ 1 กันยายน 2559 และนำมาเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น ก่อนนำมาใช้วางทิ้งไว้ให้อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

### 3.4 การทดลอง

#### 3.4.1 ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำน้ำหมักชีวภาพไปชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้ม

1. นำดินตะกอนสารส้มมาเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและปล่อยให้ระเหยในที่ร่มจนแห้ง โดยใช้ดินตะกอนสารส้มต่อน้ำเสียสังเคราะห์อัตราส่วน 1:1

2. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนสารส้มจากข้อ 1 ปริมาณ 20 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิตร

3. เติมน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 จากนั้นทำการทดลองดังนี้ โดยในแต่ละชุดการทดลองทำ 3 ชุด

ชุดควบคุม : ดินตะกอนสารส้ม + น้ำกลั่น 100 มิลลิตร

ชุดทดลอง : ดินตะกอนสารส้ม + น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20  
100 มิลลิตร

ดินตะกอนสารส้ม + น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:50

100 มิลลิตร

ดินตะกอนสารส้ม + น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:100

100 มิลลิตร

4. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5. เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำสารละลายทั้งหมดไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที

6. แยกสารละลายส่วนใสออกจากดินตะกอนสารส้มและนำดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการชะละลายไปผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช

7. นำดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ รวมทั้งดินตะกอนหลังผ่านการชะละลายในข้อ 6 ไปวิเคราะห์หาปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ค่าความเป็นกรด-ด่างหรือพีเอช เหล็กและอลูมิเนียมรูปแบบแลกเปลี่ยนได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตามพัชรี (2554) และกรมพัฒนาที่ดิน (2553) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก ส่วนสารละลายส่วนใสที่ได้จากการชะละลายดินตะกอนสารส้มด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจางทั้ง 3 อัตราส่วนไปวิเคราะห์ผลดังตารางที่ 3.2 โดยวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตาม APHA-AWWA (2012) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 รูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอนสารส้มก่อนและหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ

พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH-value: pH)	ใช้อัตราส่วนของตัวอย่างดินและน้ำ คือ 1:5 และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์
2. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphate: TP)	ย่อยตัวอย่างดินด้วยกรดซัลฟูริกและไนตริกและนำไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการเทียบสีกับกรดแอสคอบิก
3. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available P)	ชะละลายตัวอย่างดินด้วยน้ำยาสกัด Olsen และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการเทียบสีกับกรดแอสคอบิก
4. อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Al)	ชะละลายตัวอย่างดินด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการเทียบสีกับบัพเฟอร์อลูมินอน
5. เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Fe)	ชะละลายตัวอย่างดินด้วยอิตีทีเอและนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (AAS)

ตารางที่ 3.2 รูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายดินตะกอนสารส้มด้วยน้ำหมักชีวภาพ

พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
1. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphate : TP)	ย่อยตัวอย่างดินด้วยกรดซัลฟูริกและไนตริก และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการเทียบสีกับกรดแอสคอบิก
2. ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (Orthophosphate : OP)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการเทียบสีกับกรดแอสคอบิก
3. ความเข้มข้นของไฮโดรเจน (ความเป็นกรด-ด่าง: pH)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์
4. อลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้ (Soluble Al)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการเทียบสีกับบัพเฟอร์อลูมินอน
5. เหล็กรูปละลายน้ำ (Soluble Fe)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (AAS)

### 3.4.2 ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบหลัก

1. นำดินตะกอนสารส้มไปเติมน้ำคลองที่เก็บจากคลองประเวศบุรีรมย์ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร และนำมาเติมฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำจันมีปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำคลองเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พร้อมทั้งปรับค่าพีเอชให้เป็น 4 และปล่อยให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (กัลยาดี และคณะ, 2556) โดยใช้ดินตะกอนสารส้มต่อน้ำคลองในอัตราส่วน 1:1

2. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนสารส้มจากข้อ 1 ปริมาณ 20 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เติมสารละลายจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น น้ำหมักชีวภาพเจือจางในอัตราส่วน 1:20 น้ำสับปะรด และน้ำมะนาว จากนั้นทำการทดลองดังนี้ โดยในแต่ละชุดการทดลองทำ 3 ซ้ำ

ชุดควบคุม : ดินตะกอนสารส้ม + น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

ชุดทดลอง : ดินตะกอนสารส้ม + น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20  
100 มิลลิลิตร

ดินตะกอนสารส้ม + น้ำสับปะรด 100 มิลลิลิตร

ดินตะกอนสารส้ม + น้ำมะนาว 100 มิลลิลิตร

4. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

5. เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำสารละลายทั้งหมดไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที

6. แยกสารละลายส่วนใสออกจากดินตะกอนสารส้มและนำดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการชะละลาย ไปผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำมาบดให้มีขนาดเล็กและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช

7. นำดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังผ่านน้ำโคลง รวมทั้งดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการชะละลายในข้อ 6 ไปวิเคราะห์หาปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ค่าความเป็นกรด-ด่างหรือพีเอช เหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตามพัชรี (2554) และกรมพัฒนาที่ดิน (2553) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก ส่วนสารละลายส่วนใสที่ได้จากการชะละลายดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด ไปวิเคราะห์ผลดังตารางที่ 3.4 โดยวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตาม APHA-AWWA (2012) ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก เช่นกัน

8. นำน้ำหมักชีวภาพเจือจางในอัตราส่วน 1:20 น้ำสับปะรด และน้ำมะนาว ไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริก โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตาม AOAC (2005) และรายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.3 รูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในดินตะกอนสารส้มที่ชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ

พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
1. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphate : TP)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (IC)
2. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available P)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (IC)
3. ความเข้มข้นของไฮโดรเจน (ความเป็นกรด-ด่าง: pH)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายวิเคราะห์ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์
4. อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Al)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการเทียบสีกับบัฟเฟอร์อลูมินอน
5. เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Fe)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 รูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ ในสารละลายที่ชะละลายด้วย  
วัสดุธรรมชาติ

พารามิเตอร์	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
1. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphate : TP)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (IC)
2. ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (Ortho phosphate : OP)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (IC)
3. ความเข้มข้นของไฮโดรเจน (ความเป็นกรด-ด่าง: pH)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์
4. อลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้ (Soluble Al)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์ หาปริมาณด้วยการเทียบสีกับบัฟเฟอร์อลูมินอน
5. เหล็กรูปละลายน้ำ (Soluble Fe)	นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายไปวิเคราะห์ ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (AAS)

### 3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติที่มีกรดซิดริกเป็นองค์ประกอบหลักโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance (ANOVA) : Single factor)

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มหลังเติมน้ำคลอง โดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำน้ำหมักชีวภาพไปชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้ม และขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติ 3 ชนิด คือ น้ำหมักชีวภาพ น้ำมะนาว และน้ำส้มปะรด สำหรับในขั้นตอนที่ 1 จะทำการวิจัยโดยเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัส 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมน้ำลงในดินตะกอนสารส้มและเตรียมน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 เป็นตัวชะละลาย หลังจากนั้นจะนำดินตะกอนสารส้มก่อนและหลังการเติมน้ำเสียสังเคราะห์มาวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพื่อหาอัตราส่วนน้ำหมักชีวภาพที่สามารถชะละลายฟอสฟอรัสออกมาได้มากที่สุด จากนั้นนำมาทำการทดลองในขั้นตอนที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบกับตัวชะละลายที่มีกรดซิดริกเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ น้ำส้มปะรด และน้ำมะนาว โดยใช้ น้ำคลองมาเติมปริมาณฟอสฟอรัส 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นเติมน้ำลงในดินตะกอนสารส้ม เพื่อศึกษาผลของสารชะละลายทั้ง 3 ชนิด ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างหรือพีเอช เหล็กและอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้รวมทั้งปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินตะกอนสารส้มก่อนและหลังการเติมน้ำคลอง รวมทั้งพีเอช เหล็กและอลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้จากการชะละลาย

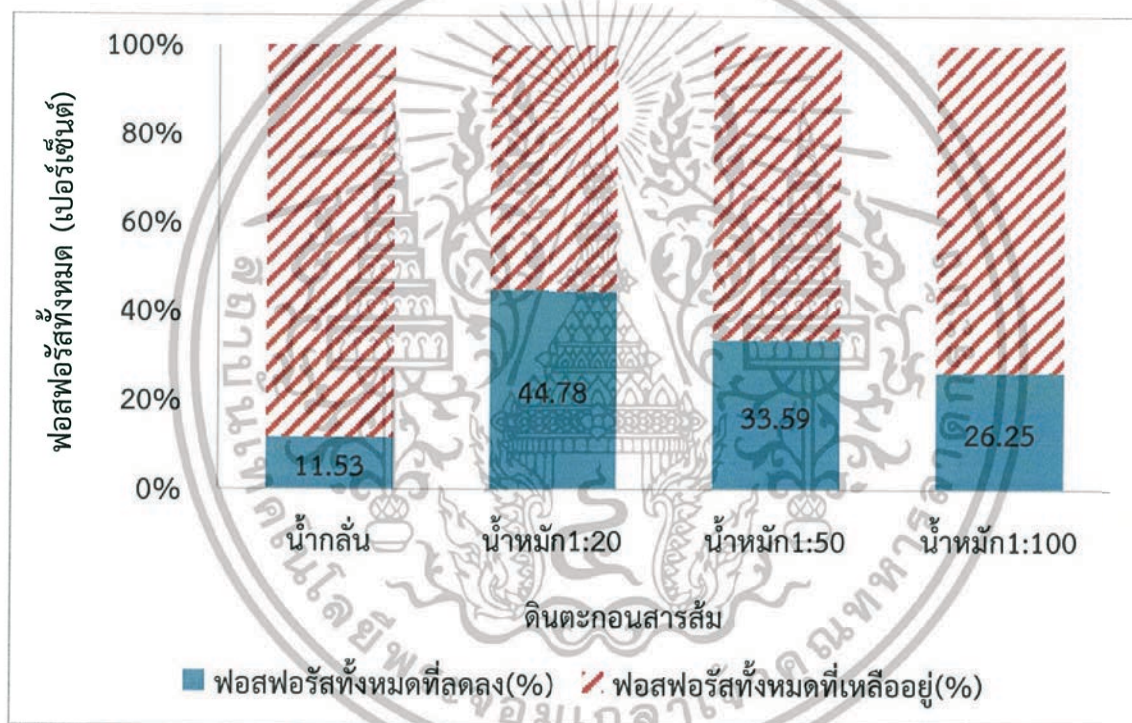
#### 4.1 ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะนำน้ำหมักชีวภาพไปชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้ม

##### 4.1.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมเพื่อนำไปชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้ม

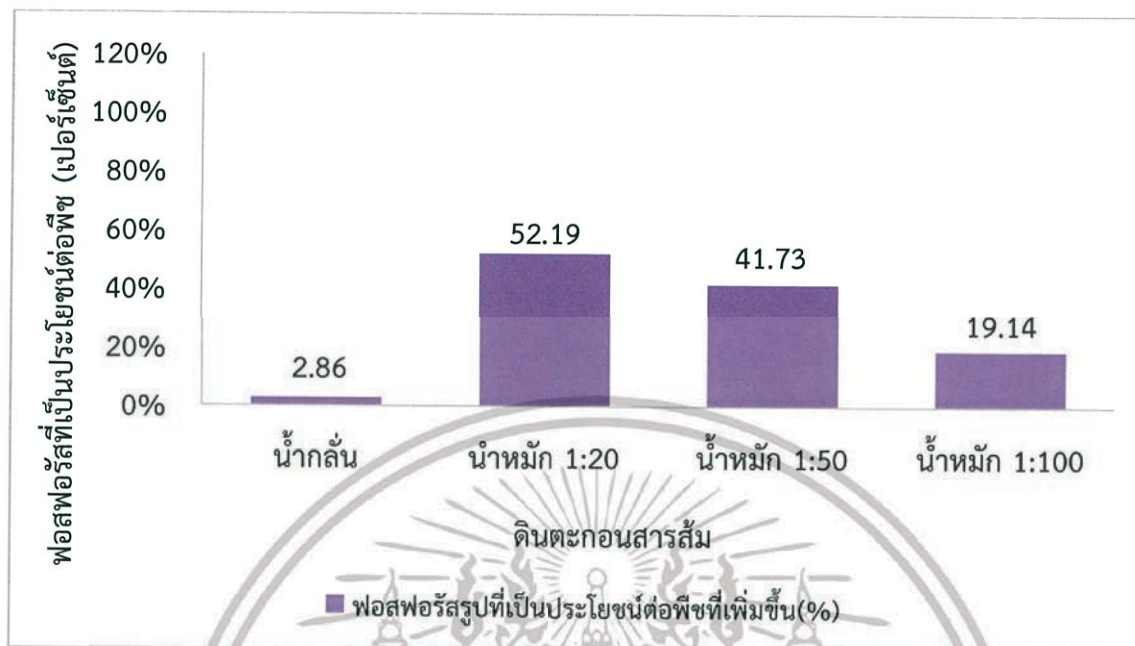
เมื่อนำดินตะกอนสารส้มมาเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัส 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นใช้น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 มาชะละลายไอออนต่างๆ ออกจากดินตะกอนสารส้ม ผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนหลังการชะละลายมีค่าลดลง โดยเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงคำนวณได้จากปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนหลังการชะละลาย (mg/kg) จะน้อยกว่าก่อนการชะละลาย (mg/kg) เทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เริ่มต้น (mg/kg) โดยในการทดลองจะใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุมพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้ม เริ่มต้น 100 เปอร์เซ็นต์ น้ำกลั่นจะชะละลายออกมาและคำนวณเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ลดลงได้เท่ากับ 11.53 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 ค่าคำนวณเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ลดลงได้เท่ากับ 44.78, 33.59 และ 26.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.1 (รายละเอียดดัง ภาคผนวก ง-1.2) ซึ่งตรงกันข้ามกับปริมาณฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินตะกอนสารส้มหลังจากถูกชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 จะมีค่าสูงกว่าก่อนการชะละลาย โดยเปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 52.19, 41.73 และ 19.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 (รายละเอียดดัง ภาคผนวก ง-1.3) เนื่องจากกรดอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพชะละลายฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ถูกตรึงอยู่ในดินตะกอนสารส้มได้จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

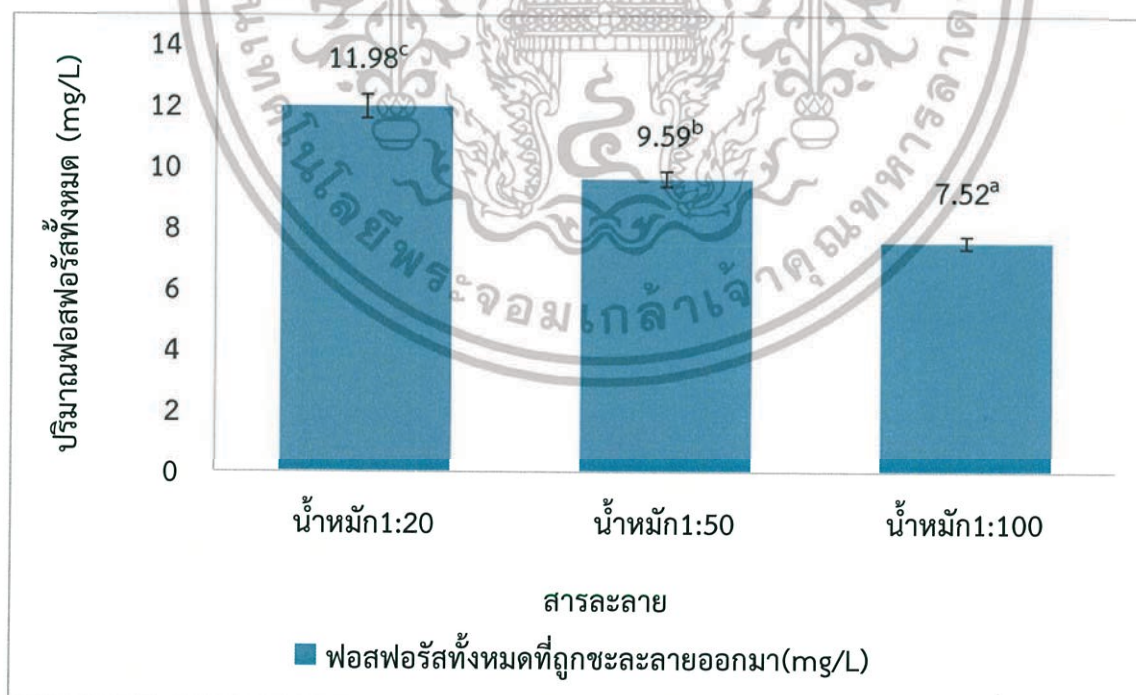
สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 11.98, 9.59 และ 7.52 mg/L ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.3 (แสดงดัง ภาคผนวก ง-1.2) ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายหลังผ่านการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 คือ 7.73, 4.79 และ 2.80 mg/L ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.4 (รายละเอียดดัง ภาคผนวก ง-1.4) ซึ่งสอดคล้องกับ รูปฟอร์มของฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนหลังผ่านการชะละลายจะมีค่าต่ำกว่าปริมาณเริ่มต้น ขณะที่รูปฟอร์มของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินตะกอนหลังผ่านการชะละลายจะมีค่าสูงกว่าปริมาณเริ่มต้น (รายละเอียดดัง ภาคผนวก ง-1.2)



