



## การปรับปรุงตัวดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา Improvement of Adsorbent from Water Supply Sludge System for Phosphate Adsorption

สุภาวดี น้อยน้ำใส<sup>1\*</sup> และ สมสกุล รัตนกฤษร<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

\*Corresponding author E-mail: supawadeebum@hotmail.co.th, supawadeebumnoinumsai@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพตัวดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียด้วยตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปา โดยใช้ตัวดูดซับที่ศึกษาทำมาจากตะกอนดินโรงผลิตน้ำประปา และปรับปรุงโดยการกระตุ้นด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ที่ความเข้มข้นต่างกันดังนี้ 0.1, 0.5, 1, 2 และ 5 M ผลการศึกษาระยะเวลาสมดุลของการดูดซับ พบว่า ตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยกรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) มีระยะเวลาที่ 16 ชั่วโมง ส่วนตัวดูดซับที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยกรด มีระยะเวลาสมดุลที่ 24 ชั่วโมง ร้อยละการกำจัดฟอสเฟตของตัวดูดซับ พบว่า ตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยกรดสามารถกำจัดฟอสเฟตได้ดีกว่าตัวดูดซับที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยกรด มีค่าร้อยละการกำจัด เท่ากับ 68.77 และ 50.10 ตามลำดับ ผลการศึกษา Adsorption Isotherm ของตัวดูดซับที่มีการกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก และตัวดูดซับที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยกรด พบว่า Freundlich Isotherm มีค่า  $R^2$  ใกล้เคียงกับ Langmuir Isotherm ส่วน  $R^2$  จากแบบจำลองของฟรอนลิคของตัวดูดซับที่กระตุ้นกรด และไม่กระตุ้นกรด เท่ากับ 0.9639 และ 0.9613 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่า Sorption capacity ( $K_f$ ) ของตัวดูดซับที่กระตุ้นและไม่กระตุ้นด้วยกรด พบว่า มีค่า  $K_f$  เท่ากับ 0.125 และ 0.118 L/g ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากตัวดูดซับที่มีการกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก มีประจุบวกของไฮโดรเจนไอออน จึงมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนกับประจุลบของโมเลกุลฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

### ABSTRACT

This research has a purpose to study the adsorption efficiency of phosphate in wastewater with sludge from water supply system by activating sludge with hydrochloric acid

(HCl) and acetic acid ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) at concentration of 0.1, 0.5, 1, 2 and 5 M, respectively. and compared to uncoated adsorbent. Results showed that the equilibrium times for adsorption of both coated adsorbents and uncoated adsorbents was 16 and 24 hours, respectively. The phosphate removal efficiencies of coated and uncoated adsorbents were 68.77% and 50.10% respectively. The adsorption isotherms could be well explained by Langmuir and Freundlich models. According to the correlation coefficient ( $R^2$ ) from Freundlich models of coated and uncoated adsorbents were 0.9639 and 0.9613, respectively. The Freundlich sorption isotherm constants ( $K_f$ ) of the adsorbent with coated and uncoated with acetic acid were 0.125 and 0.118 L/g, respectively. It can be concluded that adsorbent coated with acetic acid can adsorb phosphate higher than uncoated adsorbent because the hydrogen ion of acetic acid that has a positive charge to attach a negative charge of phosphate molecules.

**คำสำคัญ:** ตะกอนผลิตน้ำประปา การดูดซับ ฟอสเฟต

**Keywords:** Water Supply Sludge, Adsorption, Phosphate

## 1. บทนำ

ทรัพยากรน้ำ จัดว่าเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อระบบนิเวศ และมนุษย์มีการใช้น้ำในการเกษตร อุตสาหกรรม ตลอดจนมักมีการปนเปื้อนธาตุอาหารฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูง จึงทำให้แหล่งน้ำเสีย เสื่อมโทรม (วีระ, 2547) ปัญหาเหล่านี้มีปริมาณแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี หากถูกปล่อยแหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัด จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ Eutrophication ซึ่งมีผลทำให้ระบบนิเวศน์เสียสมดุล (Pearl and Huisman, 2008) ถึงแม้ว่าวิธีการกำจัดฟอสเฟตสามารถบำบัดได้หลายวิธี (Jie et al., 2015) แต่สำหรับวิธีการดูดซับเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ได้รับความนิยม เพราะทำได้ง่าย เงินลงทุนน้อย และใช้สถานที่จำกัด

ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาเทศบาลเมืองอุดรดิษฐ์ที่ปล่อยทิ้งในแต่ละวัน มีเป็นจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบหลัก คือ อลูมินา และแคลเซียม ด้วยองค์ประกอบเหล่านี้จึงมี

ความเป็นไปได้ในการนำมาขึ้นรูปเป็นเม็ด และกระตุ้นด้วยกรด ไฮโดรคลอริกและกรดอะซิติกเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว ความพรุน ขนาดของรูพรุน และค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Liu et al., 2007) จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาได้นำวัสดุต่างๆ มาทดสอบเป็นตัวดูดซับ ได้แก่ ถ้ำลอย และวัสดุเหลือทิ้งทางธรรมชาติเพื่อผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ แต่เนื่องจากมีราคาแพง ปัจจุบันจึงได้ศึกษาพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพตัวดูดซับด้วยการเคลือบด้วยโคโตซานและการกระตุ้นด้วยกรดเพื่อกำจัดฟลูออไรด์ (ศรีวิไล และคณะ, 2551) และการพัฒนาตัวดูดซับในด้านเกษตรกรรม เช่น การใช้เป็นปุ๋ยละลาย เพื่อทดแทนวิธีการผลิตปุ๋ยละลายช้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมีต้นทุนที่ค่อนข้างสูง (ภัทรวรรณ และภัทรา, 2549)

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวดูดซับจากตะกอนดินเพื่อกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียเพื่อลดปริมาณของเสียเหลือทิ้ง และลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

## 2. วิธีการดำเนินการวิจัย

### 2.1 การเตรียมตัวดูดซับ

ตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลองวิจัยนี้ คือ ตะกอนดินและตะกอนที่ปรับปรุงพื้นผิว โดยนำตะกอนดินจากระบบผลิตน้ำประปาเทศบาลเมืองอุดรดิตถ์ ตากให้แห้ง (รูปที่ 1) แล้วบดละเอียด จากนั้นนำมาร้อนผ่านตะแกรงร่อนดิน เบอร์ 30 และนำตะกอนดินผสมกับน้ำ (ค่า pH เท่ากับ 7) โดยให้ความชื้นประมาณร้อยละ 30 อัดขึ้นรูปแล้วตัดให้มีขนาดยาว 0.5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปเผาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (รูปที่ 2) และนำไปอบที่อุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นและทดสอบการละลายและความพรุนของตัวดูดซับ จากนั้นเก็บไว้ในโถดูดความชื้น เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป



รูปที่ 1 ตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาเทศบาลเมืองอุดรดิตถ์



รูปที่ 2 การขึ้นรูปตะกอนโรงผลิตน้ำประปา (หลังเผา)

### 2.2 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตสังเคราะห์สำหรับใช้ในงานวิจัย

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการศึกษาคือ สารละลายฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเตรียมจากสารละลายฟอสเฟต Anhydrous  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

### 2.3 การปรับปรุงตัวดูดซับด้วยการกระตุ้นด้วยกรด

นำตัวดูดซับที่ได้มาผสมกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และสารละลายกรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ที่ความเข้มข้นต่างๆ 0.1, 0.5, 2, และ 5 M ในอัตราส่วนกรดต่อตะกอนดินเท่ากับ 10 มล. : 1 กรัม ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยตุ๋บที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายหลังการกระตุ้น กรองตะกอนดินที่ผ่านการกระตุ้น ล้างด้วยน้ำกลั่นจนได้ pH มีค่าอยู่ในช่วง 6-7 แล้วอบที่ 105°C นาน 24 ชั่วโมง (กาญจนา และคณะ, 2549)

### 2.4 การศึกษาหาระยะเวลาสมดุลของการดูดซับ (Equilibration time)

การศึกษาระยะเวลาสมดุลของการดูดซับฟอสเฟต ทำโดยชั่งตัวดูดซับที่กระตุ้นและไม่กระตุ้นหนัก ปริมาณ 1 กรัม ใส่ในขวดชมพูปริมาตร 250 มิลลิลิตร เติมน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ฟอสเฟต ความเข้มข้น 5-10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่า 100 รอบต่อนาที ที่ 30°C จนถึงสภาวะสมดุลที่ทำได้ และนำมาแยกสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 จากนั้นหาค่าปริมาณความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตที่อยู่ในแต่ละขวด ( $C_e$ ) โดยแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาไอโซเทอม ได้แก่ Langmuir Isotherm (สมการที่ 1) และ Freundlich Isotherm (สมการที่ 2)

$$\text{Langmuir Isotherm: } q = \frac{K_L Q^o C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

