



## การกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่

เสาวภา ไวยสุศรี\*

อาจารย์ กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

\* ผู้พิมพ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2954-7300 ต่อ 607 อีเมล: saowapa.yod@dpu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2016.01.003

รับเมื่อ 17 สิงหาคม 2558 ตอรับเมื่อ 13 มกราคม 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 12 กันยายน 2559

© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติการดูดซับฟอสฟอรัสในรูปของออร์โทฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่เผา ในการศึกษาการดูดซับออร์โทฟอสเฟตด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่เผา วิเคราะห์หาปริมาณออร์โทฟอสเฟตด้วยวิธีกรวดแอสคอร์บิก พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดซับ เมื่อใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่เป็นตัวดูดซับ คือ พีเอชเริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 เวลาในการดูดซับ 180 นาที และปริมาณตัวดูดซับ 2.0 g โดยประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 80 ส่วนการใช้  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่เผาเป็นตัวดูดซับพบว่า พีเอชเริ่มต้นอยู่ในช่วง 4–11 เวลาในการดูดซับ 30 นาที และปริมาณตัวดูดซับ 0.1 และ 0.5 g ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 97 การศึกษาไอโซเทอร์มของตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับออร์โทฟอสเฟต สามารถวิเคราะห์และทำนายได้จากไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบเชิงเส้นตรงของฟรุนดลิชและแลงเมียร์ ซึ่งในการใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่เป็นตัวดูดซับพบที่มีความสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดลิชได้ดีกว่าแลงเมียร์ แสดงให้เห็นว่าลักษณะการดูดซับดังกล่าวเป็นแบบหลายชั้นหรือเป็นการดูดซับทางกายภาพมากกว่าทางเคมี ส่วนการใช้  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่เผาเป็นตัวดูดซับจะสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ได้ดีกว่าฟรุนดลิช แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของ ตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด ตัวถูกดูดซับจะเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก โดยการใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษาน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ พบว่าผลการทดลองมีความสอดคล้องกัน โดยประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่าร้อยละ 73 และ 99 เมื่อใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่เผาเป็นตัวดูดซับตามลำดับ

**คำสำคัญ:** การดูดซับ การกำจัดฟอสเฟต เปลือกไข่ไก่ ไอโซเทอร์มการดูดซับ

การอ้างอิงบทความ: เสาวภา ไวยสุศรี, “การกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 26, ฉบับที่ 3, หน้า 475–486, ก.ย.-ธ.ค. 2559



## Phosphate Removal in Wastewater by Adsorption on Calcium Carbonate and Calcium Oxide from Eggshell

**Saowapa Waiyasuri\***

*Lecturer, Science Section, Faculty of Applied Science, Dhurakij Pundit University, Bangkok, Thailand*

\* Corresponding Author, Tel. 0-2954-7300 Ext. 607, E-mail: saowapa.yod@dpu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2016.01.003

Received 17 August 2015; Accepted 13 January 2016; Published online: 12 September 2016

© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

This research was carried out in order to study the adsorption of phosphorus in the form of orthophosphate on  $\text{CaCO}_3$  from eggshell and  $\text{CaO}$  from burned eggshell. The study of orthophosphate adsorption on  $\text{CaCO}_3$  from eggshell and  $\text{CaO}$  from burned eggshell using the ascorbic acid method showed that the optimum conditions for orthophosphate adsorption on  $\text{CaCO}_3$  from eggshell were a solution with initial pH 1 for a contact time of 180 minutes and the adsorbent dosage of 2.0 g, with the efficiency of orthophosphate adsorption higher than 80%. The optimum conditions for the orthophosphate adsorption on  $\text{CaO}$  from burned eggshell were a solution with initial pH in the range of 4–11 for a contact time of 30 minutes and adsorbent dosage of 0.1 and 0.5 g, with the efficiency of orthophosphate adsorption higher than 97%. Moreover, the isotherm adsorption of adsorbents used for orthophosphate was measured and extrapolated using linear Freundlich and Langmuir isotherm. The isotherm of the  $\text{CaCO}_3$  from eggshell showed better correlation with the Freundlich isotherm than the Langmuir isotherm, which showed that adsorption was multi-layered or physisorption rather than chemisorption. The Langmuir isotherm was best correlated with  $\text{CaO}$  from burned eggshell, which indicated that the adsorption was monolayer on a homogenous surface. In the study of orthophosphate removal from the wastewater from the food industry and steel fabrication industry by using obtained optimum operation conditions, the results of the experiment were consistent with the synthetic sample. The percentage of orthophosphate adsorption was higher than 73% and 99% when using  $\text{CaCO}_3$  from eggshell and  $\text{CaO}$  from burned eggshell as an adsorbent respectively.

**Keywords:** Adsorption, Phosphate Removal, Eggshell, Adsorption Isotherm

Please cite this article as: S. waiyasuri, "Phosphate removal in wastewater by adsorption on calcium carbonate and calcium oxide from eggshell," *The Journal of KMUTNB.*, vol. 26, no. 3, pp. 475–486, Sep.–Dec. 2016 (in Thai).