รูปที่ 4.1 ฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ลดลงในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ

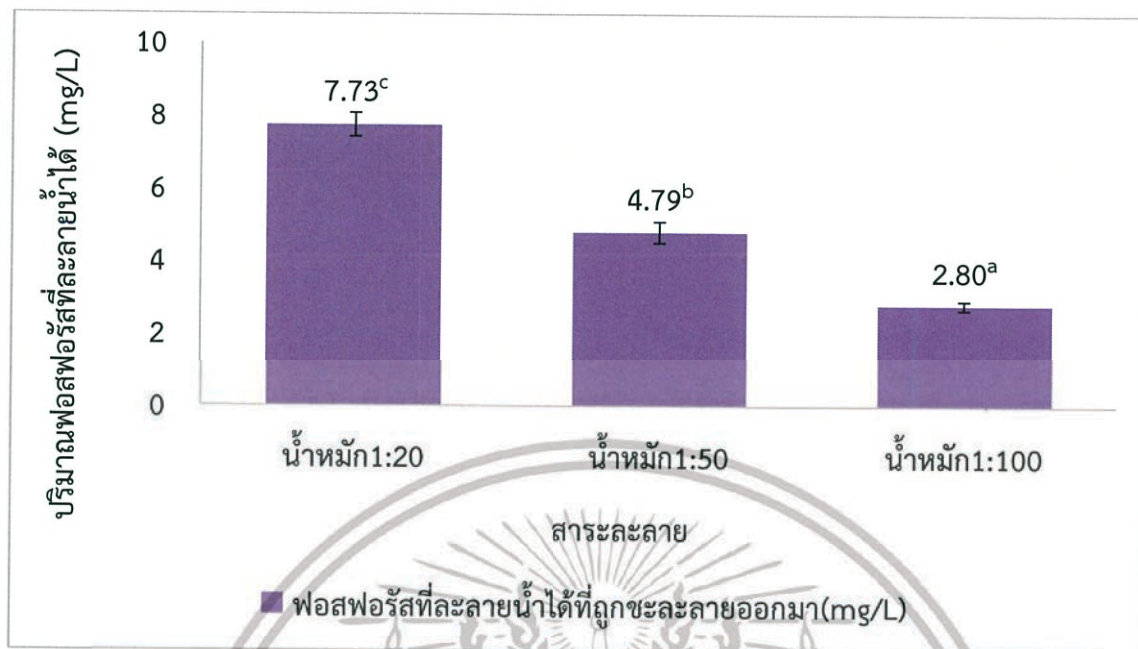


รูปที่ 4.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่เพิ่มขึ้นในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ



รูปที่ 4.3 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ

#### 4.1.2 ผลค่าความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอชและความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ในดินตะกอนสารส้มและสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชของตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังเติมน้ำเสียสังเคราะห์มีค่า  $7.23 \pm 0.02$  และ  $7.22 \pm 0.04$  ตามลำดับ และมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนโดยเฉลี่ย คือ  $5.94 \times 10^{-8} \pm 2.10 \times 10^{-9}$  และ  $5.98 \times 10^{-8} \pm 2.90 \times 10^{-9}$  โมลาร์ ตามลำดับ เมื่อนำดินตะกอนสารส้มหลังเติมน้ำเสียสังเคราะห์มาชะละลายด้วยน้ำกลั่น และน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอชเท่ากับ  $6.14 \pm 0.04$ ,  $3.64 \pm 0.02$ ,  $3.76 \pm 0.03$  และ  $3.92 \pm 0.01$  ตามลำดับ ผลปรากฏว่าดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการชะละลายด้วยน้ำกลั่นซึ่งเป็นชุดควบคุมการทดลองมีผลต่อค่าพีเอชของดินเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าเท่ากับ  $7.24 \pm 0.01$  ส่วนดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 จะมีค่าพีเอชเท่ากับ  $7.13 \pm 0.02$ ,  $7.18 \pm 0.02$  และ  $7.21 \pm 0.01$  ตามลำดับ ซึ่งน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลงตามอัตราการเจือจางและมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมเล็กน้อย เนื่องจากกรดอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพอาจเข้าไปแทนที่ไอออนบวกต่างๆ ในดิน ทำให้ดินมีค่าพีเอชลดลง ขณะที่สารละลายที่ได้จากการชะละลายดินตะกอนสารส้มด้วยน้ำกลั่นมีค่าพีเอช เท่ากับ  $7.02 \pm 0.01$  ส่วนพีเอชของสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 มีค่าเท่ากับ  $5.05 \pm 0.02$ ,  $5.23 \pm 0.03$  และ  $5.45 \pm 0.01$  ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากไฮโดรเจนไอออนจากกรดอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพเข้าไปแทนที่ไอออนบวกในดินตะกอนสารส้ม ส่งผลให้สารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นตามชนิดของไอออนบวกที่ละลายออกมาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ความเป็นกรด-ด่าง : พีเอชและความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน

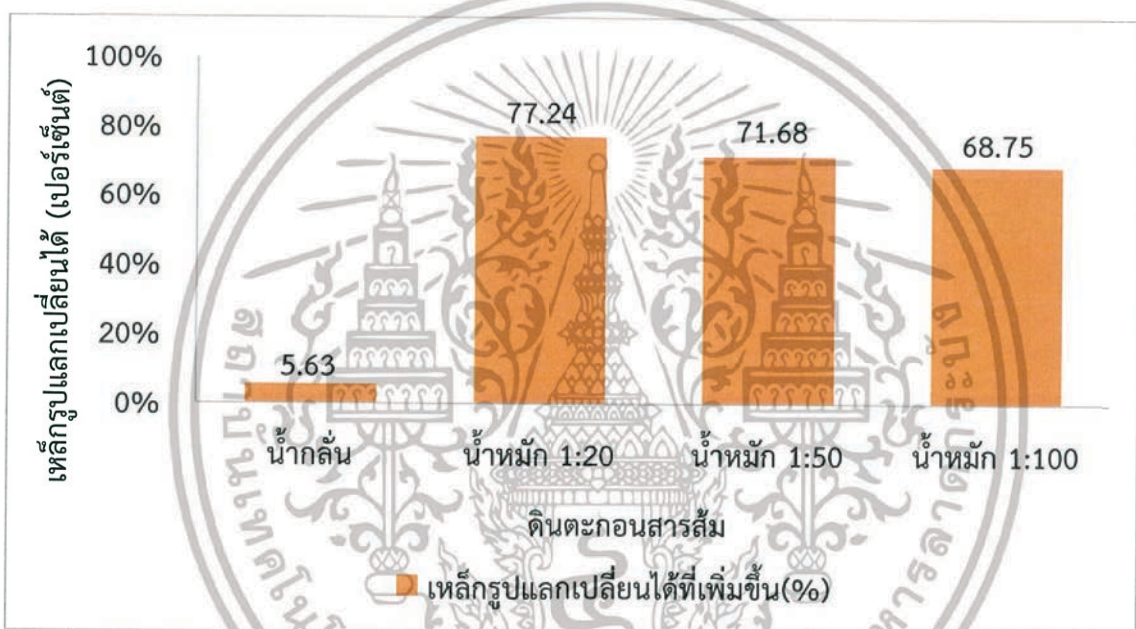
ชุดทดลอง	ค่าพีเอชโดยเฉลี่ย $\pm$ SD	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (โมลาร์)
ดินตะกอนสารส้ม	7.23 $\pm$ 0.02	5.94*10 <sup>-8</sup> $\pm$ 2.10*10 <sup>-9</sup>
น้ำกลั่น	6.14 $\pm$ 0.04	7.32*10 <sup>-7</sup> $\pm$ 6.22*10 <sup>-8</sup>
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	3.64 $\pm$ 0.02	2.31*10 <sup>-4</sup> $\pm$ 8.17*10 <sup>-6</sup>
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	3.76 $\pm$ 0.03	1.74*10 <sup>-4</sup> $\pm$ 1.04*10 <sup>-5</sup>
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	3.92 $\pm$ 0.01	1.20*10 <sup>-4</sup> $\pm$ 2.77*10 <sup>-6</sup>
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L	7.22 $\pm$ 0.04	5.98*10 <sup>-8</sup> $\pm$ 2.90*10 <sup>-9</sup>
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	7.24 $\pm$ 0.01	5.80*10 <sup>-8</sup> $\pm$ 1.53*10 <sup>-9</sup>
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	7.13 $\pm$ 0.02	7.36*10 <sup>-8</sup> $\pm$ 2.57*10 <sup>-9</sup>
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	7.18 $\pm$ 0.02	6.56*10 <sup>-8</sup> $\pm$ 3.18*10 <sup>-9</sup>
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	7.21 $\pm$ 0.01	6.17*10 <sup>-8</sup> $\pm$ 1.42*10 <sup>-9</sup>
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำกลั่น	7.02 $\pm$ 0.01	9.48*10 <sup>-8</sup> $\pm$ 1.255*10 <sup>-9</sup>
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	5.05 $\pm$ 0.02	8.98*10 <sup>-6</sup> $\pm$ 3.18*10 <sup>-7</sup>
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	5.23 $\pm$ 0.03	5.85*10 <sup>-6</sup> $\pm$ 3.37*10 <sup>-7</sup>
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	5.45 $\pm$ 0.01	3.55*10 <sup>-6</sup> $\pm$ 8.17*10 <sup>-8</sup>

#### 4.1.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมต่อการชะละลาย

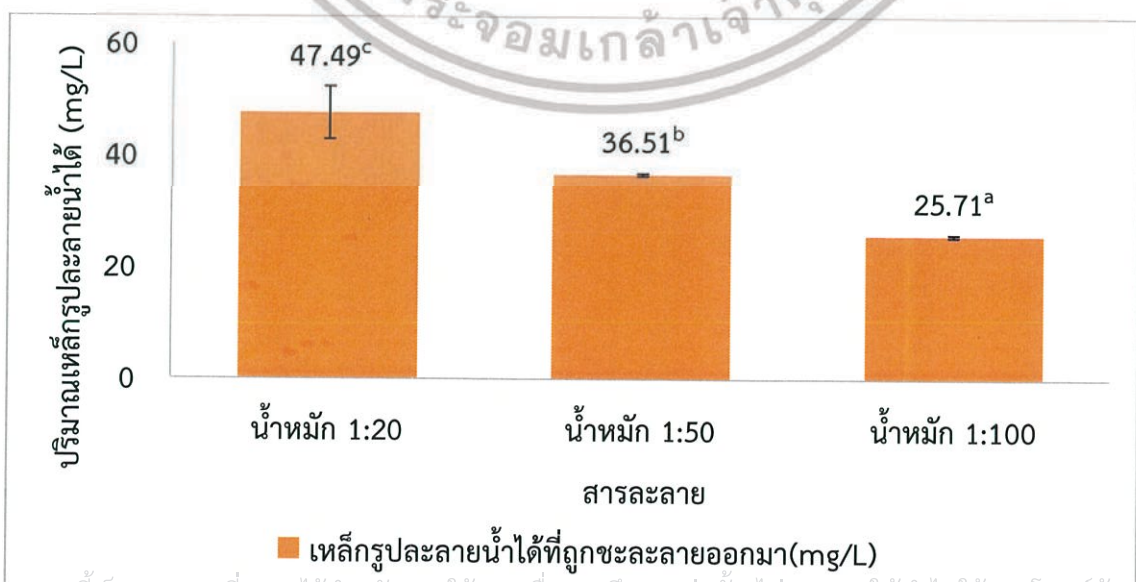
##### เหล็กในดินตะกอนสารส้ม

จากรูปที่ 4.5 จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ของเหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้ในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นคำนวณได้จากปริมาณเหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้ในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลาย (mg/kg) จะมากกว่าก่อนการชะละลาย (mg/kg) โดยในการทดลองนั้นจะใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม พบว่าปริมาณของเหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้ในดินตะกอนสารส้มที่ชะละลายด้วยน้ำกลั่นเพิ่มขึ้นจากเดิม 5.63 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 ค่ารวมเปอร์เซ็นต์ของเหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้มากขึ้นถึง 77.24, ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

71.18 และ 68.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รายละเอียดดัง ภาคผนวก ง-1.5) และสำหรับปริมาณของเหล็กที่ละลายน้ำในสารละลายหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 พบเหล็กที่ละลายน้ำได้มีค่าเท่ากับ 47.49 , 36.51 และ 25.71 mg/L ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.6 (รายละเอียดดัง ภาคผนวก ง-1.5) เนื่องจากกรดอินทรีย์จากน้ำหมักชีวภาพไปชะละลายเหล็กที่ถูกตรึงอยู่กับฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มที่อยู่ในรูปเฟอริกฟอสเฟต ( $\text{FePO}_4$ ) หรือเฟอริสฟอสเฟต ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ) ซึ่งเป็นรูปที่แลกเปลี่ยนได้ยาก (กรณิกและคณะ, 2556) จึงทำให้เหล็กที่อยู่ในรูปแลกเปลี่ยนได้ยากหลุดออกมาอยู่ในรูปของเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในสารละลาย และเหล็กที่ยังตรึงอยู่ในดินเปลี่ยนมาอยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้มากขึ้น ซึ่งอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพมีผลต่อการปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มและปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำได้



รูปที่ 4.5 เหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ที่เพิ่มขึ้นในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ



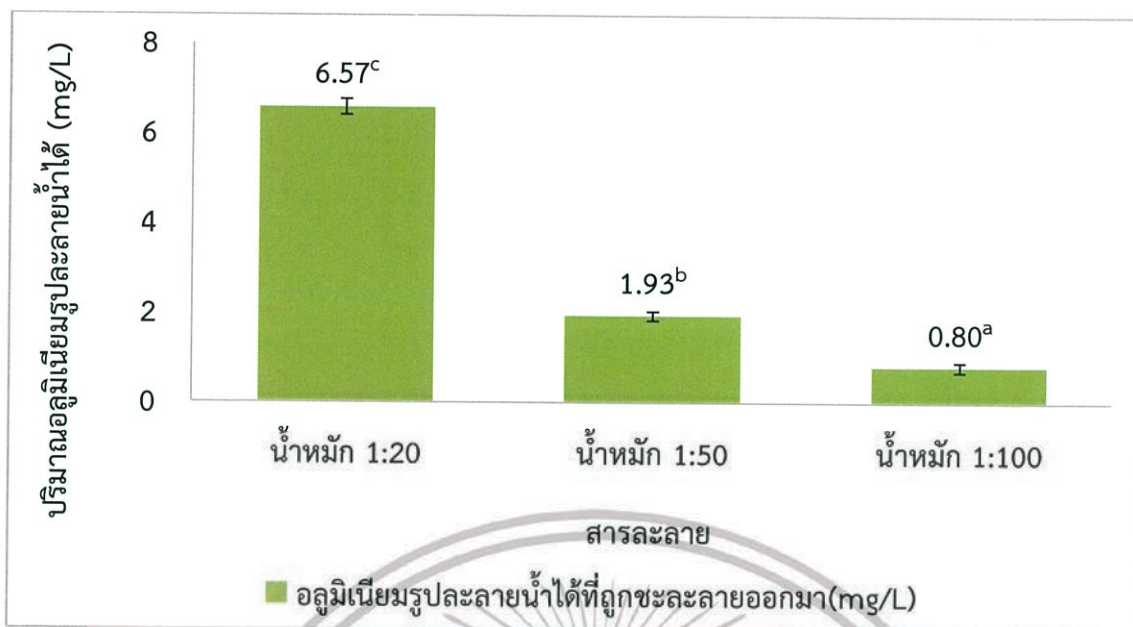
รูปที่ 4.6 ปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำในสารละลายหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ

