



การลดฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากระบวนการซักผ้า

โดยใช้เปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่

Reducing the phosphate in wastewater

from the washing process using eggshell and mussel shell

เจนจิรา

รักเจริญ

เนตรนภา

เสื่อโนนม่วง

นิลวรรณ

มาแจ้ง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2562



การลดฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้า  
โดยใช้เปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่  
Reducing the phosphate in wastewater  
from the washing process using eggshell and mussel shell

เจนจิรา รักเจริญ

เนตรนภา เสือโนนม่วง

นิลวรรณ มาแจ้ง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญาบัตร	การลดฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากระบบการซักผ้าโดยใช้เปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู
ชื่อ นามสกุล	เจนจิรา รักเจริญ เนตรนภา เสือโนนม่วง นิลวรรณ มาแจ้ง
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	นายกิตติศ ตั้งสัจจวงศ์

คณะกรรมการสอบปริญญาบัตรได้ให้ความเห็นชอบปริญญาบัตรฉบับนี้แล้ว

.....ประธานกรรมการ  
(ดร. ศุภชัย ทิรัญศุภโชติ)

.....กรรมการ  
(ผศ. ณัฐชัย ลักษณะอำนวยพร)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา  
(นายกิตติศ ตั้งสัจจวงศ์)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
อนุมัติให้รับปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ  
วันที่..... เดือน ..... พ.ศ. ....

ชื่อปริญญาบัตร	การลดฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากระบวนการซักผ้าโดยใช้เปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่
ชื่อ นามสกุล	เจนจิรา รักเจริญ เนตรนภา เสือโนนม่วง นิลวรรณ มาแจ้ง
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2562

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการลดฟอสเฟตในน้ำทิ้งของกระบวนการซักผ้าด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่ผลิตจากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ จากการศึกษาพบว่าสถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ เมื่อใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ คือ การปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 10 ใช้เวลาในการดูดซับ 15 นาที และเติมปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม โดยสามารถลดปริมาณฟอสเฟตได้ร้อยละ 25 และเมื่อเปลี่ยนตัวดูดซับเป็น  $\text{CaO}$  สถานะที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสเฟต คือ การปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 7 ใช้เวลาในการดูดซับ 15 นาที และเติมปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม โดยสามารถลดปริมาณฟอสเฟตได้ร้อยละ 24 สำหรับสถานะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ เมื่อใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่ คือ การปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 10 ใช้เวลาในการดูดซับ 45 นาที และเติมปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม โดยสามารถลดปริมาณฟอสเฟตได้ร้อยละ 25 และเมื่อเปลี่ยนตัวดูดซับเป็น  $\text{CaO}$  สถานะที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสเฟต คือ การปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 10 ใช้เวลาในการดูดซับ 15 นาที และเติมปริมาณตัวดูดซับ 3 กรัม โดยสามารถลดปริมาณฟอสเฟตได้ร้อยละ 24 นอกจากนี้เมื่อศึกษาการดูดซับค่าความสกปรกของน้ำทิ้ง ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น ค่าซีไอดี และค่าบีไอดี พบว่าที่สถานะการลดลงที่ดีที่สุดสามารถลดค่าความสกปรกในพารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นได้ร้อยละ 19.32, 2.60, 54.77 และ 16.67 ตามลำดับ  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่ผลิตได้จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ สามารถนำมาใช้ในการดูดซับความสกปรกในน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

คำสำคัญ : เปลือกไข่ไก่ เปลือกหอยแมลงภู่ การดูดซับ ฟอสเฟต ไอโซเทอร์มการดูดซับ

<b>Thesis title</b>	Reducing the phosphate in wastewater from the washing process using eggshell and mussel shell	
<b>Author</b>	Jenjira	Rakcharoen
	Nednapa	Suenonmueng
	Ninlawan	Marjang
<b>Degree</b>	Bachelor of Science	
<b>Major program</b>	Environmental Science and Natural Resources Faculty of Science and Technology	
<b>Academic Year</b>	2019	

## ABSTRACT

This research studied the factors that affect the efficiency of phosphate reduction in the wastewater of the washing process with  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{CaO}$  produced from eggshell and mussel shell. The study found that the optimum condition for adsorption when using  $\text{CaCO}_3$  from eggshell is to adjust the pH to be equal to 10, take 15 minutes to absorb, and add 1 gram of sorbent, which can reduce the phosphate content by 25 percent and when changing the adsorbent to  $\text{CaO}$ , the optimum condition for phosphate removal is to adjust the pH to 7, take 15 minutes to absorb, and add 1 gram of adsorbent, which can reduce the phosphate content by 24 percent. The optimum conditions for adsorption when using  $\text{CaCO}_3$  from mussel shell were to adjust the pH to 10, take 45 minutes to absorb, and add 1 gram of sorbent, which can reduce the phosphate content by 25 percent and when changing adsorbents to  $\text{CaO}$ , the optimum condition for phosphate removal is to adjust the pH to 10, take 15 minutes to absorb, and add 3 grams of adsorbents, which can reduce the phosphate content by 24 percent. In addition, when studying the adsorption of impurities in the wastewater, such as conductivity, turbidity, COD, and BOD, it is found that the optimum reduction conditions can reduce the impurities of the parameters that mentioned above were 19.32, 2.60, 54.77 and 16.67 percent respectively.  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{CaO}$ , produced from eggshell and mussel shell can be used to absorb impurities in wastewater before releasing into natural water sources.

**English :** eggshell, mussel shell, adsorption, phosphate, adsorption isotherm

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือ และความกรุณาอย่างยิ่งของ คณาจารย์หลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ดร. ศุภชัย หิรัญศุภโกติ ประธานสอบปริญญานิพนธ์ และผศ. ณัฐชมัย ลักษณะอำนาจพร กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ซึ่งผู้วิจัยต้องกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์มาโนช หลักฐานดี หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม และคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำวิจัยตลอดจนให้ความรู้ทางวิชาการและวิชาชีพแก่คณะผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณเสาวลักษณ์ แม้นพวง เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการมลพิษทางน้ำ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เมตตาอบรมสั่งสอนและสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน รวมถึงเพื่อน ๆ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษาวิจัยตลอดมา จนกระทั่งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

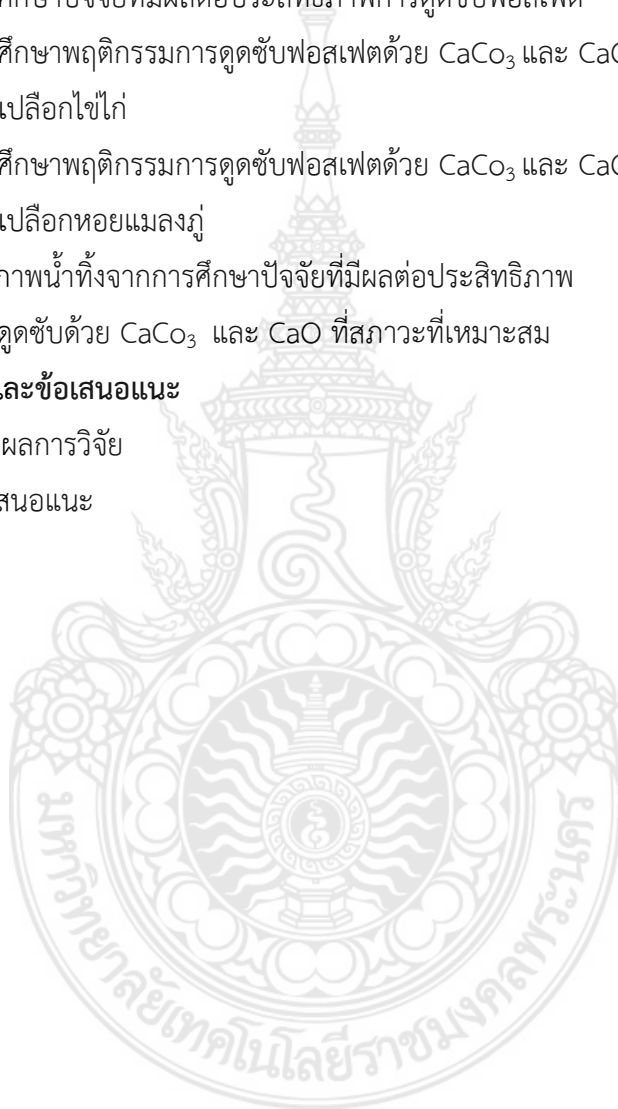
เจนจิรา	รักเจริญ
เนตรนภา	เสื่อโนนม่วง
นิลวรรณ	มาแจ้ง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(ก)
Abstract	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ฉ)
สารบัญภาพ	(ฎ)
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 คำสำคัญ	5
1.7 แผนการดำเนินงาน	5
<b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>6</b>
2.1 ฟอสฟอรัสและฟอสเฟต (Phosphorus and Phosphate)	6
2.2 แหล่งของฟอสฟอรัส	7
2.3 ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)	7
2.4 หลักการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	8
2.5 วัสดุที่ใช้ในการดูดซับ	12
2.6 การดูดซับ	16
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน</b>	<b>29</b>
3.1 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู	29
3.2 พารามิเตอร์	30
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง	31

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล</b>	<b>40</b>
4.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟต	40
4.2 การศึกษาพฤติกรรมดูดซับฟอสเฟตด้วย $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่	64
4.3 การศึกษาพฤติกรรมดูดซับฟอสเฟตด้วย $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่	70
4.4 คุณภาพน้ำทิ้งจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ การดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$ ที่สภาวะที่เหมาะสม	76
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>81</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	81
5.2 ข้อเสนอแนะ	83
เอกสารอ้างอิง	84
ภาคผนวก	86
ประวัตินักศึกษา	111





## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ตารางแสดงระยะเวลาการดำเนินงาน	5
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่	14
3.1 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์	30
4.1 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ และค่า pH 4	41
4.2 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ และค่า pH 7	43
4.3 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ และค่า pH 10	45
4.4 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ และค่า pH 4	47
4.5 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ และค่า pH 7	49
4.6 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ และค่า pH 10	51
4.7 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ และค่า pH 4	53
4.8 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ และค่า pH 7	55
4.9 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ และค่า pH 10	57
4.10 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ และค่า pH 4	59
4.11 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ และค่า pH 7	61
4.12 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ และค่า pH 10	63

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.13 ผลของความเข้มข้นฟอสเฟตต่อการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่	65
4.14 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ 1.0 g ที่ pH 10	65
4.15 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ 1.0 g ที่ pH 10	66
4.16 ผลของความเข้มข้นฟอสเฟตต่อการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่	68
4.17 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ 1.0 g ที่ pH 7	68
4.18 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ 1.0 g ที่ pH 7	69
4.19 ผลของความเข้มข้นฟอสเฟตต่อการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่	71
4.20 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ 1.0 g ที่ pH 10	71
4.21 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ 1.0 g ที่ pH 10	72
4.22 ผลของความเข้มข้นฟอสเฟตต่อการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่	74
4.23 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ 3.0 g ที่ pH 10	74
4.24 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ 3.0 g ที่ pH 10	75
4.25 ค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลงต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$ ที่สภาวะที่เหมาะสม ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	77
4.26 ค่าความขุ่นที่ลดลงต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$ ที่สภาวะที่เหมาะสม (NTU)	78
4.27 ค่าซีไอดีที่ลดลงต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$ ที่สภาวะที่เหมาะสม (mg/l)	79

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.28 ค่าบีโอดีที่ลดลงต่อประสิทธิภาพการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$ ที่สภาวะที่เหมาะสม (mg/l)	80
ภาคผนวก ก.1 ฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	87
ภาคผนวก ก.2 ฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	87
ภาคผนวก ก.3 ฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	88
ภาคผนวก ก.4 ฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	88
ภาคผนวก ก.5 ฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	89
ภาคผนวก ก.6 ฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	89
ภาคผนวก ก.7 ฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	90
ภาคผนวก ก.8 ฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	90
ภาคผนวก ก.9 ฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	91
ภาคผนวก ก.10 ฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	91
ภาคผนวก ก.11 ฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	92
ภาคผนวก ก.12 ฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	92

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
ภาคผนวก ก.13 ค่าความขุ่นน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	93
ภาคผนวก ก.14 ค่าความขุ่นน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	93
ภาคผนวก ก.15 ค่าความขุ่นน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	94
ภาคผนวก ก.16 ค่าความขุ่นน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	94
ภาคผนวก ก.17 ค่าความขุ่นน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	95
ภาคผนวก ก.18 ค่าความขุ่นน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	95
ภาคผนวก ก.19 ค่าความขุ่นน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	96
ภาคผนวก ก.20 ค่าความขุ่นน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	96
ภาคผนวก ก.21 ค่าความขุ่นน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	97
ภาคผนวก ก.22 ค่าความขุ่นน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	97
ภาคผนวก ก.23 ค่าความขุ่นน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	98
ภาคผนวก ก.24 ค่าความขุ่นน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	98
ภาคผนวก ก.25 ค่าการนำไฟฟ้า น้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	99

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
ภาคผนวก ก.26 ค่าการนำไฟฟ้าน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	99
ภาคผนวก ก.27 ค่าการนำไฟฟ้าน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	100
ภาคผนวก ก.28 ค่าการนำไฟฟ้าน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	100
ภาคผนวก ก.29 ค่าการนำไฟฟ้าน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	101
ภาคผนวก ก.30 ค่าการนำไฟฟ้าน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	101
ภาคผนวก ก.31 ค่าการนำไฟฟ้าน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่มากปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	102
ภาคผนวก ก.32 ค่าการนำไฟฟ้าน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่มากปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	102
ภาคผนวก ก.33 ค่าการนำไฟฟ้าน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่มากปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	103
ภาคผนวก ก.34 ค่าการนำไฟฟ้าน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มากปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	103
ภาคผนวก ก.35 ค่าการนำไฟฟ้าน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มากปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	104
ภาคผนวก ก.36 ค่าการนำไฟฟ้าน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มากปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	104
ภาคผนวก ก.37 ค่าซีโอดีน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	105
ภาคผนวก ก.38 ค่าซีโอดีน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	105

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
ภาคผนวก ก.39 ค่าซีไอดีน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	106
ภาคผนวก ก.40 ค่าซีไอดีน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	106
ภาคผนวก ก.41 ค่าซีไอดีน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	107
ภาคผนวก ก.42 ค่าซีไอดีน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	107
ภาคผนวก ก.43 ค่าซีไอดีน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	108
ภาคผนวก ก.44 ค่าซีไอดีน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	108
ภาคผนวก ก.45 ค่าซีไอดีน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	109
ภาคผนวก ก.46 ค่าซีไอดีน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	109
ภาคผนวก ก.47 ค่าซีไอดีน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	110
ภาคผนวก ก.48 ค่าซีไอดีน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	110

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย	4
2.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน	19
2.2 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบเชิงเส้นตรงของฟรุนดิช	20
2.3 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรุนดิช	21
2.4 กลไกการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว	21
2.5 ตัวถูกดูดซับปกคลุมจนเต็มพื้นที่ผิวของตัวดูดซับแบบชั้นเดียว	22
2.6 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของแลงเมียร์	23
2.7 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์	23
3.1 การวัด pH ของน้ำตัวอย่าง	31
3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ซีโอดี	33
3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์บีโอดี	35
3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ฟอสเฟต	38
3.5 การวัดค่าการนำไฟฟ้า	39
4.1 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	41
4.2 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	42
4.3 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	43
4.4 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	44
4.5 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	45
4.6 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	46

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.7 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	47
4.8 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	48
4.9 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	49
4.10 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	50
4.11 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	51
4.12 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	52
4.13 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaCO <sub>3</sub> จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	53
4.14 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaCO <sub>3</sub> จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	54
4.15 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaCO <sub>3</sub> จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	55
4.16 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaCO <sub>3</sub> จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	56
4.17 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaCO <sub>3</sub> จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	57
4.18 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaCO <sub>3</sub> จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	58



## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.19 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	59
4.20 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4	60
4.21 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	61
4.22 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7	62
4.23 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	63
4.24 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10	64
4.25 ฟรอนดิชไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaCO <sub>3</sub> จากเปลือกไข่ไก่ที่ pH 10	66
4.26 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaCO <sub>3</sub> จากเปลือกไข่ไก่ที่ pH 10	67
4.27 ฟรอนดิชไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ pH 7	69
4.28 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ pH 7	70
4.29 ฟรอนดิชไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaCO <sub>3</sub> จากเปลือกหอยแมลงภู่อที่ pH 10	72
4.30 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaCO <sub>3</sub> จากเปลือกหอยแมลงภู่อที่ pH 10	73

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.31 ฟรังก์ชันไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภูที่ pH 10	75
4.32 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภูที่ pH 10	76
4.33 ร้อยละค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลงต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย CaCO <sub>3</sub> และ CaO ที่สภาวะที่เหมาะสม ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	77
4.34 ร้อยละค่าความขุ่นที่ลดลงต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย CaCO <sub>3</sub> และ CaO ที่สภาวะที่เหมาะสม (NTU)	78
4.35 ร้อยละค่าซีไอดีที่ลดลงต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย CaCO <sub>3</sub> และ CaO ที่สภาวะที่เหมาะสม (mg/l)	79
4.36 ร้อยละค่าบีไอดีที่ลดลงต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย CaCO <sub>3</sub> และ CaO ที่สภาวะที่เหมาะสม (mg/l)	80

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันสภาพแวดล้อมและเศรษฐกิจได้มีการพัฒนาและเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม และด้านเศรษฐกิจ เป็นต้น ทำให้ประเทศไทยได้ประสบปัญหาการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ ปัญหามลพิษต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศสิ่งแวดล้อมจนมีความเสื่อมโทรมมากขึ้นและยังส่งผลกระทบต่อทัศนียภาพอีกด้วย ปัญหาเหล่านี้มาจากปัญหาย่อยหลายปัญหา คือ มลพิษทางดิน มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ ผลกระทบทั้งหมดนี้อาจจะเป็นปัจจัยที่ทำให้การดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตมีความเสี่ยงในการอุปโภคบริโภคและส่งผลกระทบต่อวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้หากไม่มีการป้องกันหรือแก้ไข ปัญหามลพิษทางน้ำถือเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปัญหามลพิษอื่น ๆ ปัญหามลพิษทางน้ำมักเกิดกับเมืองใหญ่ ๆ แหล่งน้ำที่สำคัญของประเทศถูกปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรกและสารมลพิษต่าง ๆ ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้อย่างเต็มที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตและการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคม สาเหตุของการเกิดมลพิษทางน้ำส่วนใหญ่เกิดจากน้ำทิ้งจากที่อยู่อาศัยและโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนทำให้น้ำมีสีดำ กลิ่นเน่าเหม็น มีสารพิษตกค้าง เช่น น้ำจากเกษตรกรรมที่มีการปนเปื้อนจากสารปราบศัตรูพืช น้ำทิ้งจากกระบวนการทำความสะอาด เช่น น้ำจากการซักผ้า เป็นต้น

ปัจจุบันธุรกิจเครื่องซักผ้าหยอดเหรียญ 24 ชั่วโมงมีการขยายตัวมากขึ้นทำให้มีการใช้น้ำเป็นจำนวนมาก น้ำที่ผ่านการใช้เหล่านี้จะถูกปล่อยเป็นน้ำเสียที่ไม่ได้รับการบำบัด มีการปนเปื้อนธาตุอาหารที่มาจากการใช้ผงซักฟอกที่เป็นผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่มีส่วนผสมของฟอสเฟตไหลผ่านท่อระบายลงสู่แหล่งน้ำโดยตรงเพราะไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียรองรับ หากในแหล่งน้ำมีปริมาณธาตุอาหารมากเกินไปจะทำให้สาหร่าย ฟิล์ม น้ำ แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตและมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (เสาวภา ไวยสุศรี, 2559) ดังนั้นในตอนกลางวันแหล่งน้ำที่เกิดยูโทรฟิเคชันจะมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่าความเข้มข้นสูงสุดแต่ตอนกลางคืนออกซิเจนจะลดลง บางแห่งอาจลดลงถึงศูนย์ กรณีนี้จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำจนอาจทำให้สัตว์น้ำตายในเวลาเพียงชั่วข้ามคืนเดียว การเกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำที่ปราศจากการปนเปื้อนของมลพิษจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในธรรมชาติ แต่ถ้าเกิดขึ้นในแหล่งน้ำที่ได้รับการปนเปื้อน

จากสารอินทรีย์และธาตุอาหารจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อพืชตายและเน่าเปื่อยจนเกิดการย่อยสลายทำให้น้ำขาดออกซิเจน มีกลิ่นเหม็นจนไม่สามารถนำน้ำมาใช้ได้ เมื่อพืชน้ำและสัตว์น้ำตายทับถมกันมากขึ้นทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน

ประเทศไทยมีการผลิตไข่เพื่อป้อนให้กับผู้บริโภคและอุตสาหกรรมอาหารสูงมากกว่า 10,024.5 ล้านฟองและมีการผลิตหอยแมลงภู่ประมาณ 100,000 ตันต่อปี จึงเป็นสาเหตุให้ในแต่ละปีมีเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ถูกทิ้งเป็นจำนวนมาก ที่ผ่านมากการกำจัดเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ใช้วิธีการฝังกลบที่ไม่ถูกต้อง ทำให้เกิดปัญหามลพิษในดิน ดินเสียความพรุนและความอุดมสมบูรณ์ รวมทั้งลดการดูดซึมของน้ำและระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ค่อนข้างนานทำให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไรก็ตามกระบวนการบำบัดและกำจัดนั้นต้องมีค่าใช้จ่ายจึงทำให้ต้นทุนการผลิตนั้นสูงขึ้นทำให้ปัจจุบันมีแนวทางที่จะลดของเสียจากกระบวนการผลิตหรือแปรรูปของเสียเพื่อกลับมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการอื่น ๆ ควบคู่กับการบำบัดและการกำจัดของเสีย (วิชัย ดำรงโภคภัณฑ์, 2555) เปลือกไข่ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.6 กรัมต่อฟอง หรือประมาณ 660 ตันต่อปี ต้องใช้งบประมาณในการกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ ประมาณ 8,000,000 บาทต่อปี อีกทั้งยังเกิดปัญหาในการสรรหาพื้นที่ที่จะฝังกลบ จึงต้องมีแนวทางใหม่ในการจัดการปัญหาเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ ซึ่งเปลือกไข่ไก่นั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญคือแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลักถึง 98.2% โดยน้ำหนักเปลือกไข่ไก่ จึงทำให้เปลือกไข่ไก่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เช่น ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง หากนำเปลือกไข่ไก่ไปเผาที่ความร้อน  $\geq 700^{\circ}\text{C}$  จะได้แคลเซียมออกไซด์เป็นผลผลิต ซึ่งใช้เป็นสารปรับสภาพความเป็นกรดในดินหรือน้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการ เป็นต้น (ทีปกร พรไชย, 2559) และเปลือกหอยแมลงภู่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ เมื่อนำไปเผาในความร้อนเหมาะสมแล้วบดให้ละเอียดจะได้แคลเซียมออกไซด์หรือปูนขาว (CaO) เป็นองค์ประกอบโครงสร้างผลึกอยู่ 99-100% (สรชา ไวรวิกิจ, 2558) คณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญและมีแนวคิดนำเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่มาแปรรูปเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อ อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและเพิ่มมูลค่าทางประโยชน์ของเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่

จากปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจและให้ความสำคัญในการศึกษาการลดปริมาณฟอสเฟตในน้ำทิ้งที่ มาจากการซักผ้าด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ ซึ่งเป็นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการลดปริมาณของฟอสเฟตรวมทั้งลักษณะของน้ำทิ้งที่เกิดจากการซักผ้าจากธุรกิจเครื่องซักผ้าหยอดเหรียญ ตลอดจนศึกษาและพัฒนาวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากการซักผ้า ด้วยวิธีการดูดซับเพื่อลดปริมาณฟอสเฟตในน้ำทิ้งหรือบำบัดให้น้ำมีคุณภาพที่ดีพอก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำเสื่อมสภาพลงและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วอาจนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู

1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีการลดฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการซักผ้า

1.2.4 เพื่อศึกษาวิธีการบำบัดความสกปรกของน้ำจากการซักผ้า

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 สถานที่ทำการวิจัย ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.3.2 น้ำทิ้งจากการซักผ้า ร้านจัมโบ้ วอช สาขาทำอัฐ

1.3.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการซักผ้า

- ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์

1.0 , 3.0 , 5.0 กรัม

- ค่า pH ที่เหมาะสม

pH 4 , pH 7 , pH 10

- ระยะเวลาที่เหมาะสม

0 , 15 , 30 , 45 , 60 , 120 , 180 นาที

1.3.4 พารามิเตอร์ที่ศึกษา

- Phosphate โดยวิธีวิเคราะห์กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid method)

- COD โดยวิธีวิเคราะห์รีฟลักซ์แบบปิด (Close reflux method)

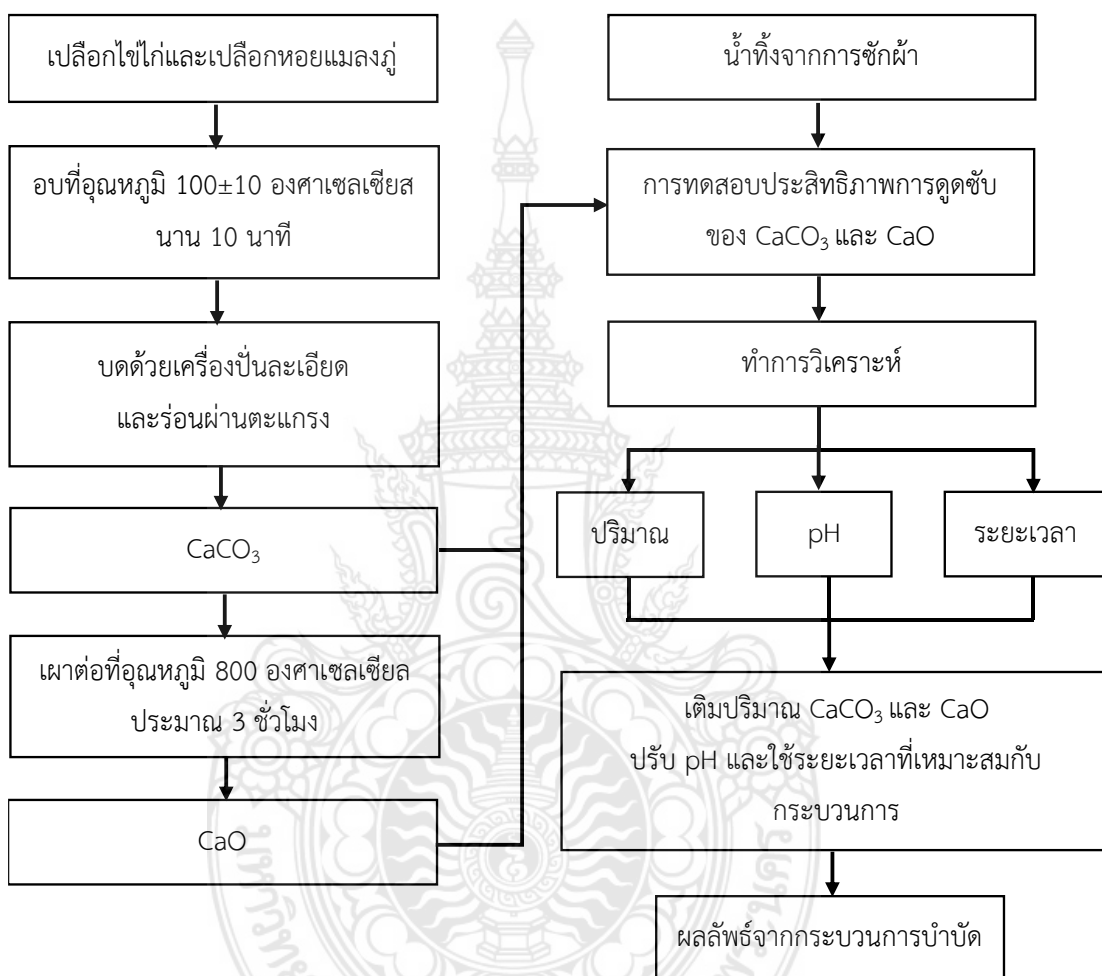
- pH วิเคราะห์โดยเครื่องวัดพีเอช (pH Meter)