## 1. บทนำ

ปัญหามลพิษทางน้ำในปัจจุบันของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการเจริญเติบโตในด้านต่างๆ ของประเทศฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารตัวหนึ่งที่เป็นสาเหตุของปัญหามลพิษทางน้ำ ซึ่งกิจกรรมที่เป็นสาเหตุของการปล่อยฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม อาทิ อุตสาหกรรมปุ๋ยเคมี อุตสาหกรรมชุบเคลือบ อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น นอกจากนี้กิจกรรมจากการซักล้างในครัวเรือน การใช้ปุ๋ยเคมีจากภาคเกษตร การทำฟาร์มปศุสัตว์ล้วนเป็นสาเหตุของการปล่อยฟอสฟอรัสลงสู่แหล่งน้ำ โดยส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำคือเกิด “ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)” นั่นคือ พืชน้ำ เช่น สาหร่าย และแพลงก์ตอนพืช จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเกิดขึ้นอย่างหนาแน่น ปัญหาปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันเกิดขึ้นมากในประเทศแถบสแกนดิเนเวีย เนื่องจากมีแหล่งน้ำปิดมาก เช่น อ่างเก็บน้ำ หนอง บึง หรือทะเลสาบ ซึ่งเป็นสิ่งที่เอื้อต่อการเกิดปรากฏการณ์นี้ เคยมีรายงานว่าค่าวิกฤตของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเท่ากับ 0.007–0.03 mg/l [1] หากเกินค่านี้แล้วสามารถเกิดปรากฏการณ์ “น้ำขึ้นน้ำลงสีแดง” หรือ “Red Tide” อันเป็นรูปแบบหนึ่งของยูโทรฟิเคชันได้ ในประเทศไทยพบปัญหายูโทรฟิเคชันหรือที่เรียกกันว่า “ซีบลาวาพ” เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ เช่น ศรีราชา ชะอำ หัวหิน กว๊านพะเยา บึงแก่นนคร และบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ [1] ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมปริมาณของฟอสฟอรัสที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำให้มีปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในการเลือกใช้วิธีการบำบัดจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการบำบัด และความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่ใช้ รวมทั้งต้องมีราคาถูกราคาคุ้มค่าต่อการบำบัด

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการกำจัดฟอสฟอรัสในรูปของออร์โทฟอสเฟตที่อยู่ในน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่ ซึ่งเทคนิคการดูดซับจะมีข้อดีคือเป็นเทคนิคที่ออกแบบได้ง่าย สามารถกำจัดออร์โทฟอสเฟตได้ใน

ปริมาณมากและมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำ [2] การนำวัสดุเหลือทิ้งได้แก่เปลือกไข่ไก่มาใช้เป็นตัวดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสีย นอกจากจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายไม่ต้องใช้ตัวดูดซับที่มีราคาแพงแล้วยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ของเหลือทิ้ง อีกทั้งเป็นการช่วยจัดการของเสียและของเหลือทิ้งเหล่านี้ อีกทางหนึ่ง ซึ่งในแต่ละปีจะมีปริมาณเปลือกไข่ไก่ที่ถูกทิ้งเป็นจำนวนมากหลายล้านตัน โดยเฉพาะจากร้านอาหารและโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอาหารที่ต้องใช้ไข่ไก่ในกระบวนการผลิต หรือจากอุตสาหกรรมโรงฟักไข่ไก่ที่มีเปลือกไข่เหลือทิ้งในปริมาณที่สูงโดยต้องเสียค่าใช้จ่ายในการฝังกลบจำนวนมาก

## 2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 การทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ (Validation of Method)

ทดสอบความเป็นเส้นตรงของช่วงการวิเคราะห์ โดยใช้สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสเข้มข้น 100 mg/l (ซึ่งเตรียมจาก  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) จำนวน 100, 200, 300, 400 และ 500  $\mu\text{l}$  เติมน้ำ Combined Reagent จำนวน 8 ml ปรับปริมาตรให้ครบ 50 ml สารละลายแต่ละขวดมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 mg/l ตามลำดับ ตั้งสารละลายทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 890 nm สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (mg/l) (Combined Reagent คือ 2.5 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  500 ml + 1.3710 g  $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  50 ml + 20 g  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  150 ml + 5.28 g Ascorbic Acid 300 ml) จากนั้นคำนวณหาค่าต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) จาก Regression Line ของกราฟมาตรฐาน [3]

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{n-2}}$$

$$\text{LOD} = \frac{3S_{y/x}}{b}$$

$$LOQ = \frac{10S_{y/x}}{b}$$

$b$  คือความชันของสมการเส้นตรง

$y_i$  คือค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวิเคราะห์จริง

$\hat{y}$  คือค่าการดูดกลืนแสงที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรง

$S_{y/x}$  คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการสร้างกราฟเส้นตรง

ทดสอบความแม่นยำ (Precision) และความเที่ยง (Accuracy) ของวิธีการวิเคราะห์ โดยคำนวณร้อยละการกลับคืนสำหรับคาร์วิเคราะห์หาปริมาณออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างผ่านการดูดซับด้วย  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่

## 2.2 การเตรียม $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่

เตรียม  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่โดยนำเปลือกไข่ไก่มาล้างสิ่งสกปรกออกจนสะอาด ผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำเปลือกไข่อบแห้งที่อุณหภูมิ  $100 \pm 10^\circ\text{C}$  นาน 10 นาที บดลดขนาดด้วยเครื่องบดความเร็วสูงก่อนทำการร่อนผ่าน Molecular Sieve Number 70 เมช ใส่ภาชนะที่แห้งและปิดแน่น (จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ผงเปลือกไข่จะประกอบไปด้วย  $\text{CaCO}_3$  94%,  $\text{MgCO}_3$  1%,  $\text{Ca}_3\text{PO}_4$  1% และสารอินทรีย์ 4%) [4]

เตรียม  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ [5] โดยนำเปลือกไข่ที่ผ่านการร่อนเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิ  $800^\circ\text{C}$  ระยะเวลา 3 ชั่วโมง เก็บใส่ภาชนะที่แห้งและปิดให้แน่น