#### 4.1.4 ผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพที่เหมาะสมต่อการชะละลาย อลูมิเนียมในดินตะกอนสารส้ม

สำหรับอลูมิเนียมที่มีผลต่อการชะละลายของดินตะกอนสารส้ม ผลจากการทดลอง พบว่าเปอร์เซ็นต์ของอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นคำนวณได้จากปริมาณของอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลาย (mg/kg) จะมีค่ามากกว่าก่อนการชะละลาย (mg/kg) โดยในการทดลองจะใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม พบว่าปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มที่น้ำกลั่นชะละลายจะเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่ากับ 0.01 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 ค่าของเปอร์เซ็นต์อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้จะมีค่าสูงกว่าก่อนการชะละลายเท่ากับ 74.85, 61.71 และ 49.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.7 (รายละเอียดตั้ง ภาคผนวก ง-1.6) สำหรับปริมาณอลูมิเนียมในสารละลายหลังผ่านการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, 1:50 และ 1:100 มีค่าเท่ากับ 6.57, 1.93 และ 0.80 mg/L ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากอลูมิเนียมฟอสเฟต ( $Al_3PO_4$ ) ในดินตะกอนสารส้มถูกกรดอินทรีย์ชะละลายมาอยู่ในสารละลาย



รูปที่ 4.7 อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ที่เพิ่มขึ้นในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ



รูปที่ 4.8 ปริมาณอลูมิเนียมรูปละลายน้ำในสารละลายหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ

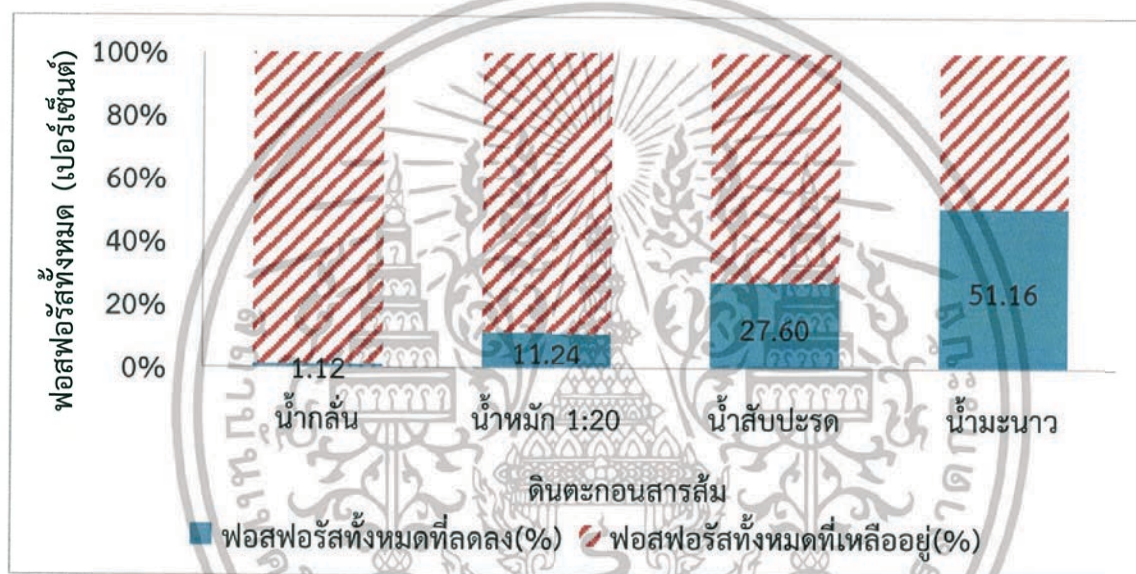
#### 4.2 ชั้นตอนที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติที่มีกรดซिटริกเป็นองค์ประกอบหลัก

##### 4.2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติ

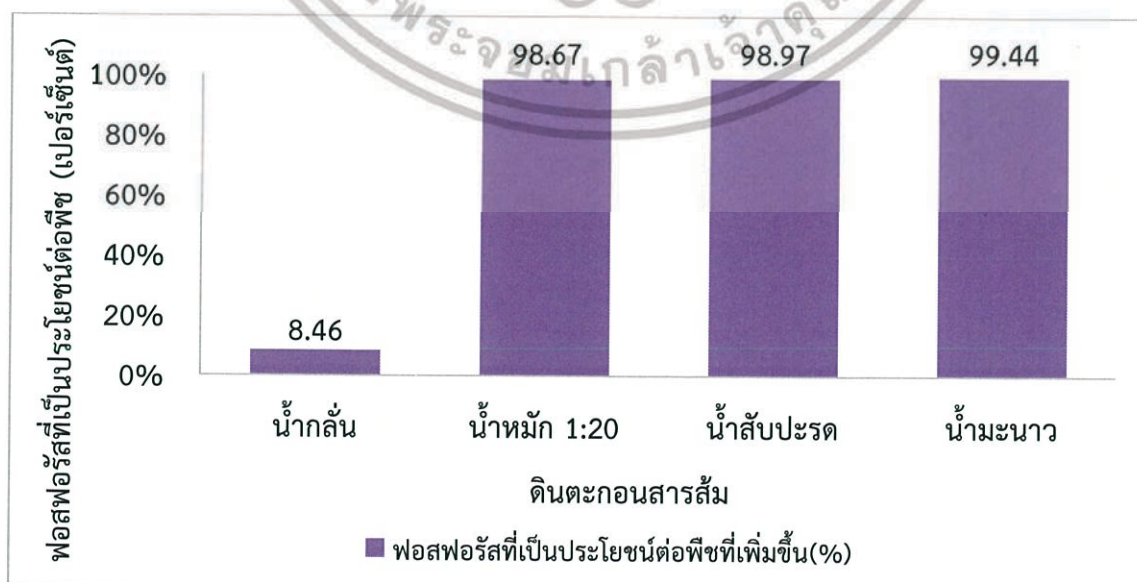
เมื่อนำดินตะกอนสารส้มมาเติมฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำที่มีปริมาณฟอสฟอรัส 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปในน้ำคลองจากนั้นใช้น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, น้ำสับปะรด และ น้ำมะนาว มาชะละลายไอออนต่างๆ ออกจากดินตะกอนสารส้ม โดยในการทดลองใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม ผลการทดลองพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยวัสดุธรรมชาติมีปริมาณลดลงโดยเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง คำนวณจากปริมาณฟอสฟอรัสในดินตะกอนก่อนและหลังการชะละลาย ในหน่วย mg/kg เทียบออกมาในหน่วยเปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.9 (รายละเอียดดังภาคผนวก ง-3.1) โดยดินตะกอนสารส้มหลังเติมน้ำคลองลงไปจะมีฟอสฟอรัสทั้งหมดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าน้ำมะนาวสามารถชะละลายปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดออกมาได้ 51.16 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าน้ำหมักชีวภาพ น้ำสับปะรด และน้ำกลั่น ซึ่งชะละลายออกมาได้ 27.60, 11.24 และ 1.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งตรงกันข้ามกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยน้ำมะนาว น้ำสับปะรด น้ำหมักชีวภาพ และน้ำกลั่น จะมีค่าสูงกว่าก่อนการชะละลาย โดยเปอร์เซ็นต์ของฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 99.44, 98.97, 98.67 และ 8.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.10 (รายละเอียดดังภาคผนวก ง-3.2) โดยน้ำมะนาวสามารถชะละลายออกมาได้สูงมาก เนื่องจากกรดซิทริกจากวัสดุจากธรรมชาติจะแตกตัวให้ซิทริกไฮออนและไฮโดรเจนไอออนในวัสดุจากธรรมชาติ สามารถละลายฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ถูกตรึงอยู่ในดินได้ จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ต่อพืชในดินเพิ่มมากขึ้น กรดซิทริกจากวัสดุจากธรรมชาติมีผลการชะละลายในดินตะกอนสารส้ม ซึ่งทำให้ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้มลดลงในขณะเดียวกันทำให้ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเสาวลักษณ์และคณะ (2558)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

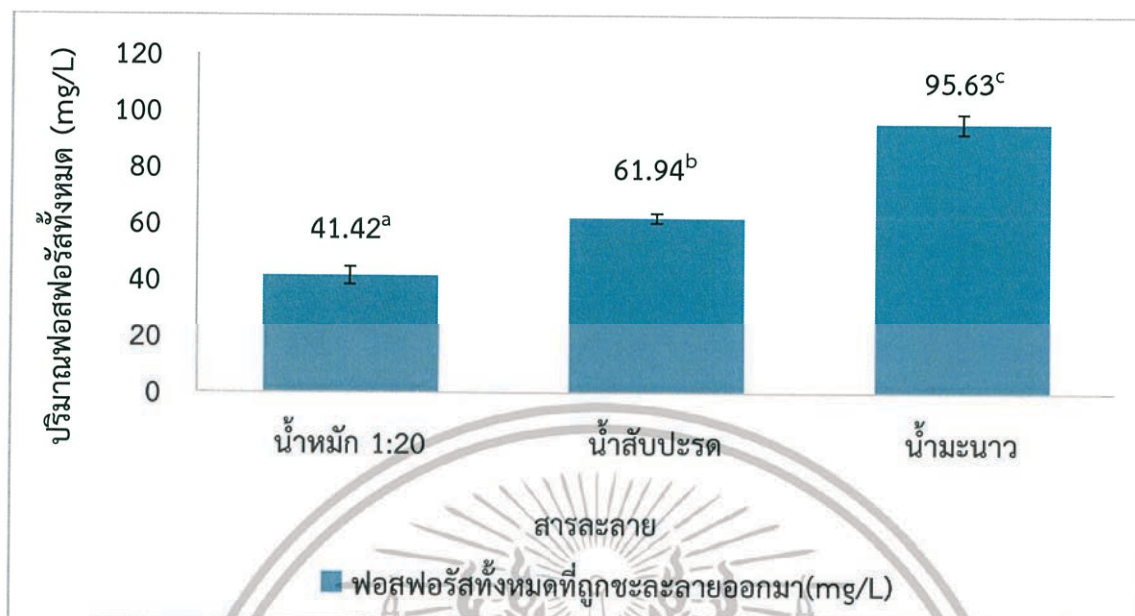
สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายหลังการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, น้ำสับปะรด และน้ำมะนาวมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 41.42, 61.94 และ 95.63 mg/L ตามลำดับ การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.11 (รายละเอียดแสดงดัง ภาคผนวก ง-3.1) ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายหลังผ่านการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20, น้ำสับปะรด และน้ำมะนาว คือ 11.32, 18.73 และ 45.42 mg/L ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.12 (ดังรายละเอียด ภาคผนวก ง-3.4) เนื่องจากกรดซิตริกมีประสิทธิภาพในการชะละลายฟอสฟอรัสให้ละลายออกมาทำให้ฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มถูกชะละลายอินทรีย์ในน้ำหมักชีวภาพสามารถละลายฟอสฟอรัสทั้งหมดให้ออกมามากตามปริมาณกรดซิตริกที่มีในน้ำมะนาวมากที่สุด



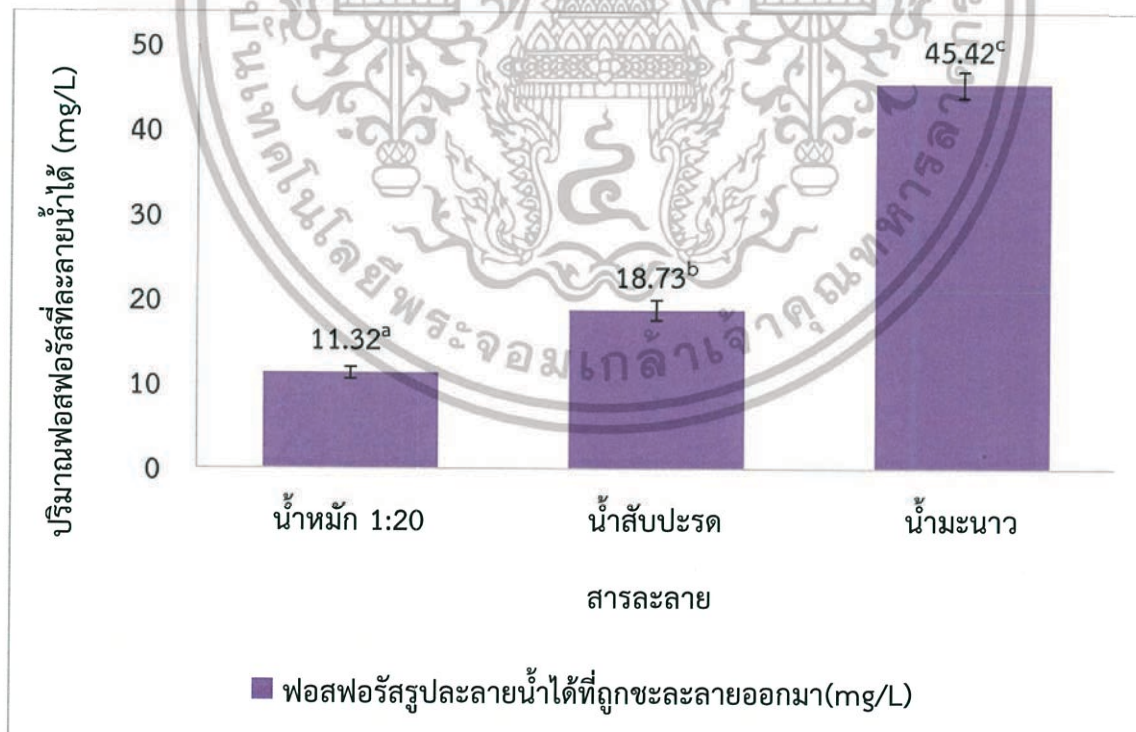
รูปที่ 4.9 ฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ลดลงในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ



เอกสารรูปที่ 4.10 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่เพิ่มขึ้นในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ย้ำด้วยวัสดุจากธรรมชาติ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ



รูปที่ 4.12 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้หลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ผลค่าความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอชและความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในดินตะกอนสารส้มและสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ

จากตารางที่ 4.2 ผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชดินตะกอนสารส้มทั้งก่อนและหลังเติมน้ำคลองที่ปรับเป็นพีเอช 4 แล้ว มีค่า  $7.217 \pm 0.02$  และ  $6.263 \pm 0.01$  ตามลำดับ มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนโดยเฉลี่ย คือ  $5.98 \times 10^{-8} \pm 2.90 \times 10^{-9}$  และ  $5.45 \times 10^{-7} \pm 7.22 \times 10^{-9}$  โมลาร์ เมื่อนำดินตะกอนสารส้มหลังเติมน้ำคลองมาชะละลายด้วยน้ำกลั่น น้ำหมักชีวภาพ น้ำสับปะรด และน้ำมะนาว มีค่าพีเอช  $6.610 \pm 0.04$ ,  $3.680 \pm 0.03$ ,  $3.227 \pm 0.01$  และ  $1.803 \pm 0.01$  ตามลำดับ ผลปรากฏว่า น้ำกลั่นซึ่งเป็นชุดควบคุมของการทดลองมีผลต่อค่าพีเอชของดินตะกอนสารส้มเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าพีเอชเท่ากับ  $5.963 \pm 0.04$  และน้ำมะนาวจะทำให้ค่าพีเอชของดินลดลงต่ำสุดและมีค่าเท่ากับ  $3.160 \pm 0.01$  ขณะที่ใช้น้ำหมักชีวภาพและน้ำสับปะรดจะส่งผลให้ค่าพีเอชของดินลดลงเล็กน้อยเท่ากับ  $5.783 \pm 0.03$ ,  $5.487 \pm 0.18$  ตามลำดับ ซึ่งน้ำหมักชีวภาพและน้ำสับปะรดทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินตะกอนสารส้มเปลี่ยนแปลงไม่มากนักส่วนน้ำมะนาวมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดินลดลงอย่างเห็นได้ชัด อาจเนื่องจากเมื่อนำดินตะกอนสารส้มไปชะละลายด้วยสารละลายที่มีกรดซัลฟิวริกทั้งสามชนิด โดยไฮโดรเจนไอออนจากกรดซัลฟิวริกจึงเข้าไปแทนที่ไอออนบวกต่างๆ ในดิน ทำให้ดินมีค่าพีเอชลดลงตามปริมาณของไฮโดรเจนไอออน ขณะที่สารละลายที่ได้จากการชะละลายดินตะกอนสารส้มด้วยน้ำกลั่นมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ  $5.633 \pm 0.02$  ส่วนค่าพีเอชของสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ น้ำสับปะรด และน้ำมะนาวซึ่งมีพีเอชเท่ากับ  $5.120 \pm 0.01$ ,  $4.750 \pm 0.16$  และ  $2.623 \pm 0.01$  ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ความเป็นกรด-ด่าง : พีเอชและความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน

ชุดทดลอง	ค่าพีเอชโดยเฉลี่ย $\pm$ SD	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (โมลาร์)
ดินตะกอนสารส้ม	$7.217 \pm 0.02$	$5.98 \times 10^{-8} \pm 2.90 \times 10^{-9}$
น้ำกลั่น	$6.610 \pm 0.04$	$6.88 \times 10^{-7} \pm 5.53 \times 10^{-8}$
น้ำคลอง	$7.180 \pm 0.02$	$6.61 \times 10^{-8} \pm 3.04 \times 10^{-9}$
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	$3.680 \pm 0.03$	$2.09 \times 10^{-4} \pm 1.29 \times 10^{-5}$
น้ำสับปะรด	$3.227 \pm 0.01$	$5.93 \times 10^{-4} \pm 7.92 \times 10^{-6}$
น้ำมะนาว	$1.803 \pm 0.01$	$1.57 \times 10^{-2} \pm 2.08 \times 10^{-4}$
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ 50 mg/L	$6.263 \pm 0.01$	$5.45 \times 10^{-7} \pm 7.22 \times 10^{-9}$
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	$5.963 \pm 0.04$	$1.09 \times 10^{-6} \pm 9.72 \times 10^{-8}$
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่เจือจาง 20 เท่า	$5.783 \pm 0.03$	$1.65 \times 10^{-6} \pm 9.50 \times 10^{-8}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

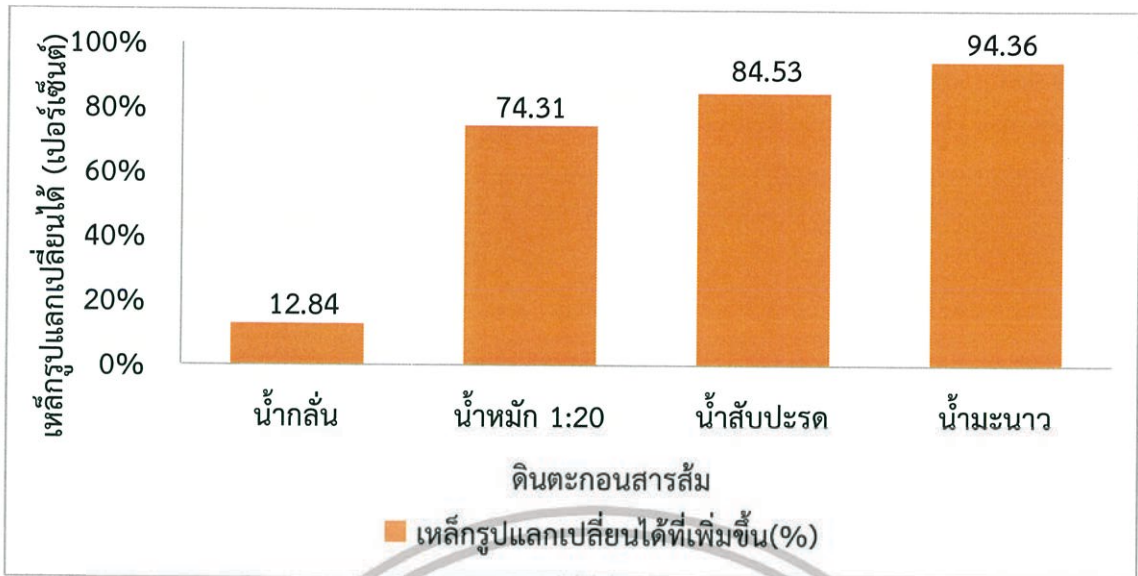
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำสับประรด	5.487±0.18	$3.44 \times 10^{-6} \pm 1.30 \times 10^{-6}$
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำมะนาว	3.160±0.01	$6.92 \times 10^{-4} \pm 1.59 \times 10^{-5}$
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำกลั่น	5.633±0.02	$2.36 \times 10^{-6} \pm 8.36 \times 10^{-8}$
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	5.120±0.01	$7.53 \times 10^{-6} \pm 9.97 \times 10^{-8}$
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำสับประรด	4.750±0.16	$2.38 \times 10^{-3} \pm 3.15 \times 10^{-5}$
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำมะนาว	2.623±0.01	$5.45 \times 10^{-7} \pm 7.22 \times 10^{-9}$

#### 4.2.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการชะละลายเหล็กในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติ

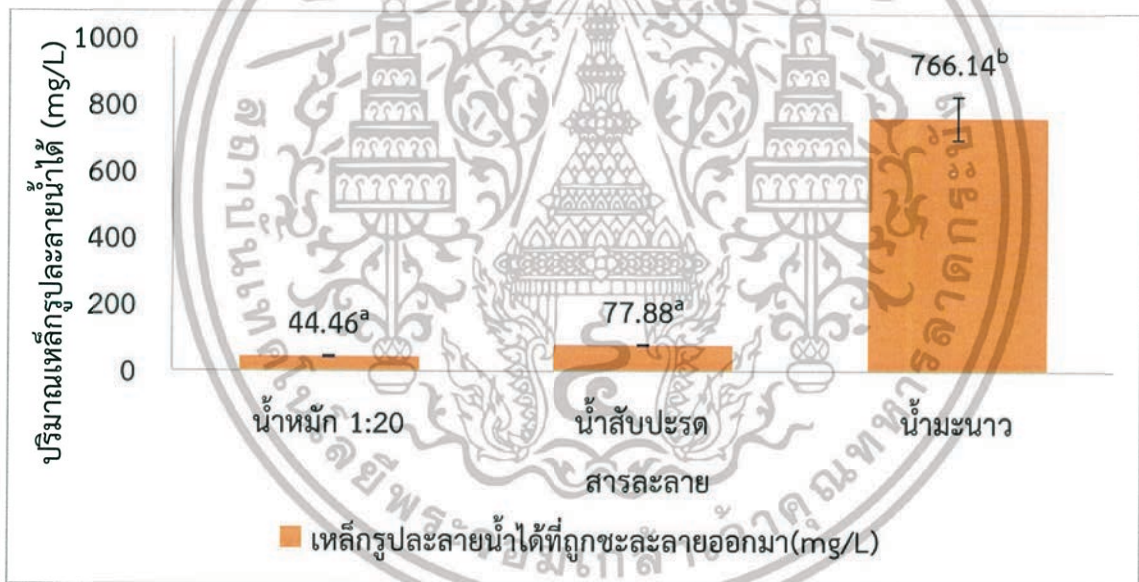
จากรูปที่ 4.13 แสดง ปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นคำนวณจากปริมาณของเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มก่อนและหลังการชะละลายด้วยวัสดุธรรมชาติ (mg/kg) เทียบออกมาเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์ (รายละเอียดดังภาคผนวก ง-3.5) โดยดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยน้ำมะนาวจะมีปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มเพิ่มขึ้นจากก่อนการชะละลายเท่ากับ 94.36 เปอร์เซ็นต์ และเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนที่ใช้ น้ำกลั่น น้ำหมักชีวภาพ และน้ำสับประรดชะละลาย มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากก่อนการชะละลายเท่ากับ 12.84, 74.31 และ 84.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำที่ชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพและน้ำสับประรดมีค่าเท่ากับ 44.46, 77.88 mg/L ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.6 (รายละเอียดดัง ภาคผนวก ง-3.5) ขณะที่น้ำมะนาวสามารถชะละลายเหล็กออกมาได้มากและมีค่าเท่ากับ 766.14 mg/L เนื่องจากฟอสฟอรัสจากน้ำคลองที่ถูกเติมลงในดินตะกอนเกิดเป็นเฟอริกฟอสเฟต ( $\text{FePO}_4$ ) หรือเฟอร์ริฟอสเฟต ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ) ซึ่งเป็นรูปที่แลกเปลี่ยนได้ยาก (กรณิกา และคณะ, 2556) เมื่อนำดินตะกอนสารส้มในข้างต้นไปทำการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพ น้ำสับประรด และ น้ำมะนาว ซึ่งมีค่าพีเอชเท่ากับ 5.12, 4.85 และ 2.62 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 6 ซึ่งเป็นค่าที่เหล็กสามารถถูกแลกเปลี่ยนออกมาได้ (เจริญ และคณะ, 2540) โดยซิเตรทไอออนจะเข้าไปแทนที่ฟอสเฟตและซัลเฟตที่ถูกตรึงอยู่กับสารประกอบของเหล็กเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเฟอร์ริซิเตรทหรือเฟอริกซิเตรทที่สามารถแลกเปลี่ยนออกมาได้ง่าย และเมื่อสารประกอบเชิงซ้อนข้างต้น ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนไอออนอีกครั้ง จะเกิดการแลกเปลี่ยนออกมาอยู่ในสารละลาย ขณะที่บางส่วนยังคงยึดติดอยู่กับอนุภาคดินตะกอนสารส้ม รวมถึงมีการปลดปล่อยฟอสเฟตไอออน ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) และซัลเฟตไอออน ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ให้ออกมาอยู่ในสารละลายด้วยเช่นกัน หรือไฮโดรเจนไอออนอาจเข้าไปแทนที่สารประกอบของเหล็กฟอสเฟตและเหล็กซัลเฟตแล้วปลดปล่อยสารประกอบในข้างต้นออกมาอยู่ในสารละลายก่อน จากนั้นซิเตรทไอออนจึงจะเข้าไปแทนที่ฟอสเฟตและซัลเฟต ทำให้มีฟอสเฟตไอออนและซัลเฟตไอออนถูกปลดปล่อยออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 เหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ที่เพิ่มขึ้นในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ

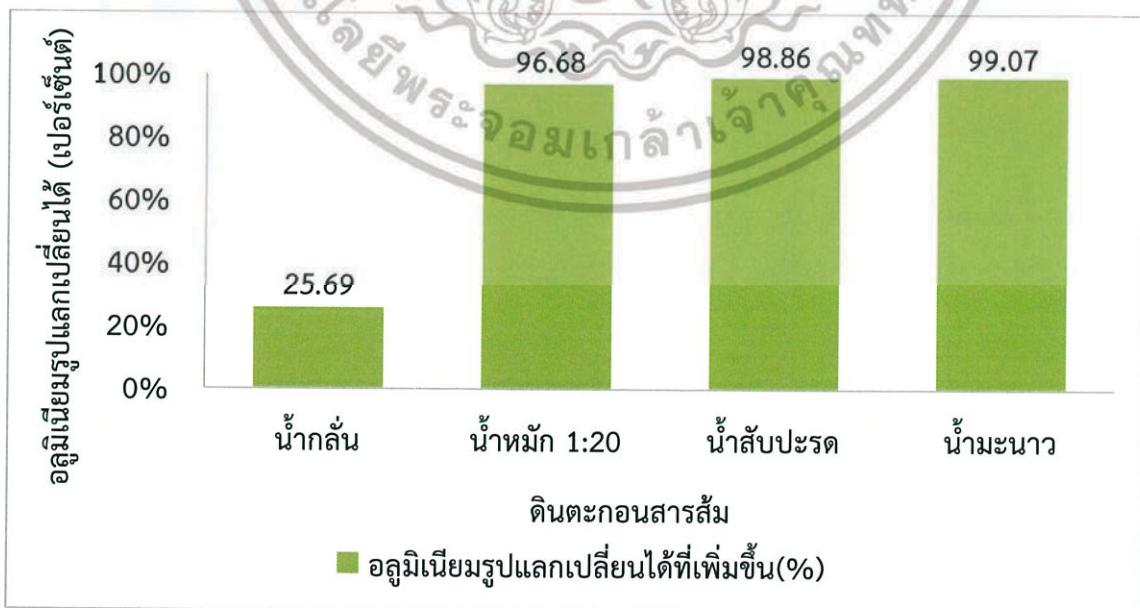


รูปที่ 4.14 ปริมาณเหล็กกลุ่มละลายน้ำในสารละลายหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ

#### 4.2.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการชะละลายอลูมิเนียมในดินตะกอนสารส้มด้วยวัสดุธรรมชาติ

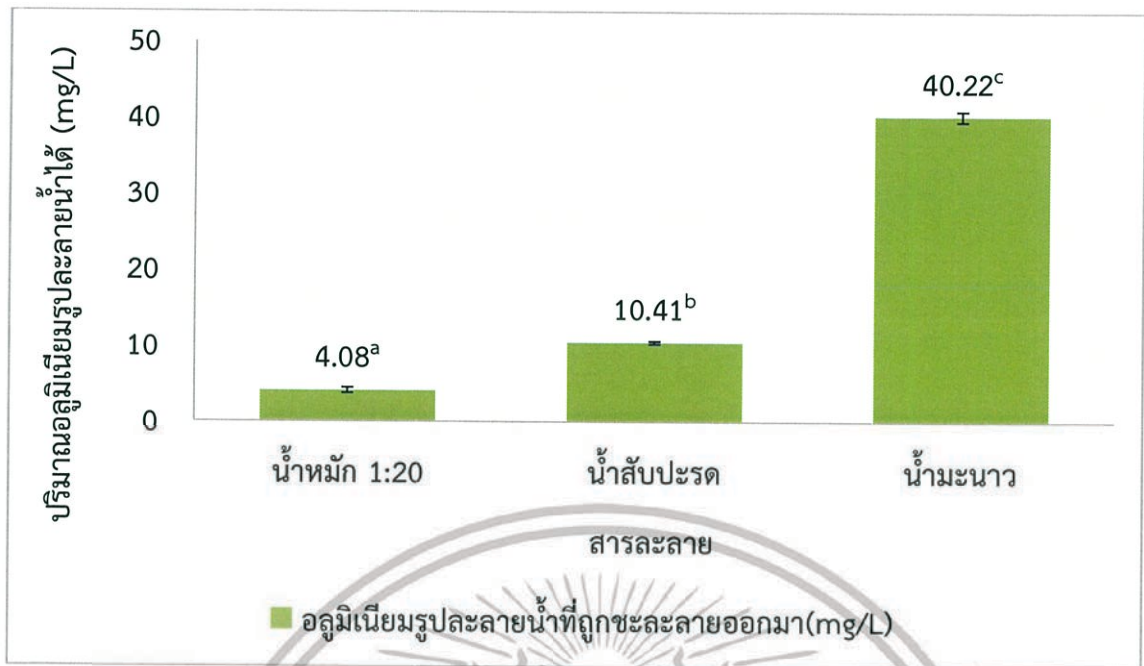
จากรูปที่ 4.15 จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยวัสดุธรรมชาติมีปริมาณมากขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นคำนวณจากปริมาณฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มก่อนและหลังการชะละลายด้วยวัสดุธรรมชาติในหน่วย (mg/kg) เทียบออกมาในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (รายละเอียดดังภาคผนวก ง-3.1) โดยดินตะกอนสารส้มหลังชะละลายด้วยน้ำมะนาวจะมีค่าอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มเพิ่มขึ้นจากก่อนการชะละลายเท่ากับ 99.07 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่า น้ำหมักชีวภาพ น้ำสับปะรด และ น้ำกลั่นที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากก่อนการชะละลาย 96.68, 98.86 และ 25.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากว่าฟอสฟอรัสไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผลต่อปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้ม เนื่องจากถูกตรึงร่วมกับสารประกอบของอลูมิเนียม ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) และเกิดเป็นอลูมิเนียมฟอสเฟต ( $\text{AlPO}_4$ ) ซึ่งเป็นรูปที่แลกเปลี่ยนได้ยาก (กรณิกา และคณะ, 2556) แต่การตรึงของฟอสฟอรัสกับสารประกอบของอลูมิเนียมในดินตะกอนสารส้ม อาจเหลือสารประกอบของอลูมิเนียมบางส่วนที่ยังไม่ถูกตรึงกับฟอสฟอรัส คือ อลูมิเนียมซัลเฟต ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนได้ดีกว่าอลูมิเนียมฟอสเฟต เมื่อนำดินตะกอนสารส้มดังกล่าวไปทำการชะละลายด้วยน้ำกลั่นและวัสดุธรรมชาติ พบว่าปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วยน้ำกลั่นมีค่าน้อย แสดงว่าน้ำกลั่นไม่มีผลต่อปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยน และมีสารประกอบของอลูมิเนียมบางรูปฟอร์มที่สามารถละลายน้ำออกมาได้น้อยมาก เช่น อลูมิเนียมซัลเฟต จนไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ ส่วนดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการชะละลายด้วยกรดซิตริกจากวัสดุจากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำหมักชีวภาพ น้ำสับปะรด และ น้ำมะนาว มีปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้คือ 4.08, 10.41 และ 40.22 mg/L ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากน้ำมะนาวมีปริมาณกรดซิตริกถึง 7.54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าวัสดุจากธรรมชาติชนิดอื่น (รายละเอียดดัง ภาคผนวก ก-3.6) สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการชะละลายด้วยวัสดุธรรมชาติที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบหลักทั้ง 3 ชนิด แสดงดังสมการที่ 4.13 และ 4.14 ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่อลูมิเนียมสามารถแลกเปลี่ยนออกมาได้จะแตกต่างจากเหล็กคือมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5 (เจริญ และคณะ, 2540)



รูปที่ 4.15 อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ที่เพิ่มขึ้นในดินตะกอนสารส้มหลังการชะละลายด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารวัสดุจากธรรมชาติ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ปริมาณอลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้ในสารละลายหลังการชะละลายด้วยวัสดุจากธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการนำดินตะกอนสารส้มมาเติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัส 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมลงไปดินตะกอนสารส้ม จากนั้นนำน้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20 , 1:50 และ 1:100 มาชะละลายฟอสฟอรัสออกจากดินตะกอนสารส้ม พบว่า น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20 สามารถชะละลายฟอสฟอรัสออกมาได้สูงที่สุด เท่ากับ 11.98 mg/L ขณะที่อัตราส่วน 1:50 และ 1:100 มีค่าเท่ากับ 9.59 และ 7.52 mg/L ตามลำดับ

ต่อมาได้ศึกษาประสิทธิภาพการชะละลายฟอสฟอรัสด้วยวัสดุธรรมชาติที่มีกรดซิตริก เป็นองค์ประกอบหลักโดยนำน้ำโคลงมาเติมฟอสฟอรัสที่มีปริมาณ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมลงไปในดินตะกอนสารส้ม จากนั้นนำวัสดุธรรมชาติ 3 ชนิดได้แก่ น้ำมะนาว น้ำส้มป่อย และ น้ำหมักชีวภาพที่เจือจางในอัตราส่วน 1:20 มาเป็นตัวชะละลายพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำมะนาว น้ำส้มป่อย และ น้ำหมักชีวภาพ มีค่าเท่ากับ 45.42 , 18.73 และ 11.32 mg/L ตามลำดับ โดยน้ำมะนาวมีปริมาณกรดซิตริกสูงสุด เท่ากับ  $7.5367 \pm 0.0404$  เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถชะละลายฟอสฟอรัสออกจากดินตะกอนได้สูงที่สุด รวมถึงมีผลต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในดินตะกอนสารส้มและสารละลายที่ได้จากการชะละลายมีค่าสูงขึ้นจาก  $5.45 \times 10^{-7} \pm 7.22 \times 10^{-9}$  เป็น  $6.92 \times 10^{-4} \pm 1.59 \times 10^{-5}$  โมลาร์ โดยดินตะกอนหลังการใช้น้ำมะนาวชะละลายมีค่าพีเอช เท่ากับ 3.16 จากพีเอชเดิม คือ 6.26 นอกจากนี้ยังมีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของเหล็กและอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอน โดยไปชะละลายเหล็กที่ละลายน้ำได้ออกมาเท่ากับ 766.14 mg/L และ อลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้ มีค่าเท่ากับ 40.22 mg/L

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาความเป็นพิษของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างซิเตรทไอออนและสารประกอบของอลูมิเนียมหรือสารประกอบของเหล็ก ซึ่งได้จากการชะละลายดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยสารละลายที่มีกรดซิตริก เพื่อศึกษาความเป็นพิษของอลูมิเนียมและเหล็กที่มีผลกับระบบรากและใบของไม้ดอก
2. ควรศึกษาชนิดของไอออนที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยสารละลายที่มีกรดซิตริกให้หลากหลายชนิดมากยิ่งขึ้น เช่น โพลีแซ็กคาไรด์แบบแลกเปลี่ยนได้ เจลดาห์ลไนโตรเจน (TKN) และโลหะหนักที่ปนมากับน้ำเสียชุมชน เป็นต้น
3. ควรศึกษาระยะเวลาในการเขย่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากระยะเวลาที่เขย่านานขึ้นจะทำให้วัสดุธรรมชาติที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบหลักเข้าชะละลายฟอสฟอรัสในดินตะกอนสารส้มได้ดีขึ้นซึ่งอาจส่งผลให้ได้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

กรณีศึกษาเขียว, ขวัญใจตระกูลดีและขวัญชัย พันทุกซ์. 2556. “รูปฟอร์มฟอสฟอรัสในคอลัมน์ตะกอนสารส้มหลังจากผ่านการบำบัดน้ำเสีย.” โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 94 หน้า.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. สารเร่งซูเปอร์พด.2.[Online]. Available:

[http://www.ldd.go.th/menu\\_5wonder/pd\\_2.html](http://www.ldd.go.th/menu_5wonder/pd_2.html) เข้าถึงเมื่อวันที่ 30 พ.ย. 2559  
กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. [Online]. Available: <http://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ส.ค. 2559.

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน.[Online]. Available:

[http://km.reo15.net/index.php?option=com\\_fireboard&Itemid=2&func=view&catid=6&id=23](http://km.reo15.net/index.php?option=com_fireboard&Itemid=2&func=view&catid=6&id=23). เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ส.ค. 2559.

กัลยาณี อุไซณี, จิตรา ธีระปัญญาชัยและณริศา ตั้งทองปั้น. 2556. “ไอโซเทอร์มและจลนพลศาสตร์ของการดูดซับสารละลายฟอสเฟตด้วยตะกอนสารส้ม.” โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 70 หน้า.

การประปานครหลวง. 2555. กรรมวิธีผลิตน้ำประปา.[Online]. Available:

[http://www.mwa.co.th/main.php?filename=treat\\_water](http://www.mwa.co.th/main.php?filename=treat_water)  
เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 ส.ค. 2559.

เกตนธ์นิภา วันชัย. 2556. การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ท้องถิ่นที่ตรึงอยู่บนวัสดุชนิดต่างๆ ในการปรับปรุงคุณภาพดินนาข้าวที่เกิดอุทกภัย กรณีศึกษา : อ.บางบาล จ.พระนครศรีอยุธยา. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา. 86 หน้า.

ชนิษฐาเซวิเศษ, จิตติมาโพณะตะและนิสรานมพร. 2555. “การกำจัดฟอสเฟตด้วยตะกอนสารส้ม.” โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 69 หน้า.

จินดารัตน์ วีระวุฒิ. 2541. สับประรดและและสรีระวิทยาการเจริญเติบโตของสับประรด. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 159 หน้า.

ชัยวัฒน์วรพิบูลพงศ์. 2547. โครงการแนวความคิดการทำวิจัยการใช้ตะกอนจากการผลิตน้ำประปา ให้เป็นประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ.[Online]. Available:

[http://www.mwa.co.th/ewt\\_dl\\_link.php?nid=469](http://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=469). เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 มี.ค. 25

พหลรักสำรวจ, ศุภิมาธนะจิตต์, สมชัยอนุสนธิ์พรเพิ่มและวันเพ็ญวิริยะกิจนทีกุล. 2555. การใช้ลักษณะการดูดซับฟอสฟอรัสเพื่อประเมินอัตราและชนิดของปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับข้าวที่ปลูกในดินนครักษ์ที่มีปูนตกค้าง. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรมหาวิทาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 27-36.

พัชรี จีระจินดาขจร. 2554. คู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 269 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มุกดาสุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียน สโตร์. 344 หน้า.
- ยงยุทธโอสภสกา. 2546. ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา.คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.412 หน้า.
- โยธาคา มหาวุฒิ. 2556. การทำน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกสับปะรด. [Online]. Available: <http://yothakaouy.blogspot.com/p/1.html> เข้าถึงเมื่อวันที่ 9ส.ค.2559
- วาทวันสิงหพงษ์, วิษะวานิบุญคัมและอภิรักษ์โฮจัน. 2556. “การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียชุมชนด้วยตะกอนสารส้มแบบคอลัมน์.” โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 63 หน้า.
- สวนมะนาวเมืองจันทร์. 2556. มะนาวเป็นพิชิต1.[Online]. Available: <http://www.chanapanmanaw.com/index.php/article/19-pan-phichit1> เข้าถึงเมื่อวันที่15 ธ.ค. 2559.
- อัจฉิมาทวิกุล, อากาศร ฉัตรเทียนชัยและอารีญา โมหมัดตาเฮด. 2556. “การบำบัดไอออนฟอสเฟสในน้ำเสียด้วยตะกอนสารส้มแบบคอลัมน์.” โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีสิ่งแวดล้อมคณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-เจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 65หน้า.
- อานูชแก้ววงศ์. 2548.ประโยชน์จากตะกอนน้ำเสียชุมชน.วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ. 2 (2) : (กรกฎาคม - ธันวาคม 2548). หน้า 34-43.
- APHA, AWWA, WEF.2012.Standard Methods for examination of water and wastewater.22nd ed. Washington: American Public Health Association, 1360pp.
- CATHERINE SMITH. 2016. Citric Acid in Lemons. [Online]. Available: <http://www.livestrong.com/article/278808-citric-acid-in-lemons/>
- NELOFER JAMIL1. Quantitative Assessment of Juice Content, Citric Acid and Sugar Content in Oranges, Sweet Lime, Lemon and Grapes Available in Fresh Fruit Market of Quetta City. International Journal of Basic & AppliedSciences IJBAS-IJENS Vol: 15 No: 01:21-24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ดินและน้ำ

### ก-1 การวิเคราะห์ดิน

#### ก-1.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (%Moisture content)(กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยระเหยที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
2. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนสารส้มหนัก 1.0000 กรัม ที่ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช ลงบนถ้วยระเหยที่ผ่านการอบจนแห้งจากข้อ 1. พร้อมจดบันทึกน้ำหนักเปียกของดินตะกอนสารส้ม
3. นำถ้วยระเหยที่มีดินตะกอนสารส้มอยู่ใน ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำไปทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. นำดินตะกอนที่ผ่านการอบจากข้อ 3. มาชั่งน้ำหนักจนมีน้ำหนักคงที่ และจดบันทึกน้ำหนักแห้งของดินตะกอนสารส้ม
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินตะกอนสารส้ม
6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง พร้อมทั้งคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์ความชื้น

#### ก-1.2 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH 1:5) (พัชรี, 2554)

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนสารส้มหนัก 5.0000 กรัม ที่ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช ใส่ลงบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร จากนั้นคนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วคนสาร
3. คนสารละลายเป็นครั้งคราว และปล่อยให้ไว้เป็นเวลา 30 นาที
4. ปรับเทียบค่าของเครื่องพีเอชกับสารละลายมาตรฐานบัฟเฟอร์ พีเอช 4 และ พีเอช 7
5. วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลายส่วนใส และบันทึกผลการทดลอง

#### ก-1.3 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

##### ก-1.3.1 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนสารส้มโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนสารส้มหนัก 1.0000 กรัม ที่ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร และกรดไนตริก 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในตัวอย่างดินตะกอนสารส้ม
3. ปิดบีกเกอร์ด้านบนด้วยกระดาษฟิวส์ และนำไปย่อยด้วยเครื่องให้ความร้อนในตู้ดูดควัน จนได้สารละลายใส ไม่มีสี โดยให้เหลือปริมาตรของสารละลายประมาณ 2 มิลลิลิตร
4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
5. ปรับพีเอชของสารละลาย โดยการเติมฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด แล้วทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล จะได้สารละลายสีชมพูอ่อนคงตัว
6. นำสารละลายไปทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. แยกสารละลายส่วนใสออกจากดินตะกอนสารส้ม และนำสารละลายไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

8. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนพร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟอสฟอรัสทั้งหมด

ก-1.3.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนโดยวิธีการเทียบสี :

กรดแอสคอร์บิก

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอนโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนตั้งแต่ข้อ 1-6

2. แยกสารละลายส่วนใสออกจากดินตะกอน และทำให้เกิดสีโดยน้ำยารวมซึ่งเตรียมได้ดังนี้

2.1 กรดซัลฟูริก 5 นอร์มัล 50 มิลลิลิตร

2.2 แอนติโมนีโพแทสเซียมทาเทรต 5 มิลลิลิตร

2.3 แอมโมเนียมโมลิบเดต 15 มิลลิลิตร

2.4 กรดแอสคอร์บิก 30 มิลลิลิตร

3. เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ให้เกิดสีอย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่ควรเกิน 30 นาที

4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

5. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตะกอน พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟอสฟอรัสทั้งหมด

ก-1.4 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available P) (พัชรี, 2554)

ก-1.4.1 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอนโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน

1. ชั่งตัวอย่างดินตะกอนสารส้มหนัก 1.0000 กรัม ที่ทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 เมช ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

2. เติมน้ำยาสกัด Olsen (โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.5 โมลาร์ : pH 8.5)

20 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาทีจากนั้นนำมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ด้วยชุดกรองแบบลดความดัน

3. นำสารละลายไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

4. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินตะกอนพร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ก-1.4.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินตะกอนสารส้มโดย

วิธีการเทียบสี : กรดแอสคอร์บิก

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินตะกอนสารส้มโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนตั้งแต่ข้อ 1-2

2. ปิเปตสารละลายที่ได้จากการชะละลายในข้อ 2 ใส่ลงในหลอดทดลอง และเติมน้ำยาที่ทำให้เกิดสี อัตราส่วน 1 : 16 โดยน้ำยาที่ทำให้เกิดสีสามารถเตรียมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. ถ่ายสารละลายลงในหลอดเซนติพิวส์ และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

5. นำสารละลายส่วนใสไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ด้วยชุดกรองแบบลดความดัน