- EC วิเคราะห์โดยเครื่องวัดความนำไฟฟ้า (Conductivity meter)

- BOD โดยวิธีวิเคราะห์แบบวิธีโดยตรง (Direct method)

- Turbidity วิเคราะห์โดยเครื่องวัดความขุ่น (Turbidity meter)

## 1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพ 1.1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู

1.5.2 ทราบถึงประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู

1.5.3 ทราบถึงวิธีการลดฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากการซักผ้า

1.5.4 ทราบถึงวิธีการบำบัดความสกปรกของน้ำจากการซักผ้า

## 1.6 คำสำคัญ

ภาษาไทย : เปลือกไข่ไก่ เปลือกหอยแมลงภู การดูดซับ ฟอสเฟต ไอโซเทอร์มการดูดซับ

English : eggshell, mussel shell, adsorption, phosphate, adsorption isotherm

## 1.7 แผนการดำเนินงาน

ตาราง 1.1 ตารางแสดงระยะเวลาการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	พฤศจิกายน 2562				ธันวาคม 2562				มกราคม 2563				กุมภาพันธ์ 2563			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. กำหนดหัวข้อวิจัยและวัตถุประสงค์																
2. ศึกษางานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง																
3. วางแผนการดำเนินงาน																
4. ดำเนินการวิเคราะห์และเก็บรวบรวมข้อมูล																
5. สรุปผลการวิเคราะห์และจัดทำรูปเล่มปริยญาานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์																

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการลดฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากระบบการซักผ้าโดยใช้เปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับความรู้ต่าง ๆ หลายเรื่องซึ่งต้องนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการพิจารณาอ้างอิงและวิเคราะห์ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจในเรื่องต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจนจึงต้องกำหนดข้อมูลหลักที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- 2.1 ฟอสฟอรัสและฟอสเฟต (Phosphorus and Phosphate)
- 2.2 แหล่งของฟอสฟอรัส
- 2.3 ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)
- 2.4 หลักการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
- 2.5 วัสดุที่ใช้ในการดูดซับ
- 2.6 การดูดซับ
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ฟอสฟอรัสและฟอสเฟต (Phosphorus and Phosphate)

ฟอสฟอรัสพบทั้งในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียในรูปของฟอสเฟตและโมเลกุลของฟอสเฟต ปัจจุบันนิยมจำแนกฟอสฟอรัสออกเป็น 3 ประเภท (ยะโก๊ะ, 2553) ดังนี้

2.1.1 ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) ได้แก่ ฟอสเฟตที่ละลายน้ำแล้วให้  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  และ  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$

2.1.2 โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) สารที่มีฟอสเฟตในโมเลกุลหลาย ๆ หมู่ เช่น สารประกอบ  $\text{Na}(\text{PO}_4)_6$ ,  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  และ  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  สารเหล่านี้เป็น dehydrated phosphate จึงถูกไฮโดรไลซิสในน้ำกลายเป็น orthophosphate ได้

2.1.3 อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic phosphate) ได้แก่ สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ เช่น nucleic acid, phospholipids และ sugar phosphate



## 2.2 แหล่งของฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสที่มาจาก 2 แหล่งใหญ่ ๆ ด้วยกัน (ยะโก๊ะ, 2553)

2.2.1 แหล่งที่มาจากธรรมชาติ เช่น การละลายของหินฟอสเฟต ผงฝุ่นฟอสฟอรัสในอากาศซึ่งถูกฝนพัดพาให้ตกลงสู่แหล่งน้ำ รวมทั้งฝนที่ตกลงมายังพื้นดินพัดพาเศษซากดินและหินที่มีฟอสเฟตลงในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังอาจมาจากมูลนกบางชนิด เศษซากพืชซากสัตว์ที่ตายทับถมในแหล่งน้ำ ฯลฯ การสะสมดังกล่าวและอาจก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำ

2.2.2 แหล่งที่มาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ได้แก่ น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และการเกษตร แม้ว่าจะมีการบำบัดน้ำทิ้งดังกล่าวแล้ว แต่ยังคงมีฟอสฟอรัสเหลืออยู่ในปริมาณที่สูง อย่างไรก็ตามเราสามารถควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสที่ลงสู่แหล่งน้ำด้วยสาเหตุจากกิจกรรมของมนุษย์ได้ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่พบว่าน้ำทิ้งมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง ได้แก่ โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานปุ๋ย ฯลฯ

## 2.3 ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) หรือมลภาวะจากธาตุอาหารพืช (nutrient pollution) เกิดจากการสะสมของแพลงก์ตอนพืชในแหล่งน้ำจืด เช่น ตามคูคลอง หนอง บึง ทะเลสาบ หรืออ่างเก็บน้ำ ซึ่งถือเป็นหนึ่งในปัญหามลพิษทางน้ำที่สำคัญที่เกิดขึ้นในทั่วทุกทวีปทั่วโลก สาเหตุหลักของปัญหามาจากแหล่งน้ำที่ได้รับสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณมาก จากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การเกษตร อุตสาหกรรม หรือน้ำทิ้งจากบ้านเรือน สารอาหารเหล่านี้จะไปกระตุ้นแพลงก์ตอนพืชเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจนส่งผลให้แหล่งน้ำไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ได้ (พงค์ศักดิ์ และรัฐชา, 2557)

ปัจจัยสำคัญในการควบคุมปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารในรูปของคาร์บอน ฟอสฟอรัส แสง ความเร็ว อัตราการไหลของน้ำ และระยะเวลาที่เก็บน้ำ โดยแหล่งคาร์บอนในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของคาร์บอนेट ส่วนแหล่งของไนโตรเจนนั้นได้มาจากการชะล้างปุ๋ยจากพื้นดิน และการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสมาจากหินฟอสเฟตจากการทำเหมืองแร่ อุจจาระสัตว์ ซากพืชที่ย่อยสลาย ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าการเกิดยูโทรฟิเคชัน คือการเพิ่มของปริมาณมวลชีวภาพในแหล่งน้ำขณะที่ความหลากหลายของสายพันธุ์ของสัตว์และพืชจะลดลง (ซีระวิทย์, 2548)

### 2.3.1 ผลกระทบจากการเกิดยูโทรฟิเคชัน

การสะสมของแพลงก์ตอนพืชก่อให้เกิดปัญหาทางลบในด้านต่าง ๆ มากมายในด้านสิ่งแวดล้อมปัญหาที่เกิดขึ้น ได้แก่ การขาดแคลนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืนที่พืชและแพลงก์ตอนพืชที่ลุ่มมีการหายใจโดยใช้ออกซิเจนในน้ำ ทำให้สัตว์น้ำ

ขาดอากาศหายใจ และเมื่อเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชที่บลูมตายลงพร้อม ๆ กัน ทำให้เกิดการย่อยสลายและทำให้แหล่งน้ำเน่าเสียจนไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ และยังอาจเกิดเชื้อโรคขึ้นตามมาอีกด้วย การที่แหล่งน้ำมีคุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรมลงยังส่งผลกระทบต่อการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพของทั้งพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำ แพลงก์ตอนพืชที่บลูมหนาแน่นเป็นแผ่น ๆ บริเวณผิวน้ำน้ำจะโปดบังแสง ทำให้น้ำขุ่น และกั้นไม่ให้แสงส่องผ่านมายังพื้นที่ท้องน้ำ ทำให้ไปจำกัดการเจริญเติบโตของพืชใต้น้ำ (พงศศักดิ์และรัฐชา, 2557)

## 2.4 หลักการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

### 2.4.1 ความเป็นกรด-ด่าง (Potential of Hydrogen Ion)

การวัดสภาพความเป็นกรด - ด่างของสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Aqueous Solution) โดยวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น (Potential) ระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) กับอิเล็กโทรดตรวจวัด (Sensing Electrode) ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจากจำนวนของไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) อิเล็กโทรดจะเปลี่ยนความต่างศักย์ที่เกิดจากไอออน (Ionic - Potential) ให้เป็น ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Electronic Potential) แล้วขยายให้มีความต่างศักย์สูงขึ้นด้วยเครื่องวัดพีเอช (Potentiometer)

### 2.4.2 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่นหมายถึงคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำเกิดจากมีสิ่งแขวนลอยในน้ำ เช่น ดินละเอียด สาหร่าย และสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ เป็นต้น สิ่งแขวนลอยดังกล่าวไม่ยอมให้แสงผ่านไปได้ทำให้เกิดการดูดซึมหรือเกิดการหักเหไปคนละทิศทางหรือกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบจึงทำให้มองเห็นน้ำนั้นขุ่นโดยที่ค่าความขุ่นจะมีหน่วยวัด NTU (Nephelometric Turbidity Unit)

### 2.4.3 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)

ซีโอดีเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณของสารอินทรีย์ซึ่งปนเปื้อนในแหล่งน้ำหรือของเสียที่สามารถออกซิไดซ์ได้ด้วย strong chemical oxidant ตัวอย่างจากบางแหล่งสามารถใช้ค่าซีโอดีแทนค่าบีโอดีได้ค่าของซีโอดีจะสามารถบอกปริมาณออกซิเจนที่สารอินทรีย์ในตัวอย่างต้องใช้ใน chemical oxidation เพื่อเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยอาศัยหลักว่าภายใต้ความเป็นกรด strong oxidizing agents สามารถที่จะออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้เกือบทุกตัว Amino nitrogen อาจเปลี่ยนเป็น ammonia-N แต่ Organic-N ที่มี higher oxidation states อาจเปลี่ยนเป็น (nitrate) ตามทฤษฎีแล้วสารอินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างจะถูกออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ไม่ว่าจะการย่อยสลายทางชีวภาพจะให้สารไดออกมา เช่น ลิกนิน จะถูกออกซิไดซ์ทางเคมีอย่างสมบูรณ์ มีผลให้ค่าซีโอดีสูงกว่าค่าบีโอดีและค่าจะยิ่งต่างกันถ้าในตัวอย่างนั้นมีสารอินทรีย์ที่ทนต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ หรือมีสารพิษที่ขัดขวางการวิเคราะห์บีโอดี

อีกสาเหตุหนึ่งคือ สารอินทรีย์บางประเภทจะไม่ถูกย่อยในทางชีววิทยาอย่างสมบูรณ์ แต่จะเข้าร่วมเป็นส่วนหนึ่งในเซลล์สิ่งมีชีวิต

ค่าซีโอดีใช้มากในการวิเคราะห์จากโรงงานอุตสาหกรรม มีประโยชน์มากโดยเฉพาะในการสำรวจการสูญเสียของสารลงไปในระบบระบายน้ำ และเนื่องจากความรวดเร็วในการวิเคราะห์จึงสามารถแก้ไขความผิดพลาดได้ ถ้าใช้ร่วมกับค่าบีโอดีจะช่วยให้รู้ถึงการปนเปื้อนของสารพิษและปริมาณสารอินทรีย์ที่คงทนต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ

การวิเคราะห์ซีโอดี โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux) สารอินทรีย์ที่ระเหยจะสามารถออกซิไดซ์ได้มากกว่าระบบแบบเปิดเพราะเวลาสัมผัสกับสารออกซิไดซ์ได้นานกว่า ก่อนทำการทดลองทุกครั้งควรตรวจดูฝาปิดหลอดแก้วว่ามีรอยแตกหรือไม่ ถ้าเกิดการชำรุดในขณะที่ทำการย่อยในเตาอบจะทำให้เกิดการปนเปื้อนและทำให้เกิดการสูญเสียของสารอินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในขั้นตอนการย่อยในเตาอบจะใช้อุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

การคำนวณหาซีโอดี

$$\text{COD} = \frac{(A - B) \times N \times 8000}{C}$$

เมื่อ COD= ค่าซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)

A= ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)

B= ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N= ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (นอร์มอล)

C= ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)

#### 2.4.4 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)

การหาค่าบีโอดี คือ การหาปริมาณออกซิเจนในน้ำตัวอย่างที่ถูกใช้ไปในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในสภาวะมาตรฐานของการทดสอบ แต่ออกซิเจนจะถูกใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์บางตัวด้วยการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีสารรบกวนอยู่จำเป็นต้องมีสารยับยั้งด้วย

องค์ประกอบที่สำคัญของการหาค่าบีโอดี คือ สารอาหาร ปริมาณออกซิเจนที่พอเพียงตลอดช่วงเวลาทีวิเคราะห์ตัวอย่าง และประชากรจุลชีพที่แข็งแรงและมีจำนวนมากพอ

หลักการ คือ เก็บตัวอย่างในขวดปิดสนิทแล้วนำไปบ่มเชื้อที่ 20 องศาเซลเซียส 5 วัน ผลต่างระหว่างค่าบีโอดีที่เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดการบ่มเชื้อ คือ ค่าบีโอดีของตัวอย่าง

ในทางปฏิบัติแล้ว การหาค่าบีโอดีมีรายละเอียดปลีกย่อยต่างกันไปตามแต่คุณภาพของตัวอย่างต้องมีการเตรียมตัวอย่าง หรือปรับให้ตัวอย่างอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์

แต่ทุกการวิเคราะห์จะได้ค่าที่เป็นที่ยอมรับต่อเมื่อ ค่า  $(DO_0 - DO_5) > 2$  มิลลิกรัมต่อลิตรและ ค่า  $DO_5 > 1$  มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 2.4.4.1 การวิเคราะห์บีโอดีโดย Dilution method

น้ำเสียส่วนใหญ่มักมีปริมาณของเสียที่ต้องใช้ออกซิเจนย่อยสลายมากเกินความสามารถของออกซิเจนที่มีในน้ำและปริมาณออกซิเจนที่ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสารที่มีในตัวอย่างเพื่อที่จะให้ค่า  $DO_0$  และ  $DO_5$  อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ต้องเจือจางน้ำตัวอย่างก่อนนำไปบ่มเชื้อ นอกจากต้องรักษาสมดุลของออกซิเจนแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ควรคำนึงถึงด้วย คือ

- 1) ระบบต้องปราศจากสารพิษที่จะมีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์
- 2) ต้องมีพีเอชและ osmotic condition ที่เหมาะสม
- 3) มีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์
- 4) มีอุณหภูมิที่เหมาะสม

ดังนั้นจะต้องเลือกใช้น้ำที่มีคุณภาพเหมาะสมในการเจือจางตัวอย่างปกติใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาเป่าอากาศก็ได้แต่ที่สะดวกที่สุด คือ ใช้น้ำกลั่นปรับแต่งองค์ประกอบให้เหมาะสมโดยเติมสารอาหารและบัฟเฟอร์ควบคุมสภาพกรด-ด่าง ถ้าน้ำตัวอย่างมีประชากรจุลินทรีย์ไม่เหมาะสมอาจต้องเพิ่มจุลินทรีย์ให้ระบบด้วย (seed) ซึ่งอาจเตรียมได้จากน้ำทิ้งจากครัวเรือน

ในการวิเคราะห์ควรเจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อที่จะได้ผลวิเคราะห์ที่อยู่ในช่วงเชื่อถือได้ ( $DO_5 > 1$  มิลลิกรัมต่อลิตร, 5 วัน  $DO$  up take  $> 2$  มิลลิกรัมต่อลิตร) อัตราส่วนการเจือจางหาได้จากค่าประมาณของบีโอดีซึ่งต้องอาศัยข้อมูลเก่า ๆ หรืออาศัยค่าซีโอดีของตัวอย่างเดียวกัน (ให้ประมาณว่าบีโอดีมีค่าประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของซีโอดี) และควรเจือจางตัวอย่างหลายระดับความเข้มข้น เพื่อให้ได้ผลวิเคราะห์ที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่ไม่มีข้อมูลใด ๆ ช่วยเลยให้ใช้ระดับความเข้มข้น ดังนี้

0 – 1.0	%	for Strong industrial waste.
1 – 5	%	for raw and settled waste.
5 – 25	%	for biologically treated effluent.
25 – 100	%	for polluted river water.

กรณีที่มีข้อมูลหรือสามารถประมาณค่าบีโอดีของน้ำตัวอย่างได้ให้คำนวณหาปริมาณของน้ำตัวอย่างที่จะใช้ในขวดบีโอดี ได้จาก

#### 2.4.4.2 การเจือจางน้ำตัวอย่าง ทำได้ 2 วิธี

1) Percent mixture เป็นการเจือจางตัวอย่างใน Graduated cylinder ให้ตุน้ำเจือจางลงไปประมาณครึ่งกระบอกตวงแล้วค่อย ๆ เติมน้ำตัวอย่างลงไปปริมาณที่เหมาะสมแล้วเติมน้ำเจือจางให้ได้ปริมาตรที่ต้องการ ใช้แท่งแก้วคนค่อย ๆ จนเข้ากันดี แบ่งตัวอย่างใส่ขวดบีโอดี 3 ขวด ใช้ขวดแรกหาค่าดีโอที่เวลาเริ่มต้น ปิดปากขวดที่เหลือให้สนิท เพื่อป้องกันการละลายของก๊าซระหว่างการบ่มให้ทำ water seal ที่ปากขวดบีโอดีแล้วนำไปบ่มที่ 20 องศาเซลเซียสนาน 5 วัน แล้วนำมาหาค่า  $DO_5$

2) Direct pipet เป็นการเจือจางตัวอย่างในขวดบีโอดี ใช้ปิเปตตัวอย่างปริมาตรที่ต้องการลงในขวดบีโอดี เติมน้ำสำหรับเจือจางในปริมาณที่พอเพียงที่จะทำให้ปิดจุกแล้วไม่มีอากาศค้างในขวด หาค่าดีโอและบ่มตัวอย่างสำหรับจะใช้วิเคราะห์  $DO_5$  ที่ 20 องศาเซลเซียสนาน 5 วัน ถ้าต้องเติม seed กรณีที่เจือจางใน Graduated cylinder (Percent mixture) จะเติมลงในน้ำเจือจางหรือเติมลงในตัวอย่างก่อนเจือจางวิธีหลังจะช่วยให้อัตราส่วนของ seed ต่อตัวอย่างไม่ลดลงเมื่อต้องใช้น้ำเจือจางเพิ่มขึ้น แต่การเจือจางตัวอย่างในขวดบีโอดีให้เติม seed ในน้ำเจือจางก่อน ถ้าต้องเจือจางให้ได้ความเข้มข้นของตัวอย่างต่ำมาก ๆ เช่น ใช้ตัวอย่างน้อยกว่า 0.5 มิลลิลิตร ให้เจือจางระดับหนึ่งก่อน แล้วเติมปิเปตตัวอย่างที่ได้ลงในขวดบีโอดีเพื่อเจือจางต่อ

#### การคำนวณหาบีโอดี

$$BOD = \frac{(DO_0 - DO_5) \times 100}{P}$$

เมื่อ BOD = ค่าบีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$DO_0$  = ค่า DO ของตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้วในวันแรก (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$DO_5$  = ค่าเฉลี่ย DO ของตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้วแช่เย็น 5 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

P = เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างที่ใช้

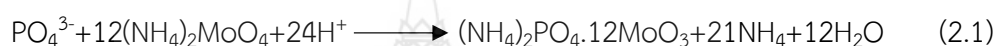
#### 2.4.5 ค่าฟอสเฟต (Phosphate)

ฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตอาจหาได้โดยวิธี Gravimetric หรือ Volumetric หรือ Colorimetric สำหรับ Gravimetric เหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีฟอสเฟตอยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนวิธี Volumetric ใช้เมื่อมีฟอสเฟตอยู่ในความเข้มข้นสูงกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบมากในหม้อต้มน้ำ (Boiler) ซึ่งจะเติมฟอสเฟตลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนซึ่งอาจทำให้หม้อน้ำเกิดการระเบิดได้ เนื่องจากวิธีนี้ทำให้ใช้เวลานาน ดังนั้นจึงนิยมใช้วิธี Colorimetric

วิธี Colorimetric ที่ใช้หาปริมาณฟอสเฟตมี 3 วิธี (ศิวพันธุ์, 2560) คือ

- 1) Vanadomolybdophosphoric acid
- 2) Stannous Chloride
- 3) Ascorbic acid

ทั้งสามวิธีมีหลักการเหมือนกัน ต่างกันตรงที่ตัวลดออกซิเจนที่ใช้ทำให้เกิดสีในขั้นตอนสุดท้าย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ ฟอสเฟตจะรวมตัวกับแอมโมเนียมโมลิบเดตภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเกิดเป็นแอมโมเนียมฟอสโฟโมลิบเดต ซึ่งเป็นสาร complex ดังสมการ 2.1



เมื่อมีฟอสเฟตในน้ำเป็นจำนวนมากจะเกิดเป็นตะกอนสีเหลืองของ Phosphomolybdate ซึ่งกรองออกได้และใช้ในการหาวิธี Volumetric ในความเข้มข้นต่ำ ๆ จะได้เป็น colloidal สีเหลือง ซึ่งถือว่าเป็นความเข้มข้นปานกลางใช้วัดโดยวิธี Colorimetric ได้เลย ถ้าฟอสเฟตมีอยู่น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบเป็นส่วนใหญ่ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สีเหลืองของคอลลอยด์จะไม่ปรากฏชัดจึงต้องใช้ตัวลดออกซิเจนไปทำให้เกิดสีซึ่งสามารถวัดได้ สารที่นิยมใช้คือสแตนนัสคลอไรด์หรือกรดแอสคอร์บิกตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งสารนี้จะปรีดิซ์ Molybdenum ในแอมโมเนียมโมลิบเดตเกิดเป็นสารละลายสีน้ำเงิน สีที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยากับปริมาณฟอสเฟตในน้ำ โดยที่ปริมาณแอมโมเนียมโมลิบเดตที่เกินพอจะไม่ถูกรีดิวซ์และไม่ขัดต่อการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สารที่มีสีที่เกิดขึ้นยังแยกไม่ได้จึงไม่ทราบสูตรที่ไม่แน่นอน เรียกกันว่า Molybdenum Blue หรือ Heteropoly Blue ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อใช้สแตนนัสคลอไรด์เป็นตัวลดออกซิเจนเป็นดังสมการ 2.2



## 2.5 วัสดุที่ใช้ในการดูดซับ

### 2.5.1 เปลือกไข่ไก่

เปลือกไข่ไก่มีหน้าที่รับน้ำหนักแม่ไก่เวลากกฟักไข่และมีความบางพอที่ลูกไก่จะเจาะดินออกไปจากเปลือกนี้ได้ เปลือกไข่จะต้องโปร่งพอที่จะให้เชื้อลูกไก่ได้อากาศมาหายใจและต้องหนาพอที่จะป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ไม่ให้เข้าไปในไข่ได้และยังมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้ความชื้นหนีหายได้ง่าย

นอกจากนี้โดยธรรมชาติเปลือกไข่ยังต้องมีสารอนินทรีย์ต่าง ๆ มากพอที่จะเป็นแร่ธาตุไปหล่อเลี้ยงเชื้อลูกไก่ให้เติบโตได้อีกด้วย

ถ้าเปลือกไข่แบนก็ไม่มี ความแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักกดทับหรือแรงกระทบกระเทือน ธรรมชาติได้สร้างให้เปลือกไข่โค้งติดกับเยื่อหุ้มไข่และโค้งลดหลั่นกันเป็นรัศมีจากศูนย์กลางไข่ด้วยการเรียงตัวของผลึกธาตุปูน ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ พวกหนึ่งมีประมาณ 1/5 เป็นโครงสร้างของเปลือกประกอบด้วยอินทรียสารที่ทำหน้าที่เชื่อมระหว่างเซลล์เป็นโปรตีนแบบเดียวกับพังผืด และกระดูกที่ประสานโยงยึดกัน ส่วนพวกที่สองเป็นส่วนประกอบของอินทรียสารต่าง ๆ มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต มีอยู่มากที่ด้านนอกเคลือบคลุมเป็นเนื้อพื้น (matrix) ของเปลือกทั้งสองพวกนี้สร้างมาจากท่อไข่ส่วนล่าง (Uterus)

เปลือกไข่ประกอบด้วยชั้นสำคัญ ๆ 2 ชั้นคือ เปลือกชั้นนอก เรียกว่า Spongy layer กับเปลือกชั้นใน เรียกว่า Mammillary layer ชั้นนอกเป็นแคลเซียมในรูปผลึกหินปูน (Calcite) ตั้งตรงทางแกนยาวของผลึกกับผิวเปลือก เป็นชั้นที่แข็งแรงที่สุด และแน่นที่สุด ส่วนชั้นในนั้นเป็นสารประกอบของแมกนีเซียมกับฟอสเฟต แร่ธาตุต่าง ๆ เหล่านี้ไม่ได้อยู่ในรูปผลึกเวลาไข่ราวกั จะร้าวถึงภายในด้วย

เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นนี้เป็นชั้นนอกที่ฉาบติดกับเปลือกชั้นในเป็นชั้นที่ผลึกกันแน่นและมีรูเล็ก ๆ จำนวนมากเชื่อมโยงจากชั้นในมาเปิดที่ชั้นนี้เป็นรูพรุนแบบฟองน้ำแต่แข็งแรงมาก เปลือกชั้นนอกนี้ให้ความเป็นรูปทรงและความแข็งแรงแก่เปลือกไข่ จากภาพขยายที่ดูด้วยการเอ็กซ์เรย์จะเห็นว่าความแน่นและแกร่งของชั้นนี้มีมากที่ผิวด้านนอก เกือบหมดที่ เป็นเนื้อหาของชั้นนี้มีลักษณะเป็นผลึกเล็ก ๆ ส่วนประกอบของชั้นนี้เมื่อย้อมด้วยสีโปรตีนจะเห็นว่ามันมีไม่ทั่วเปลือกแต่จะมีมากขึ้นตอนติดกับเปลือกชั้นใน สีนี้ทำให้เห็นเปลือกชั้นนอกแบ่งออกเป็น 3 ชั้นตามลักษณะของเส้นใยโปรตีน (Matrix fiber) คือ ชั้นที่อยู่ข้างในมีเส้นใยโปรตีนมากกว่าชั้นกลาง ชั้นนอกนั้นมีเส้นใยโปรตีนน้อยที่สุด

เปลือกชั้นใน เป็นชั้นที่บางของเปลือกอยู่ติดกับเยื่อหุ้มไข่ชั้นนอกประกอบด้วยปุ่มพื้นเปลือกลักษณะหยาบ ๆ (Mammilla) ที่มีรูปร่างต่าง ๆ ตั้งแต่ทรงรูปไข่ถึงทรงกลม ปุ่มเหล่านี้ผลึกเป็นชั้นเดียวอยู่ชิดกับเยื่อหุ้มไข่ ปลายปุ่มผายออกไปเปิดที่เยื่อหุ้มไข่ชั้นในเป็นทางผ่านของอากาศให้กระจายไปทั่วเปลือกชั้นนี้ไปสู่บริเวณปลายปุ่มพื้นเปลือก ซึ่งปุ่มพื้นเปลือกประกอบด้วยเกลือแร่ที่ไม่เป็นผลึกกระจายอยู่รอบผิวพื้นโปรตีนของเปลือก (Granular matrix material) ในไข่ต่าง ๆ ผิวพื้นโปรตีนเหล่านี้มีลักษณะคล้ายฝ้ายเรียงรายอยู่ใต้ปุ่มหินปูน ขนาด และรูปร่างของปุ่มพื้นเปลือกและการเรียงตัวของพื้นเปลือกจะแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์ปีก ความหนาของเปลือกชั้นในประมาณ 0.11 มิลลิเมตร หรือเป็นเนื้อที่ประมาณ 1/3 ของความหนาของผิวพื้นไข่ทั้งฟอง

ความสูงของแต่ละปุ่มเหล่านี้แล้วแต่ความหนาของเปลือกชั้นใน เส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละปุ่มประมาณ 0.096-0.144 มิลลิเมตร