## 2.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับออร์โทฟอสเฟตด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่และ $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่เผา

2.3.1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โทฟอสเฟต

เตรียมน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของออร์โทฟอสเฟตเท่ากับ 100 mg/l ปริมาตร 200 ml ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 ml แล้วแปรเปลี่ยน  $\text{CaCO}_3$  จาก

เปลือกไข่ 0.5, 1.0, 2.0 และ 5.0 g ตีความที่ความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 330 นาที แล้วเก็บน้ำตัวอย่างสังเคราะห์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณออร์โทฟอสเฟตที่เหลือทุกๆ ช่วงเวลา 5 นาที ภายใน 60 นาที และ ทุกๆ ช่วงเวลา 30 นาที ในช่วงนาทีที่ 60-330

ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนตัวดูดซับจาก  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่เป็น  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ที่ผ่านการเผา โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณเป็น 0.02, 0.05, 0.1 และ 0.5 g เป็นเวลา 60 นาที แล้วเก็บน้ำตัวอย่างสังเคราะห์เพื่อการวิเคราะห์ปริมาณออร์โทฟอสเฟตที่เหลือทุกๆ ช่วงเวลา 5 นาที ภายในระยะเวลา 60 นาที

2.3.2 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โทฟอสเฟต

ศึกษาระยะเวลาที่มีผลต่อการดูดซับ โดยใช้เวลาการดูดซับทั้งหมด 300 นาที เก็บสารละลายตัวอย่างหลังการดูดซับทุกๆ ช่วงเวลา 10 นาที ภายในระยะเวลา 60 นาที และทุกๆ ช่วงเวลา 30 นาที หลังจากนาทีที่ 60-300 โดยศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของออร์โทฟอสเฟต 3 ค่า คือ 100, 200 และ 300 mg/l ใช้ปริมาณตัวดูดซับ  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ที่เหมาะสมจากการทดลอง 2.3.1

ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนตัวดูดซับจาก  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่เป็น  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่เผา โดยใช้ปริมาณเปลือกไข่เผา จากข้อ 2.3.1

2.3.3 ศึกษาอิทธิพลของ pH เริ่มต้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โทฟอสเฟต

ศึกษาค่า pH เริ่มต้น โดยแปรเปลี่ยนค่า pH 1, 4, 7, 9 และ 11 ของน้ำเสียสังเคราะห์ และเปลี่ยนความเข้มข้นของออร์โทฟอสเฟต 3 ค่า คือ 100, 200 และ 300 mg/l โดยใช้ปริมาณเปลือกไข่และระยะเวลาจากสภาวะที่ดีที่สุดจากข้อ 2.3.1 และ 2.3.2

ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนตัวดูดซับจาก  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่เป็น  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่เผา โดยใช้ปริมาณเปลือกไข่เผา และระยะเวลาจากสภาวะที่ดีที่สุดจากข้อ 2.3.1 และ 2.3.2

## 2.4 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วย $\text{CaCO}_3$ และ $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่

ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่เตรียมจาก  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ด้วยการเลือกปัจจัยการดูดซับที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองข้อ 2.3 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟต 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 mg/l ปริมาตร 200 ml ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 ml ตีกวนด้วยความเร็วรอบ 200 rpm วิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลือในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์เพื่อหาไอโซเทอร์มของการดูดซับว่ามีความสอดคล้องกับสมการฟรุนดิชไอโซเทอร์ม (สมการที่ 1) หรือสมการแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม (สมการที่ 2) โดยในงานวิจัยนี้ นำผลการทดลองการดูดซับที่สมดุลที่อุณหภูมิคงที่ที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการอธิบายการดูดซับตามแบบจำลองทั้งสอง โดยแปลงสมการที่ (1) และ (2) เป็นสมการเชิงเส้น (Linear Equation) ดังสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ [6]

$$q = K_F C^{1/n} \quad (1)$$

$$q = \frac{q_m K_L C}{1 + K_L C} \quad (2)$$

$$\log q = \log K_F + \frac{1}{n} \log C \quad (3)$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m K_L} \left( \frac{1}{C} \right) + \frac{1}{q_m} \quad (4)$$

$q$  = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ

$q_m$  = ปริมาณตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับได้มากที่สุดบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลตัวดูดซับ (mg/g)

$K_L$  = ค่าคงที่ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงเมียร์

$C$  = ความเข้มข้นของตัวดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย

$K_F$  = ค่าคงที่ไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบฟรุนดิช

$1/n$  = ค่า Adsorption Intensity

สมการของฟรุนดิชจะเป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\log q$  กับ  $\log C$  สามารถหาค่าคงที่ของฟรุนดิชซึ่งแสดงปริมาณการดูดซับออร์โธฟอสเฟตของ  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่เผา ( $K_F$ ) และค่า Adsorption Intensity ( $1/n$ ) ได้จากค่าจุดตัดแกน  $y$  และค่าความชันของกราฟ ส่วนสมการแลงเมียร์จะเป็นการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $1/q$  กับ  $1/C$  สามารถคำนวณหาค่าปริมาณการดูดซับออร์โธฟอสเฟตสูงสุดของ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่เผา ( $q_m$ ) และค่า  $K_L$  ซึ่งเป็นค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างอัตราการดูดซับต่ออัตราการคายการดูดซับได้จากค่าจุดตัดแกน  $y$  และค่าความชันของกราฟ

การศึกษาพฤติกรรมการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วย  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่เผาทำการทดลองเช่นเดียวกับข้างต้นโดยเลือกปัจจัยการดูดซับที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองข้อ 2.3

## 2.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้ $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ และ $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่เผา

ศึกษาความสามารถในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียปนเปื้อนออร์โธฟอสเฟตจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ และ  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่เผาเป็นตัวดูดซับ โดยเลือกปัจจัยการดูดซับที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองข้อ 2.3

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 3.1 การทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ (Validation of Method)

จากการทดสอบความเป็นเส้นตรง ได้ศึกษาความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตในช่วง 0.2–1.0 mg/l วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 890 nm นำผลการวิเคราะห์มาสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แสดงดังรูปที่ 1

สมการถดถอย  $y = 0.7016x - 0.0004$   
 ค่าความชัน (Slope) = 0.7016  
 ค่าจุดตัด (Intercept) = -0.0004  
 Correlation Coefficient (r) = 1.0000  
 R Square = 0.9999  
 $S_{y/x} = 0.002746$   
 ค่าต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (LOD) = 0.0117 mg/l  
 ค่าขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) = 0.0391 mg/l

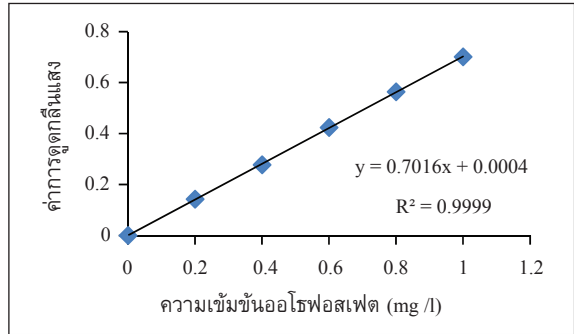
การทดสอบความแม่นยำและความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างผ่านการดูดซับด้วยเปลือกไข่ แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์มีความแม่นยำและความเที่ยงสูงร้อยละการกลับคืนมีค่าเฉลี่ย  $102.85 \pm 0.78\%$  และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการหาปริมาณออร์โธฟอสเฟตด้วยวิธีการกรดแอสคอร์บิกจึงมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

**ตารางที่ 1** ผลการทดสอบค่าความแม่นยำและความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟต

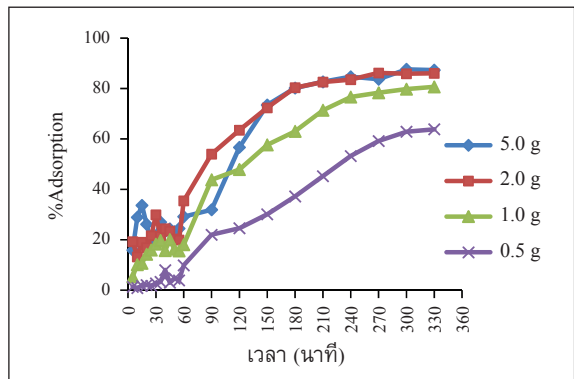
การทำซ้ำ	ความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟต (mg/l)		
	0.2	0.4	0.6
1	0.210	0.416	0.623
2	0.209	0.409	0.666
3	0.201	0.412	0.601
4	0.200	0.404	0.619
5	0.209	0.410	0.616
6	0.197	0.397	0.611
7	0.210	0.407	0.607
ค่าเฉลี่ย	0.205	0.408	0.620
SD	0.006	0.006	0.021
% RSD	2.72	1.49	3.45
% Recovery	103.19	101.96	103.41

### 3.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วย $\text{CaCO}_3$ จากเปลือกไข่ และ $\text{CaO}$ จากเปลือกไข่แดง

3.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โธฟอสเฟต



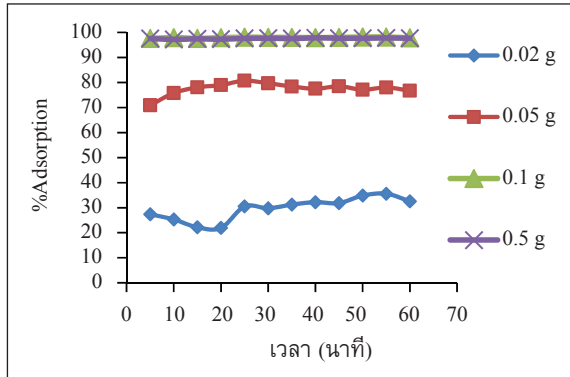
**รูปที่ 1** มาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตกับค่าการดูดกลืนแสง



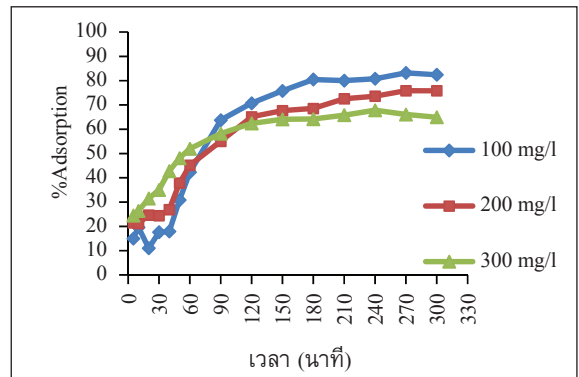
**รูปที่ 2** ร้อยละการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ที่ปริมาณต่างๆ

ผลการศึกษาการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ด้วยตัวดูดซับ  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าแนวโน้มของการดูดซับไม่คงที่ในช่วง 0-60 นาที หลังจากนั้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ร้อยละในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตเพิ่มขึ้นในทุกๆ ปริมาณตัวดูดซับ การใช้ตัวดูดซับในปริมาณ 2.0 และ 5.0 กรัม ส่งผลให้เกิดการดูดซับออร์โธฟอสเฟตได้สูงสุดในช่วงเวลา 180-330 นาที โดยมีความสามารถในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมากขึ้นพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจึงมีจำนวนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ตัวดูดซับสามารถดูดซับออร์โธฟอสเฟตได้มากขึ้น