6. ใช้โพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 นอร์มัลชะล้างดินตะกอนสารส้มบนกระดาษกรองครั้งละ 30-40 มิลลิลิตร โดยในแต่ละครั้งของการชะล้าง ควรปล่อยให้ตัวอย่างดินที่ถูกชะเกือบแห้ง เมื่อสารละลายที่ได้จากชะตัวอย่างดินตะกอนสารส้มมีปริมาณเกือบถึงขีดปรับปริมาตร ให้ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 นอร์มัล

7. เขย่าให้เข้ากันและแบ่งสารละลายตัวอย่างดินตะกอนสารส้มของออกมา 5 มิลลิลิตร จากนั้นให้หยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้น

7.1 เกิดสีชมพูตั้งแต่แรก ให้เติมกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.1 นอร์มัล 1-2 หยด และเติมโพแทสเซียมฟลูออไรด์เข้มข้น 1 นอร์มัล 10 มิลลิลิตร กรณีที่ไม่เกิดสีชมพู ไม่ต้องทำการทดลองต่อไป เนื่องจากมีอลูมิเนียมน้อยมากในตัวอย่างดิน ถ้าเกิดสีชมพูให้ทำการทดลองตามข้อ

7.2 ไม่เกิดสีชมพูให้เติมโพแทสเซียมฟลูออไรด์เข้มข้น 1 นอร์มัล 10 มิลลิลิตรที่ละหยด จนกระทั่งเกิดสีชมพู แล้วทำการทดลองตามข้อ 8 ถ้าไม่เกิดสีชมพู ไม่ต้องทำการทดลองต่อ

8. ปิเปตสารละลายตัวอย่างดิน 20 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารเคมีดังนี้

8.1 กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 นอร์มัล และปรับพีเอช ให้อยู่ระหว่าง 2-3

8.2 เติมกรดไทโอไกลโคลิก เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ 2 มิลลิลิตร

8.3 เติมบัพเฟอร์อลูมินอน 10 มิลลิลิตร

9. นำไปอังให้ความร้อนในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นและปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร

10. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณหาปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในดินตะกอน พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้

## ก-2 การวิเคราะห์น้ำ

ก-2.1 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus) (APHA-AWWA, 2012)

1. นำสารละลายน้ำตัวอย่าง มาใส่ลงในถ้วยระเหย

2. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร และกรดไนตริก 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในตัวอย่างน้ำ

3. นำไปย่อยด้วยเครื่องให้ความร้อนในตู้ดูดควัน จนได้สารละลายใส ไม่มีสี โดยให้เหลือปริมาตรของสารละลายประมาณ 2 มิลลิลิตร

4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร

5. ปรับพีเอชของสารละลาย โดยการเติมฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด แล้วทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล จะได้สารละลายสีชมพูอ่อนคงตัว

6. นำสารละลายไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

7. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายน้ำตัวอย่าง พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟอสฟอรัสทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-2.2 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ (Ortho phosphorus) (APHA-AWWA, 2012)

1. นำสารละลายน้ำตัวอย่างมาปรับพีเอช โดยการเติมฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด แล้วทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 นอร์มัล จะได้สารละลายสีชมพูอ่อนคงตัว
2. ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี
3. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำในน้ำตัวอย่าง พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำ

ก-2.3 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดซิตริก (AOAC, 2005)

1. นำน้ำสับปะรดที่ผ่านการกรองเรียบร้อยแล้วมา 20 มิลลิลิตร
2. เติมฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด และเขย่าให้เข้ากัน
3. นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล ที่หาความเข้มข้นที่แน่นอนกับ KHP แล้ว ที่จุดยุติน้ำสับปะรดจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู
4. คำนวณหาปริมาณกรดซิตริกในน้ำสับปะรด พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกรดซิตริกในน้ำสับปะรด
5. ทำการทดลองกับมะนาวและน้ำหมักชีวภาพเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตั้งแต่ข้อ 1-4

ก-2.4 การวิเคราะห์เหล็กรูปละลายน้ำได้ (APHA-AWWA, 2012)

1. นำสารละลายน้ำตัวอย่างมาปรับพีเอช ให้อยู่ประมาณ 4-5
2. วัดปริมาณเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้ในน้ำตัวอย่างโดยนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดการดูดแสงของอะตอม
3. คำนวณหาปริมาณเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ในน้ำตัวอย่าง พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้

ก-2.5 การวิเคราะห์อลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้ (พัชรี, 2554)

1. ปิเปตสารละลายน้ำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารเคมีดังนี้
  - 1.1 กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 นอร์มัล และปรับพีเอช ให้อยู่ระหว่าง 2-3
  - 1.2 เติมกรดไทโอไกลโคลิก เข้มข้น 1 เปอร์เซนต์ 2 มิลลิลิตร
  - 1.3 เติมบัฟเฟอร์อลูมิเนียม 10 มิลลิลิตร
2. นำไปอังให้ความร้อนในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร
3. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณหาปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ในน้ำตัวอย่าง พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ

### ข-1. การคำนวณหาค่าเฉลี่ย

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

เมื่อ  $N$  = จำนวนครั้งของการวัด

$X_i$  = ข้อมูลที่ได้จากการวัดครั้งที่  $i$

### ข-2. การคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$S.D. = \sqrt{\frac{(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

เมื่อ S.D. = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$x$  = ข้อมูล (ตัวที่ 1, 2, 3, ..., n)

$\bar{x}$  = ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$n$  = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

### ข-3. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (\%)} = \left[ \frac{\text{น้ำหนักเปียก (กรัม)} - \text{น้ำหนักแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเปียก (กรัม)}} \times 100 \right]$$

### ข-4. การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)

$$\text{ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)} = \frac{\text{ppm from curve} \times \text{Final volume 1 (ml)} \times \text{Final volume 2 (ml)}}{\text{wt. of soil (g)} \times \text{aliqu. (ml)}}$$

เมื่อ ppm from curve = ค่าความเข้มข้นที่อ่านได้จากกราฟ (มิลลิกรัม / ลิตร)

Final volume 1 = ปริมาตรสุดท้ายครั้งที่ 1 (มิลลิลิตร)

Final volume 2 = ปริมาตรสุดท้ายครั้งที่ 2 (มิลลิลิตร)

wt. of soil = น้ำหนักแห้งของดิน (กรัม)

aliqu. = ปริมาตรที่นำไปวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

### ข.-4.1. การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(X-Y) * 100}{X}$$

เมื่อ  $X$  = ดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสีย (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

$Y$  = ดินตะกอนหลังการชะละลาย (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข-5. การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

$$\text{ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)} = \frac{B \times DF (\text{sample}) \times X}{A \times DF (\text{standard})}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของตัวอย่างดิน (กรัม)

B = น้ำยาสกัด (มิลลิลิตร)

X = ค่าที่อ่านได้เมื่อวัดค่าเทียบกับ standard set (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)

DF = อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor)

#### ข.5.1. การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่เพิ่มขึ้น(เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(Y-X) * 100}{Y}$$

เมื่อ X = ดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสีย (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

Y = ดินตะกอนหลังการชะละลาย (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

### ข-6. การคำนวณปริมาณเหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้ (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)

$$\text{ปริมาณเหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้ (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)} = \frac{\text{ppm from curve} \times \{\text{Final volume (ml)}\} \times \text{Extractant(ml)}}{\{\text{aliqu. (ml)}\} \times \text{wt. of soil (g)}}$$

\* กรณีมีการเจือจางสารละลายตัวอย่าง

เมื่อ ppm from curve = ค่าความเข้มข้นที่อ่านได้จากกราฟ (มิลลิกรัม / ลิตร)

Final volume = ปริมาตรสุดท้าย (มิลลิลิตร)

Extractant = ปริมาตรที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)

aliqu. = ปริมาตรที่นำไปวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

wt. of soil = น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)

#### ข-6.1. การคำนวณปริมาณเหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้ที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ปริมาณเหล็กที่เปลี่ยนแปลงได้ที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(Y-X) * 100}{Y}$$

เมื่อ X = ดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสีย (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

Y = ดินตะกอนหลังการชะละลาย (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

### ข-7. การคำนวณปริมาณอลูมิเนียมที่เปลี่ยนแปลงได้ (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)

$$\text{ปริมาณอลูมิเนียมที่เปลี่ยนแปลงได้ (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)} = \frac{(1000)(X)}{A \times D}$$

เมื่อ x = ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐานในหน่วย (มิลลิกรัม / ลิตร)

A = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ชะละลายได้ (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-7.1. การคำนวณปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ปริมาณอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(Y-X) * 100}{Y}$$

เมื่อ X = ดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำเสีย (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

Y = ดินตะกอนหลังการชะละลาย (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

ข-8. การคำนวณปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซिटริก (เปอร์เซ็นต์)

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซिटริก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{0.1 \times A \times 0.07 \times 100}{V}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

V = ปริมาตรของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐาน

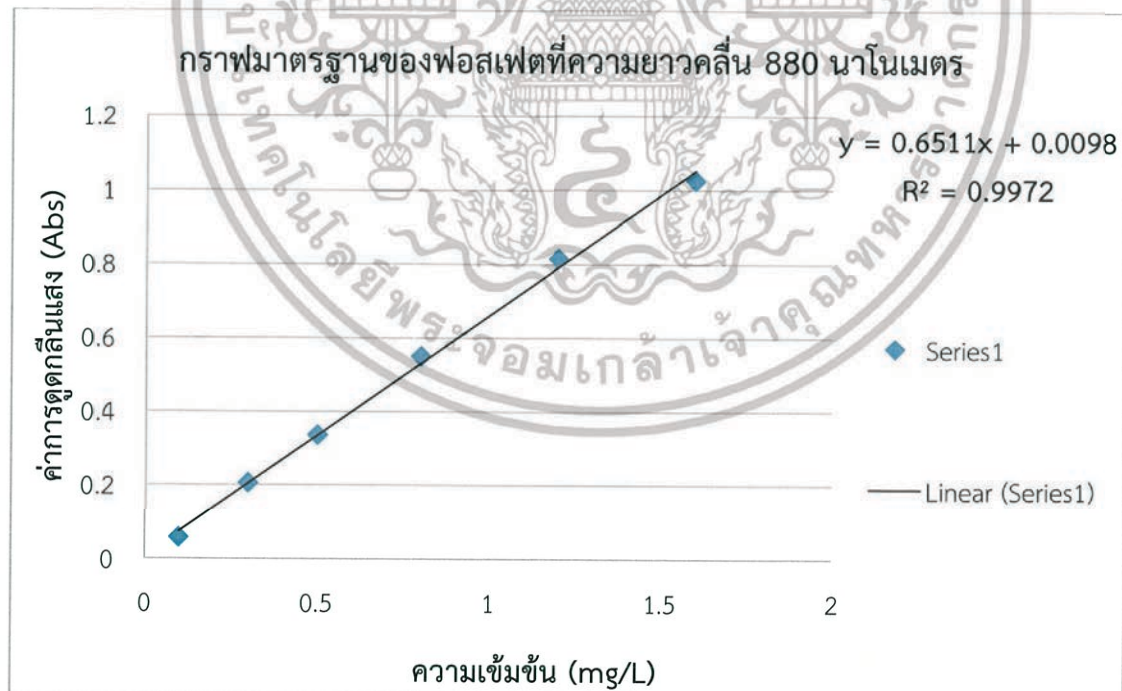
### ค-1 ฟอสเฟต (Phosphate)

ค-1.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

ค-1.1.1 ตารางค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสารมาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.1	0.058
0.3	0.205
0.5	0.336
0.8	0.550
1.2	0.815
1.6	1.025

ค-1.1.2 กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร



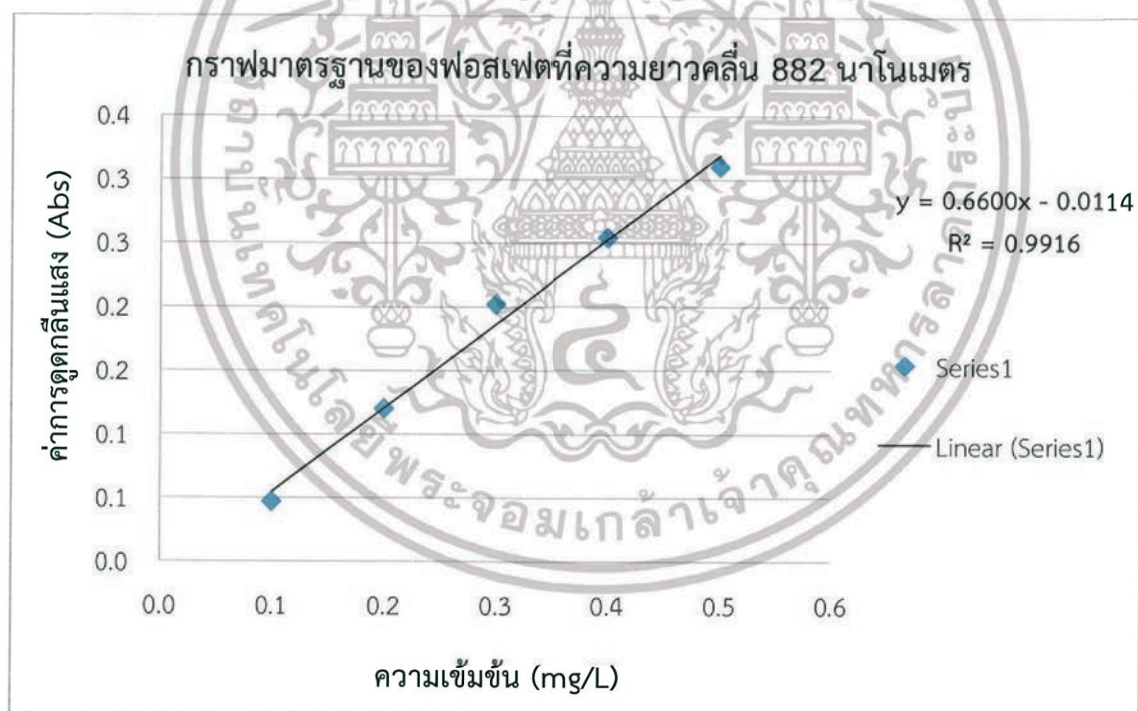
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-1.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร

ค-1.2.1 ตารางค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสารมาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.1	0.047
0.2	0.120
0.3	0.202
0.4	0.254
0.5	0.310

ค-1.2.2 กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร



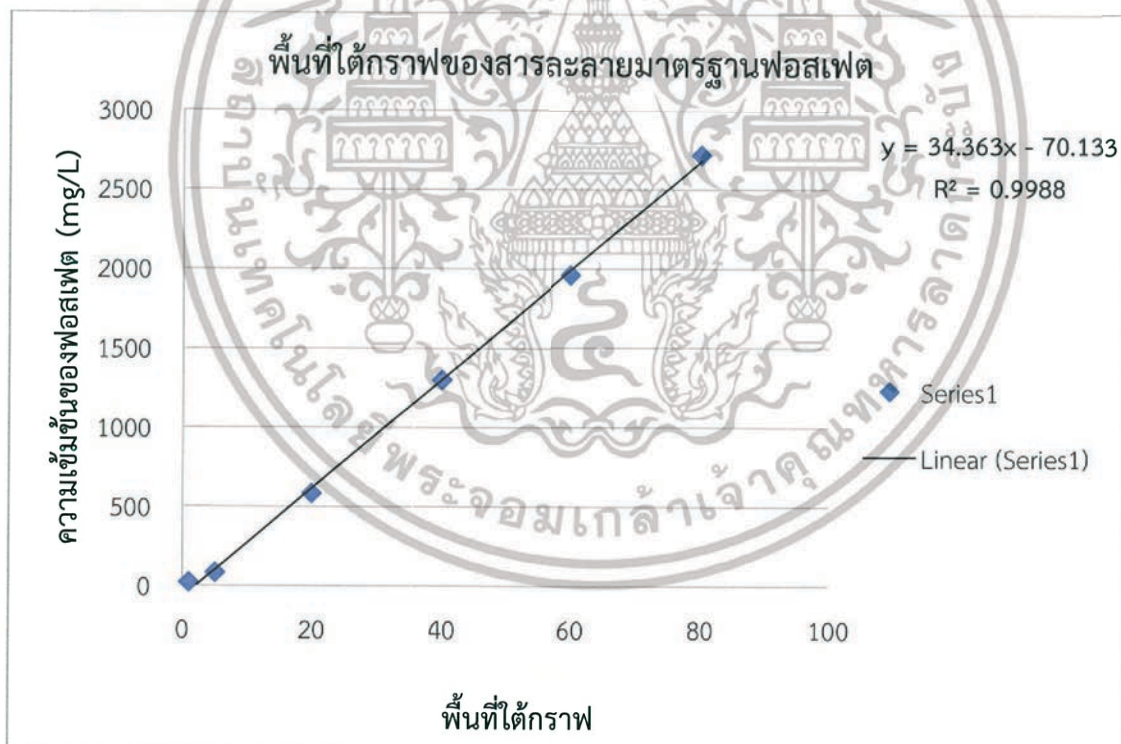
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-1.3 ค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