เยื่อเปลือกไข่ (Membranes) เยื่อหุ้มไข่แบ่งออกเป็น 2 ชั้นกระชับติดกับเปลือกไข่จนเป็นรูปทรงเช่นเดียวกัน ชั้นแรกเป็นเยื่อชั้นในล้อมรอบไข่ขาวส่วนนอก ที่ส่วนหัวท้ายไม่มีเส้นใยมิวซินของไข่ขาวชั้นมาเชื่อมติดอยู่ เรียกว่า Ligamenta albuminis อีกชั้นหนึ่งจะเป็นเยื่อชั้นนอกอยู่ระหว่างเยื่อชั้นในกับเปลือก ชั้นนี้ผลึกแน่นกับเปลือกชั้นใน โดยทั่วไปเยื่อชั้นในและนอกมีสิ่งที่เชื่อมติดกันยกเว้นส่วนที่ป้านจะเกิดเป็นช่องอากาศของไข่ (Air cell) เมื่อไข่เน่าอายุมากขึ้น

รูเปลือก (Pores) มีลักษณะเป็นรูปร่างต่าง ๆ ตั้งแต่รูปร่างถึงกลม รูเปลือกเชื่อมโยงจากภายนอกเข้าไปถึงเยื่อเปลือกไข่ ขนาดของรูมีขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่เห็นได้ด้วยตาเปล่าไปจนถึงขนาดเล็กมากต้องดูด้วยกล้องขยาย รูเหล่านี้ยังไม่เป็นระยะและไม่มีความสม่ำเสมอ รูเหล่านี้เชื่อมโยงระหว่างเปลือกชั้นนอกกับระบบเชื่อมโยงของช่องอากาศที่เปลือกชั้นใน ตอนที่รูนี้เริ่มผ่านเปลือกชั้นนอกออกมาจะมีขนาดเล็กที่สุดแล้วมาเปิดกว้างเป็นแฉกผายออกไปที่ผิวของเปลือกชั้นนอกในไข่ใหม่ บางรูที่ปากรูตัน หรือถูกอุดด้วยนวลไข่ ฉะนั้นการขัดสีผิวไข่จึงเป็นเหตุให้ปากรูถูกเปิดมากขึ้น ทำให้น้ำในไข่ระเหยออกง่ายขึ้นและจุลินทรีย์จากภายนอกเข้าทำลายไข่ได้สะดวกขึ้น

ชั้นเคลือบผิวไข่ (Cuticle) เป็นชั้นเยื่อผิวชั้นที่บางฉาบเคลือบอย่างแน่นกับผิวนอกของเปลือก มีคุณสมบัติให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้ที่ปากรูเปลือกตรงส่วนพื้นเปลือกไข่ด้านใน (Plaque-of matrix) ก็เป็นส่วนของเคลือบผิวไข่ เพราะมันไปติดต่อกันเป็นอันหนึ่งอันเดียวกับเคลือบผิวไข่ชั้นใน นอกจากนี้เปลือกไข่ยังมีเม็ดสีที่เปลือกไข่ ซึ่งเกิดจากเม็ดสีของเม็ดโลหิตแดงและยังมีที่เยื่อเปลือกไข่อีกเล็กน้อย (อินทรี, 2560)

ตาราง 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่

แร่ธาตุ	% โดยน้ำหนัก		
	เปลือกไข่ไก่	เปลือกไข่เป็ด	เปลือกไข่นกกระทา
CaCO <sub>3</sub>	99.0	96.5	97.3
S	0.1	1.2	0.4
Mg	0.5	0.1	1.0
P	0.2	0.5	1.1
K	-	0.0839	-

ที่มา: เสาวภา (2558)



## 2.5.2 เปลือกหอยแมลงภู

หอยเป็นสัตว์ในไฟลัมมอลลัสกา (Mollusca) สิ่งมีชีวิตไฟลัมนี้รวมเรียกว่า มอลลัส (Mollus) เป็นพวกที่มีลำตัวอ่อนนุ่มมีเปลือกแข็งหุ้มภายนอก มีจำนวนมากอันดับสองรองจากแมลง พบทั่วไปทั้งบนบก ในน้ำเค็ม น้ำจืด และน้ำกร่อย ส่วนใหญ่ดำรงชีวิตเป็นอิสระ เคลื่อนที่และว่ายน้ำไปมาได้ บางชนิดยึดติดกับหิน ฝังตัวในดินและทราย ทั้งนี้การเติบโตของเปลือกหอยจะโตตามตัว ซึ่งเปลือกก็ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของหอย

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของเปลือกหอยคือแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) สารประกอบชนิดนี้เป็นของแข็งสีขาว มีสมบัติไม่ละลายน้ำ การเกิดแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่ากระบวนการตกตะกอน (Precipitation) เกิดจากรวมตัวของประจุแคลเซียม ( $\text{Ca}^{2+}$ , calcium ion) ที่ปลดปล่อยออกมาจากหอยและประจุคาร์บอเนต ( $\text{CO}_3^{2-}$ , carbonate ion) ที่อยู่ในน้ำทะเล แล้วตกตะกอนของแข็งสีขาวของแคลเซียมคาร์บอเนต ออกมาก่อนตัวเป็นเปลือกห่อหุ้มภายนอก โดยแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยมีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกันคือ แคลไซต์ (Calcite) ซึ่งพบบริเวณเปลือกนอกมีพื้นผิวขรุขระ และอราโกไนต์ (Aragonite) ซึ่งพบบริเวณเปลือกด้านใน คุณลักษณะมันวาวคล้ายไข่มุกหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Nacre ซึ่งมีความหนาเพิ่มขึ้นตลอดช่วงชีวิตของหอยและเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำหนักของเปลือกหอย

หอยแมลงภู เป็นหอยที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ หอยแมลงภูที่เลี้ยงในประเทศไทยมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Perna viridis* Linnaeus มีชื่อเรียกสามัญทั่วไปว่า Green mussel ซึ่งได้จัดลักษณะทางอนุกรมวิธานได้ดังนี้

Phylum Mollusca

Class Bivalvia

Order Mytilaida

Family Mytilidae

หอยแมลงภูประกอบด้วยเปลือกแข็งที่ห่อหุ้มลำตัวอยู่ภายนอกเปลือกหรือฝาหอย มีลักษณะเรียวยาวคล้ายรูปไข่เหมือนกันและมีขนาดเท่ากันทั้งสองฝา ด้านนอกของฝามีสีเขียวเข้มคล้ายปีกแมลงทับและข้างก็เป็นสีน้ำตาล ส่วนด้านในมีสีขาวคล้ายมุก

โดยโครงสร้างของเปลือกหอยแมลงภูแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคือ

1) ชั้นนอกสุด เรียกว่า ชั้นผิววนอก (Periostracum layer) ประกอบด้วยสารส่วนใหญ่เป็นโปรตีนประเภทคอนไคโอลินเป็นชั้นที่บางและหลุดง่าย ซึ่งจะสังเกตได้จากหอยที่ตายแล้ว และเปลือกที่ถูกทิ้งอยู่ตามชายหาด หรือหอยที่ยังมีชีวิตแต่เปลือกถูกคลื่นซัดหรือทรายซัดสี เปลือกชั้นนี้อาจหลุดหายไปจนไม่เหลือให้เห็น

2) ชั้นกลาง เรียกว่า ชั้นผลึกแคลเซียม (Prismatic layer) ประกอบด้วยผลึกรูปต่าง ๆ กันของสารประกอบแคลเซียมซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแคลไซต์ (Calcite) เป็นชั้นที่หนาและแข็งแรงที่สุด

3) ชั้นในสุด เรียกว่า ชั้นนุ้ก (Nacreous layer) ประกอบด้วยผลึกรูปต่าง ๆ กันของสารประกอบแคลเซียมซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอราโกไนต์ (Aragonite) เป็นชั้นที่เรียบบีความหนาบางแตกต่างกันไปตามชนิดของหอยทำให้เปลือกมีสีขาวขุ่นและเป็นมันแวววาวแตกต่างกัน (กิตติศักดิ์ชัย, 2553)

## 2.6 การดูดซับ

การดูดซับเป็นความสามารถของสารดูดซับ (Adsorbent) ในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ (Adsorbate) ที่อยู่ในสถานะแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะติดบนพื้นผิวของสารดูดซับ ซึ่งกระบวนการดูดซับนี้สามารถเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิว 2 วัสดุ เช่น แก๊สกับของเหลว แก๊สกับของแข็ง ของเหลวกับของเหลว หรือของเหลวกับของแข็ง (อุไรวรรณ และคณะ, 2553) โดยกระบวนการดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ประเภท (นิพนธ์ และคณิตา, 2550) คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

### 2.6.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

การดูดซับแบบนี้สามารถเกิดแบบหลายชั้น (Multilayers) บนพื้นผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเป็นการดูดซับอย่างอ่อนและไม่มีการเกิดพันธะเคมีเกิดขึ้นแต่จะดึงดูดด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) มักจะเกิดในสถานะอุณหภูมิต่ำ ๆ และมีพลังงานการดูดซับต่ำ นอกจากนี้การย้อนกลับของการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้ โดยขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ

### 2.6.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

การดูดซับทางเคมีเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นแล้วไม่ทำให้การจัดเรียงตัวของโครงสร้างของแข็งเปลี่ยนไป โดยการดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับที่แข็งแรง เกิดพันธะเคมีระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับและเป็นแบบเฉพาะเจาะจง คือขึ้นกับชนิดของตัวถูกดูดซับและผิวหน้าของตัวดูดซับหลังการดูดซับชั้นของโมเลกุลที่เป็นตัวถูกดูดซับบนผิวหน้ามีเพียงชั้นเดียว (Monolayer)

### 2.6.3 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass transfer) จากแก๊สหรือของเหลวมายังของแข็งหรือของเหลว การเกาะติดบนพื้นผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นเป็น 3 ระยะติดต่อกัน ดังนี้ (นิพนธ์ และคณิตา, 2550)

ระยะที่ 1 การแพร่ภายนอก (External diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกละลาย (Absorbate) ในน้ำจะเคลื่อนที่ไปเกาะอยู่รอบนอกของตัวดูดซับ

ระยะที่ 2 การแพร่ภายใน (Intraparticle diffusion) เป็นระยะที่โมเลกุลของตัวถูกละลายจะแพร่กระจายเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ

ระยะที่ 3 การดูดซับ (Adsorption) เป็นระยะที่เกิดการเกาะติดบนผิวในรูพรุนระหว่างตัวถูกละลายและพื้นผิวของตัวดูดซับ การเกาะติดในระยะที่ 3 อาจจะเกาะติดบนผิวด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือเคมีหรือทั้งสองชนิดพร้อมกัน ในกระบวนการกำจัดน้ำเสีย การดูดซับจะพิจารณาเฉพาะการเกาะติดด้วยแรงทางฟิสิกส์มากกว่าแรงทางเคมี

#### 2.6.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ คือ (อุไรวรรณ และคณะ, 2553)

##### 1) ธรรมชาติของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับ

ธรรมชาติของตัวดูดซับเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับธรรมชาติของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับ ได้แก่

1.1) พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน พื้นที่ผิวเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับในการดูดซับ นั่นคือความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้นแต่พื้นที่ผิวโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้ดี โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของโมเลกุลของตัวดูดซับได้การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น

1.2) ขนาดของตัวดูดซับ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ การลดขนาดของตัวดูดซับให้มีขนาดเล็กทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเร็วขึ้นกว่าสารที่มีขนาดใหญ่

1.3) เคมีที่ผิวหน้า หมู่ฟังก์ชันเฉพาะที่อยู่บนผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมีสมบัติที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์และมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดความสามารถในการดูดซับจะลดลงด้วย แต่หากมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่คาร์บอนิลความสามารถดูดซับจะเพิ่มขึ้น

## 2) ธรรมชาติของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ

ธรรมชาติของตัวดูดซับจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับดังนี้

2.1) ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการละลายที่สูงจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปฏิกิริยาของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย ทำให้การแพร่ขยายการดูดซับลดลง เพราะก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้นต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

2.2) น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล มีผลต่อความสามารถในการดูดซับเมื่อน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น

2.3) ความมีขั้ว (Polarity) ของโมเลกุล นอกจากธรรมชาติของโมเลกุลของสารแล้วยังขึ้นอยู่กับตัวทำละลายและตัวดูดซับของสารด้วย ซึ่งความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อความมีขั้วเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มความมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

## 3) อัตราเร่งการปั่นกววน

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ การขนส่งโมเลกุลของระบบ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) และการแพร่เข้าสู่โพรง (pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่การปั่นกววนของระบบ ถ้าการปั่นกววนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมน้ำซึ่งสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้าไปหาตัวดูดซับ ในทางตรงกันข้าม ถ้าการปั่นกววนสูงทำให้ความหนาแน่นของชั้นฟิล์มจะลดลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้เร็ว ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นขั้นตอนในการกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

## 4) อุณหภูมิ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

## 5) ผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการดูดซับ

การดูดซับขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เมื่อสารละลายมีสภาพความเป็นกรด (pH ต่ำ) ส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน ( $H_3O^+$ ) บนพื้นที่ผิวตัวดูดซับขึ้นทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้นและเมื่อสารละลายมี pH เพิ่มขึ้นมีผลทำให้มี  $OH^-$  บนพื้นที่ผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้นและสามารถดูดซับไอออนบวกได้มากขึ้น แต่ถ้าสารละลาย pH มากกว่า 9 จะทำให้โลหะไอออนตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์และโลหะไอออนจะถูกดูดซับได้น้อยลง (นิพนธ์ และคณิตา, 2550)

### 2.6.3 ตัวดูดซับ

สารที่มีความสามารถในการดูดซับมีหลายชนิดอาจแบ่งได้เป็น 5 ประเภท (นิพนธ์ และคณิตา, 2550)

1) สารอนินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ซิลิกาแกมมันต์ อะลูมิเนียมแกมมันต์ ถ่านกระดูก สินแร่จำพวกอะลูมิโนซิลิเกต เช่น kaolinite เป็นต้น ตัวดูดซับอนินทรีย์จะมีพื้นที่ผิวที่จำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัมและดูดซับโมเลกุลสารเพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดซับอนินทรีย์มีขีดจำกัด

2) ถ่านแกมมันต์ มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-1400 ตารางเมตรต่อกรัม เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพและมีการนำไปใช้งานกันอย่างกว้างขวางในด้านต่าง ๆ เช่น ฟอกสี ใช้ในการกำจัดกลิ่นและรส ใช้ในการกำจัดตะกอนในโรงงานเบียร์ เป็นต้น

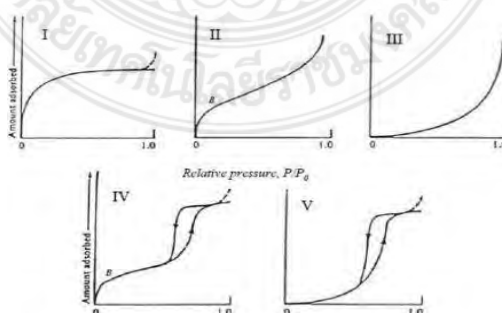
3) สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่ สารแลกเปลี่ยนไอออน (เรซิน, resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่าง ๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม

4) วัสดุชีวภาพ (Biomaterials) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางด้านการเกษตร เช่น ชี้อัลไคโตซาน (chitosan) กากกาแฟ กากชา กากถั่วเหลือง ฟางข้าว แถั่วกลีบดำ เป็นต้น

5) สารดูดซับชีวภาพ (Biosorbent) ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ เช่น เซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ หรือราสายพันธุ์ต่าง ๆ และสาหร่าย

### 2.6.4 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption isotherm)

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ ( $q$ ) กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย ( $C$ ) ที่ภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่



ภาพ 2.1 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบพื้นฐาน

ที่มา: วรวิทย์ (2558)

1) สมการการดูดซับของฟรอนด์ลิช (Freundlich adsorption isotherm) โดยนักเคมีฟิสิกส์ชาวเยอรมัน Herbert Max Finlay Freundlich (1880-1941) ใช้อธิบายไอโซเทอร์มของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous adsorption surface พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด) มีรูปแบบของสมการ 2.3 เป็นดังนี้

$$q = KC^{1/n} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $K$  และ  $n =$  ค่าคงที่ และ  $n$  ใช้อธิบายลักษณะเส้นกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับ โดยทั่วไป  $n$  จะมีค่ามากกว่า 1

$q =$  ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ (ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ เช่น โมลต่อกิโลกรัม, โมลต่อกรัม, มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

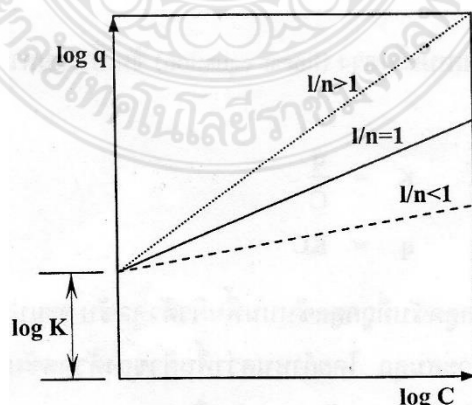
$C =$  ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย (ความเข้มข้น เช่น โมลต่อลิตร)

สมการ 2.3 ไม่ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง  $K$  และ  $n$  เป็นค่าคงที่ของฟรอนด์ลิช (Freundlich constant) ของแต่ละระบบที่กำลังศึกษาหรือทดลองและ  $n$  ใช้อธิบายลักษณะเส้นกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับโดยทั่วไป  $n$  จะมีค่ามากกว่าหนึ่ง

เมื่อจัดรูปสมการ 2.3 ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง โดยใส่ลอการิทึมทั้งสองข้างของสมการ

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad (2.4)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $\log q$  กับ  $\log C$  จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่า  $\frac{1}{n}$  และมีจุดตัดเท่ากับ  $\log K$

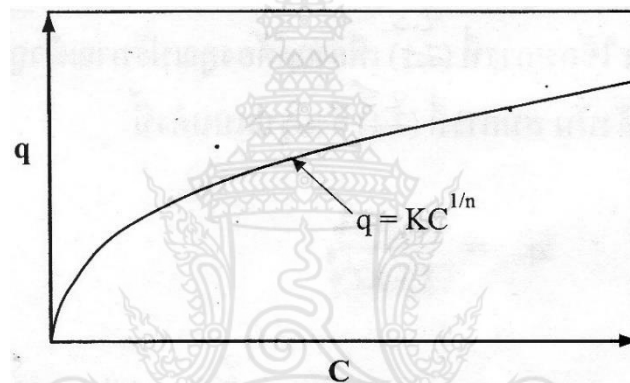


ภาพ 2.2 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบเชิงเส้นตรงของฟรอนด์ลิช

ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2555)

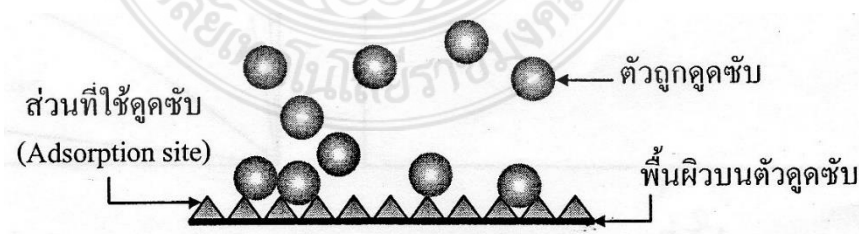
ถ้า  $\frac{1}{n} = 1$  ไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง  
 ถ้า  $\frac{1}{n} < 1$  บอกถึงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับจะต่ำในทุกค่าของความเข้มข้น C หรือ กล่าวว่ามีปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับในปริมาณจำกัดในการดูดซับ  
 ถ้า  $\frac{1}{n} > 1$  บอกถึงความสามารถของการดูดซับได้มาก หรือกล่าวว่ามีบริเวณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากในการดูดซับ

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า q และ C จากสมการ 2.3 ดังภาพ 2.3 จะไม่สามารถบอกถึงปริมาณของตัวถูกดูดซับได้มากที่สุด (Adsorption maxima) เนื่องจากตัวถูกดูดซับสามารถจะเกิดการซ้อนทับกันได้



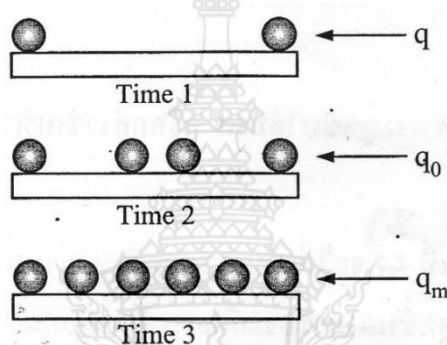
ภาพ 2.3 ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของฟรุนด์ลิช  
 ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2555)

2.) สมการการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm)  
 ถูกพัฒนาขึ้นโดยนักเคมีชาวอเมริกา Irving Langmuir ในปี ค.ศ. 1916 ผู้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาเคมีในปี ค.ศ. 1932



ภาพ 2.4 กลไกการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวตัวดูดซับแบบชั้นเดียว  
 ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2555)

โดยมีข้อกำหนดว่า พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (Monogeneous adsorption surface) มีกลไกของการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัดและเมื่อตัวถูกดูดซับไว้แล้ว จะไม่มีการเคลื่อนที่ (เคลื่อนย้าย) หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดจนอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด) ดังภาพ 2.5



ภาพ 2.5 ตัวถูกดูดซับปกคลุมจนเต็มพื้นที่ผิวของตัวดูดซับแบบชั้นเดียว  
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2555)

จากความรู้เรื่องสมดุลการดูดซับและจากสมการ 2.5 ถือว่าการดูดซับได้มากเท่ากับหนึ่งรูปแบบของสมการแลงเมียร์จะใช้สมการ 2.5 เพียงแต่ต้องคูณปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับได้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับแทนด้วย  $q_m$  ดังนั้นสมการ 2.5 จึงมีรูปแบบดังนี้

$$q = \frac{K[C]}{1+K[C]} \quad (2.5)$$

$$q = \frac{q_m K C}{1+K C} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $K$  = ค่าคงที่ของแลงเมียร์

$q$  = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลดูดซับ

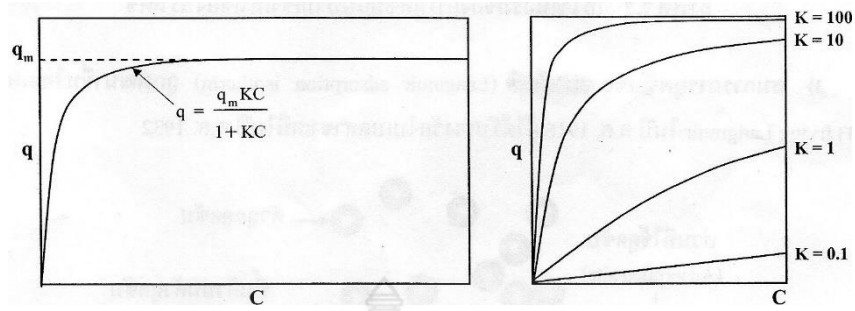
(ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ เช่น โมลต่อกิโลกรัม, โมลต่อกรัม, มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

$q_m$  = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับไว้มากที่สุดต่อปริมาณตัวดูดซับ

(ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ เช่น โมลต่อกิโลกรัม, โมลต่อกรัม, มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

$C$  = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย (ความเข้มข้น เช่น โมลต่อลิตร) เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่า  $q$  และ  $C$  จากสมการ 2.6 จะได้กราฟดังภาพ 2.6



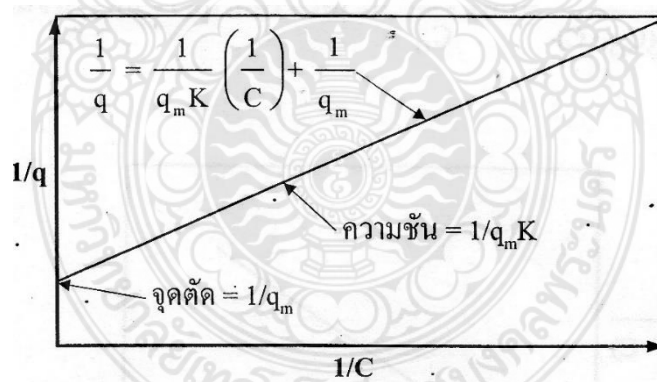


ภาพ 2.6 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบไม่เชิงเส้นของแลงเมียร์  
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2555)

เมื่อจัดรูปสมการ 2.6 ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m K} \left( \frac{1}{C} \right) + \frac{1}{q_m} \tag{2.7}$$

เขียนกราฟระหว่าง  $\frac{1}{q}$  และ  $\frac{1}{C}$  จะได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ  $\frac{1}{q_m K}$  และจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับ  $\frac{1}{q_m}$  ดังภาพ 2.7



ภาพ 2.7 ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบเชิงเส้นของแลงเมียร์  
ที่มา: นิพนธ์ และคณิตา (2555)

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จรรยาพร พุ่มงาม (2545) ได้ศึกษาการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกหอยแครง และเปลือกหอยแมลงภู่ โดยการนำเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ภายในประเทศมาใช้กำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสีย ทำการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องหรือแบบแบตช์ เพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับและใช้สมการพหุนามศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ และศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของเปลือกหอยโดยการทดสอบแบบต่อเนื่องโดยใช้คอลัมน์เปลือกหอยแครงซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะและรูพรุนรวมทั้งปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าเปลือกหอยแมลงภู่สามารถกำจัดตะกั่วได้ดีกว่าเปลือกหอยแมลงภู่ ผลการนำเปลือกหอยขนาดต่างกันไปอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าเปลือกหอยแครงขนาด 20-60 เมช ซึ่งนำไปตากแดดสามารถกำจัดตะกั่วได้ดีที่สุด โดยมีค่าคงที่การดูดซับของพหุนามเท่ากับ  $9.46 \times 10^5$  มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมเปลือกหอย การกำจัดตะกั่วเกิดได้ดีช่วงพีเอช 6.3-8.8 และประสิทธิภาพลดลงเมื่อพีเอชลดลง กลไกการกำจัดเกิดจากการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงตามด้วยการตกผลึกของเซรรัสไฮดรอกไซด์ (เลดคาร์บอเนต) และถูกดูดซับบริเวณผิวหน้าของเปลือกหอย การทดสอบแบบต่อเนื่องในการทดสอบคอลัมน์โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานแบตเตอรี่ ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของตะกั่ว 5.98 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.9 เซนติเมตรบรรจุเปลือกหอยแครงสูง 2.3 เซนติเมตรสามารถบำบัดน้ำปนเปื้อนตะกั่วได้ 6 ลิตร ก่อนที่น้ำผ่านคอลัมน์จะมีความเข้มข้นตะกั่วสูงเกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ และความสามารถในการดูดซับแบบต่อเนื่องเท่ากับ 8.6 มิลลิกรัมต่อกรัมเปลือกหอยแครง

อัจฉรา ดวงเดือน (2546) ได้ศึกษาการกำจัดแคดเมียมด้วยเปลือกไข่ เป็นการศึกษาที่มุ่งเน้นการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกไข่ โดยใช้ระบบถังดูดติดผิวแบบคอลัมน์ ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลของชนิดเปลือกไข่ และระดับความหนาของชั้นเปลือกไข่ในถังดูดติดผิวที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม โดยใช้อัตราการไหลของน้ำเสีย 1.5 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทุกชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า เปลือกไข่สามารถลดปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียได้มากกว่าร้อยละ 80 โดยเปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมสูงกว่าเปลือกไข่เป็ด กล่าวคือเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ดมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมสูงสุดร้อยละ 99.84 และ 86.41 ตามลำดับ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความหนาของชั้นเปลือกไข่ในถังดูดติดผิว

ภคพงษ์ พงษ์ทองหล่อ (2553) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้นของเปลือกไข่และเปลือกหอย โดยเตรียมสารดูดซับความชื้นจากเปลือกไข่ไก่ ไข่เป็ด หอยแครง และหอยแมลงภู่ เปลือกของสารตัวอย่างข้างต้นจะประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับ

ความชื้นโดยการเผาแคลเซียมคาร์บอเนตจนเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) การเตรียมตัวอย่างเปลือกของสารตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมถูกบดและร่อนให้มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมโครเมตร และใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร แล้วเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ตั้งแต่ 200 ถึง 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า  $\text{CaCO}_3$  เปลี่ยนเป็น CaO สมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส CaO ที่ได้ถูกนำไปทดสอบ การดูดซับความชื้นในหอยดูดซับแบบแบริ่ง พบว่า เปลือกไข่ไก่มีความสามารถในการดูดซับความชื้นสูงสุด ยิ่งไปกว่านั้นตัวดูดความชื้นแต่ละชนิด ตัวดูดความชื้นที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 250 ไมโครเมตรจะดูดความชื้นได้เร็วกว่าขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร

ศิริประภา ชัยเนตร และคณะ (2556) ได้ศึกษาการดูดซับเมทิลลีนบลูในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่ไก่ โดยศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของเปลือกไข่ที่มีการเตรียมแตกต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ ไข่ไก่มีเยื่อ (CM) ไข่ไก่ไม่มีเยื่อ (CS) ไข่เปลือกมีเยื่อ (DM) และไข่เปลือกไม่มีเยื่อ (DS) ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส ปริมาณเปลือกไข่ ความเข้มข้นของสีที่แตกต่างกันต่อประสิทธิภาพการดูดซับเมทิลลีนบลู รวมถึงไอโซเทอมการดูดซับ ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับที่เพิ่มขึ้นโดยที่ 30 นาที เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับของวัสดุดูดซับทั้ง 4 ชนิด ปริมาณเปลือกไข่ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับที่เพิ่มขึ้น พฤติกรรมดูดซับของวัสดุดูดซับทั้ง 4 ชนิดสอดคล้องกับทฤษฎีการดูดซับของฟรอนด์ลิกซ์ (Freundlich sotherm) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดูดซับพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ CM, CS, DM และ DS มีค่า 0.000066, 0.000088, 0.000076 และ 0.000074 ตามลำดับ วัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ DM มีค่าร้อยละเฉลี่ยในการกำจัดเมทิลลีนบลูในน้ำเสียสูงสุดในทุกการทดลอง ซึ่งอาจเป็นผลจากโครงสร้างของวัสดุดูดซับซึ่งเป็นเปลือกไข่เปิดที่มีเยื่อเป็นวัสดุดูดซับที่มีรูพรุนจำนวนมากกว่าวัสดุดูดซับชนิดอื่นและทั้งเปลือกและเยื่อไข่เปิดอาจมีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสมในการดูดซับสีที่มีประจุบวกได้ดี ดังนั้นจึงสามารถใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่และเยื่อเปลือกไข่ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติ ราคาถูก มีประสิทธิภาพในการเป็นวัสดุดูดซับเพื่อกำจัดสีในน้ำเสียได้

อาภาภรณ์ หมี่คุ้ม และปิยะดา วชิระวงศกร (2558) ได้ศึกษาการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำด้วยเปลือกหอยแครง เปลือกหอยลาย และเปลือกหอยแมลงภู โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำที่ปนเปื้อนตะกั่วและแคดเมียม ในการทดลองใช้ตะกั่วและแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 ppm ผลการทดลองพบว่า ผงเปลือกหอยลายมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมได้ดีกว่าผงเปลือกหอยแครงและผงเปลือกหอยแมลงภูอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยผงของเปลือกหอยทั้งสามชนิดสามารถกำจัดตะกั่วได้ดีกว่าแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

เสาวภา ไวยสุศรี (2558) ได้ศึกษาการกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่ โดยศึกษาคุณสมบัติการดูดซับฟอสฟอรัสในรูปของออร์โธฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่เผา วิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตด้วยวิธีการแอสคอร์บิก พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดซับเมื่อใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่เป็นตัวดูดซับ คือ พีเอชเริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 เวลาในการดูดซับ 180 นาที และปริมาณตัวดูดซับ 2.0 กรัม โดยประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 80 ส่วนการใช้  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่เผาเป็นตัวดูดซับ พบว่า พีเอชเริ่มต้นอยู่ในช่วง 4 - 11 เวลาในการดูดซับ 30 นาที และปริมาณตัวดูดซับ 0.1 และ 0.5 กรัม ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 97 การศึกษาไอโซเทอร์มของตัวดูดซับออร์โธฟอสเฟตสามารถวิเคราะห์และทำนายได้จากไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบเชิงเส้นตรงของฟรุนดิชและแลงเมียร์ ซึ่งในการใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่เป็นตัวดูดซับพบว่ามีคุณสมบัติคล้ายกับไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดิชได้ดีกว่าแลงเมียร์ แสดงให้เห็นว่าลักษณะการดูดซับดังกล่าวเป็นแบบหลายชั้นหรือเป็นการดูดซับทางกายภาพมากกว่าทางเคมี ส่วนการใช้  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่เผาเป็นตัวดูดซับจะสอดคล้องไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ได้ดีกว่าฟรุนดิช แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด ตัวถูกดูดซับจะเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก โดยการใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ พบว่าผลการทดลองมีความสอดคล้องกันโดยประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่าร้อยละ 73 และ 99 เมื่อใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่เผาเป็นตัวดูดซับตามลำดับ

ภาวิณี พัฒนจันทร์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำทะเลโดยใช้เปลือกหอยแมลงภู่ โดยเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสองชนิด คือ ตะกั่ว และแคดเมียมในน้ำทะเลเทียม ความเค็ม 30 psu โดยใช้เปลือกหอยแมลงภู่น้ำหนัก 0.8 - 1.0 มิลลิเมตร ที่ผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่างด้วยการแช่กรดและไม่แช่กรด ผลการศึกษาการดูดซับแคดเมียมด้วยเปลือกหอยแมลงภู่น้ำหนัก 2 วิธี พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (T-test) โดยเปลือกหอยสามารถดูดซับตะกั่วได้สูงกว่าแคดเมียม 300 เท่า ด้วยกระบวนการดูดซับ ตะกั่วที่ผิวของเปลือกหอยแบบชั้นเดียว แสดงให้เห็นว่าในสภาวะน้ำทะเลเทียม เปลือกหอยแมลงภู่มิมีความสามารถในการดูดซับตะกั่ว ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเพื่อใช้เปลือกหอยแมลงภู่มิเป็นเครื่องมือในการติดตามตะกั่วในน้ำทะเลชายฝั่ง

Evangelia Panagiotou et al. (2018) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของเปลือกไข่และน้ำเสียจากการเผาด้วยวิธีการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกากตะกอนไร้อากาศ โดยการนำเปลือกไข่ไปเผาในอุณหภูมิ 600 800 และ 900 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลา 4 ชั่วโมง

2 ชั่วโมง และ 30 นาทีตามลำดับจะพบว่ามีสารไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) จากการทดลองโดยใช้ถังย่อยอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นสื่อ พบว่า เปลือกไข่และเปลือกหอยมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสและความสามารถในการดูดซับของเปลือกไข่และเปลือกหอยเพิ่มขึ้น หากใช้อุณหภูมิในการเผาที่มากขึ้นและมีขนาดของอนุภาคเล็กลง เปลือกไข่ที่ทำการเผาที่ 900 เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสที่ดีที่สุดจากทั้ง 3 ตัวอย่าง ไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) มีส่วนช่วยในการกำจัดฟอสฟอรัสแต่  $\text{CH}_3\text{COOH}$  กลับทำให้กระบวนการดูดซับช้าลงใน 1 ชั่วโมงแรก แต่หลังจาก 24 ชั่วโมง อุณหภูมิลดลง พบว่ากระบวนการดูดซับดีขึ้นโดยพบว่า ฟอสฟอรัสในน้ำดิบถูกเปลี่ยนแปลงเป็น  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  โดยไร้อากาศและกากตะกอน

Abdel-Khalek et al. (2017) ได้ทำการสำรวจพฤติกรรมดูดซับสีย้อมประจุบวกและประจุลบของเปลือกไข่ที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรม เป็นการศึกษาที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เปลือกไข่ทั้งหมด (เปลือกไข่+เยื่อหุ้มเซลล์) เป็นตัวดูดซับทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำในการกำจัดสีย้อมทั้งสองชนิด คือ เมทิลีนบลู (Methylene blue) และคองโกเรด (Congo red) จากการทดลองพบว่า ชนิดของสีย้อมที่แตกต่างกันส่งผลต่อกระบวนการดูดซับที่แตกต่างกันสะท้อนให้เห็นถึงความซับซ้อนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) และ field emission scanning electron microscopy (FESEM) ทั้งสองกลไกนี้ได้อธิบายพฤติกรรมการดูดซับของเมทิลีนบลูประจุบวกบนเปลือกไข่และคองโกเรดประจุลบ เป็นประโยชน์สำหรับการดูดซับไฟฟ้าสถิตบนพื้นผิวของเปลือกไข่โดยใช้การดูดซับแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich adsorption isotherm) ผลของการดูดซับสูงสุดคือ 94.9 มิลลิกรัม และ 49.5 มิลลิกรัม เมื่อความเข้มข้นของเมทิลีนบลู (Methylene blue) และคองโกเรด (Congo red) เป็น 100 มิลลิกรัม

Paradelo R. et al. (2016) ได้ศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกหอยแมลงภู่ โดยใช้เปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านการเผาและบดละเอียดมาใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสตามรูปแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich) ในเวลาสูงสุดคือ 72 ชั่วโมง และตามรูปแบบแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm) ในเวลาที่ต่ำกว่าคือ 24 ชั่วโมง ความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นตามเวลาและความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอัตราการสูญเสียสารละลายฟอสฟอรัสมีอัตราต่ำมาก (<4%) หอยแมลงภู่ที่ผ่านการเผามีความสามารถในการกำจัดมากกว่าเปลือกหอยแมลงภู่ที่ละเอียดซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของแร่ธาตุและองค์ประกอบ หลังจากการวิจัยพบว่ากลไกการดูดซับและการตกตะกอนมีส่วนช่วยในการกำจัดฟอสฟอรัส

Jibing Xiong et al. (2011) ได้ศึกษาการกำจัดฟอสเฟตจากสารละลายโดยใช้เปลือกหอยแมลงภู่ โดยการกำจัดฟอสเฟตออกจากสารละลาย เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการกำจัดฟอสเฟตจากเปลือกหอยแมลงภู่ พบว่ามีปัจจัยสำคัญ เช่น ความเข้มข้นของฟอสเฟต ระยะเวลา และค่า pH ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ 1.) ระยะเวลา pH ตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ คือทั้งหมดของกระบวนการกำจัดฟอสเฟต 2.) การเผาเปลือกหอยแมลงภู่ที่อุณหภูมิ 700 ° C เป็นเวลา 20 นาทีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตจะเพิ่มขึ้นจาก 25% เป็น 55% เมื่อค่า pH 5.5 3.) ความผันผวนในกรดซิตริก (2%) เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมงมากกว่า 90% ของฟอสเฟตที่ดูดซับบนตัวดูดซับละลายออก และ 4.) การทดสอบการดูดซับแบบไอโซเทอร์มสมการของ Temkin isotherm และ Dubinin–Radushkevich isotherm นั้นเหมาะสมกับเปลือกหอยดังนั้นการดูดซับของเปลือกหอยจึงเป็นการดูดซับทางเคมี ความสามารถในการดูดซับความอิมตัว (mg P / g) ของหอยแมลงภู่ธรรมชาติคือ 6.95 ผลการทดลองเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้ผงเปลือกหอยแมลงภู่เป็นวัสดุดูดซับที่ดีเยี่ยมในการกำจัดฟอสเฟตออกจากสารละลาย



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ที่ช่วยในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำซักผ้า โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 3.1 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่
- 3.2 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์
- 3.3 วิธีการดำเนินการวิเคราะห์

#### 3.1 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่

##### 3.1.1 การเตรียมเปลือกไข่ไก่

###### 3.1.1.1 การเตรียม $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่

- 1) นำเปลือกไข่ไก่มาล้างสิ่งสกปรกออกด้วยน้ำสะอาด
- 2) นำไปผึ่งลมหรือตากแดดให้แห้ง
- 3) นำไปเผาที่อุณหภูมิ  $100 \pm 10$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
- 4) นำไปบดด้วยเครื่องปั่นละเอียดและนำไปร่อนผ่านตะแกรง
- 5) เก็บใส่ภาชนะที่แห้งและปิดฝาให้แน่น

###### 3.1.1.2 การเตรียม $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่

- 1) นำเปลือกไข่ไก่มาล้างสิ่งสกปรกออกด้วยน้ำสะอาด
- 2) นำไปผึ่งลมหรือตากแดดให้แห้ง
- 3) นำไปเผาที่อุณหภูมิ  $100 \pm 10$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
- 4) นำไปบดด้วยเครื่องปั่นละเอียดและนำไปร่อนผ่านตะแกรง
- 5) นำไปบดต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
- 6) เก็บใส่ภาชนะที่แห้งและปิดฝาให้แน่น

### 3.1.2 การเตรียมเปลือกหอยแมลงภู

#### 3.1.2.1 การเตรียม $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู

- 1) นำเปลือกหอยแมลงภูมาล้างสิ่งสกปรกออกด้วยน้ำสะอาด
- 2) นำไปผึ่งลมหรือตากแดดให้แห้ง
- 3) นำไปเผาที่อุณหภูมิ  $100 \pm 10$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
- 4) นำไปบดด้วยเครื่องปั่นละเอียดและกร่อนผ่านตะแกรง
- 5) เก็บใส่ภาชนะที่แห้งและปิดฝาให้แน่น

#### 3.1.2.2 การเตรียม $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู

- 1) นำเปลือกหอยแมลงภูมาล้างสิ่งสกปรกออกด้วยน้ำสะอาด
- 2) นำไปผึ่งลมหรือตากแดดให้แห้ง
- 3) นำไปเผาที่อุณหภูมิ  $100 \pm 10$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
- 4) นำไปบดด้วยเครื่องปั่นละเอียดและกร่อนผ่านตะแกรง
- 5) นำไปบดต่อที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
- 6) เก็บใส่ภาชนะที่แห้งและปิดฝาให้แน่น

## 3.2 พารามิเตอร์

ตาราง 3.1 พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรด - ด่าง (Potential of Hydrogen Ion)	Electrometric Method
2. ความขุ่น (Turbidity)	Visible
3. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)	Close Reflux Method
4. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)	Direct Method
5. ค่าฟอสเฟต (Phosphate)	Ascorbic Acid Method
6. ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)	Conductivity Meter



### 3.3 วิธีการดำเนินการวิเคราะห์

#### 3.3.1 ค่าความเป็นกรด – ด่าง (Potential of Hydrogen Ion)

##### 3.3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

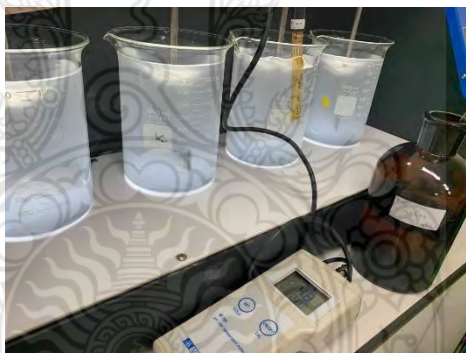
- 1) เครื่องวัดพีเอช
- 2) ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3) Magnetic Stirrer

##### 3.3.1.2 สารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐานพีเอช (บัฟเฟอร์) pH 4.0, 7.0, 10.0
- 2) น้ำกลั่น

##### 3.3.1.3 วิธีการวิเคราะห์

- 1) เปิดตัวเครื่องวัดพีเอชทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที
- 2) เทน้ำตัวอย่างลงในปีกเกอร์ให้พอสำหรับนำโพรบวัดพีเอชจุ่มลง
- 3) บันทึกผล



ภาพ 3.1 การวัด pH ของน้ำตัวอย่าง

#### 3.3.2 ความขุ่น (Turbidity)

##### 3.3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องวัดความขุ่น
- 2) หลอดทดลอง
- 3) กระดาษเช็ดหลอดทดลอง

##### 3.3.2.2 วิธีการวิเคราะห์

- 1) เปิดตัวเครื่องวัดความขุ่นทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที
- 2) เทน้ำตัวอย่างลงในหลอดทดลองให้ถึงระดับที่กำหนด
- 3) เช็ดหลอดทดลองให้แห้งเพื่อลดความผิดพลาด

- 4) ใส่หลอดทดลองลงในช่องตัวอย่างของเครื่อง
- 5) บันทึกผล

### 3.3.3 ค่าซีไอดี (Chemical Oxygen Demand)

#### 3.3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) หลอดทดลองฝาเกลียวปิด
- 2) บิวเรต (Burette)
- 3) Hot air oven
- 4) ปิเปต (Pipet)
- 5) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร (Erlenmeyer Flask)
- 6) ตะแกรงวางหลอดซีไอดี (Rack)
- 7) Glass bead

#### 3.3.3.2 สารเคมี

- 1) Standard potassium dichromate digestion solution
  - ชั่ง  $K_2Cr_2O_7$  12.259 กรัม (อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator)
- 2) Sulfuric acid reagent
  - เติม  $Ag_2SO_4$  5.5 กรัม ลงใน conc. $H_2SO_4$  1 ลิตร (ตั้งทิ้งไว้ 1 – 2 วัน ให้สารละลาย  $Ag_2SO_4$  ละลายเข้ากัน)
- 3) Ferriin indicator solution
  - ละลาย 1,10-Phenanthroline monohydrate ( $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$ ) 1.485 กรัม และ ferrous sulfate ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางให้ได้ 100 มิลลิลิตร
- 4) Standard ferrous ammonium sulfate titrant (FAS)
  - ละลาย  $Fe(NH_4)_2(SO_4) \cdot 6H_2O$  98 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติม conc. $H_2SO_4$  20 มิลลิลิตร จากนั้นเจือจางให้ได้ 1000 มิลลิลิตร

#### 3.3.3.3 วิธีการวิเคราะห์

- 1) ปิเปตน้ำตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดซีไอดี (ภาพ 3.2 ก)
- 2) ปิเปตสารละลาย  $K_2Cr_2O_7$  3 มิลลิลิตร ลงในหลอดซีไอดี (ภาพ 3.2 ข)
- 3) ปิเปตสารละลาย Sulfuric Reagent 7 มิลลิลิตร ลงในหลอดซีไอดี ใส่ glass beads ลงไป 2-3 เม็ด ผสมให้เข้ากัน (ภาพ 3.2 ข และ ค)

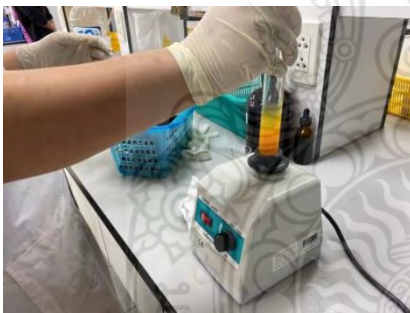
- 4) นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ภาพ 3.2 ง)
- 5) นำตัวอย่างออกมาพักให้เย็นแล้วเทใส่ขวดรูปชมพู่ (ภาพ 3.2 ฉ)
- 6) หยด ferriin indicator 2-3 หยดลงในตัวอย่าง (ภาพ 3.2 ฉ)
- 7) นำมาไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน FAS ความเข้มข้น 0.25 นอร์มัล จุดยุติเปลี่ยนจากสารละลายสีฟ้าอมเขียวเป็นสารละลายสีน้ำตาลแดง (ภาพ 3.2 ฉ)



(ก) ปิดเตาน้ำตัวอย่างใส่ลงในหลอดซีโอดี



(ข) เติมสารละลาย  $K_2Cr_2O_7$   
และ สารละลาย Sulfuric Reagent



(ค) เขย่าผสมให้เข้ากัน



(ง) นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



(ฉ) หยด ferriin indicator แล้วนำมาไตเตรท

ภาพ 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ซีโอดี

### 3.3.3.4 การคำนวณ

$$\text{COD mg/L} = \frac{(A - B) \times N_{\text{FAS}} \times 8000}{\text{ml. sample}}$$

- โดย A = ปริมาตร FAS ที่ใช้ไตเตรท Blank (ml)  
 B = ปริมาตร FAS ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (ml)  
 $N_{\text{FAS}}$  = ความเข้มข้นของ FAS (Molarity)  
 8000 = milliequivalent weight of Oxygen x 1000 ml

### 3.3.4 ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)

#### 3.3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ขวดบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกแก้วและฝาพลาสติก
- 2) ปิเปต 10 มิลลิลิตร
- 3) บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 4) กระจกตวง ขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร

#### 3.3.4.2 สารเคมี

- 1) Manganese Sulfate Solution
- 2) Sulfuric acid
- 3) Magnesium Sulfate
- 4) Phosphate Buffer
- 5) Calcium Chloride
- 6) Ferrous Chloride
- 7) Alkali-Iodide-Azide Solution
- 8) น้ำแข็ง

#### 3.3.4.3 วิธีการวิเคราะห์

- 1) เตรียมน้ำ Dilution โดยใช้ น้ำเติมอากาศก่อนใช้ประมาณ 1 ชั่วโมง
- 2) จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 15 – 30 นาที เพื่อไล่ฟองอากาศ
- 3) เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ + แมกนีเซียมซัลเฟต + แคลเซียมคลอไรด์ + เฟอร์ริกคลอไรด์ อย่างละ 1 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ลิตร
- 4) ปิเปตน้ำตัวอย่างในปริมาณที่คำนวณ %Dilution

5) จากนั้นนำน้ำ Dilution ที่เตรียมไว้เติมลงผสมใน Volumetric Flask แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6) เขย่าให้เข้ากัน เทลงในขวดบีโอดี จำนวน 3 ขวด

7) นำขวดบีโอดี ชุดที่ 1 ไปหาค่า  $DO_0$

8) ส่วนขวดบีโอดี ชุดที่ 2 ปิดด้วยฝาจุกแก้วหุ้มด้วย แล้วนำน้ำไปบ่มไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เพื่อนำมาหาค่า  $DO_5$  (ภาพ 3.3 ก ข และ ค)



(ก) น้ำตัวอย่างที่บ่มไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน



(ข) เติมสารในการวิเคราะห์บีโอดี



(ค) นำน้ำตัวอย่างไปไตเตรทเพื่อหาค่า  $DO_5$

ภาพ 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์บีโอดี

### 3.3.5 ค่าฟอสเฟต (Phosphate)

#### 3.3.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
- 2) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร

#### 3.3.5.2 สารเคมี

- 1) กรดซัลฟิวริก 5 นอร์มัล
  - เจือจางกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 70 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 500 มิลลิลิตร
- 2) สารละลายโปตัสเซียมแอนติโมนิซาทเรต
  - ละลาย  $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot 0.5H_2O$  1.3715 กรัม ในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร และเจือจางเป็น 500 มิลลิลิตร ในขวดปริมาตร เก็บไว้ในขวดแก้ว
- 3) สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต
  - ละลาย  $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$  20 g ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เก็บในขวดแก้วที่มีจุกปิด
- 4) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid 0.1 โมลาร์)
  - ละลายกรดแอสคอร์บิก 1.67 g ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้จะคงตัวประมาณ 1 สัปดาห์ เก็บไว้ในที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
- 5) น้ำยารวม (Combined Reagent)
 

ผสมน้ำยาเคมีที่กล่าวแล้วข้างต้นในสัดส่วน 100 มิลลิลิตร

กรดซัลฟิวริก 5 นอร์มัล	50	มิลลิลิตร
สารละลายโปตัสเซียมแอนติโมนิซาทเรต	5	มิลลิลิตร
สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต	15	มิลลิลิตร
สารละลายกรดแอสคอร์บิก	30	มิลลิลิตร

ก่อนผสมต้องปล่อยให้สารละลายแต่ละสารอยู่ที่อุณหภูมิห้องและในการผสมสารก็ให้เรียงลำดับสารเคมี ถ้าเกิดความขุ่นจากน้ำยารวมให้เขย่าสารเคมีให้รวมตัวกัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที จนกว่าความขุ่นจะหายไปแล้วเติมน้ำยาตัวอื่นต่อไป น้ำยารวมนี้จะสามารถอยู่ได้นานถึง 4 ชั่วโมง
- 6) สารละลายสต็อกฟอสเฟต
  - ละลาย Anhydrous  $KH_2PO_4$  0.2195 g ในน้ำกลั่นและเจือจางให้เป็น 1000 มิลลิลิตร สารละลายนี้ 1 มิลลิลิตร เท่ากับ 1 ไมโครกรัมฟอสเฟต

## 7) สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

- ปิเปตจากสต็อกฟอสเฟต 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

## 8) สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์

- ละลายฟีนอล์ฟทาลีน 0.5 g ในเอทานอล 95% เจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร

## 9) โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล (NaOH 1 N)

- ชั่งปริมาณ NaOH 40 g เจือจาง 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

## 3.3.5.3 วิธีการวิเคราะห์

1) ปิเปตน้ำตัวอย่าง จำนวน 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่ทำความสะอาดแล้ว ขนาด 125 มิลลิลิตร (ภาพ 3.4 ก)

2) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร (ภาพ 3.4 ก)

3) เติมกรดไนตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร (ภาพ 3.4 ก)

4) ย่อยจนเหลือปริมาณ 1 มิลลิลิตร จนสารละลายใส (สังเกตควันสีขาวที่ปรากฏบริเวณปลายขวดรูปชมพู่) (ภาพ 3.4 ข)

5) ทิ้งไว้ในอุณหภูมิต่ำและล้างบริเวณปากขวดรูปชมพู่ด้วยน้ำกลั่นเพียงเล็กน้อย

6) หยดฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์ (Phenolphthalein indicator) ประมาณ 1-2 หยด (ภาพ 3.4 ค)

7) เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 N จนได้สารละลายสีชมพูอ่อน (ภาพ 3.4 ค)

8) ปรับปริมาตรตัวอย่างน้ำเป็น 50 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟิวริก 5 นอร์มัล จนสารละลายไม่มีสีและเติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร (ภาพ 3.4 ง และ จ)

9) จากนั้นทำการวัดค่า Abs ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร การเตรียม Blank กรณีมีสีหรือขุ่น ในการเตรียมน้ำยารวมไม่ต้องเติมสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดตและกรดแอสคอร์บิก (ภาพ 3.4 ฉ)

## 3.3.5.4 การคำนวณ

$$\text{Phosphate (ml/L)} = \frac{\text{ไมโครกรัม (}\mu\text{g) ที่อ่านได้จากกราฟ}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ (ml)}}$$



(ก) ปิเปตน้ำตัวอย่างและสารในขวดรูปชมพู่



(ข) ย่อยจนเหลือน้ำตัวอย่างปริมาณ 1 มิลลิลิตร



(ค) หยดอินดิเคเตอร์และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์



(ง) ปรับปริมาตรและเติมกรดให้เป็นสีใส



(จ) เติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร



(ฉ) วัดค่า Abs ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

ภาพ 3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ฟอสเฟต



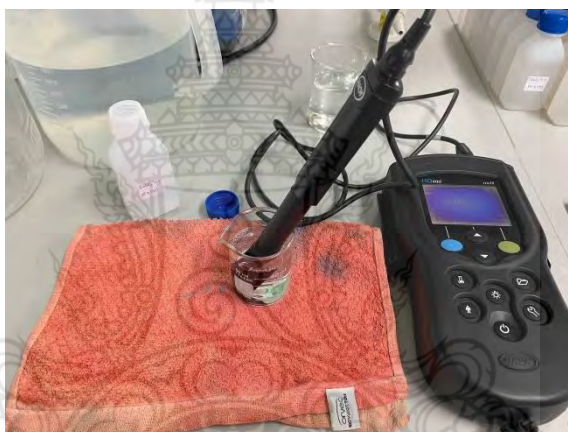
### 3.3.6 ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