**รูปที่ 3** ร้อยละการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ด้วย CaO จากเปลือกไข่เผาะที่ปริมาณต่างๆ



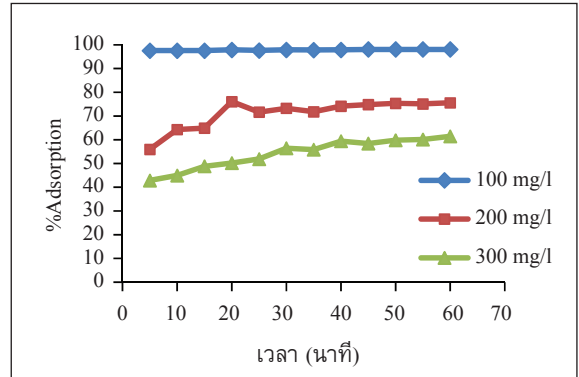
**รูปที่ 4** ร้อยละการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ด้วย CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่ 2.0 g

ผลการทดลองการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ด้วย CaO จากเปลือกไข่เผาะแสดงดังรูปที่ 3 พบว่าตัวดูดซับในปริมาณ 0.1 และ 0.5 g ส่งผลให้ร้อยละการดูดซับออร์โทฟอสเฟตมีค่าสูงที่สุด และค่อนข้างคงที่ในทุกช่วงเวลาตั้งแต่ 5-60 นาที โดยความสามารถในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในช่วงเวลาต่างๆ มีค่ามากกว่าร้อยละ 97

### 3.2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการดูดซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โทฟอสเฟต

จากรูปที่ 4 เมื่อใช้ระยะเวลาในการดูดซับนานขึ้นส่งผลให้ร้อยละการดูดซับออร์โทฟอสเฟตด้วย CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่เพิ่มสูงขึ้น และการดูดซับออร์โทฟอสเฟตจะเริ่มคงที่เมื่อการดูดซับผ่านไป 180 นาที โดยการใช้ตัวอย่างสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของออร์โทฟอสเฟตเริ่มต้น 100, 200 และ 300 mg/l ในช่วงเวลาการดูดซับ 180-300 นาที ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตสูงเฉลี่ยร้อยละ 80, 70 และ 60 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่มีเวลาเข้าสู่สมดุลของการดูดซับอยู่ที่ 3 ชั่วโมง

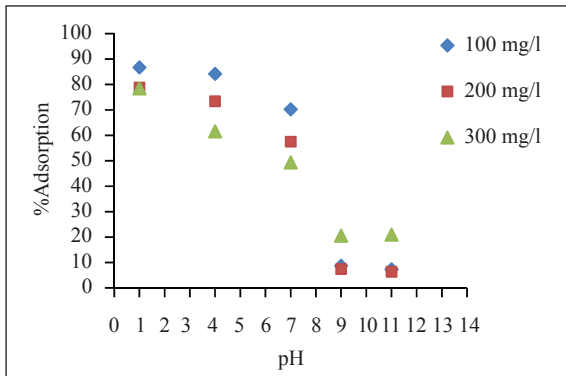
จากรูปที่ 5 การดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ด้วย CaO จากเปลือกไข่เผาะ ระยะเวลาในการดูดซับไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับเมื่อความเข้มข้นของออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างเท่ากับ 100 mg/l



**รูปที่ 5** ร้อยละการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ด้วย CaO จากเปลือกไข่เผาะ 0.1 g

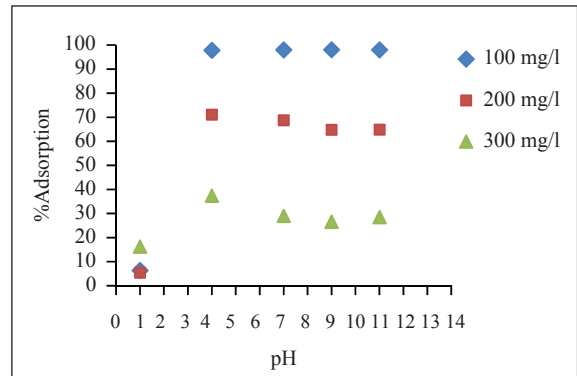
โดยความสามารถในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างมีค่าสูงกว่าร้อยละ 98 เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลให้การดูดซับเริ่มคงที่เมื่อการดูดซับผ่านไป 30 นาที ซึ่งในนาทีที่ 30-60 ความสามารถในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 200 และ 300 mg/l มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 74 และ 58 ตามลำดับ จึงเลือกใช้เวลาการดูดซับ 30 นาทีเป็นเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับ

### 3.2.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของ pH เริ่มต้นของน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โทฟอสเฟต



รูปที่ 6 ร้อยละการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่ pH ต่างๆ ด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่