- เมื่อ  $q$  คือ ปริมาณที่ถูกดูดซับ (mg/g)  
 $Q^o$  คือ ปริมาณสูงสุดของสารที่ถูกดูดซับบน  
 สารดูดซับ (mg/g)  
 $K_L$  คือ ค่าคงที่ในการกระจายตัวในการ  
 ดูดซับ (L/mg) และ  
 $C_e$  คือ ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ  
 เมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล (mg/L)

$$\text{Freundlich Isotherm: } q = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

- เมื่อ  $K_f$  คือ ค่าคงที่ของฟรอนดลิชที่สัมพันธ์กับ  
 ความสามารถในการดูดซับ (L/g)  
 $C_e$  คือ ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ  
 เมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล (mg/L)  
 และ  $1/n$  และ  $n$  คือ ค่าคงที่ของฟรอนดลิชที่อธิบาย  
 ถึงความเข้มข้นของการ  
 ดูดซับ (ไม่มีหน่วย)

## 2.5 การศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

การศึกษาไอโซเทอมของตัวดูดซับ ทำโดยใช้ ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม ต่อสารละลายฟอสเฟตที่ ความเข้มข้นในช่วง 0.1- 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30°C จนถึงระยะเวลาสมดุลของการดูดซับ จากนั้นนำสารละลายที่ผ่านการดูดซับกรองด้วย กระดาษกรองเบอร์ 5 และวิเคราะห์หาปริมาณของ สารละลายฟอสเฟตที่เหลือ

## 3. วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.1 การวิเคราะห์สมบัติของตัวดูดซับ ซึ่งการ ทดลองนี้ทำโดยศึกษาพื้นที่ผิวของการดูดซับ มาหาค่า ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนมาตรฐาน (standard iodine) บนพื้นที่ผิวของตะกอนดินที่ไม่ กระตุ้นและกระตุ้นด้วยกรด มาวิเคราะห์ปริมาณการดูด ซับด้วยวิธีการไทเทรตโดยใช้สารละลายมาตรฐาน โซเดียมไรโอซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) เป็นวิธีการทดสอบตาม มาตรฐานของ ASTM D4607-94 (ASTM Committee on Standards, 1998a)

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ในน้ำ (มันลิน, 2543) นำน้ำสังเคราะห์ที่ผ่านการกรอง แยกจากตัวดูดซับ มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid) โดยนำไปตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตรด้วยเครื่อง Spectrophotometer

## ผลการวิจัย

### 4.1 ผลการปรับปรุงประสิทธิภาพตัวดูดซับ

ผลการปรับปรุงประสิทธิภาพตัวดูดซับที่ทำ จากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา ที่มีการกระตุ้นด้วย กรดและไม่มีกระตุ้นด้วยกรด เพื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ จากการทดลองนำตัวดูดซับมากระตุ้นโดยที่ผสม กับกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{S}+\text{HCl}$ ) และกรดอะซิติก ( $\text{S}+\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ในความเข้มข้นที่ 0.1, 0.5, 1, 2 และ 5 M ต่อดินตะกอนเท่ากับปริมาตร 10 ml ของกรดต่อ กรัมของตัวดูดซับ (ศรีวิไล, 2551) การกระตุ้นด้วยกรด ไฮโดรคลอริก ซึ่งเป็นกรดแก่ทำให้ตัวดูดซับมีการแตก ออก ส่วนตัวดูดซับที่มีการกระตุ้นด้วยกรดอะซิติกที่ ความเข้มข้น 0.1 M และ 0.5 M ซึ่งเป็นกรดอ่อนนั้นจะ ทำให้ตัวดูดซับสามารถสรุปเป็นเม็ดได้ (รูปที่ 3) และ เมื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีการต่างๆ มาใช้ทดแทนตัว ดูดซับที่มีราคาแพง เช่น การปรับสภาพทางเคมีด้วย

กรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 0.1 M และ 0.5 M นั้น อาจส่งผลต่อพื้นที่ผิวของการดูดซับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) แต่จะทำให้เกิดการดูดซับฟอสเฟตสูงกว่า ตะกอนดินไม่กระตุ้น เช่นเดียวกับ Liu et al., (2007) ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพ red mud ที่กระตุ้นด้วยกรด HCl และ ยูติ และคณะ (2557) ได้ทำการปรับสภาพตัวดูดซับด้วยกรด  $H_2SO_4$  จะแสดงให้เห็นว่าการกระตุ้นด้วยกรดอาจส่งผลต่อพื้นที่ผิวและโครงสร้างขนาดรูพรุนของตัวดูดซับ โดยถ้าตัวดูดซับมีรูพรุนมากๆ มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับได้



รูปที่ 3 ลักษณะของวัสดุดูดซับ กระตุ้นกรดอะซิติก 0.1 M

จากนั้นทำการวิเคราะห์สมบัติของตัวดูดซับ ซึ่งจากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของการดูดซับค่าไอโอดีน นัมเบอร์ของตะกอนดินที่ไม่กระตุ้นและกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก 0.1 M และ 0.5 M เท่ากับ  $102.9 \pm 4.75^a$  และ  $105.1 \pm 10.10^a$  มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ไม่

เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อเทียบกับตัวดูดซับจากธรรมชาติที่ไม่ผ่านการกระตุ้นถือว่าตัวดูดซับที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าพอสสมควร โดยพบว่า กระดองปูและเปลือกหอย มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 35 และ 0.24 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับตัวดูดซับเชิงพาณิชย์ที่นิยมใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรม จะมีค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ทางการค้า มีค่า 617.17 มิลลิกรัมต่อกรัม (ASTM Committee on Standards, 1998a)

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 (ตารางที่ 1) ดังนั้นในการทดลองจึงเลือกตัวดูดซับที่ปรับปรุงด้วยการกระตุ้นกรดอะซิติก ที่ความเข้มข้น 0.1 M มาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตต่อไป

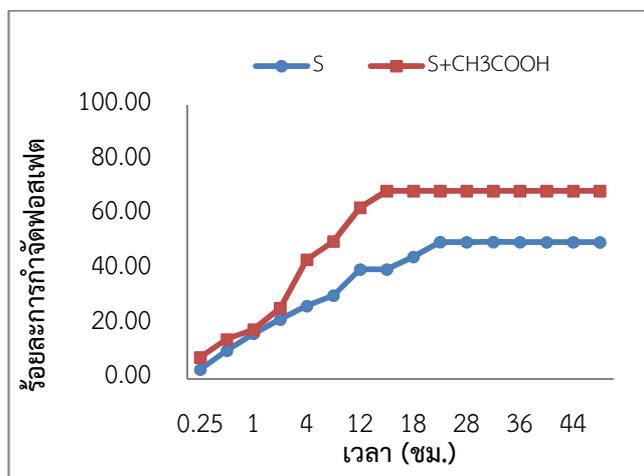
ตารางที่ 1 ค่าการดูดซับไอโอดีนของตะกอนดินที่ไม่กระตุ้นและกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก

ตัวดูดซับ	ค่าการดูดซับไอโอดีน ( $m^2/g$ )
ตะกอนดินไม่กระตุ้นด้วยกรด (S)	$55.8 \pm 2.10^b$
ตะกอนดินกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก 0.1M (S+0.1MCH <sub>3</sub> COOH)	$102.9 \pm 4.75^a$
ตะกอนดินกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก 0.5M (S+0.5MCH <sub>3</sub> COOH)	$105.1 \pm 10.10^a$

#### 4.2 ศึกษาระยะเวลาสมดุลของการดูดซับฟอสเฟต

ระยะเวลาสมดุลของการดูดซับฟอสเฟตโดยตัวดูดซับที่ไม่กระตุ้น และมีการกระตุ้นด้วยกรดอะซิติกพบว่าตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยกรดอะซิติก มีระยะเวลาสมดุลการดูดซับได้เร็วกว่าตัวดูดซับที่ไม่กระตุ้น มีระยะเวลาที่สมดุลเท่ากับ 16 ชั่วโมง ในส่วนของตัวดูดซับที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก มีระยะเวลาสมดุลเท่ากับ 24 ชั่วโมง (รูปที่ 4) จากการศึกษาระยะเวลาสมดุลของการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าระยะเวลาของการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียมีระยะเวลาเข้าสู่สมดุลที่ต่างกันโดยที่ตัวที่กระตุ้นด้วยกรดอะซิติก มีระยะเวลาเข้าสู่สมดุลเร็วกว่าตัวที่ไม่ได้มีการกระตุ้น เนื่องมาจากกรดอะซิติกเป็นกรดที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 และมีสมบัติทางเคมีซึ่ง  $H^+$  เป็นบวกจึงมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนกับฟอสเฟต ( $PO_4^{3-}$ ) ที่มีไอออนเป็นประจุลบได้ง่าย และพื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยกรดอาจส่งผลต่อพื้นที่ผิวทำให้