ค-1.3.1 ตารางค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

พื้นที่ใต้กราฟ	ความเข้มข้นของสารมาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)
20.48	1
81.90	5
582.60	20
1299.00	40
1958.00	60
2716.00	80

ค-1.3.2 กราฟค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ค-1 กราฟมาตรฐานของฟอสเฟตที่ใช้ในการวิเคราะห์ไอออนโครมาโทกราฟี

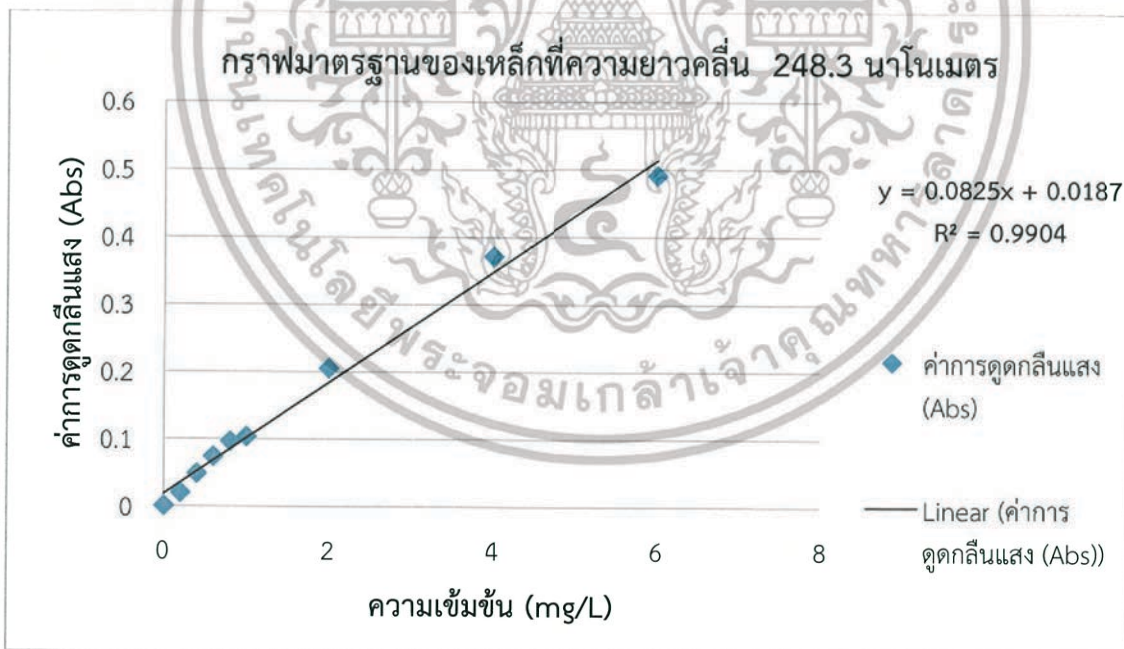
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ค-2 เหล็ก (Iron)

### ค-2.1 ตารางค่าการดูดกลืนแสงอะตอมของสารมาตรฐานเหล็กที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสารมาตรฐานเหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงของอะตอม
0	0
0.2	0.0197
0.4	0.484
0.6	0.0736
0.8	0.0958
1	0.1029
2	0.2042
4	0.3709
6	0.4907

### ค-2.2 กราฟการดูดกลืนแสงอะตอมของสารมาตรฐานเหล็กที่ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร



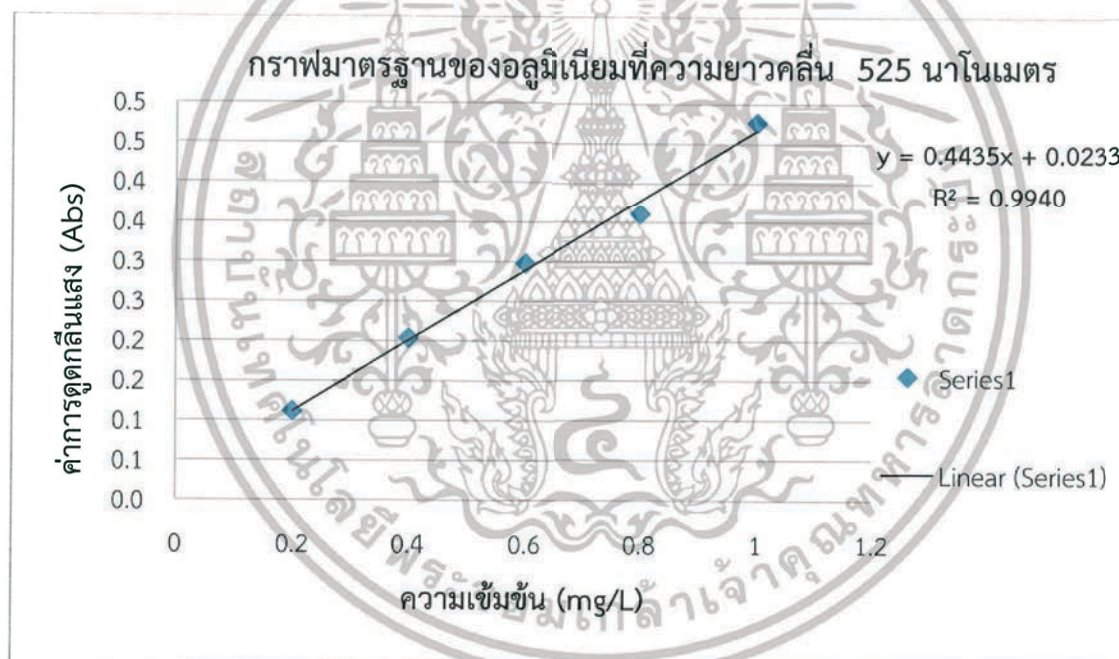
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ค-3 อลูมิเนียม (Aluminum)

ค-3.2 ตารางค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานอลูมิเนียมที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของสารมาตรฐานอลูมิเนียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.2	0.111
0.4	0.203
0.6	0.297
0.8	0.360
1.0	0.476

ค-3.2 กราฟค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานอลูมิเนียมที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง ผลการทดลอง

ง-1 ผลของการชะละลายจากอัตราส่วนของน้ำหมักชีวภาพที่มีต่อการเปลี่ยนรูปฟอร์มของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆในดินตะกอนสารส้มหลังเติมน้ำเสี้ยวสังเคราะห์

ตาราง ง-1.1 ความเป็นกรด-ด่าง : pH

ชุดทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง : pH			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนสารส้ม	7.21	7.24	7.23	7.23 $\pm$ 0.02
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ 100 mg/L	7.20	7.23	7.24	7.22 $\pm$ 0.04
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	7.23	7.23	7.25	7.24 $\pm$ 0.01
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมัก ชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	7.12	7.13	7.15	7.13 $\pm$ 0.02
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมัก ชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	7.19	7.20	7.16	7.18 $\pm$ 0.02
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสี้ยวสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมัก ชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	7.22	7.21	7.20	7.21 $\pm$ 0.01
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำกลั่น	7.02	7.02	7.03	7.02 $\pm$ 0.01
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมัก ชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	5.03	5.06	5.05	5.05 $\pm$ 0.02
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมัก ชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	5.21	5.23	5.26	5.23 $\pm$ 0.03
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมัก ชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	5.45	5.46	5.44	5.45 $\pm$ 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-1.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus )

ชุดทดลอง	ปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนสารส้ม	15.73	15.12	15.88	15.58 $\pm$ 0.40
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L	337.15	328.58	322.88	329.54 $\pm$ 7.18
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	296.98	277.98	299.68	291.54 $\pm$ 11.83
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมัก ชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	182.36	178.47	185.13	181.99 $\pm$ 3.34
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมัก ชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	221.13	216.89	218.51	218.84 $\pm$ 2.14
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมัก ชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	241.60	236.18	251.28	243.02 $\pm$ 7.65
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำกลั่น	n/d	n/d	n/d	n/d
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	11.78	12.43	11.72	11.98 $\pm$ 0.93
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	9.31	9.71	9.74	9.59 $\pm$ 0.24
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	7.33	7.51	7.73	7.52 $\pm$ 0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-1.3 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available phosphorus)

ชุดทดลอง	ปริมาณของฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนสารส้ม	0.53	0.52	0.51	0.52 $\pm$ 0.01
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L	5.74	5.63	5.87	5.74 $\pm$ 0.12
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	5.94	6.12	5.68	5.91 $\pm$ 0.22
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	12.25	11.80	12.00	12.02 $\pm$ 0.23
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	9.84	10.31	9.43	9.86 $\pm$ 0.44
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพที่เจือจาง 100 เท่า	8.35	7.91	6.63	7.63 $\pm$ 0.89

ตาราง ง-1.4 ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (Ortho Phosphate)

ชุดทดลอง	ปริมาณของฟอสฟอรัสรูปละลาย น้ำได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำกลั่น	n/d	n/d	n/d	n/d
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	7.42	7.71	8.07	7.73 $\pm$ 0.33
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	4.47	4.90	5.02	4.79 $\pm$ 0.29
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	2.87	2.65	2.86	2.80 $\pm$ 0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-1.5 เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Iron)

ชุดทดลอง	ปริมาณของเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนสารส้ม	66.09	66.43	65.98	66.17 $\pm$ 0.24
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L	65.87	68.40	67.03	67.10 $\pm$ 1.26
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	67.96	71.70	73.65	71.10 $\pm$ 2.89
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพที่เจือจาง 20 เท่า	296.67	293.37	294.28	294.77 $\pm$ 1.70
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพที่เจือจาง 50 เท่า	237.53	234.79	238.60	236.97 $\pm$ 1.97
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพที่เจือจาง 100 เท่า	215.33	212.69	216.06	214.69 $\pm$ 1.78
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำกลั่น	0.33	0.29	0.29	0.30 $\pm$ 0.02
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	42.39	49.84	51.15	47.79 $\pm$ 4.73
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	36.71	36.63	37.10	36.81 $\pm$ 0.25
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	26.03	26.26	25.74	26.01 $\pm$ 0.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-1.6 อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Aluminium)

ชุดทดลอง	ปริมาณของอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนสารส้ม	3.92	4.01	4.16	4.03 $\pm$ 0.12
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L	3.80	3.67	3.65	3.71 $\pm$ 0.08
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	3.68	3.64	3.80	3.71 $\pm$ 0.09
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	14.55	14.59	15.08	14.74 $\pm$ 0.29
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	9.12	9.75	10.17	9.68 $\pm$ 0.53
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	6.74	7.27	7.94	7.32 $\pm$ 0.60
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำกลั่น	0.02	0.03	0.04	0.03 $\pm$ 0.01
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	6.54	6.47	6.80	6.60 $\pm$ 0.17
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	1.94	1.87	2.06	1.96 $\pm$ 0.10
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	0.71	0.86	0.92	0.83 $\pm$ 0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-1.7 เปอร์เซนต์ความชื้น

ชุดทดลอง	เปอร์เซนต์ความชื้น			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนสารส้ม	5.2065	5.1397	5.1013	5.1492 $\pm$ 0.0532
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L	6.8336	6.7133	6.6613	6.7361 $\pm$ 0.0884
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	7.0752	7.1030	6.9608	7.0463 $\pm$ 0.0754
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	7.0902	7.1933	7.2325	7.1720 $\pm$ 0.0735
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	6.9292	6.9086	6.9661	6.9346 $\pm$ 0.0291
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	6.9406	7.0795	7.0559	7.0253 $\pm$ 0.0743

## ง-2 ผลของสารละลายของอนุกรมฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ

ตาราง ง-2.1 ความเป็นกรด-ด่าง : pH

	ความเป็นกรด-ด่าง : pH			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำกลั่น	6.12	6.18	6.11	6.14 $\pm$ 0.04
น้ำเสียสังเคราะห์	6.80	6.98	7.00	6.93 $\pm$ 0.11
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	3.62	3.65	3.64	3.64 $\pm$ 0.02
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	3.75	3.74	3.79	3.76 $\pm$ 0.03
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	3.92	3.91	3.93	3.92 $\pm$ 0.01

ตาราง ง-2.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus )

	ปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำเสียสังเคราะห์	52.30	53.30	53.40	53.00 $\pm$ 0.61
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	128.52	129.57	126.84	128.31 $\pm$ 1.38
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	154.30	157.80	159.80	157.30 $\pm$ 2.78
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	181.10	186.10	184.60	183.93 $\pm$ 2.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-2.3 ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (Ortho Phosphate)

	ปริมาณของฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำเสียสังเคราะห์	52.18	53.39	53.24	52.94 $\pm$ 0.66
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	121.58	122.64	123.85	122.69 $\pm$ 1.14
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	144.00	145.82	146.12	145.31 $\pm$ 1.15
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	175.82	183.70	174.30	177.94 $\pm$ 5.04

ตาราง ง-2.4 เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Iron)

	ปริมาณของเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำเสียสังเคราะห์	n/d	n/d	n/d	n/d
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	14.20	13.60	15.40	14.40 $\pm$ 0.92
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	15.20	15.60	15.60	15.47 $\pm$ 0.23
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	18.20	15.60	17.50	17.10 $\pm$ 1.35

ตาราง ง-2.5 อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Aluminium)

	ปริมาณของอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำเสียสังเคราะห์	n/d	n/d	n/d	n/d
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	0.41	0.41	0.42	0.42 $\pm$ 0.01
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 50 เท่า	0.33	0.33	0.32	0.33 $\pm$ 0.00
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 100 เท่า	0.11	0.12	0.12	0.12 $\pm$ 0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-3 ผลของการชะละลายจากกรดซัลฟิวริกที่มีต่อการเปลี่ยนรูปฟอร์มของอนุมูล  
ฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆในดินตะกอนสารส้มหลังผ่านน้ำคลอง

ตาราง ง-3.1 ความเป็นกรด-ด่าง : pH

ชุดทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง : pH			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนสารส้ม	7.20	7.23	7.24	7.22 $\pm$ 0.02
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัส ในรูปละลายน้ำ 50 mg/L	6.26	6.26	6.27	6.26 $\pm$ 0.01
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัส ในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วย น้ำกลั่น	5.92	5.99	5.98	5.96 $\pm$ 0.04
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัส ในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพที่เจือจาง 20 เท่า	5.76	5.81	5.78	5.78 $\pm$ 0.03
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัส ในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วย น้ำสับปะรด	5.68	5.33	5.45	5.49 $\pm$ 0.18
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัส ในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วย น้ำมะนาว	3.17	3.16	3.15	3.16 $\pm$ 0.01
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำกลั่น	5.64	5.61	5.63	5.63 $\pm$ 0.02
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	5.12	5.13	5.12	5.12 $\pm$ 0.01
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำสับปะรด	2.63	2.62	2.62	2.62 $\pm$ 0.16
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำมะนาว	6.26	6.26	6.27	6.26 $\pm$ 0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-3.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus )

ชุดทดลอง	ปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนสารส้ม	658.07	672.88	738.58	689.84 $\pm$ 42.86
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L	28853.55	28213.12	28244.95	28437.21 $\pm$ 360.91
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	27912.56	28426.34	28013.20	28117.37 $\pm$ 272.27
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ ที่เจือจาง 20 เท่า	24730.35	25410.95	25578.27	25239.86 $\pm$ 449.10
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำสับปะรด	20050.28	20433.42	21282.71	20588.80 $\pm$ 630.74
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำมะนาว	14180.19	13495.68	13993.87	13889.91 $\pm$ 353.90
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำกลั่น	1.12	1.11	1.15	1.13 $\pm$ 0.02
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	42.31	39.50	45.84	42.55 $\pm$ 3.18
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำสับปะรด	65.03	62.06	62.10	63.06 $\pm$ 1.70
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำมะนาว	93.41	100.47	96.40	96.76 $\pm$ 3.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-3.3 ฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available phosphorus)

ชุดทดลอง	ปริมาณของฟอสฟอรัสรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนสารส้ม	3.76	3.09	3.78	3.54 $\pm$ 0.39
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L	8.47	8.75	8.91	8.71 $\pm$ 0.22
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	8.79	9.71	10.04	9.52 $\pm$ 0.65
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่เจือจาง 20 เท่า	616.95	670.54	680.21	655.90 $\pm$ 34.08
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำสับปะรด	806.49	879.17	859.59	848.42 $\pm$ 37.61
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มีฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำมะนาว	1510.79	1564.54	1607.74	1561.02 $\pm$ 48.57

ตาราง ง-3.4 ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (Ortho Phosphate)

ชุดทดลอง	ปริมาณของฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำกลั่น	n/d	n/d	n/d	n/d
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	10.66	11.24	12.05	11.32 $\pm$ 0.70
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำสับปะรด	17.75	18.44	20.01	18.73 $\pm$ 1.16
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำมะนาว	45.64	46.84	43.79	45.42 $\pm$ 1.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-3.5 เหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Iron)

ชุดทดลอง	ปริมาณของเหล็กกลุ่มแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนสารส้ม	66.09	66.43	65.98	66.17 $\pm$ 0.24
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L	64.21	69.73	66.51	66.82 $\pm$ 2.77
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	75.23	78.54	76.22	76.66 $\pm$ 1.70
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ เจือจาง 20 เท่า	254.28	263.08	262.82	260.06 $\pm$ 5.01
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำสับปะรด	406.19	440.53	448.99	431.90 $\pm$ 22.67
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำมะนาว	1188.99	1174.35	1188.88	1184.07 $\pm$ 8.42
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำกลั่น	0.17	0.13	0.13	0.14 $\pm$ 0.02
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	41.93	45.61	46.26	44.60 $\pm$ 2.34
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำสับปะรด	80.05	77.26	76.76	78.02 $\pm$ 1.78
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำมะนาว	816.18	790.22	692.44	766.28 $\pm$ 65.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-3.6 อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Aluminum)

ชุดทดลอง	ปริมาณของอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนสารส้ม	3.92	4.01	4.16	4.03 $\pm$ 0.12
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L	3.32	3.14	3.20	3.22 $\pm$ 0.09
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	4.35	4.32	4.33	4.34 $\pm$ 0.01
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพที่ เจือจาง 20 เท่า	99.35	97.65	94.41	97.14 $\pm$ 2.51
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำสับปะรด	287.33	273.09	290.51	283.64 $\pm$ 9.27
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำมะนาว	343.78	347.61	353.24	348.21 $\pm$ 4.76
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำกลั่น	2.47	2.81	2.69	2.66 $\pm$ 0.17
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	6.48	7.15	6.56	6.73 $\pm$ 0.37
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำสับปะรด	12.90	13.27	13.03	13.06 $\pm$ 0.19
สารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำมะนาว	42.77	42.25	43.61	42.88 $\pm$ 0.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-3.7 เปอร์เซ็นต์ความชื้น

ชุดทดลอง	เปอร์เซ็นต์ความชื้น			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ดินตะกอนสารส้ม	5.2065	5.1397	5.1013	5.1492 $\pm$ 0.0532
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L	7.9438	7.8689	7.7744	7.8623 $\pm$ 0.0849
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำกลั่น	6.6521	6.4359	6.6660	6.5847 $\pm$ 0.1290
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50 mg/L และชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพ ที่เจือจาง 20 เท่า	6.0380	6.0811	6.1060	6.0750 $\pm$ 0.0344
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50mg/L และชะละลายด้วยน้ำสับปะรด	5.8348	5.5128	5.7762	5.7080 $\pm$ 0.1715
ดินตะกอนสารส้มที่เติมน้ำคลองที่มี ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ 50mg/L และชะละลายด้วยน้ำมะนาว	7.4523	7.8675	7.4529	7.5909 $\pm$ 0.2396

## ง-4 ผลของสารละลายของอนุมูลฟอสฟอรัสและไอออนต่างๆ

ตาราง ง-4.1 ความเป็นกรด-ด่าง : pH

	ความเป็นกรด-ด่าง : pH			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำกลั่น	6.13	6.16	6.20	6.17 $\pm$ 0.04
น้ำคลอง	7.20	7.16	7.18	7.18 $\pm$ 0.02
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	3.69	3.70	3.65	3.68 $\pm$ 0.03
น้ำสับปะรด	3.22	3.23	3.23	3.23 $\pm$ 0.01
น้ำมะนาว	1.81	1.80	1.80	1.80 $\pm$ 0.01

ตาราง ง-4.2 ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus )

	ปริมาณของฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำคลอง	0.29	0.29	0.28	0.29 $\pm$ 0.00
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	128.52	129.57	126.84	128.31 $\pm$ 1.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมส่งเสริมการเกษตรถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-4.3 ฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (Ortho Phosphate)

	ปริมาณของฟอสฟอรัสรูปละลายน้ำได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำคลอง	14.15	13.83	14.00	14.00 $\pm$ 0.16
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	121.58	122.64	123.85	122.69 $\pm$ 1.14

ตาราง ง-4.4 เหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Iron)

	ปริมาณของเหล็กรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำคลอง	n/d	n/d	n/d	n/d
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	14.20	13.60	15.40	14.40 $\pm$ 0.92

ตาราง ง-4.5 อลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Aluminum)

	ปริมาณของอลูมิเนียมรูปแลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำคลอง	0.09	0.09	0.09	0.09 $\pm$ 0.00
น้ำหมักชีวภาพเจือจาง 20 เท่า	0.41	0.41	0.42	0.42 $\pm$ 0.01

ตาราง ง-4.6 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิดริก

	ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิดริก (เปอร์เซ็นต์)			ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำหมักชีวภาพเจือจางในอัตราส่วน 1:20	0.0665	0.0630	0.0630	0.0642 $\pm$ 0.0020
น้ำสับปะรด	0.5075	0.5040	0.5110	0.5075 $\pm$ 0.0035
น้ำมะนาว	7.5600	7.4900	7.5600	7.5367 $\pm$ 0.0404

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จ-1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดจากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วน

จ-1.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายจากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วน

สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนไม่แตกต่างกัน

$H_a$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วย น้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) : Single factor

ANOVA					
B	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	29.802	2	14.901	176.829	.000
Within Groups	.506	6	.084		
Total	30.307	8			

ค่าSig.<0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดใน สารละลายที่ได้จากการชะละลายจากน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของเทอ์กีย์ (Tukey) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

B  
Tukey HSD

(I) A	(J) A	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	2.39000*	.23702	.000	1.6628	3.1172
	3	4.45333*	.23702	.000	3.7261	5.1806
2	1	-2.39000*	.23702	.000	-3.1172	-1.6628
	3	2.06333*	.23702	.000	1.3361	2.7906
3	1	-4.45333*	.23702	.000	-5.1806	-3.7261
	2	-2.06333*	.23702	.000	-2.7906	-1.3361

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## Homogeneous Subsets

B

Tukey HSD

A	N	Subset for alpha = 0.05		
		a	b	c
3	3	7.5233		
2	3		9.5867	
1	3			11.9767
Sig.		1.000	1.000	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## จ-2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วน

จ-2.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายจากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วน

สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนไม่แตกต่างกัน

$H_a$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) : Single factor

ANOVA					
B	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	37.885	2	18.943	180.349	.000
Within Groups	.630	6	.105		
Total	38.516	8			

ค่าSig.<0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายจากน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของเทอกี (Tukey) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

B  
Tukey HSD

(I) A	(J) A	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	3.27000	.26462	.000	2.4581	4.0819
	3	4.94000	.26462	.000	4.1281	5.7519
2	1	-3.27000	.26462	.000	-4.0819	-2.4581
	3	1.67000	.26462	.002	.8581	2.4819
3	1	-4.94000	.26462	.000	-5.7519	-4.1281
	2	-1.67000	.26462	.002	-2.4819	-.8581

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## Homogeneous Subsets

B

Tukey HSD

A	N	Subset for alpha = 0.05		
		a	b	c
3	3	2.7933		
2	3		4.4633	
1	3			7.7333
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### จ-3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกรุปละลายน้ำได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วน

จ-3.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกรุปละลายน้ำได้ในสารละลายจากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วน

สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณเฉลี่ยกรุปละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนไม่แตกต่างกัน

$H_a$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณเฉลี่ยกรุปละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) : Single factor

ANOVA					
B	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	711.786	2	355.893	47.543	.000
Within Groups	44.914	6	7.486		
Total	756.700	8			

ค่าSig.<0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณเฉลี่ยกรุปละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายจากน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของเทอกี (Tukey) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

B  
Tukey HSD

(I) A	(J) A	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	10.98000*	2.23394	.006	4.1257	17.8343
	3	21.78333*	2.23394	.000	14.9290	28.6377
2	1	-10.98000*	2.23394	.006	-17.8343	-4.1257
	3	10.80333*	2.23394	.007	3.9490	17.6577
3	1	-21.78333*	2.23394	.000	-28.6377	-14.9290
	2	-10.80333*	2.23394	.007	-17.6577	-3.9490

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

### Homogeneous Subsets

B  
Tukey HSD

A	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
3	3	25.7100		
2	3		36.5133	
1	3			47.4933
Sig.		1.000	1.000	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### จ-4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าอลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วน

จ-4.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าอลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้ในสารละลายจากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วน

สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าอลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนไม่แตกต่างกัน

$H_a$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าอลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) : Single factor

ANOVA					
B	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	51.114	2	25.557	125.124	.000
Within Groups	1.226	6	.204		
Total	52.340	8			

ค่าSig.<0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณอลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้จากการชะละลายจากน้ำหมักชีวภาพแต่ละอัตราส่วนแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของเทอกี (Tukey) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

B  
Tukey HSD

(I) A	(J) A	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	4.64667*	.36901	.000	3.5144	5.7789
	3	5.38333*	.36901	.000	4.2511	6.5156
2	1	-4.64667*	.36901	.000	-5.7789	-3.5144
	3	.73667	.36901	.194	-.3956	1.8689
3	1	-5.38333*	.36901	.000	-6.5156	-4.2511
	2	-.73667	.36901	.194	-1.8689	.3956

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## Homogeneous Subsets

B  
Tukey HSD

A	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
3	3	1.1900	
2	3	1.9267	
1	3		6.5733
Sig.		.194	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## จ-5 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดจากการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบ

จ-5.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายจากการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบ

สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบไม่แตกต่างกัน

$H_a$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายที่ได้จากการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) : Single factor

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4494.986	2	2247.493	263.879	.000
Within Groups	51.103	6	8.517		
Total	4546.089	8			

ค่าSig.<0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารละลายจากการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของเทอกี (Tukey) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

B  
Tukey HSD

(I) A	(J) A	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-20.51333 <sup>*</sup>	2.38288	.000	-27.8247	-13.2020
	3	-54.21000 <sup>*</sup>	2.38288	.000	-61.5213	-46.8987
2	1	20.51333 <sup>*</sup>	2.38288	.000	13.2020	27.8247
	3	-33.69667 <sup>*</sup>	2.38288	.000	-41.0080	-26.3853
3	1	54.21000 <sup>*</sup>	2.38288	.000	46.8987	61.5213
	2	33.69667 <sup>*</sup>	2.38288	.000	26.3853	41.0080

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## Homogeneous Subsets

Tukey HSD

A	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1	3	41.4200		
2	3		61.9333	
3	3			95.6300
Sig.		1.000	1.000	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-6 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้จากการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบ

จ-6.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายจากการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบ

สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้รับการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบไม่แตกต่างกัน

$H_a$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้รับการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) : Single factor

B	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1930.628	2	965.314	691.205	.000
Within Groups	8.379	6	1.397		
Total	1939.007	8			

ค่าSig.<0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้รับการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของเทอ์กีย์ (Tukey) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: B  
Tukey HSD

(I) A	(J) A	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-7.41667	.96491	.001	-10.3773	-4.4561
	3	-34.10667	.96491	.000	-37.0673	-31.1461
2	1	7.41667	.96491	.001	4.4561	10.3773
	3	-26.69000	.96491	.000	-29.6506	-23.7294
3	1	34.10667	.96491	.000	31.1461	37.0673
	2	26.69000	.96491	.000	23.7294	29.6506

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## Homogeneous Subsets

B

Tukey HSD

A	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1	3	11.3167		
2	3		18.7333	
3	3			45.4233
Sig.		1.000	1.000	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## จ-7 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกลุ่มละลายน้ำได้จากการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซिटริกเป็นองค์ประกอบ

จ-3.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ละลายน้ำได้ในสารละลายการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซिटริกเป็นองค์ประกอบ

สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณเกลือกลุ่มละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้รับการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซिटริกเป็นองค์ประกอบไม่แตกต่างกัน

$H_a$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณเกลือกลุ่มละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้รับการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซिटริกเป็นองค์ประกอบแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) : Single factor

ANOVA					
B	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	995636.381	2	497818.190	350.056	.000
Within Groups	8532.670	6	1422.112		
Total	1004169.051	8			

ค่าSig.<0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณเกลือกลุ่มละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้รับการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซिटริกเป็นองค์ประกอบแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของเทอกี (Tukey) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

B  
Tukey HSD

(I) A	(J) A	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-33.42333	30.79082	.556	-127.8980	61.0513
	3	-721.68000	30.79082	.000	-816.1547	-627.2053
2	1	33.42333	30.79082	.556	-61.0513	127.8980
	3	-688.25667	30.79082	.000	-782.7313	-593.7820
3	1	721.68000	30.79082	.000	627.2053	816.1547
	2	688.25667	30.79082	.000	593.7820	782.7313

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## Homogeneous Subsets

B

Tukey HSD

A	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1	3	44.4600	
2	3	77.8833	
3	3		766.1400
Sig.		.556	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ-8 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าอลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้จากการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบ

จ-4.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าอลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้ในสารละลายการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบ

สมมติฐานทางสถิติ

$H_0$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าอลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้รับการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบไม่แตกต่างกัน

$H_a$ : ค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าอลูมิเนียมรูปละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้รับการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบแตกต่างกัน

ทำการเปรียบเทียบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) : Single factor

ANOVA					
B	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2235.371	2	1117.685	5.239E3	.000
Within Groups	1.280	6	.213		
Total	2236.651	8			

ค่าSig.<0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณอลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้ในสารละลายที่ได้รับการชะละลายด้วยตัวชะละลายที่มีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบแตกต่างกันอย่างน้อย 1 ค่า จึงต้องไปเปรียบเทียบเชิงซ้อน โดยใช้วิธีการของเทอก์ (Tukey) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

B  
Tukey HSD

(I) A	(J) A	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-6.33667*	.37714	.000	-7.4938	-5.1795
	3	-36.14667*	.37714	.000	-37.3038	-34.9895
2	1	6.33667*	.37714	.000	5.1795	7.4938
	3	-29.81000*	.37714	.000	-30.9672	-28.6528
3	1	36.14667*	.37714	.000	34.9895	37.3038
	2	29.81000*	.37714	.000	28.6528	30.9672

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## Homogeneous Subsets

Tukey HSD

A	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1	3	4.0700		
2	3		10.4067	
3	3			40.2167
Sig.		1.000	1.000	1.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้