จากรูปที่ 6 พบว่า pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ด้วย  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่คือ pH ที่ 1 และ 4 ซึ่งในการทดลองเมื่อใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ 2.0 g ระยะเวลาการดูดซับ 3 ชั่วโมงความสามารถในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของออร์โทฟอสเฟต 100 mg/l มีค่าร้อยละ 86.28 และ 85.30 เมื่อปรับ pH เริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 และ 4 ตามลำดับ แต่เมื่อ pH ในสารละลายสูงขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละการดูดซับออร์โทฟอสเฟตลดลง เนื่องจากการปรับ pH ของสารละลายให้เป็นกรด (pH ต่ำ) ส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) บนพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มาก นั่นคือตัวดูดซับสามารถดูดซับออร์โทฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ได้มากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้บริเวณเยื่อเปลือกไข่มีหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิล ( $-\text{COOH}$ ) หมู่อะมีน ( $\text{NH}_2$ ) และหมู่ซัลโฟเนต ( $\text{SO}_3^-$ ) [7] ซึ่งจะเป็นประจุลบในสารละลาย จึงผลักกับประจุลบของฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) แต่เมื่ออยู่ในสารละลายกรด หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จะไปจับกับไฮโดรเนียมไอออนในสารละลาย ทำให้ผิวของวัสดุดูดซับมีประจุบวกจับกับฟอสเฟตไอออนได้มาก และเมื่อสารละลายมี pH เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) บนพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับ



รูปที่ 7 ร้อยละการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่ pH ต่างๆ ด้วย CaO จากเปลือกไข่เผา

ออร์โทฟอสเฟตซึ่งเป็นประจุลบลดลง

จากรูปที่ 7 พบว่า pH ที่เหมาะสมต่อการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ด้วย CaO จากเปลือกไข่เผาคือ pH อยู่ในช่วง 4–11 ซึ่งในการทดลองเมื่อใช้ CaO จากเปลือกไข่เผา 0.1 g ระยะเวลาในการดูดซับ 30 นาที ความสามารถในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของออร์โทฟอสเฟต 100 mg/l มีค่าร้อยละ 97.34–97.59 ส่วนที่ pH เริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 ส่งผลให้เกิดการละลายของตัวดูดซับ จึงส่งผลให้ร้อยละการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำตัวอย่างลดลง นอกจากนี้จะเห็นว่า pH เริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 และ 4 เกิดความแตกต่างในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตมาก เนื่องจากเมื่อเติมตัวดูดซับคือ CaO จากเปลือกไข่เผาลงในสารละลายที่มี pH เริ่มต้นเท่ากับ 4 หลังจากกระบวนการดูดซับพบว่า pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น (มากกว่า 7) ในขณะที่ pH เริ่มต้นเท่ากับ 1 หลังจากกระบวนการดูดซับ พบว่า pH ของสารละลายต่ำกว่า 7 นั่นคือสารละลายยังอยู่ในสภาวะกรด ในขณะที่ pH 4, 7, 9 และ 11 หลังจากกระบวนการดูดซับ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้นอยู่ในสภาวะกลางและเบส ส่งผลให้พื้นผิวของตัวดูดซับมีประจุที่พื้นผิวเป็นบวก ส่งผลให้ค่าศักย์ซีตา (Zeta Potential) มีค่าเป็นบวกมาก [8] จึงดูดซับกับสารละลายออร์โทฟอสเฟตซึ่งมีประจุเป็นลบได้ดี ส่งผลให้ร้อยละ



ในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตมีค่าสูง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Ennil Kose และ Kivanc [8]

### 3.3 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วย CaCO<sub>3</sub> และ CaO จากเปลือกไข่

จากการศึกษา Adsorption Isotherm ของการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วย CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่ 2.0 g ระยะเวลาในการดูดซับ 3 ชั่วโมง และ pH เริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 และ CaO จากเปลือกไข่เผา 0.1 g ระยะเวลาในการดูดซับ 30 นาที และ pH เริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 7 แสดงข้อมูลค่าคงที่และความถูกต้องของข้อมูล (R<sup>2</sup>) ดังตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วย CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่มีความสอดคล้องกับสมการฟรุนดิชมากกว่าสมการแลงเมียร์

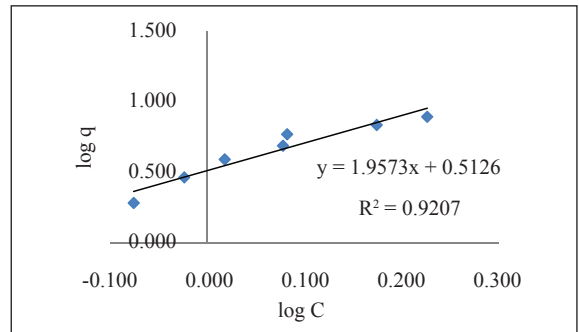
**ตารางที่ 2** ข้อมูลค่าคงที่และความถูกต้องของข้อมูลจากสมการแลงเมียร์และฟรุนดิช ในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วย CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่และ CaO จากเปลือกไข่เผา

	Adsorbent	CaCO <sub>3</sub> จากเปลือกไข่	CaO จากเปลือกไข่เผา
Langmuir Adsorption Isotherm	$q_m$ (mg/g)	*	333.33
	$K_L$ (mg/g)	*	1.67
	$R^2$	0.8765	0.9456
Freundlich Adsorption Isotherm	$K_F$ ((mg/g)(L/mg) <sup>1/n</sup> )	3.2544	167.72
	$\frac{1}{n}$	1.9573	0.2067
	$R^2$	0.9207	0.8333

\* ค่า  $q_m$  และ ค่า  $K_L$  มีค่าติดลบแสดงว่าแบบจำลองแบบแลงเมียร์ไม่เป็นจริงในกรณีนี้

จากผลการทดลองสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ตามสมการฟรุนดิชได้ดังรูปที่ 8