#### 3.3.6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า
- 2) ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

#### 3.3.6.2 วิธีการวิเคราะห์

- 1) เปิดเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าอย่างน้อย 30 นาที
- 2) เติมน้ำตัวอย่างใส่ปีกเกอร์
- 3) จุ่มหัว Probe ลงในน้ำตัวอย่างทิ้งไว้จนกว่าค่าที่ได้จะนิ่ง
- 4) บันทึกผล



ภาพ 3.5 การวัดค่าการนำไฟฟ้า

## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการศึกษาเป็น 4 ส่วนดังนี้

- 4.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$
- 4.2 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่
- 4.3 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกหอยแมลงภู่
- 4.4 คุณภาพน้ำทิ้งจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่สภาวะที่เหมาะสม

#### 4.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตด้วย $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟต ได้แก่ ปริมาณที่เหมาะสมของตัวดูดซับ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ และค่า pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟต

ในการศึกษานี้ น้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้ามีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกหอยแมลงภู่ ได้ผลการศึกษาดังนี้

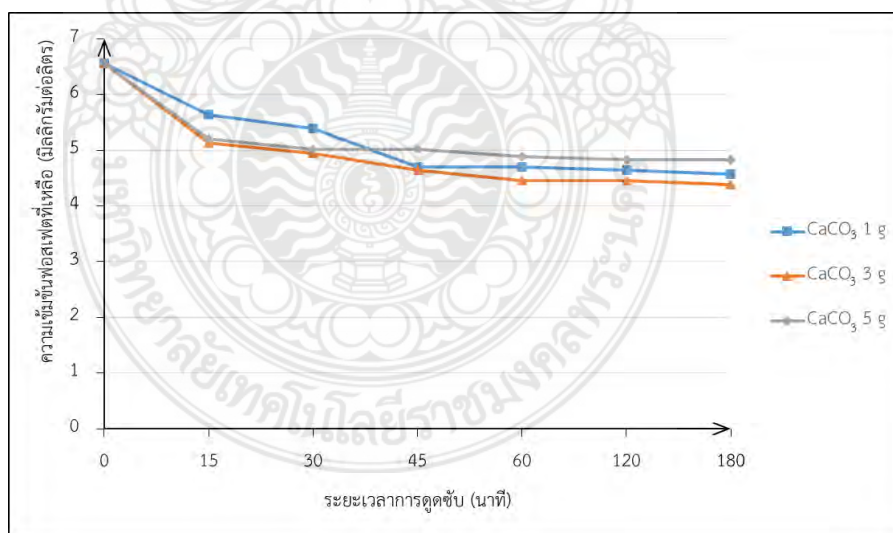
- 4.1.1 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่

การศึกษาค้นหาความเหมาะสมปริมาณตัวดูดซับ ระยะเวลาสัมผัส และค่า pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟต ในการศึกษาได้กำหนดปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่มีค่าเท่ากับ 1.0, 3.0 และ 5.0 กรัม โดยน้ำที่นำมาทดลองมีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร การทดลองกำหนดให้ค่า pH เริ่มต้น เท่ากับ 4, 7 และ 10 โดยการเติมสาร  $\text{NaOH}$  และ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  กวนผสมที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที

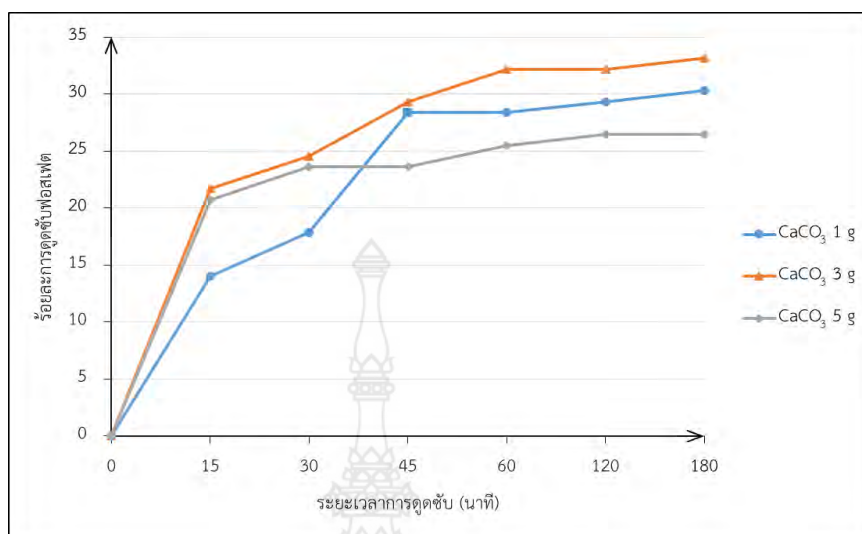
เป็นระยะเวลา 180 นาที และเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตที่เหลือตามช่วงระยะเวลา 15, 30, 45, 60, 120 และ 180 นาที ดังตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

ตาราง 4.1 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ที่ pH 4 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.64	5.14	5.20
30	5.39	4.95	5.01
45	4.70	4.64	5.01
60	4.70	4.45	4.89
120	4.64	4.45	4.83
180	4.57	4.39	4.83



ภาพ 4.1 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 4 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

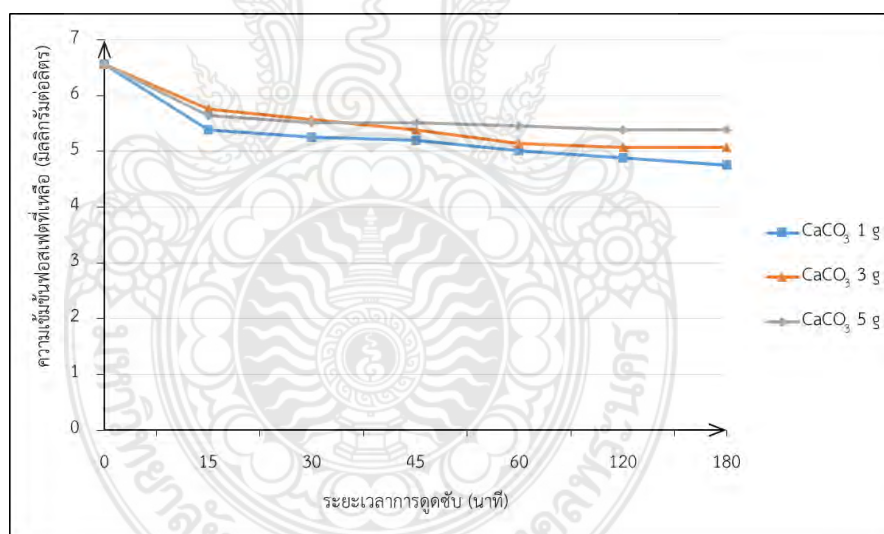


ภาพ 4.2 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 4 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

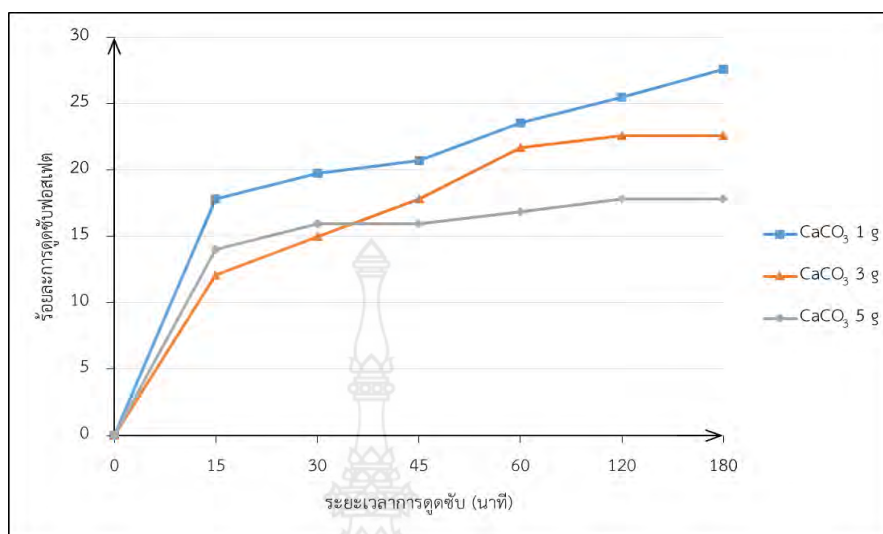
ผลการศึกษการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพ 4.1 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-45 นาที เนื่องจากยังไม่ถึงเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือหลังจากการดูดซับจะลดลง และค่า pH เริ่มต้น โดยการใส่ตัวดูดซับในปริมาณ 1 กรัม ค่า pH เริ่มต้นที่ 4 ส่งผลให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 45-180 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 28 ดังภาพ 4.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและค่า pH เริ่มต้นที่ 4 ส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ 45 นาทีจึงเป็นเวลาที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล

ตาราง 4.2 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ที่ pH 7 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.39	5.77	5.64
30	5.26	5.58	5.51
45	5.20	5.39	5.51
60	5.01	5.14	5.45
120	4.89	5.08	5.39
180	4.75	5.08	5.39



ภาพ 4.3 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 7 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

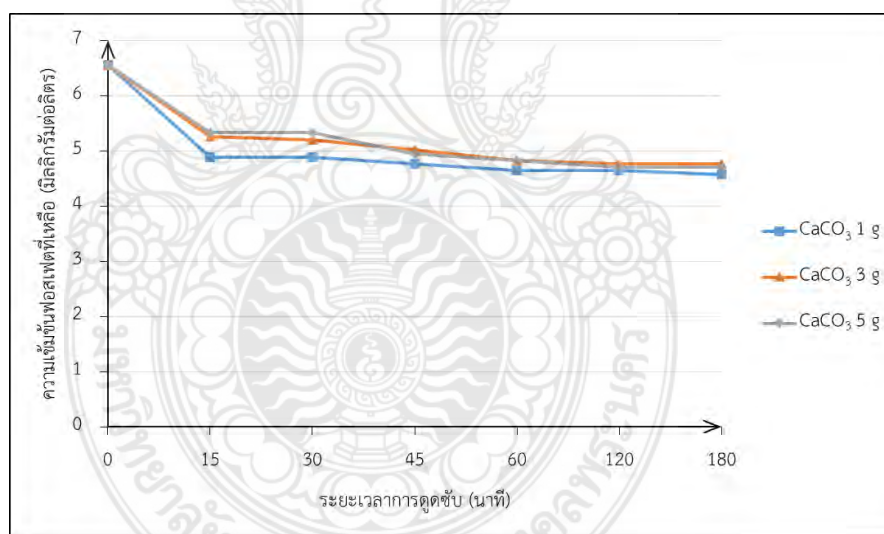


ภาพ 4.4 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 7 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

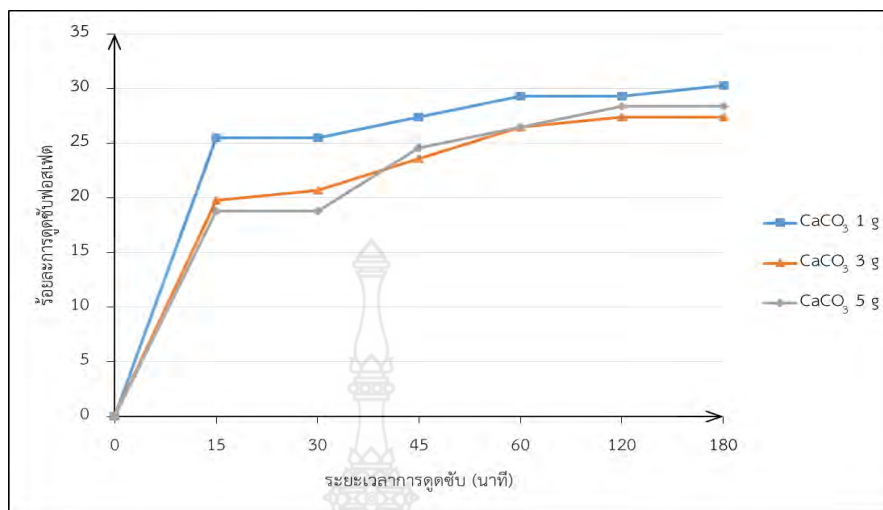
ผลการศึกษการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพ 4.3 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-15 นาที เนื่องจากยังไม่ถึงเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือหลังจากการดูดซับจะลดลง และค่า pH เริ่มต้น โดยการใช้ตัวดูดซับในปริมาณ 5 กรัม ค่า pH เริ่มต้นที่ 7 ส่งผลให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 15-180 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 14 ดังภาพ 4.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและค่า pH เริ่มต้นที่ 7 ส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ 15 นาทีจึงเป็นเวลา ที่ดูดซับน้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล

ตาราง 4.3 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่าน การดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ที่ pH 10 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	4.89	5.26	5.33
30	4.89	5.20	5.33
45	4.76	5.01	4.95
60	4.64	4.83	4.83
120	4.64	4.76	4.70
180	4.57	4.76	4.70



ภาพ 4.5 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที



ภาพ 4.6 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

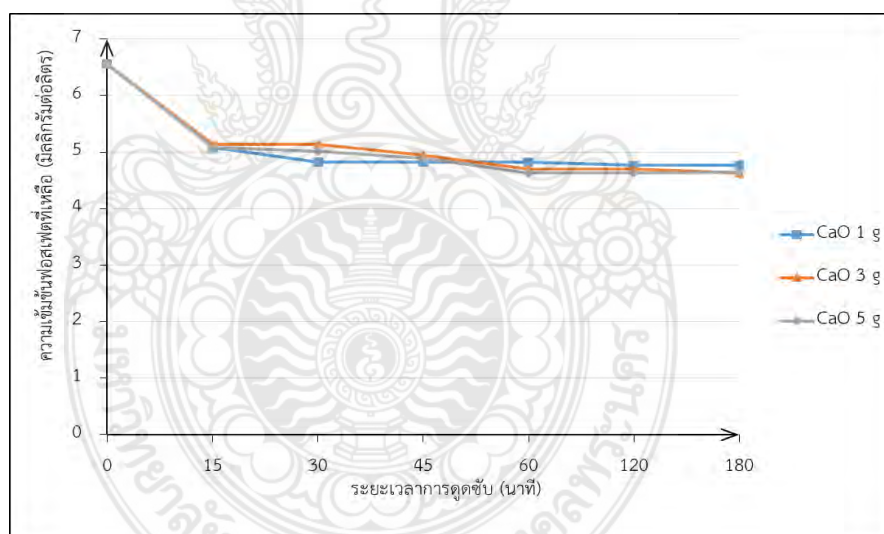
ผลการศึกษาการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพ 4.5 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-15 นาที เนื่องจากยังไม่ถึงเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือหลังจากการดูดซับจะลดลง และค่า pH เริ่มต้น โดยการใช้ตัวดูดซับในปริมาณ 1 กรัม ค่า pH เริ่มต้นที่ 10 ส่งผลให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 15-180 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 25 ดังภาพ 4.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและค่า pH เริ่มต้นที่ 10 ส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ 15 นาทีจึงเป็นเวลาที่ดูดซับน้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล

จากการศึกษาหาความเหมาะสมปริมาณตัวดูดซับ ระยะเวลาสัมผัส และค่า pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟต โดยน้ำที่นำมาทดลองความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร การทดลองกำหนดให้ค่า pH เริ่มต้น เท่ากับ 4, 7 และ 10 โดยการเติมสาร NaOH และ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> โดยแปรเปลี่ยนตัวดูดซับเป็น CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณ 1.0, 3.0 และ 5.0 กรัม กวนผสมที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 180 นาที และเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตที่เหลือตามช่วงระยะเวลา 15, 30, 45, 60, 120 และ 180 นาที ดังตาราง 4.4 4.5 และ 4.6

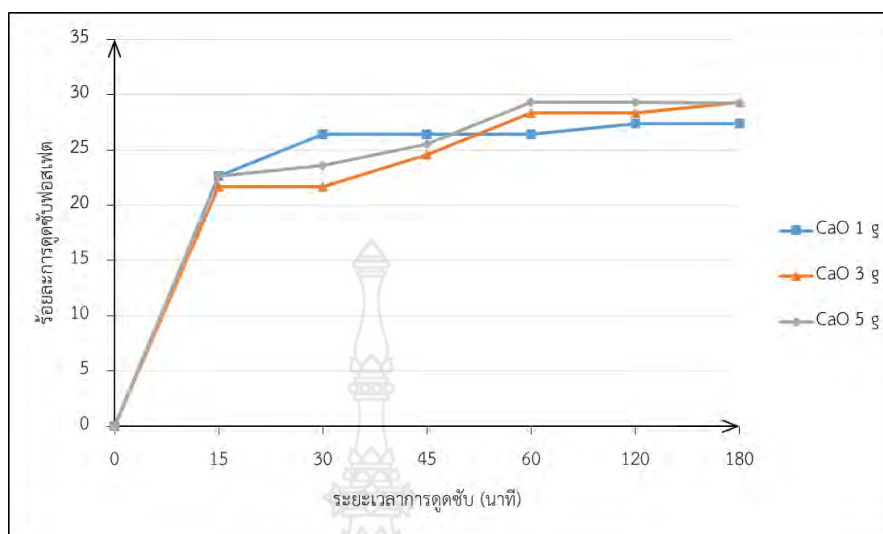


ตาราง 4.4 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ pH 4 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.08	5.14	5.08
30	4.83	5.14	5.01
45	4.83	4.95	4.89
60	4.83	4.70	4.64
120	4.76	4.70	4.64
180	4.76	4.64	4.64



ภาพ 4.7 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 4 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

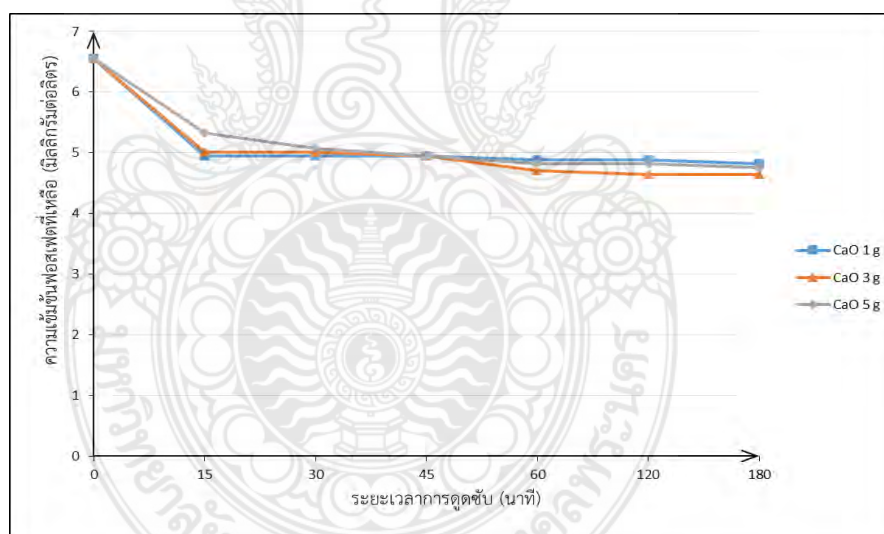


ภาพ 4.8 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 4 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

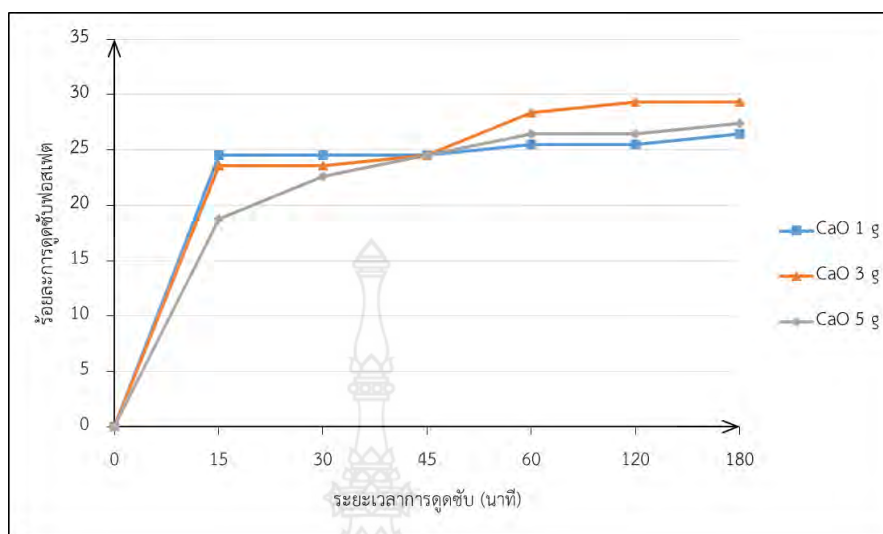
ผลการศึกษการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพ 4.7 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-45 นาที เนื่องจากยังไม่ถึงเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือหลังจากการดูดซับจะลดลง และค่า pH เริ่มต้น โดยการใช้ตัวดูดซับในปริมาณ 1 กรัม ค่า pH เริ่มต้นที่ 4 ส่งผลให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 45-180 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 26 ดังภาพ 4.8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและค่า pH เริ่มต้นที่ 4 ส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ 45 นาทีจึงเป็นเวลา ที่ดูดซับน้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล

ตาราง 4.5 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ pH 7 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	4.95	5.01	5.33
30	4.95	5.01	5.08
45	4.95	4.95	4.95
60	4.89	4.70	4.83
120	4.89	4.64	4.82
180	4.82	4.64	4.76



ภาพ 4.9 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 7 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

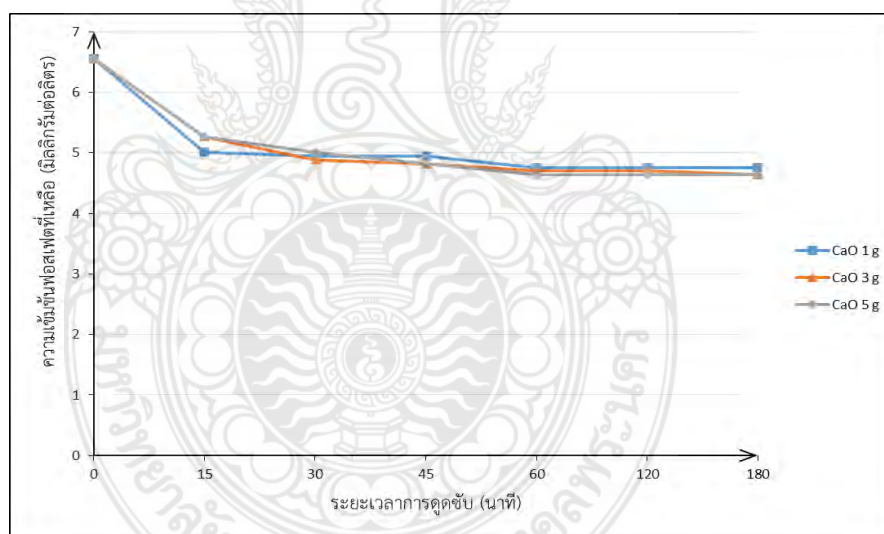


**ภาพ 4.10** ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 7 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

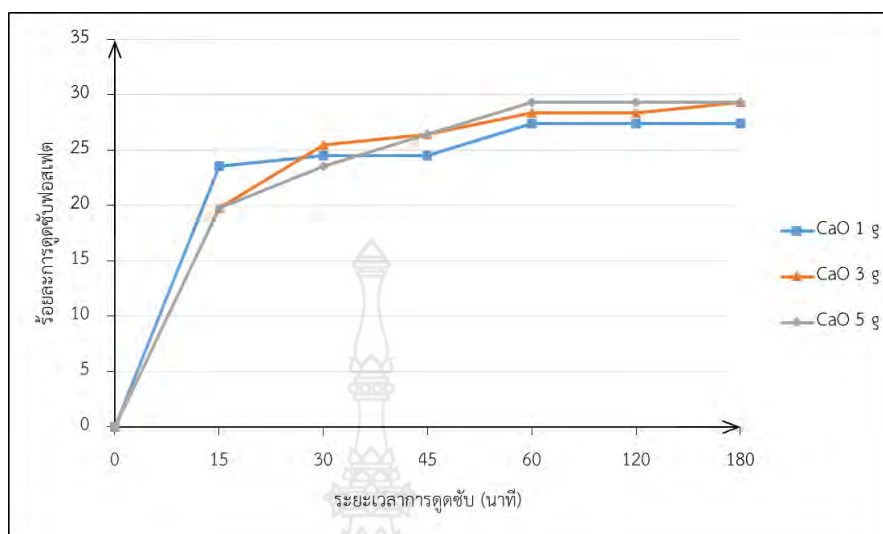
ผลการศึกษากการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพ 4.9 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-15 นาที เนื่องจากยังไม่ถึงเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือหลังจากการดูดซับจะลดลง และค่า pH เริ่มต้น โดยการใช้ตัวดูดซับในปริมาณ 1 กรัม ค่า pH เริ่มต้นที่ 7 ส่งผลให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 15-180 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 24 ดังภาพ 4.10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและค่า pH เริ่มต้นที่ 7 ส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ 15 นาทีจึงเป็นเวลา ที่ดูดซับน้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล

ตาราง 4.6 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ pH 10 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.01	5.26	5.26
30	4.95	4.89	5.01
45	4.95	4.83	4.83
60	4.76	4.70	4.64
120	4.76	4.70	4.64
180	4.76	4.64	4.64



ภาพ 4.11 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที



ภาพ 4.12 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

ผลการศึกษการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพ 4.11 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-30 นาที เนื่องจากยังไม่ถึงเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือหลังการดูดซับจะลดลง และค่า pH เริ่มต้น โดยการใช้ตัวดูดซับในปริมาณ 3 กรัม ค่า pH เริ่มต้นที่ 10 ส่งผลให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 30-180 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 25 ดังภาพ 4.12 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและค่า pH เริ่มต้นที่ 10 ส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ 30 นาทีจึงเป็นเวลา ที่ดูดซับน้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล

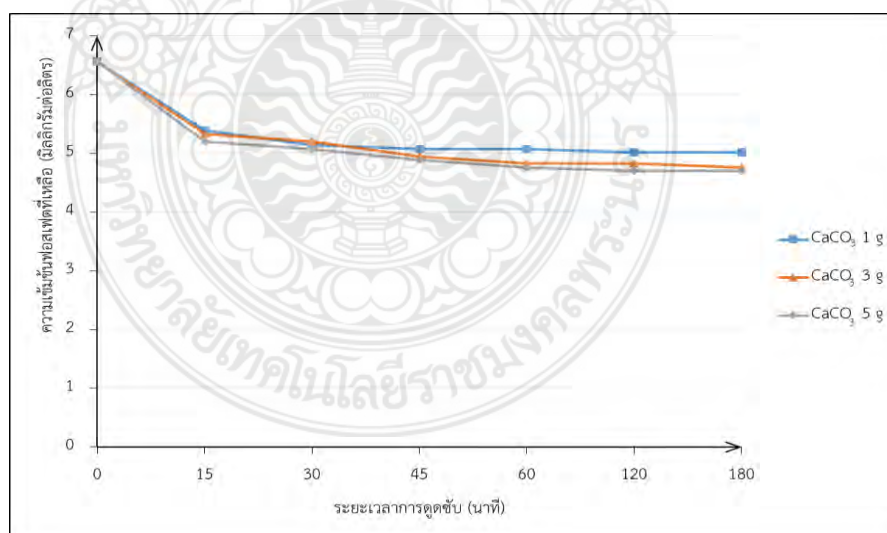
#### 4.1.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตด้วย $\text{CaCO}_3$ และ CaO จากเปลือกหอยแมลงภู

จากการศึกษาหาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม ระยะเวลาที่สัมผัส และค่า pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟต ในการศึกษาได้กำหนดปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภูมีค่าเท่ากับ 1.0, 3.0 และ 5.0 กรัม โดยน้ำที่นำมาทดลองมีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร การทดลองกำหนดให้ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 4, 7 และ 10 โดยการเติมสาร NaOH และ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  กวนผสมที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที

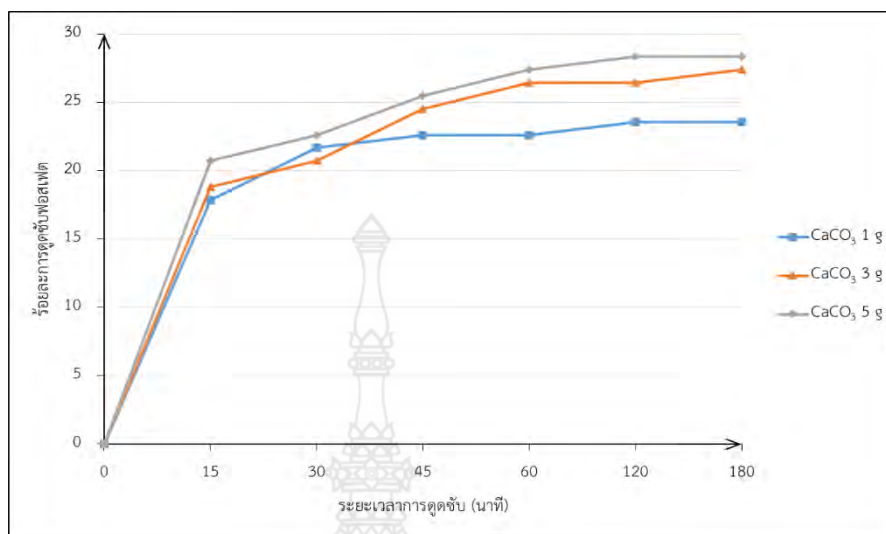
เป็นระยะเวลา 180 นาที และเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตที่เหลือตามช่วงระยะเวลา 15, 30, 45, 60, 120 และ 180 นาที ดังตาราง 4.7, 4.8 และ 4.9

ตาราง 4.7 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ pH 4 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.39	5.33	5.20
30	5.14	5.20	5.08
45	5.08	4.95	4.89
60	5.08	4.83	4.76
120	5.01	4.83	4.70
180	5.01	4.76	4.70



ภาพ 4.13 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 4 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที



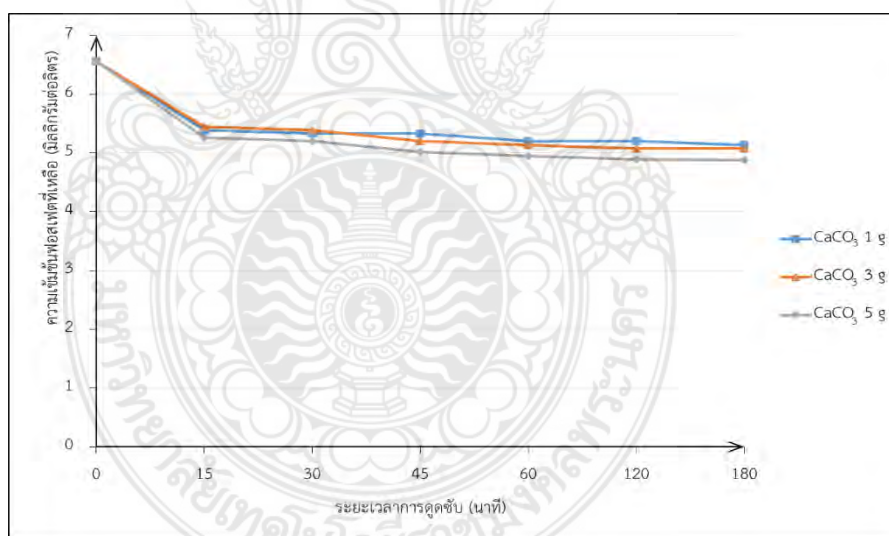
ภาพ 4.14 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 4 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

ผลการศึกษากการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพ 4.13 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-60 นาที เนื่องจากยังไม่ถึงเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือหลังการดูดซับจะลดลง และค่า pH เริ่มต้น โดยการใส่ตัวดูดซับในปริมาณ กรัม ค่า pH เริ่มต้นที่ 4 ส่งผลให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 60-180 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 26 ดังภาพ 4.14 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและค่า pH เริ่มต้นที่ 4 ส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ 60 นาทีจึงเป็นเวลาที่ดูดซับน้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล

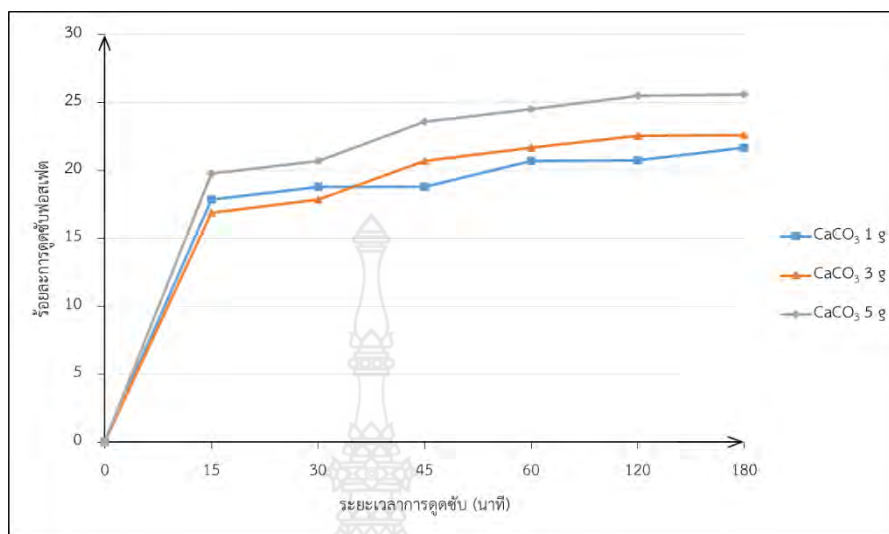


ตาราง 4.8 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภูที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภูที่ pH 7 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.39	5.45	5.26
30	5.33	5.39	5.20
45	5.33	5.20	5.01
60	5.20	5.14	4.95
120	5.20	5.08	4.89
180	5.14	5.08	4.88



ภาพ 4.15 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภูที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 7 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

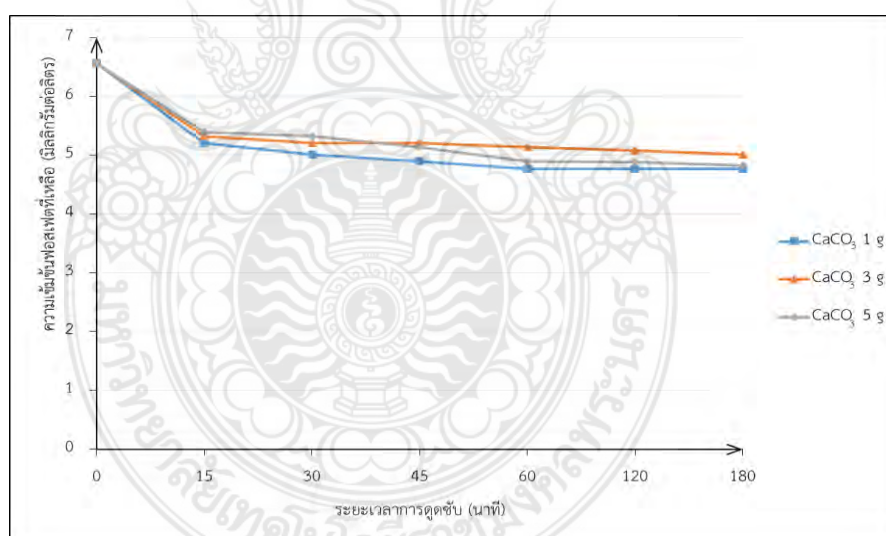


ภาพ 4.16 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 7 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

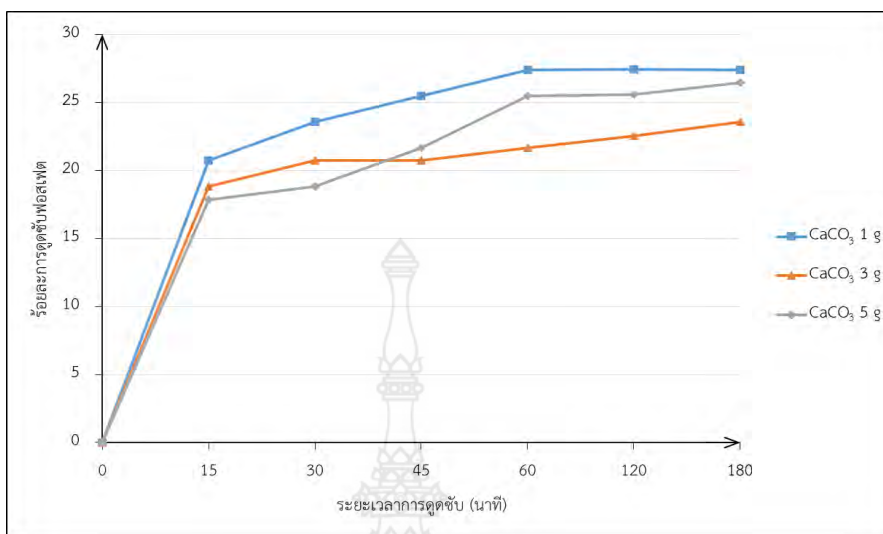
ผลการศึกษาการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพ 4.15 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-45 นาที เนื่องจากยังไม่ถึงเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือหลังการดูดซับจะลดลง และค่า pH เริ่มต้น โดยการใช้ตัวดูดซับในปริมาณ 5 กรัม ค่า pH เริ่มต้นที่ 7 ส่งผลให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 45-180 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 23 ดังภาพ 4.16 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและค่า pH เริ่มต้นที่ 7 ส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ 45 นาทีจึงเป็นเวลาที่ดูดซับน้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล

ตาราง 4.9 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภูที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภูที่ pH 10 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.20	5.33	5.39
30	5.01	5.20	5.33
45	4.89	5.20	5.14
60	4.76	5.14	4.89
120	4.76	5.08	4.88
180	4.76	5.01	4.83



ภาพ 4.17 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภูที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที



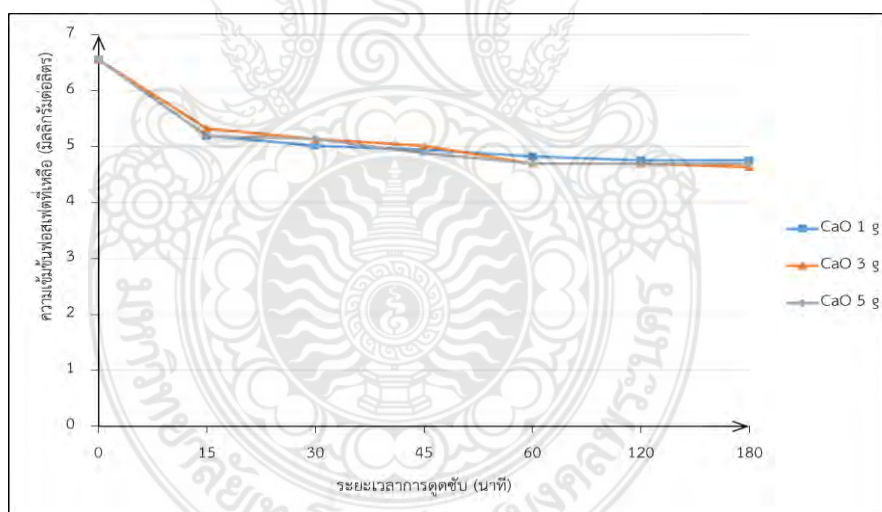
ภาพ 4.18 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

ผลการศึกษการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพ 4.17 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-45 นาที เนื่องจากยังไม่ถึงเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือหลังการดูดซับจะลดลง และค่า pH เริ่มต้น โดยการใช้ตัวดูดซับในปริมาณ 1 กรัม ค่า pH เริ่มต้นที่ 10 ส่งผลให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 45-180 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 25 ดังภาพ 4.18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและค่า pH เริ่มต้นที่ 10 ส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ 45 นาทีจึงเป็นเวลาดูดซับน้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล

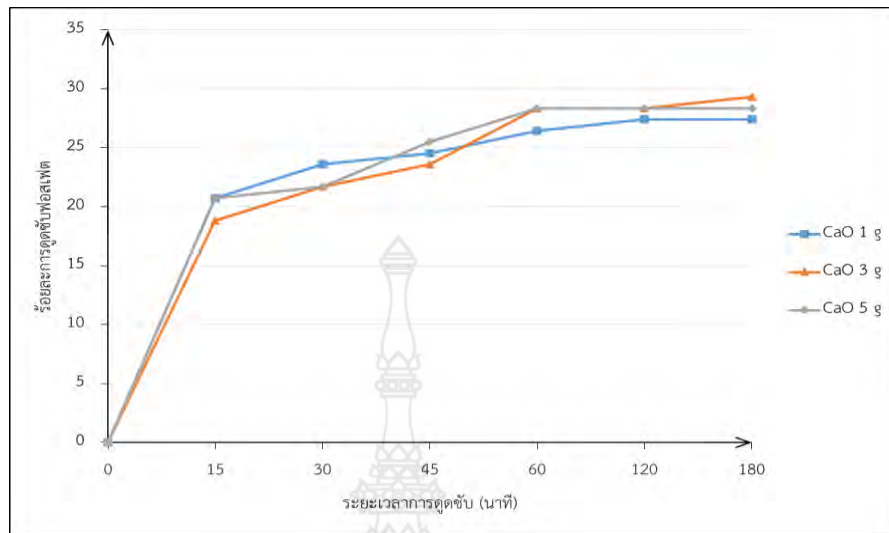
จากการศึกษาหาความเหมาะสมปริมาณตัวดูดซับ ระยะเวลาสัมผัส และค่า pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟต โดยน้ำที่นำมาทดลองความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร การทดลองกำหนดให้ค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 4, 7 และ 10 โดยการเติมสาร NaOH และ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  โดยแปรเปลี่ยนตัวดูดซับเป็น CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ปริมาณ 1.0, 3.0 และ 5.0 กรัม กวนผสมที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 180 นาที และเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตที่เหลือตามช่วงระยะเวลา 15, 30, 45, 60, 120 และ 180 นาที ดังตาราง 4.10, 4.11 และ 4.12

ตาราง 4.10 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ pH 4 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.20	5.33	5.20
30	5.01	5.14	5.14
45	4.95	5.01	4.89
60	4.83	4.70	4.70
120	4.76	4.70	4.70
180	4.76	4.64	4.70



ภาพ 4.19 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 4 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

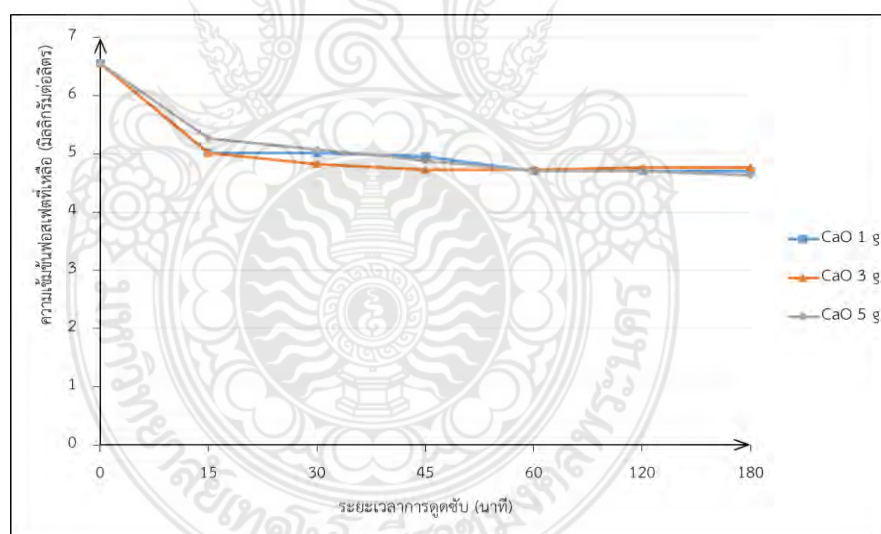


ภาพ 4.20 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 4 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

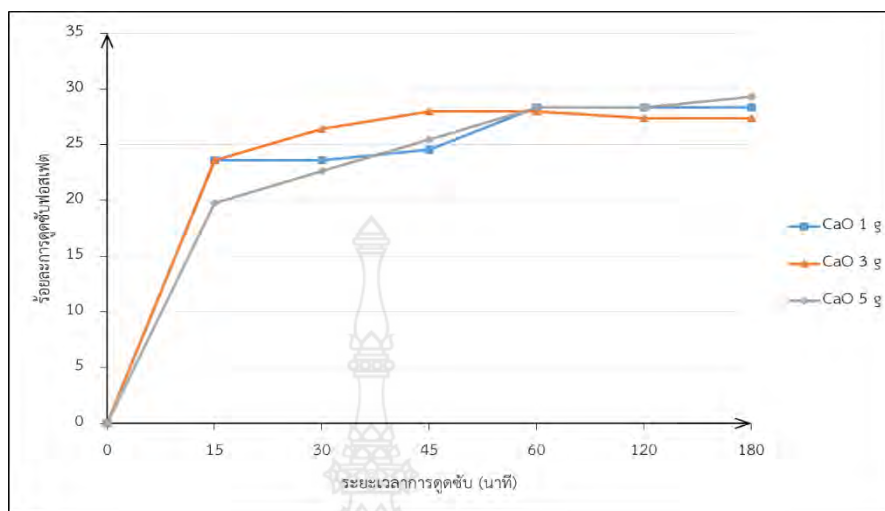
ผลการศึกษการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพ 4.19 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-60 นาที เนื่องจากยังไม่ถึงเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือหลังการดูดซับจะลดลง และค่า pH เริ่มต้น โดยการใส่ตัวดูดซับในปริมาณ 1 กรัม ค่า pH เริ่มต้นที่ 4 ส่งผลให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 60-180 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 26 ดังภาพ 4.20 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและค่า pH เริ่มต้นที่ 4 ส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ 60 นาทีจึงเป็นเวลาดูดซับน้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล

ตาราง 4.11 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภูที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับ CaO จากเปลือกหอยแมลงภูที่ pH 7 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.01	5.01	5.26
30	5.01	4.83	5.08
45	4.95	4.73	4.89
60	4.70	4.73	4.70
120	4.70	4.76	4.70
180	4.70	4.76	4.64



ภาพ 4.21 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภูที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 7 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที



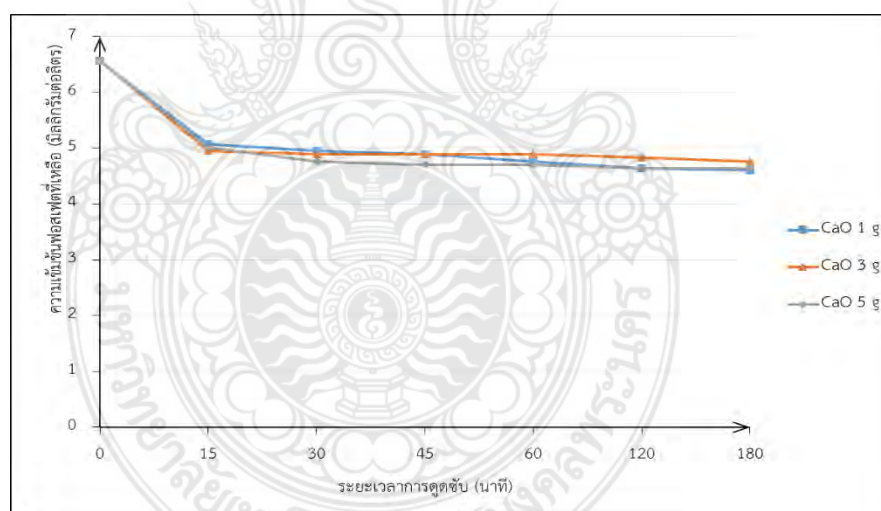
ภาพ 4.22 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 7 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

ผลการศึกษากการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพ 4.21 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-45 นาที เนื่องจากยังไม่ถึงเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือหลังการดูดซับจะลดลง และค่า pH เริ่มต้น โดยการใส่ตัวดูดซับในปริมาณ 3 กรัม ค่า pH เริ่มต้นที่ 7 ส่งผลให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 45-180 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 27 ดังภาพ 4.22 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและค่า pH เริ่มต้นที่ 7 ส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ 45 นาทีจึงเป็นเวลาดูดซับน้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล

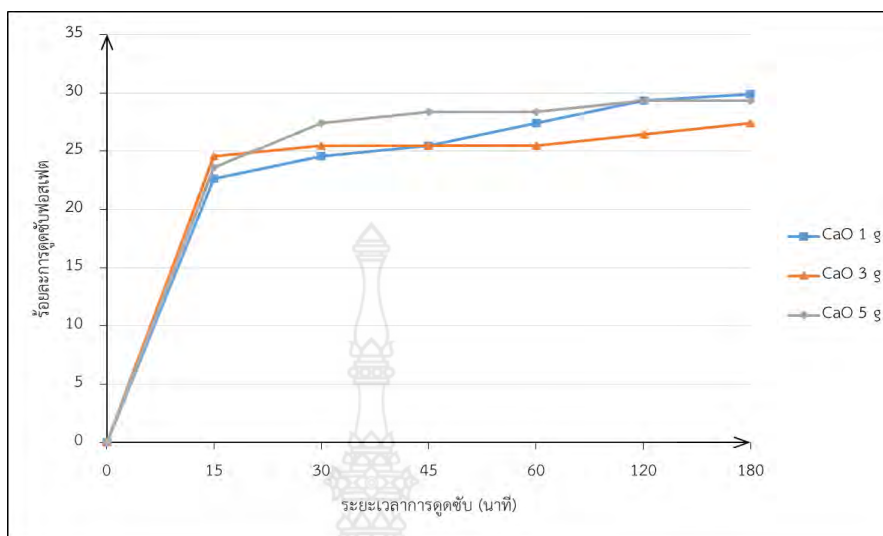


ตาราง 4.12 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ pH 10 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.08	4.95	5.01
30	4.95	4.89	4.76
45	4.89	4.89	4.70
60	4.76	4.89	4.70
120	4.64	4.83	4.64
180	4.60	4.76	4.64



ภาพ 4.23 ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที



ภาพ 4.24 ร้อยละการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภูที่ปริมาณต่าง ๆ โดยปรับค่า pH ในการศึกษามีค่าเท่ากับ 10 เวลาในการดูดซับตั้งแต่ 0-180 นาที

ผลการศึกษการดูดซับฟอสเฟตของน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพ 4.23 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-15 นาที เนื่องจากยังไม่ถึงเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือหลังจากการดูดซับจะลดลง และค่า pH เริ่มต้น โดยการใช้ตัวดูดซับในปริมาณ 3 กรัม ค่า pH เริ่มต้นที่ 10 ส่งผลให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 15-180 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 24 ดังภาพ 4.24 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและค่า pH เริ่มต้นที่ 10 ส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับฟอสเฟตได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ 15 นาทีจึงเป็นเวลาที่สุดที่น้อยที่สุดที่การดูดซับเข้าสู่สมดุล

## 4.2 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับฟอสเฟตด้วย $\text{CaCO}_3$ และ CaO จากเปลือกไข่ไก่

จากการศึกษาเพื่อหาความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตโดยใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ 1.0 กรัม และความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้นเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ตีกวนด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่สภาวะ pH เท่ากับ 10 ระยะเวลา 180 นาที และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ 15 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษา จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือจากการดูดซับได้ผลการศึกษาดังตาราง 4.13 แล้วนำผลการศึกษามา

เขียนเป็นกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตตามสมการของ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm

ตาราง 4.13 ผลของความเข้มข้นฟอสเฟตต่อการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่

$\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ (g)	ปริมาณฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/l)	ปริมาณฟอสเฟตหลังจากดูดซับ (mg/l)
1.0	6.56	6.56
1.0	6.56	4.89
1.0	6.56	4.89
1.0	6.56	4.76
1.0	6.56	4.64
1.0	6.56	4.64
1.0	6.56	4.57

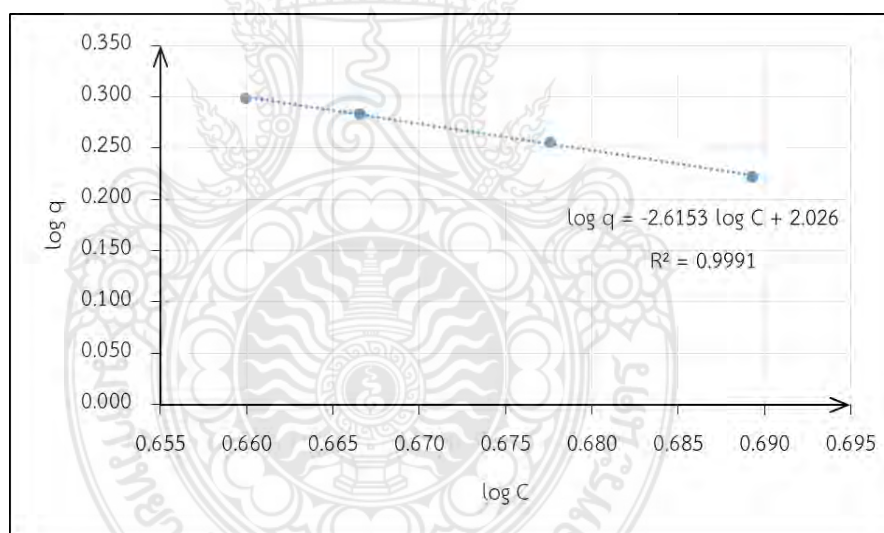
หมายเหตุ ปริมาณฟอสเฟต 1000 มิลลิกรัม ระยะเวลาดูดซับ 180 นาที

ตาราง 4.14 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ 1.0 g ที่ pH 10

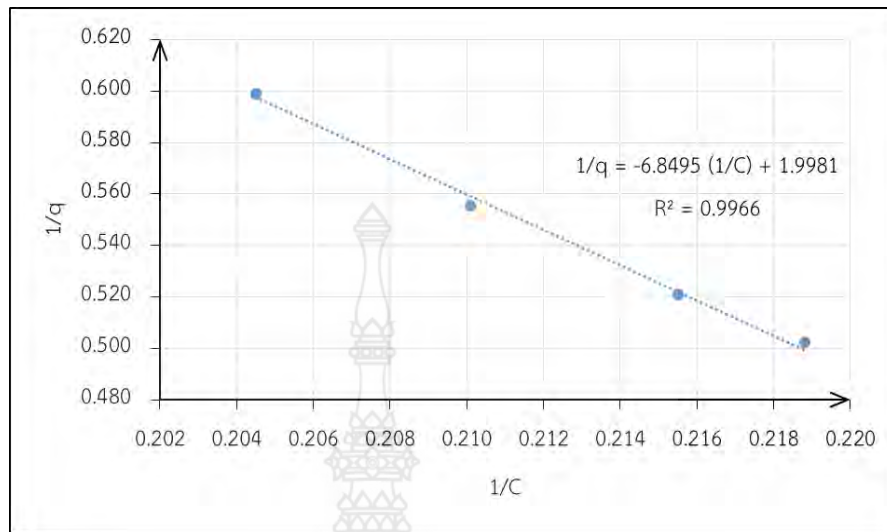
$\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ (g)	$C_0$ (mg/l)	C (mg/l)	q (mg/g $\text{CaCO}_3$ )
1.0	6.56	6.56	0.00
1.0	6.56	4.89	1.67
1.0	6.56	4.89	1.67
1.0	6.56	4.76	1.80
1.0	6.56	4.64	1.92
1.0	6.56	4.64	1.92
1.0	6.56	4.57	1.99

ตาราง 4.15 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ 1.0 g ที่ pH 10

C (mg/l)	q (mg/g)	1/C	1/q	log C	log q
6.56	0.00	0.152	-	0.817	-
4.89	1.67	0.204	0.599	0.689	0.223
4.89	1.67	0.204	0.599	0.689	0.223
4.76	1.80	0.210	0.556	0.678	0.255
4.64	1.92	0.216	0.521	0.667	0.283
4.64	1.92	0.216	0.521	0.667	0.283
4.57	1.99	0.219	0.503	0.660	0.299