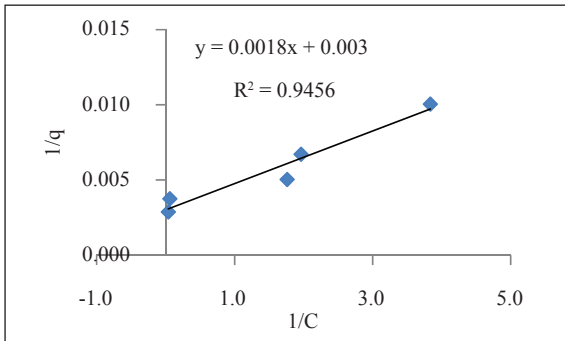
จากค่า  $K_F$  และ  $1/n$  สามารถอธิบายความสามารถในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตของ CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่



**รูปที่ 8** ฟรุนดิชไอโซเทอร์มของการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วย CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่

ซึ่งพบว่าค่าของความชัน  $1/n$  มีค่ามากกว่า 1 และค่า  $K_F$  ของการดูดซับมีค่าสูงแสดงให้เห็นว่าปริมาณตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้ได้มากบนพื้นผิวตัวดูดซับ ซึ่งนิพจน์ [6] อธิบายความชันไว้ 3 แนวทางคือ  $1/n = 1$  อธิบายถึงไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบเส้นตรง ค่า  $1/n > 1$  อธิบายถึงบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับที่มีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับ และ  $1/n < 1$  อธิบายถึงปริมาณพื้นผิวบนตัวดูดซับที่มีปริมาณจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับ ทั้งนี้สรุปได้ว่า CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่สามารถดูดซับออร์โธฟอสเฟตได้และพฤติกรรมของการดูดซับเป็นลักษณะการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับออร์โธฟอสเฟตสามารถเกิดได้บนพื้นผิวของ CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่ได้หลายชั้นซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ใช้เปลือกไข่เป็นตัวดูดซับ [9], [10]

ส่วนการดูดซับด้วย CaO จากเปลือกไข่เผามีความสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์มากกว่าสมการฟรุนดิช แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 9 เนื่องจากพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (Monogeneous Adsorption Surface) มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีที่เคลื่อนที่ หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ [6]



รูปที่ 9 แล่งเมียร์ไอโซเทอร์มของการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วย CaO จากเปลือกไข่เผา

### 3.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้ CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่ และ CaO จากเปลือกไข่เผา

จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้รับการอนุเคราะห์น้ำเสียจากการล้างภาชนะในส่วนของโรงงานผลิตขนมปัง บริษัท จังเจริญขนมปัง-ลูกกวาด จำกัด และน้ำเสียจากกระบวนการผลิต บริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด พบว่าการใช้ CaO จากเปลือกไข่เผาปริมาณ 0.1 g เป็นตัวดูดซับ ระยะเวลาในการดูดซับ 30 นาที สามารถกำจัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสองแหล่งโดย

ไม่ต้องมีการปรับ pH เริ่มต้น โดย pH เริ่มต้นของน้ำเสียทั้งสองแหล่งมีค่าเท่ากับ 7.34 (บริษัท จังเจริญขนมปัง-ลูกกวาด จำกัด) และ 7.02 (บริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด) ซึ่งความสามารถในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 99 ส่วนการใช้ CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่ปริมาณ 5.0 g เป็นตัวดูดซับโดยใช้ระยะเวลาในการดูดซับ 3 ชั่วโมง พบว่ามีความสามารถในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตเพียงร้อยละ 23-31 แต่เมื่อปรับ pH เริ่มต้นของน้ำเสียจากทั้งสองแหล่งให้อยู่ในสภาวะกรดคือ pH เท่ากับ 1.16 และ 4.18 เพื่อให้สอดคล้องกับผลการทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วยเปลือกไข่โดยการใช้ น้ำตัวอย่างสังเคราะห์ ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำเสียจะมีค่ามากเมื่อน้ำเสียในแต่ละแหล่งมี pH เท่ากับ 1.16 เนื่องจากก่อนและหลังจากกระบวนการดูดซับน้ำเสียยังคงมี pH อยู่ในสภาวะกรดดังเดิม แต่เมื่อปรับ pH เริ่มต้นเท่ากับ 4.18 ภายหลังจากกระบวนการดูดซับ pH ของสารละลายได้เพิ่มสูงขึ้นทำให้สารละลายอยู่ในสภาวะที่เป็นกลางส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการหา pH ที่เหมาะสมในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วย CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่โดยการใช้ น้ำตัวอย่างสังเคราะห์

ตารางที่ 3 ข้อมูลการดูดซับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม 200 ml ด้วย CaO จากเปลือกไข่ และ CaCO<sub>3</sub> จากเปลือกไข่เผา

ปริมาณตัวดูดซับ	pH เริ่มต้นของน้ำเสีย	แหล่งน้ำเสีย	ปริมาณฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/l)	% Adsorption
CaO จากเปลือกไข่เผา 0.1 g	7.34	น้ำเสียจากการล้างภาชนะ (บริษัท จังเจริญขนมปัง-ลูกกวาด จำกัด)	28.26	99.94±0.03
	7.02	น้ำเสียจากกระบวนการผลิต (บริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด)	30.20	99.10±0.03
CaCO <sub>3</sub> จากเปลือกไข่ 5.0 g	1.16	น้ำเสียจากการล้างภาชนะ (บริษัท จังเจริญขนมปัง-ลูกกวาด จำกัด)	28.26	73.73±3.42
		น้ำเสียจากกระบวนการผลิต (บริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด)	30.20	93.41±2.10
	4.18	น้ำเสียจากการล้างภาชนะ (บริษัท จังเจริญขนมปัง-ลูกกวาด จำกัด)	28.26	29.14±1.88
		น้ำเสียจากกระบวนการผลิต (บริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด)	30.20	41.92±1.98

หมายเหตุ: %Adsorption เท่ากับ  $\bar{X} + SD, n = 3$



#### 4. สรุป

จากการทดสอบความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในรูปของออร์โทฟอสเฟตด้วยวิธีการดูดแอสคอร์บิก โดยศึกษาที่ความยาวคลื่น 890 nm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของวิธีนี้มีค่าเท่ากับ 0.9996 มีความสามารถตรวจวิเคราะห์สารได้แม้มีค่าความเข้มข้นต่ำ (LOD=0.0267) ร้อยละการกลับคืนเฉลี่ยเท่ากับ 102.85±0.78 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่เกิน 5% ดังนั้นวิธีวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสในรูปของออร์โทฟอสเฟตด้วยวิธีการดูดแอสคอร์บิกมีความน่าเชื่อถือเพราะมีความแม่นยำและความเที่ยงสูง

ในการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการดูดซับออร์โทฟอสเฟต พบว่าเมื่อใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ 2.0 g เป็นตัวดูดซับออร์โทฟอสเฟตเข้มข้น 100 mg/l ใช้เวลาในการดูดซับ 180 นาที พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 1 ประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 80 ส่วนการใช้  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่เผาเป็นตัวดูดซับ พบว่าใช้เวลาในการดูดซับ 30 นาที พีเอชอยู่ในช่วง 4–11 ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 97 การศึกษาไอโซเทอร์มของตัวดูดซับ  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ไก่ พบว่ามีความสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรอนดิชได้ดีกว่าแลงเมียร์ แสดงให้เห็นว่าลักษณะการดูดซับดังกล่าวเป็นแบบหลายชั้นหรือเป็นการดูดซับทางกายภาพมากกว่าทางเคมี ส่วนการใช้  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่ไก่เผาสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ได้ดีกว่าฟรอนดิช โดยพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด ตัวถูกดูดซับจะเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับในการศึกษาความสามารถในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก พบว่า  $\text{CaO}$  จากเปลือกไข่เผาปริมาณ 0.1 g ระยะเวลาในการดูดซับ 30 นาที สามารถกำจัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสองแหล่งโดยไม่ต้องมีการปรับ pH เริ่มต้นของสารละลาย ซึ่ง pH เริ่มต้นของน้ำเสียทั้งสองแหล่งมีค่าเท่ากับ 7.34 (โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร) และ 7.02 (โรงงานอุตสาหกรรม

ผลิตเหล็ก) โดยความสามารถในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตมากกว่าร้อยละ 99 ส่วนการใช้  $\text{CaCO}_3$  จากเปลือกไข่ 2.0 g เป็นตัวดูดซับระยะเวลาในการดูดซับ 3 ชั่วโมง พบว่าความสามารถในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตจากน้ำเสียทั้งสองแหล่งมากกว่าร้อยละ 73.73 และ 93.41 แต่ต้องปรับ pH เริ่มต้นของน้ำเสียจากทั้งสองแหล่งให้อยู่ในสภาวะกรดคือ pH เท่ากับ 1.16 เพื่อให้สอดคล้องกับผลการทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับออร์โทฟอสเฟตด้วยเปลือกไข่โดยการใช้หน้าตัวอย่างสังเคราะห์

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยของมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตปี 2556 ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงงานผลิตขนมปัง บริษัท จังเจริญขนมปัง-ลูกกวาด จำกัด และ บริษัท กรุงเทพผลิตเหล็ก จำกัด ที่ให้การอนุเคราะห์น้ำเสียจากการล้างภาชนะและน้ำเสียจากกระบวนการผลิตของขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัย

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Panswad, *Biological Nitrogen and Phosphorus Removal*, 1st ed. Bangkok: Environmental Engineering Association of Thailand, 2001 (in Thai).
- [2] KZ. Elwakeel and AM. Yousif, "Adsorption of malathion on thermally treated eggshell material," in *Proceedings Fourteenth International Water Technology Conference 14*, 2010, pp. 53–65.
- [3] G. D. Christian, *Analytical Chemistry*, 6th ed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [4] S. E. Ghazy, A. A. El-Asmy, and A. M. El-Nokrashy, "Batch removal of nickel by eggshell as a low cost sorbent," *International Journal of Industrial Chemistry*, vol. 2, no. 4, pp. 242–252, 2011.



- [5] W. Sutapun, "Preparation of chicken eggshell-polymer composites," Research Report, Suranaree University of Technology, 2011 (in Thai).
- [6] N. Tungkananuruk and K. Tungkananuruk, *Principle of Chemical Water Quality Analysis*, 2nd ed. Bangkok: Kasetsart University Press, 2012 (in Thai).
- [7] Y. Polamesanapom. "Development of an adsorbing material from egg shell for the removal of cadmium," M.S. thesis, Department of Natural Resource Management, Faculty of Bioresources and Technology King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2001 (in Thai).
- [8] T. Ennil Kose and B. Kivanc, "Adsorption of phosphate from aqueous solution using calcined waste eggshell" *Chemical Engineering Journal*, vol. 178, pp. 34-39, 2011.
- [9] N. A. B. Rohaizar, N. B. A. Hadi, and W. C. Sien, "Removal of Cu(II) from water by adsorption on chicken eggshell," *International Journal of Engineering & Technology*, vol.13, no 1, pp. 40-45, 2012.
- [10] C. Arunlertaree, W. Kaewsomboon, A. Kumsopa, P. Pokethitiyook, and P. Panyawathanakit, "Removal of lead from battery manufacturing wastewater by egg shell" *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, vol. 29, no. 3, pp. 857-868, 2007.