ภาพ 4.25 ฟรอนติสไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ ที่ pH 10



ภาพ 4.26 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ ที่ pH 10

จากภาพ 4.25 และ ภาพ 4.26 เมื่อพิจารณาค่า  $R^2$  เข้าใกล้ 1 ที่สุดแสดงให้เห็นว่าการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่มีความสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดิชได้ดีกว่าแลงเมียร์ จึงสามารถสรุปได้ว่า  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ สามารถดูดซับฟอสเฟตได้ และพฤติกรรมดูดซับเป็นลักษณะการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับฟอสเฟตสามารถเกิดได้บนพื้นผิวของ  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ได้หลายชั้น

ในการหาความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตโดยใช้  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่ 1.0 กรัม และความเข้มข้นของฟอสเฟตเริ่มต้นเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ตีควนด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่สภาวะ pH เท่ากับ 7 ระยะเวลา 180 นาที และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ 15 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการศึกษา จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือจากการดูดซับได้ผล ดังตาราง 4.16 แล้วนำผลการศึกษามาเขียนกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับตามสมการของ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm

ตาราง 4.16 ผลของความเข้มข้นฟอสเฟตต่อการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่

CaO จากเปลือกไข่ไก่ (g)	ปริมาณฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/l)	ปริมาณฟอสเฟตหลังจากดูดซับ (mg/l)
1.0	6.56	6.56
1.0	6.56	5.01
1.0	6.56	5.01
1.0	6.56	4.95
1.0	6.56	4.7
1.0	6.56	4.64
1.0	6.56	4.64

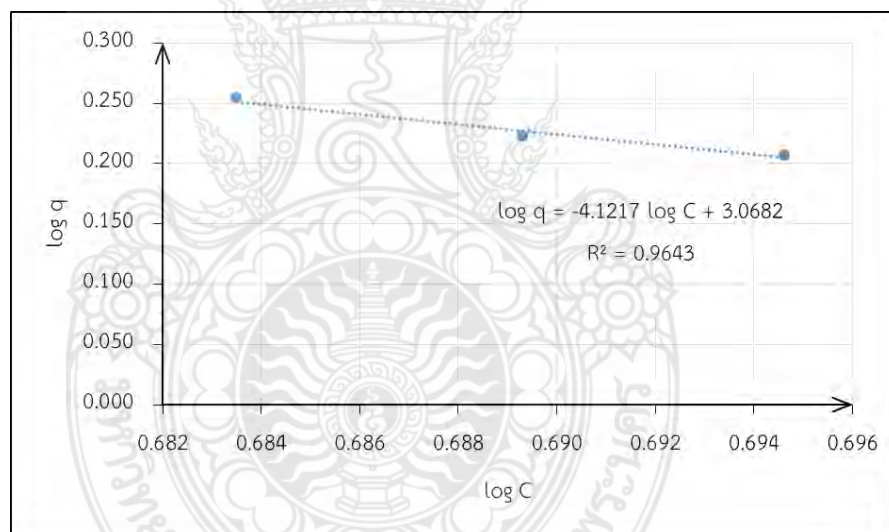
หมายเหตุ ปริมาณฟอสเฟต 1000 มิลลิกรัม ระยะเวลาดูดซับ 180 นาที

ตาราง 4.17 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ CaO จากเปลือกไข่ไก่ 1.0 g ที่ pH 7

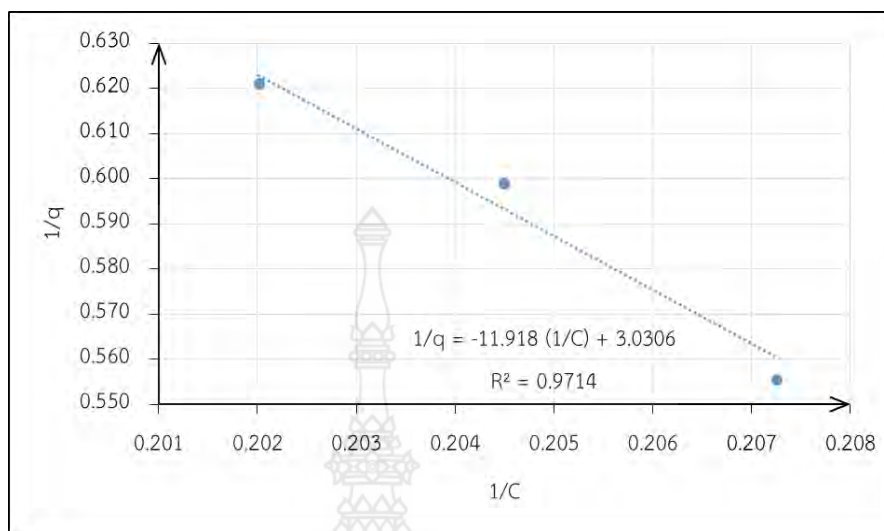
CaO จากเปลือกไข่ไก่ (g)	C <sub>0</sub> (mg/l)	C (mg/l)	q (mg/g CaO)
1.0	6.56	6.56	0.00
1.0	6.56	4.95	1.61
1.0	6.56	4.95	1.61
1.0	6.56	4.95	1.61
1.0	6.56	4.89	1.67
1.0	6.56	4.89	1.67
1.0	6.56	4.83	1.80

ตาราง 4.18 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ CaO จากเปลือกไข่ไก่ 1.0 g ที่ pH 7

C (mg/l)	q (mg/g)	1/C	1/q	log C	log q
6.56	0.00	0.152	-	0.817	-
4.95	1.61	0.202	0.621	0.695	0.207
4.95	1.61	0.202	0.621	0.695	0.207
4.95	1.61	0.202	0.621	0.695	0.207
4.89	1.67	0.204	0.599	0.689	0.223
4.89	1.67	0.204	0.599	0.689	0.223
4.83	1.80	0.207	0.556	0.683	0.255



ภาพ 4.27 ฟรอนดิชไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ ที่ pH 7



ภาพ 4.28 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ ที่ pH 7

จากภาพ 4.27 และ ภาพ 4.28 เมื่อพิจารณาค่า  $R^2$  เข้าใกล้ 1 ที่สุดแสดงให้เห็นว่าการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่มีความสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ได้ดีกว่าฟรุนดิชจึงสามารถสรุปได้ว่า CaO จากเปลือกไข่ไก่ สามารถดูดซับฟอสเฟตได้ และพฤติกรรมการดูดซับเป็นลักษณะการดูดซับทางเคมี การดูดซับฟอสเฟตสามารถเกิดได้บนพื้นผิวของ CaO จากเปลือกไข่ไก่เป็นชั้นเดียวกันหมด

#### 4.3 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับฟอสเฟตด้วย $\text{CaCO}_3$ และ CaO จากเปลือกหอยแมลงภู

จากการศึกษาเพื่อหาความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตโดยใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู 1.0 กรัม และความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้นเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ตักวนด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่สภาวะ pH เท่ากับ 10 ระยะเวลา 180 นาที และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ 45 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลอง จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือจากการดูดซับได้ผลการทดลองดังตาราง 4.19 แล้วนำผลการทดลองมาเขียนเป็นกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตตามสมการของ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm



ตาราง 4.19 ผลของความเข้มข้นฟอสเฟตต่อการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่

$\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ (g)	ปริมาณฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/l)	ปริมาณฟอสเฟตหลังจากดูดซับ (mg/l)
1.0	6.56	6.56
1.0	6.56	5.2
1.0	6.56	5.01
1.0	6.56	4.89
1.0	6.56	4.76
1.0	6.56	4.76
1.0	6.56	4.76

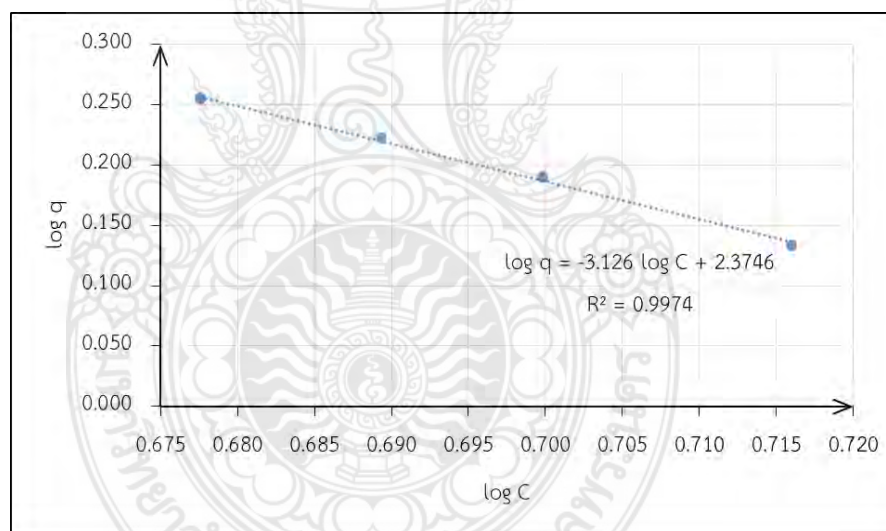
หมายเหตุ ปริมาณฟอสเฟต 1000 มิลลิกรัม ระยะเวลาดูดซับ 180 นาที

ตาราง 4.20 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่ 1.0 g ที่ pH 10

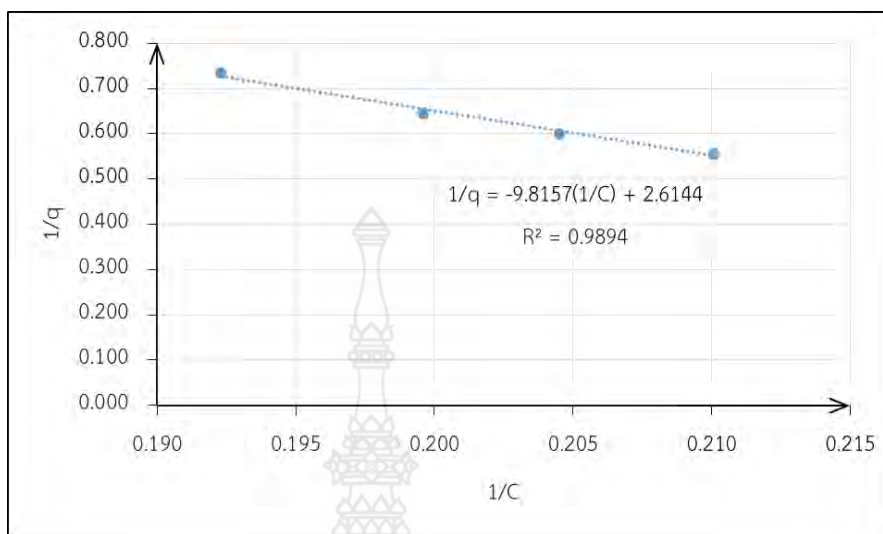
$\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่ (g)	$C_0$ (mg/l)	$C$ (mg/l)	$q$ (mg/l $\text{CaCO}_3$ )
1.0	6.56	6.56	0.00
1.0	6.56	5.20	1.36
1.0	6.56	5.01	1.55
1.0	6.56	4.89	1.67
1.0	6.56	4.76	1.80
1.0	6.56	4.76	1.80
1.0	6.56	4.76	1.80

ตาราง 4.21 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่ 1.0 g ที่ pH 10

C (mg/l)	q (mg/g)	1/C	1/q	log C	log q
6.56	0.00	0.152	-	0.817	-
5.20	1.36	0.192	0.735	0.716	0.134
5.01	1.55	0.200	0.645	0.700	0.190
4.89	1.67	0.204	0.599	0.689	0.223
4.76	1.80	0.210	0.556	0.678	0.255
4.76	1.80	0.210	0.556	0.678	0.255
4.76	1.80	0.210	0.556	0.678	0.255



ภาพ 4.29 ฟรังก์ชันไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่ ที่ pH 10



ภาพ 4.30 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่นีที่ pH 10

จากภาพ 4.29 และ ภาพ 4.30 เมื่อพิจารณาค่า  $R^2$  เข้าใกล้ 1 ที่สุดแสดงให้เห็นว่าการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่นีมีความสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนด์ลิชได้ดีกว่าแลงเมียร์ จึงสามารถสรุปได้ว่า  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่นีสามารถดูดซับฟอสเฟตได้ และพฤติกรรมการดูดซับเป็นลักษณะการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับฟอสเฟตสามารถเกิดได้บนพื้นผิวของ  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่นีได้หลายชั้น

ในการหาความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตโดยใช้  $\text{CaO}$  จากเปลือกหอยแมลงภู่นี 3.0 กรัม และความเข้มข้นของฟอสเฟตเริ่มต้นเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ตีควนด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่สภาวะ pH เท่ากับ 10 ระยะเวลา 180 นาที และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ 15 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณของฟอสเฟตที่เหลือจากการดูดซับได้ผลดังตาราง 4.22 แล้วนำผลการทดลองมาเขียนกราฟไอโซเทอร์มของการดูดซับตามสมการของ Langmuir Isotherm และ Freundlich Isotherm

ตาราง 4.22 ผลของความเข้มข้นฟอสเฟตต่อการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู

CaO จากเปลือกหอยแมลงภู (g)	ปริมาณฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/l)	ปริมาณฟอสเฟตหลังจากดูดซับ (mg/l)
3.0	6.56	6.56
3.0	6.56	4.95
3.0	6.56	4.89
3.0	6.56	4.89
3.0	6.56	4.89
3.0	6.56	4.83
3.0	6.56	4.76

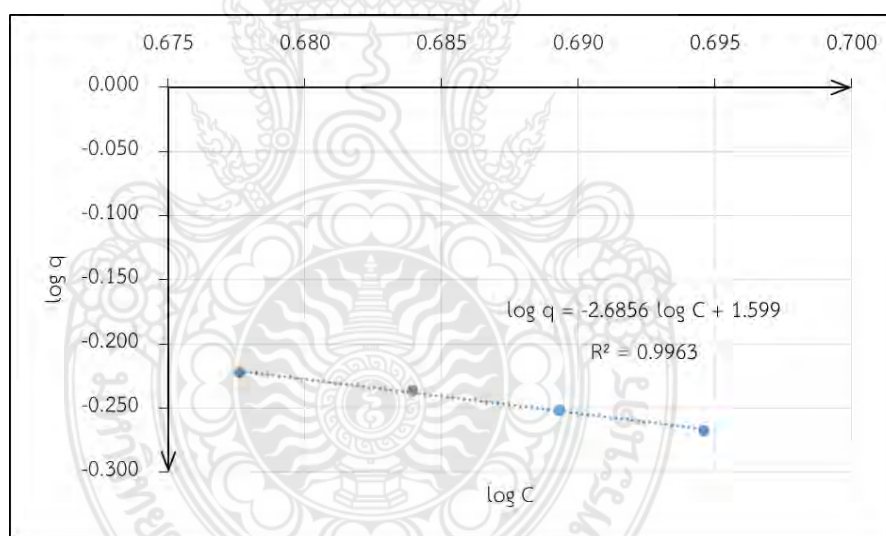
หมายเหตุ ปริมาณฟอสเฟต 1000 มิลลิกรัม ระยะเวลาดูดซับ 180 นาที

ตาราง 4.23 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ CaO จากเปลือกหอยแมลงภู 3.0 g ที่ pH 10

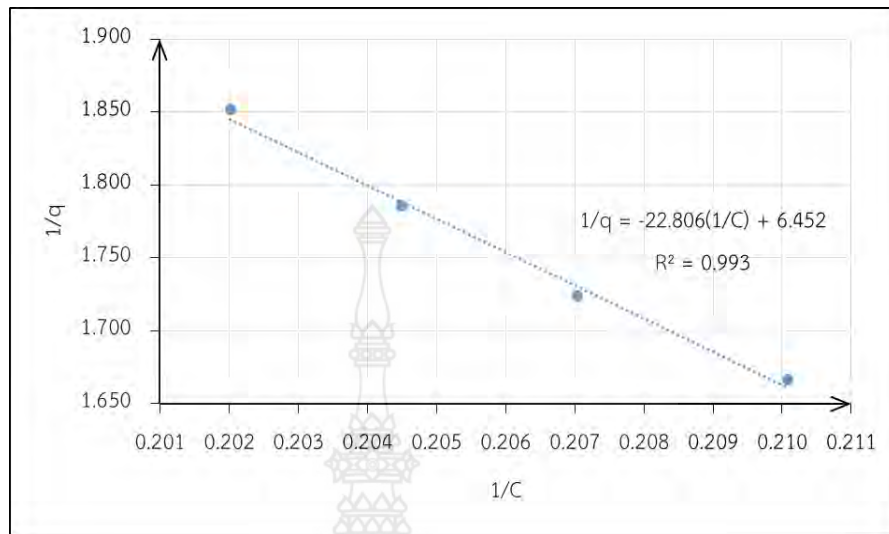
CaO จากเปลือกหอยแมลงภู (g)	$C_0$ (mg/l)	$C$ (mg/l)	$q$ (mg/l CaO)
3.0	6.56	6.56	0.00
3.0	6.56	4.95	0.54
3.0	6.56	4.89	0.56
3.0	6.56	4.89	0.56
3.0	6.56	4.89	0.56
3.0	6.56	4.83	0.58
3.0	6.56	4.76	0.60

ตาราง 4.24 ข้อมูลการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ 3.0 g ที่ pH 10

C (mg/l)	q (mg/g)	1/C	1/q	log C	log q
6.56	0.00	0.152	-	0.817	-
4.95	0.54	0.202	1.852	0.695	-0.268
4.89	0.56	0.204	1.786	0.689	-0.252
4.89	0.56	0.204	1.786	0.689	-0.252
4.89	0.56	0.204	1.786	0.689	-0.252
4.83	0.58	0.207	1.724	0.684	-0.237
4.76	0.60	0.210	1.667	0.678	-0.222



ภาพ 4.31 ฟรอนดิชไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ ที่ pH 10



ภาพ 4.32 แล่งเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ ที่ pH 10

จากภาพ 4.31 และ ภาพ 4.32 เมื่อพิจารณาค่า  $R^2$  เข้าใกล้ 1 ที่สุดแสดงให้เห็นว่าการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับฟอสเฟตด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มี่มีความสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดลิชได้ดีกว่าแล่งเมียร์ จึงสามารถสรุปได้ว่า CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่สามารถดูดซับฟอสเฟตได้ และพฤติกรรมการดูดซับเป็นลักษณะการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับฟอสเฟตสามารถเกิดได้บนพื้นผิวของ CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ได้หลายชั้น

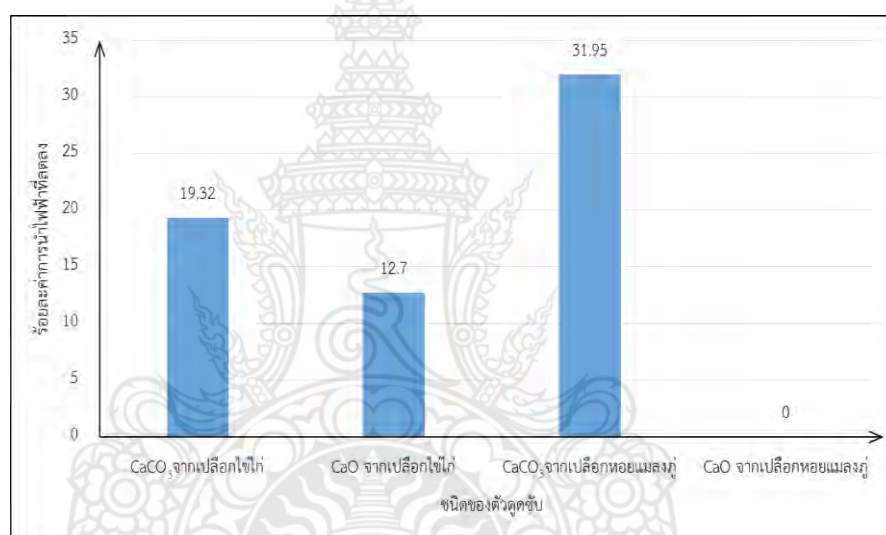
#### 4.4 คุณภาพน้ำทิ้งจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ และ CaO ที่สภาวะที่เหมาะสม

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง โดยน้ำทิ้งที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าที่ผ่านการศึกษาค่าปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ CaO ที่มาจากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ นำมาวิเคราะห์หา ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ค่าความขุ่น (Turbidity) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) และ ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)

ในการศึกษานี้ น้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้ามีค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้นเท่ากับ 1133  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ค่าความขุ่นเท่ากับ 123 NTU ค่าซีโอดีเท่ากับ 325 mg/l และค่าบีโอดีเท่ากับ 15 mg/l โดยใช้  $\text{CaCO}_3$  และ CaO จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ที่อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ได้ผลการศึกษาดังตาราง 4.25, 4.26, 4.27 และ 4.28

ตาราง 4.25 ค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลงจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่สภาวะที่เหมาะสม ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

ชนิดของตัวดูดซับ	ค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลง ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
$\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่	914
$\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่	989
$\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่	771
$\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่	4520

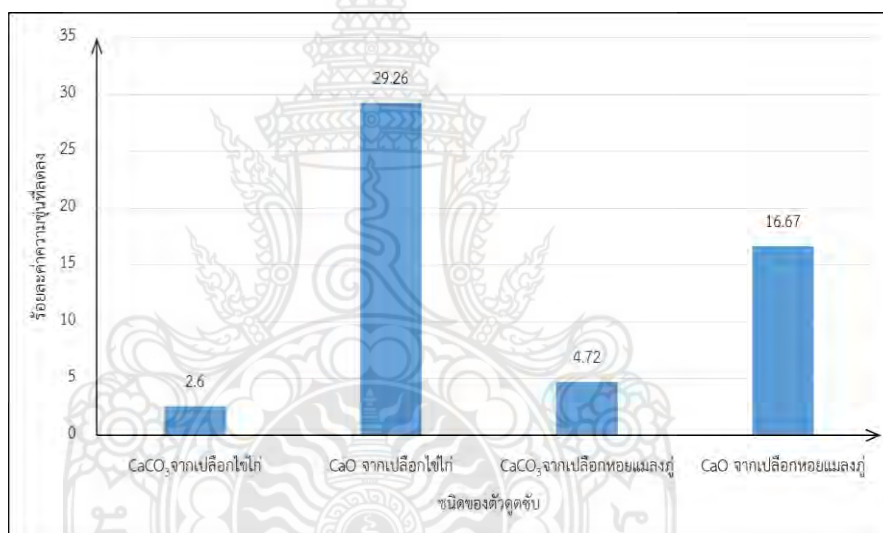


ภาพ 4.33 ร้อยละค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลงจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่สภาวะที่เหมาะสม ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

จากภาพ 4.33 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าที่ผ่านการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ ค่าการนำไฟฟ้าลดลงร้อยละ 19.32, 12.70 และ 31.95 ตามลำดับ แต่  $\text{CaO}$  จากเปลือกหอยแมลงภู่ไม่สามารถลดค่าการนำไฟฟ้าได้

ตาราง 4.26 ค่าความขุ่นที่ลดลงจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่สภาวะที่เหมาะสม (NTU)

ชนิดของตัวดูดซับ	ค่าความขุ่นที่ลดลง (NTU)
$\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่	119.8
$\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่	87
$\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู	117.2
$\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู	102.5



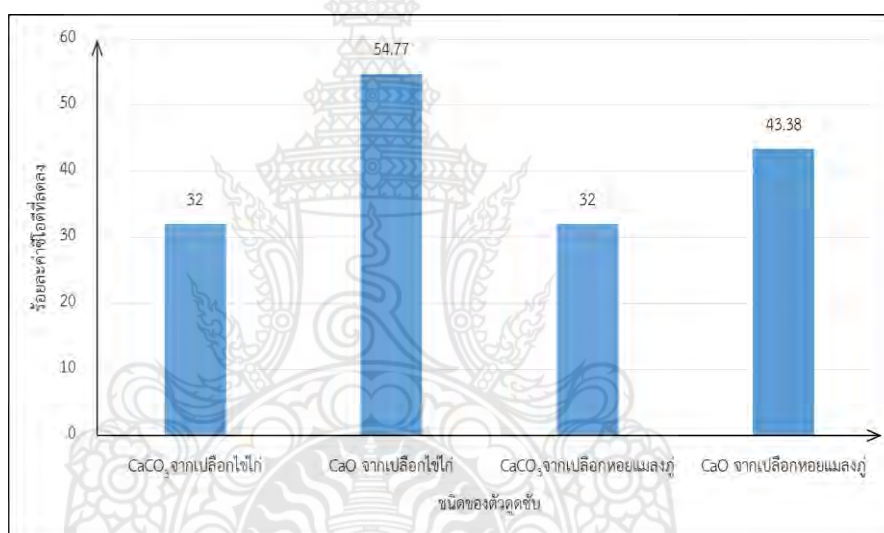
ภาพ 4.34 ร้อยละค่าความขุ่นที่ลดลงจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่สภาวะที่เหมาะสม (NTU)

จากภาพ 4.33 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าที่ผ่านการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู ค่าความขุ่นลดลงร้อยละ 2.60, 29.26, 4.72 และ 16.67 ตามลำดับ



ตาราง 4.27 ค่าซีโอดีที่ลดลงจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่สภาวะที่เหมาะสม (mg/l)

ชนิดของตัวดูดซับ	ค่าซีโอดีที่ลดลง (mg/l)
$\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่	221
$\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่	147
$\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่	221
$\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่	184

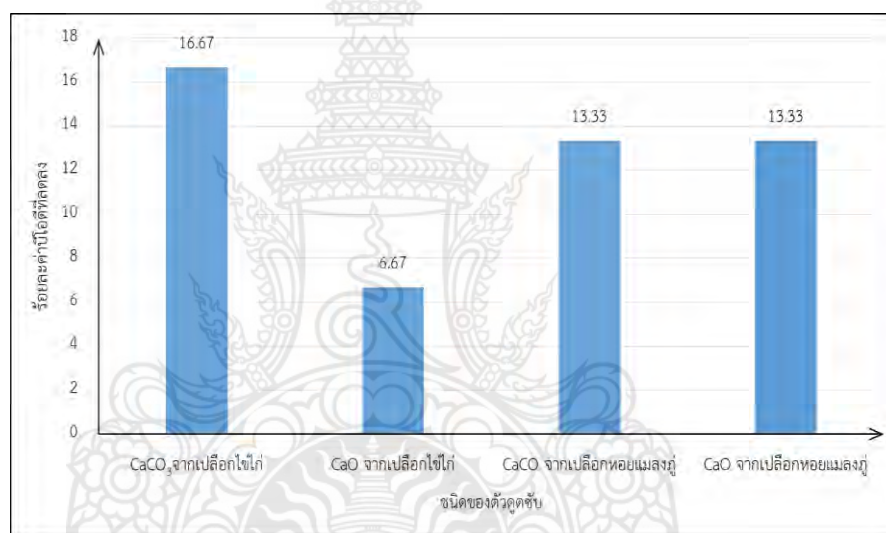


ภาพ 4.35 ร้อยละค่าซีโอดีที่ลดลงจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่สภาวะที่เหมาะสม (mg/l)

จากภาพ 4.33 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าที่ผ่านการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ ค่าซีโอดีลดลงร้อยละ 32, 54.77, 32 และ 43.38 ตามลำดับ

ตาราง 4.28 ค่าบีโอดีที่ลดลงจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่สภาวะที่เหมาะสม (mg/L)

ชนิดของตัวดูดซับ	ค่าบีโอดีที่ลดลง (mg/L)
$\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่	12.5
$\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่	14
$\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู	13
$\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู	13



ภาพ 4.36 ร้อยละค่าบีโอดีที่ลดลงจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่สภาวะที่เหมาะสม (mg/L)

จากภาพ 4.33 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าที่ผ่านการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่ได้จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู ค่าบีโอดีลดลงร้อยละ 16.67, 6.67, 13.33 และ 13.33 ตามลำดับ

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตโดยศึกษาปัจจัยที่ผลต่อการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ สามารถแบ่งการสรุปผลการศึกษาเป็น 4 ส่วนดังนี้

- 5.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$
- 5.2 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$
- 5.3 คุณภาพน้ำทิ้งจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  ที่สภาวะที่เหมาะสม
- 5.4 ข้อเสนอแนะ

#### 5.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตด้วย $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$

จากการวิเคราะห์การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับฟอสเฟต โดยทำการศึกษาหาปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับและอิทธิพลของ pH เริ่มต้นของน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟต พบว่า การใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณ 1 กรัม ที่ระยะเวลา 15 นาที ค่า pH 10  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณ 1 กรัม ที่ระยะเวลา 15 นาที ค่า pH 7  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่ปริมาณ 1 กรัม ที่ระยะเวลา 45 นาที ค่า pH 10 และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกหอยแมลงภู่ปริมาณ 3 กรัม ที่ระยะเวลา 15 นาที ค่า pH 10 เป็นตัวดูดซับที่เหมาะสมต่อการถูกเลือกใช้เนื่องจากปริมาณที่น้อยและระยะเวลาที่น้อยแต่ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตสูง เมื่อสารละลายมี pH เพิ่มขึ้นในสภาวะกลาง-เบส และระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พื้นผิวของตัวดูดซับมีประจุที่พื้นผิวเป็นบวก จึงดูดซับกับสารละลายฟอสเฟตซึ่งมีประจุเป็นลบได้ดี

## 5.2 การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับฟอสเฟตด้วย $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$

จากการวิเคราะห์เพื่อหาความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตโดยใช้  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู๋ โดยใช้สมการไอโซเทอร์มมาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสเฟตที่เหลืออยู่ ที่สภาวะสมดุลกับความสามารถในการดูดซับฟอสเฟต ณ อุณหภูมิคงที่ เมื่อเขียนกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับฟอสเฟตตามสมการของฟรุนดิชและแลงเมียร์ แล้วพิจารณาค่า  $R^2$  เข้าใกล้ 1 ที่สุด พบว่าการการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู๋และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกหอยแมลงภู๋ มีความสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดิชมากกว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการดูดซับเป็นลักษณะการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับฟอสเฟตสามารถเกิดได้บนพื้นผิวของตัวดูดซับได้หลายชั้น ส่วนการดูดซับฟอสเฟตด้วย  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่นั้นมีความสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์มากกว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดิช ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการดูดซับเป็นลักษณะการดูดซับทางเคมี เนื่องจากพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกัน มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน

## 5.3 คุณภาพน้ำทิ้งจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับด้วย $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$ ที่สภาวะที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดค่าความสกปรกของน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้า พบว่าน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้ามีค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้นเท่ากับ  $1133 \mu\text{s}/\text{cm}$  ค่าความขุ่นเท่ากับ  $123 \text{ NTU}$  ค่าซีโอดีเท่ากับ  $325 \text{ mg}/\text{l}$  และค่าบีโอดีเท่ากับ  $15 \text{ mg}/\text{l}$  โดยใช้  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู๋ที่อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

5.3.1 สภาวะที่เหมาะสมของ  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ 1.0 กรัม ที่ pH 10 ระยะเวลา 15 นาที พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังการดูดซับสามารถลดค่าการนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น ค่าซีโอดี และค่าบีโอดี ได้ร้อยละ 19.32, 2.60, 32 และ 16.67 ตามลำดับ

5.3.2 สภาวะที่เหมาะสมของ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่ 1.0 กรัม ที่ pH 7 ระยะเวลา 15 นาที พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังการดูดซับสามารถลดค่าการนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น ค่าซีโอดี และค่าบีโอดี ได้ร้อยละ 12.70, 29.26, 54.77 และ 6.67 ตามลำดับ

5.3.3 สภาวะที่เหมาะสมของ  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู๋ 1.0 กรัม ที่ pH 10 ระยะเวลา 45 นาที พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังการดูดซับสามารถลดค่าการนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น ค่าซีโอดีและค่าบีโอดี ได้ร้อยละ 31.95, 4.72, 32 และ 13.33 ตามลำดับ

5.3.4 สภาวะที่เหมาะสมของ CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่ 3.0 กรัม ที่ pH 10 ระยะเวลา 15 นาที พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งหลังการดูดซับสามารถลดค่าความขุ่น ค่าซีไอดีและค่าบีไอดี ได้ร้อยละ 16.67, 43.38 และ 13.33 ตามลำดับ แต่ไม่สามารถลดค่าการนำไฟฟ้าได้

จากการสรุปข้างต้น พบว่า  $\text{CaCO}_3$  และ CaO จากเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่เป็น วัสดุในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้าสามารถลดปริมาณฟอสเฟตได้จริง อีกทั้ง ลดความสกปรกในน้ำทิ้งได้ในระดับหนึ่งก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และสามารถนำไปใช้ เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประยุกต์ใช้ต่อไปในอนาคต

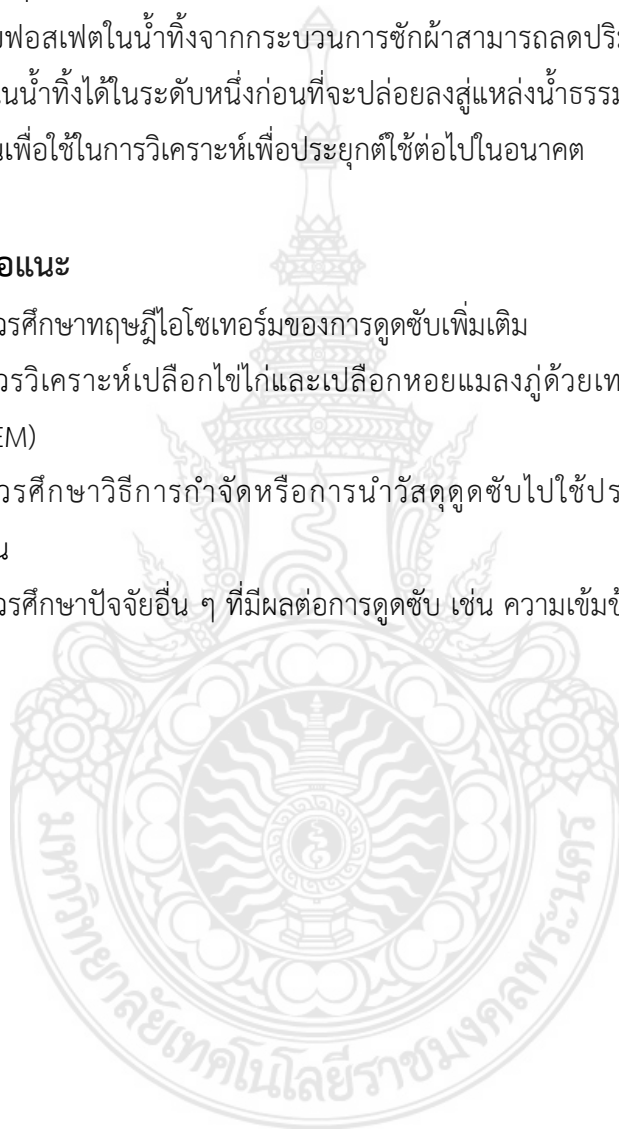
## 5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ควรศึกษาทฤษฎีไอโซเทอร์มของการดูดซับเพิ่มเติม

5.4.2 ควรวิเคราะห์เปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแมลงภู่ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

5.4.3 ควรศึกษาวิธีการกำจัดหรือการนำวัสดุดูดซับไปใช้ประโยชน์ เช่น การฝังกลบ การทำปุ๋ย เป็นต้น

5.4.4 ควรศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ เช่น ความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย เป็นต้น



## เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ชัย แนนจันทร์. (2553). การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้นของเปลือกไข่และเปลือกหอย. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จรรยาพร พุ่มงาม. การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- ชีระวิทย์ รัตนพันธ์. การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยใช้ถ้ำลอยจากเตาเผาขยะมูลฝอยเกิด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2548
- ทีปกร พรไชย. 2559. การใช้ประโยชน์จากเปลือกไข่เหลือทิ้ง. สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2563 จาก [http://www.journal.msu.ac.th/upload/articles/article1913\\_84601.pdf](http://www.journal.msu.ac.th/upload/articles/article1913_84601.pdf)
- นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุกรักษ์. หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555
- พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์ และรัฐชา ชัยชนะ. (2557). ผลกระทบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำและการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส. วิศวกรรมสาร มก, 27, 57-65
- ภคพงษ์ พงษ์ทองหล่อ. การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้นของเปลือกไข่และเปลือกหอย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553
- ภาวิณี พัฒนจันทร์ บัณฑิต ตีรชูลี และบุษยา บุนนาค. (2559). การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมในน้ำทะเลโดยใช้เปลือกหอยแมลงภู่. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล ครั้งที่ 5 "The Proceedings of the 5<sup>th</sup> Marine Science Conference 2016". โรงแรมรามาคาร์ เด็นส์ กรุงเทพมหานคร, 380-384.
- ยะโก๊ะ ขาเริ่มดาเบะ. การดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีประยุกต์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 2553
- วิชัย ดำรงโกภรณ์. 2555. เทคโนโลยีการนำเปลือกไข่มาใช้ประโยชน์. สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2563 จาก [http://otop.dss.go.th/attachments/article/137/CF75\(C11\).pdf](http://otop.dss.go.th/attachments/article/137/CF75(C11).pdf)
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ. รายงานผลวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2558

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ศิริประภา ชัยเนตร ภัทรา วงษ์พันธ์กุล และครรชิต เงินคำคง. การดูดซับเมทิลลิโนบลูในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่. รายงานผลวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2556
- ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. เคมีวิเคราะห์สารมลพิษ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560
- ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่าทะเลน้อย. 2557. ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน. สืบค้นเมื่อ 14 ธันวาคม 2562 จาก [www.facebook.com/ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่าทะเลน้อย](http://www.facebook.com/ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่าทะเลน้อย)
- เสาวภา ไวยสุศรี. การกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่. รายงานผลวิจัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 2558
- อัจฉรา ดวงเดือน. (2546). การกำจัดแคดเมียมด้วยเปลือกไข่. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 470-479.
- อินทรีย์ ศรีสุข. การศึกษาการใช้ผงเปลือกไข่ไก่ผสมในอิพอกซีเรซิน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2560
- อุไรวรรณ มณีโชติ ยุพดี ชัยสุขสันต์ และเสาวภา โชติสุวรรณ. (2553). การดูดซับสารประกอบฟีนอลจากสารละลายโดยชีวภาพมวลสำหรับรายผักกาด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 18, 40-50
- Abdel-Khalek Abdel Rahman & Francis. (2017). Exploring the adsorption behavior of cationic and anionic dyes on industrial waste shells of egg. Journal of Environmental Chemical Engineering, 5, 319-327.
- Evangelia Panagiotou Nasia Kafa Loukas Koutsokeras, et al. (2018). Turning calcined waste egg shells and wastewater to Brushite: Phosphorus adsorption from aqua media and anaerobic sludge leach water. Journal of Cleaner Production, 178, 419- 428.
- Jibing Xiong Yong Qin & Ejazull Slam, et al. (2011). Phosphate removal from solution using powdered freshwater mussel shells. Desalination, 276, 317-321.
- Paradelo R. Conde-Cidal.Cutillas-Barreiro M. & Arias-Estévez M., et al. (2016). Phosphorus removal from wastewater using mussel shell: Investigation on retention mechanisms. Ecological Engineering, 97, 558-566.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการวิเคราะห์





ตารางภาคผนวก ก.1 ผลการวิเคราะห์แสดงปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (mg/L)

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.65	5.13	5.21
30	5.40	4.96	5.02
45	4.71	4.65	5.02
60	4.70	4.46	4.90
120	4.64	4.44	4.83
180	4.57	4.40	4.82

ตารางภาคผนวก ก.2 ผลการวิเคราะห์แสดงปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 (mg/L)

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.40	5.76	5.66
30	5.26	5.57	5.52
45	5.21	5.40	5.52
60	5.02	5.15	5.46
120	4.90	5.09	5.40
180	4.76	5.07	5.38

ตารางภาคผนวก ก.3 ผลการวิเคราะห์แสดงปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (mg/L)

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	4.90	5.28	5.33
30	4.88	5.19	5.32
45	4.76	5.03	4.96
60	4.65	4.84	4.83
120	4.63	4.77	4.70
180	4.58	4.75	4.76

ตารางภาคผนวก ก.4 ผลการวิเคราะห์แสดงปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (mg/L)

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.07	5.13	5.09
30	4.83	5.15	5.02
45	4.83	4.96	4.90
60	4.82	4.69	4.65
120	4.77	4.70	4.64
180	4.75	4.65	4.65

ตารางภาคผนวก ก.5 ผลการวิเคราะห์แสดงปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 (mg/l)

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	4.96	5.02	5.32
30	4.94	5.01	5.09
45	4.96	4.96	4.94
60	4.88	4.71	4.84
120	4.89	4.65	4.82
180	4.84	4.64	4.77

ตารางภาคผนวก ก.6 ผลการวิเคราะห์แสดงปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (mg/l)

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.00	5.25	5.26
30	4.96	4.90	5.02
45	4.96	4.84	4.84
60	4.76	4.70	4.64
120	4.76	4.76	4.65
180	4.77	4.65	4.63

ตารางภาคผนวก ก.7 ผลการวิเคราะห์แสดงปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 4 (mg/L)

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 4 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.40	5.34	5.21
30	5.15	5.19	5.09
45	5.09	4.96	4.90
60	5.07	4.84	4.75
120	5.02	4.82	4.71
180	5.02	4.77	4.76

ตารางภาคผนวก ก.8 ผลการวิเคราะห์แสดงปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 7 (mg/L)

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 7 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.40	5.44	5.25
30	5.34	5.40	5.20
45	5.32	5.21	5.02
60	5.19	5.15	4.96
120	5.21	5.09	4.90
180	5.14	5.07	4.87

ตารางภาคผนวก ก.9 ผลการวิเคราะห์แสดงปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (mg/l)

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.19	5.33	5.39
30	5.02	5.21	5.34
45	4.88	5.20	5.14
60	4.77	5.15	4.89
120	4.76	5.08	4.87
180	4.75	5.00	4.83

ตารางภาคผนวก ก.10 ผลการวิเคราะห์แสดงปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (mg/l)

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.20	5.32	5.21
30	5.00	5.13	5.15
45	4.96	5.02	4.90
60	4.83	4.71	4.70
120	4.77	4.70	4.76
180	4.75	4.65	4.70

ตารางภาคผนวก ก.11 ผลการวิเคราะห์แสดงปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มิมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 (mg/l)

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มิมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.02	5.03	5.25
30	5.02	4.84	5.09
45	4.96	4.74	4.90
60	4.70	4.75	4.71
120	4.76	4.75	4.70
180	4.75	4.76	4.64

ตารางภาคผนวก ก.12 ผลการวิเคราะห์แสดงปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มิมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (mg/l)

เวลาการดูดซับ (นาที)	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มิมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	6.56	6.56	6.56
15	5.07	4.96	5.00
30	4.96	4.89	4.75
45	4.89	4.90	4.69
60	4.75	4.88	4.70
120	4.65	4.84	4.65
180	4.59	4.76	4.64

ตารางภาคผนวก ก.13 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (NTU)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	123.67	123.67	123.67
15	98.53	92.40	96.07
30	84.40	99.10	103.57
45	110.33	84.90	96.67
60	119.10	96.00	86.80
120	114.23	96.33	82.33
180	92.33	92.47	95.00

ตารางภาคผนวก ก.14 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 (NTU)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	123.67	123.67	123.67
15	109.00	84.13	99.33
30	88.67	116.73	99.00
45	98.00	105.87	89.60
60	96.33	87.13	111.00
120	107.33	96.67	90.67
180	99.67	112.67	103.00

ตารางภาคผนวก ก.15 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (NTU)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	123.67	123.67	123.67
15	96.73	88.93	88.40
30	119.87	86.60	84.47
45	109.53	98.87	92.40
60	98.40	97.00	115.20
120	93.67	98.67	108.13
180	117.47	118.53	115.20

ตารางภาคผนวก ก.16 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (NTU)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	123.67	123.67	123.67
15	87.33	88.67	97.67
30	107.43	107.67	82.67
45	94.67	94.97	116.23
60	97.33	110.00	118.67
120	91.50	96.17	103.27
180	110.33	100.07	92.20



ตารางภาคผนวก ก.17 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 (NTU)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	123.67	123.67	123.67
15	84.67	86.00	92.33
30	88.00	110.40	112.87
45	86.00	96.33	117.77
60	86.43	86.73	110.83
120	91.80	96.13	106.87
180	94.53	87.80	86.37

ตารางภาคผนวก ก.18 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (NTU)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	123.67	123.67	123.67
15	85.33	94.00	106.07
30	85.07	106.73	89.00
45	82.33	86.00	103.33
60	82.57	97.17	118.10
120	84.47	97.87	118.33
180	87.23	79.03	115.10

ตารางภาคผนวก ก.19 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 4 (NTU)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	123.67	123.67	123.67
15	104.67	95.27	114.80
30	93.53	113.33	81.07
45	89.67	88.20	97.67
60	92.47	87.93	114.07
120	88.53	109.60	113.60
180	85.67	114.53	108.20

ตารางภาคผนวก ก.20 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 7 (NTU)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	123.67	123.67	123.67
15	97.67	93.67	108.13
30	93.27	114.07	117.80
45	105.80	115.20	114.93
60	119.73	86.93	98.80
120	96.53	108.20	116.87
180	94.67	115.67	109.87

ตารางภาคผนวก ก.21 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่มากปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่มากปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (NTU)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	123.67	123.67	123.67
15	87.67	96.33	105.67
30	107.00	119.53	97.80
45	80.40	92.27	98.00
60	96.53	92.60	118.27
120	118.33	107.33	85.00
180	99.07	87.67	84.87

ตารางภาคผนวก ก.22 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaO}$  จากเปลือกหอยแมลงภู่มากปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่มากปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (NTU)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	123.67	123.67	123.67
15	116.67	95.27	98.33
30	101.60	86.33	115.33
45	95.13	105.67	97.20
60	91.93	93.67	114.53
120	97.80	81.73	105.67
180	87.47	87.67	95.67

ตารางภาคผนวก ก.23 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 7 (NTU)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	123.67	123.67	123.67
15	90.33	101.67	116.47
30	105.33	104.07	116.73
45	107.33	118.33	116.87
60	86.67	95.60	92.27
120	95.67	107.47	106.80
180	85.67	94.53	109.07

ตารางภาคผนวก ก.24 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 10 (NTU)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	123.67	123.67	123.67
15	95.00	87.33	97.00
30	102.83	117.63	119.20
45	87.77	90.07	96.83
60	82.33	84.67	117.33
120	105.40	114.13	115.10
180	86.00	90.33	96.00

ตารางภาคผนวก ก.25 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	1133.33	1133.33	1133.33
15	3169.33	3723.00	4983.33
30	752.00	783.00	995.33
45	734.67	774.00	858.67
60	3503.33	3538.67	5883.33
120	946.67	887.33	825.33
180	916.00	933.33	838.67

ตารางภาคผนวก ก.26 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	1133.33	1133.33	1133.33
15	989.33	853.67	908.33
30	918.67	825.33	946.67
45	895.00	846.67	931.67
60	834.67	884.33	927.33
120	886.00	838.67	998.67
180	848.00	816.00	770.33

ตารางภาคผนวก ก.27 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	1133.33	1133.33	1133.33
15	916.00	774.00	886.00
30	884.67	914.67	916.67
45	957.33	879.33	767.33
60	889.00	858.67	838.67
120	1002.00	931.67	894.00
180	784.67	736.00	854.67

ตารางภาคผนวก ก.28 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	1133.33	1133.33	1133.33
15	1812.67	4071.00	6113.33
30	3873.33	4151.67	5782.67
45	1924.67	2351.67	3671.67
60	2413.33	6638.33	4443.33
120	3651.00	4683.33	5871.33
180	2168.00	2922.33	4781.00

ตารางภาคผนวก ก.29 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	1133.33	1133.33	1133.33
15	1924.67	4808.67	7993.33
30	6713.33	7779.67	7738.33
45	6223.33	4781.33	1886.33
60	2923.33	7813.00	4679.67
120	2351.67	3740.33	2918.67
180	4151.67	5782.67	6711.00

ตารางภาคผนวก ก.30 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	1133.33	1133.33	1133.33
15	2499.67	3739.67	5869.67
30	8103.33	6223.33	6419.33
45	4813.33	5672.67	7735.67
60	7333.33	4786.33	6858.33
120	4071.33	4782.67	4807.67
180	6641.67	7812.00	7736.33

ตารางภาคผนวก ก.31 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	1133.33	1133.33	1133.33
15	3783.00	3893.33	3972.00
30	928.00	804.00	887.33
45	996.00	907.67	858.00
60	3978.67	3956.33	4622.00
120	906.67	858.00	716.67
180	1105.33	998.67	917.33

ตารางภาคผนวก ก.32 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	1133.33	1133.33	1133.33
15	868.00	857.67	871.33
30	862.00	994.33	1105.33
45	782.67	995.00	920.33
60	739.67	883.67	907.33
120	916.00	774.00	886.00
180	960.67	879.33	774.67



ตารางภาคผนวก ก.33 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	1133.33	1133.33	1133.33
15	858.00	739.00	716.67
30	917.33	938.33	952.00
45	775.33	783.33	737.67
60	834.67	835.33	822.00
120	736.33	774.00	856.33
180	868.00	804.00	917.67

ตารางภาคผนวก ก.34 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaO}$  จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaO}$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	1133.33	1133.33	1133.33
15	1719.33	3663.33	6606.67
30	4682.67	3603.33	4042.33
45	5692.33	4521.00	2451.67
60	2273.33	5362.00	6573.33
120	2351.67	3672.33	4073.33
180	3981.33	3989.67	4623.33

ตารางภาคผนวก ก.35 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	1133.33	1133.33	1133.33
15	4079.67	5919.33	8747.67
30	7759.00	6909.67	7624.33
45	2503.33	2919.33	4783.00
60	2448.33	5531.00	7849.67
120	5782.67	6641.67	7739.33
180	2503.67	3738.33	5868.67

ตารางภาคผนวก ก.36 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	1133.33	1133.33	1133.33
15	2259.67	4519.00	6619.67
30	6829.00	5848.67	7329.00
45	4619.00	4686.33	5776.33
60	5686.00	2406.67	7725.33
120	6713.33	7778.00	7735.33
180	2504.67	3778.33	3169.00

ตารางภาคผนวก ก.37 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	342.00	342.00	342.00
15	120.67	159.00	160.67
30	159.33	240.67	241.00
45	320.67	279.00	281.00
60	239.33	239.33	239.33
120	199.00	240.33	159.00
180	160.67	160.67	279.67

ตารางภาคผนวก ก.38 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	342.00	342.00	342.00
15	199.00	158.67	159.00
30	239.33	161.00	161.00
45	161.00	159.33	160.33
60	319.33	280.67	281.33
120	160.33	161.33	198.67
180	241.33	281.00	200.67

ตารางภาคผนวก ก.39 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าซีโอติของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าซีโอติของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	342.00	342.00	342.00
15	158.67	121.33	198.67
30	241.00	240.33	279.33
45	160.67	201.00	241.00
60	159.00	159.00	161.00
120	199.00	241.00	241.00
180	160.67	201.33	278.33

ตารางภาคผนวก ก.40 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าซีโอติของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าซีโอติของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	342.00	342.00	342.00
15	166.67	126.67	166.67
30	166.67	163.33	203.33
45	233.33	230.00	236.67
60	203.33	236.67	166.67
120	163.33	166.67	273.33
180	236.67	166.67	166.67

ตารางภาคผนวก ก.41 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	342.00	342.00	342.00
15	203.33	203.33	166.67
30	236.67	236.67	166.67
45	166.67	163.33	166.67
60	210.00	206.67	236.67
120	166.67	156.67	273.33
180	230.00	236.67	203.33

ตารางภาคผนวก ก.42 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกไข่ไก่ปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	342.00	342.00	342.00
15	236.67	313.33	353.33
30	236.67	166.67	166.67
45	203.33	243.33	236.67
60	166.67	166.67	203.33
120	276.67	236.67	166.67
180	236.67	276.67	236.67

ตารางภาคผนวก ก.43 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	342.00	342.00	342.00
15	239.00	319.00	361.00
30	241.00	161.00	159.00
45	198.67	241.33	241.00
60	161.33	198.33	240.33
120	281.00	201.33	160.67
180	278.67	280.33	241.33

ตารางภาคผนวก ก.44 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 7 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	342.00	342.00	342.00
15	239.33	161.33	119.33
30	161.00	241.00	241.00
45	281.33	159.00	198.67
60	198.67	281.33	201.33
120	158.67	278.67	278.67
180	281.33	239.33	159.33

ตารางภาคผนวก ก.45 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกหอยแมลงภู่อุปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกหอยแมลงภู่อุปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 10 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	342.00	342.00	342.00
15	199.00	239.00	319.00
30	278.67	240.33	161.33
45	238.67	198.67	241.00
60	161.00	161.00	161.33
120	240.67	281.33	239.33
180	161.00	239.33	281.33

ตารางภาคผนวก ก.46 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อุปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่อุปริมาณต่าง ๆ ที่ pH 4 (mg/l)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	342.00	342.00	342.00
15	133.33	166.67	153.33
30	153.33	253.33	246.67
45	313.33	286.67	266.67
60	166.67	166.67	206.67
120	246.67	293.33	210.00
180	246.67	266.67	276.67

ตารางภาคผนวก ก.47 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 7

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 7 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	342.00	342.00	342.00
15	163.33	123.33	203.33
30	243.33	233.33	233.33
45	166.67	216.67	236.67
60	286.67	206.67	163.33
120	286.67	266.67	243.33
180	246.67	166.67	163.33

ตารางภาคผนวก ก.48 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 10

เวลาการดูดซับ (นาที)	ค่าซีโอดีของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการดูดซับ ด้วย CaO จากเปลือกหอยแมลงภู่มากต่าง ๆ ที่ pH 10 (mg/L)		
	1.0 g	3.0 g	5.0 g
0	342.00	342.00	342.00
15	233.33	253.33	246.67
30	166.67	210.00	276.67
45	266.67	213.33	163.33
60	166.67	233.33	236.67
120	316.67	166.67	126.67
180	163.33	166.67	156.67



## ประวัติการศึกษา



ชื่อนามสกุล นางสาวเจนจิรา รักเจริญ  
 วัน เดือน ปีเกิด 9 ตุลาคม พ.ศ. 2540  
 ภูมิลำเนา อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

### ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีการศึกษา
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร	พ.ศ. 2562
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนวัดทรงธรรม สมุทรปราการ	พ.ศ. 2558
ประถมศึกษา	โรงเรียนเทศบาลวัดทรงธรรม สมุทรปราการ	พ.ศ. 2552

## ประวัติการศึกษา



ชื่อนามสกุล นางสาวเนตรนภา เสือโนนม่วง  
วัน เดือน ปีเกิด 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2540  
ภูมิลำเนา อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

### ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีการศึกษา
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร	พ.ศ. 2562
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนเทพศิรินทร์ สมุทรปราการ สมุทรปราการ	พ.ศ. 2558
ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลสุพรรณบุรี สุพรรณบุรี	พ.ศ. 2552

## ประวัติการศึกษา



ชื่อ นามสกุล

นางสาวนิลวรรณ มาแจ้ง

วัน เดือน ปีเกิด

13 สิงหาคม พ.ศ. 2540

ภูมิลำเนา

อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี

## ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา

ชื่อสถาบัน

ปีการศึกษา

วท.บ.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
กรุงเทพมหานคร

พ.ศ. 2562

มัธยมศึกษาปีที่ 6

โรงเรียนสตรีนนทบุรี  
นนทบุรี

พ.ศ. 2558

ประถมศึกษา

โรงเรียนการัญศึกษา  
นนทบุรี

พ.ศ. 2552