เกิดรูพรุนมากกว่า ตัวดูดซับที่ไม่กระตุ้นกรด จึงส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับฟอสเฟต ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นในช่วงแรก เนื่องจากเมื่อเวลาของการดูดซับเพิ่มขึ้นโอกาสที่โมเลกุลของ  $PO_4^{3-}$  ที่มีขนาดเล็กทำให้สามารถละลายน้ำได้ดี จึงสามารถเคลื่อนที่แพร่เข้าสู่รูพรุนของตัวดูดซับได้ง่ายและรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นร้อยละการดูดซับมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไม่มากทั้งนี้เพราะอัตราการดูดซับกับอัตราการคายออกมีค่าเท่ากันแสดงว่าเข้าสู่ภาวะสมดุล ซึ่งต่างจากระยะเวลาสมดุลของตัวดูดซับที่ไม่ได้มีการกระตุ้นด้วยกรดจะเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ช้า ตัวดูดซับที่ทำมาจากตะกอนระบบผลิตน้ำประปา ซึ่งในดินมีองค์ประกอบของ  $SiO_2$  ทำให้พื้นที่ผิวของตะกอนดินส่วนใหญ่เป็นลบ จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับ  $PO_4^{3-}$  ลดลง ดังนั้นจึงส่งผลให้มีระยะเวลาสมดุลของตัวดูดซับที่ทำการกระตุ้นด้วยกรดเร็วกว่าที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก

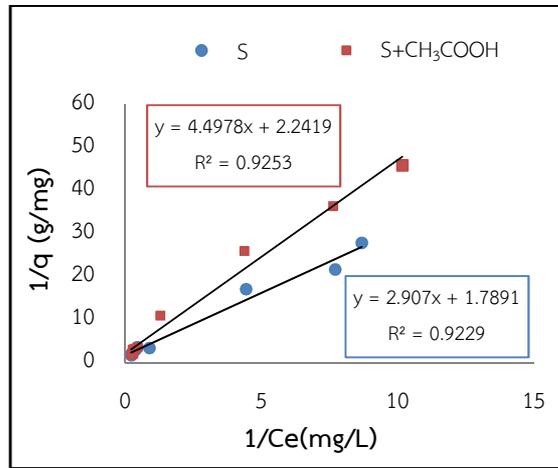


รูปที่ 4 ระยะเวลาสมดุลของการดูดซับฟอสเฟตของตัวดูดซับที่ไม่ได้กระตุ้น (S) และกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก (S+CH<sub>3</sub>COOH)

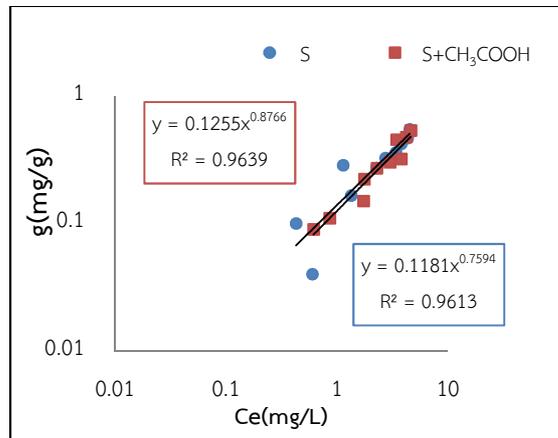
#### 4.3 การศึกษา Adsorption Isotherm ของการดูดซับฟอสเฟต

เมื่อเปรียบเทียบค่าระยะเวลาสมดุลของ Adsorption Isotherm ระหว่างตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยกรดอะซิติก ( $S+CH_3COOH$ ) และไม่กระตุ้นด้วยกรด ที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 M ปริมาตรของกรด 10 ml ต่อกรัมของตัวดูดซับ

โดยใช้แบบจำลองของ Langmuir และ Freundlich Isotherm พบว่า Adsorption Isotherm ของตัวที่มีการกระตุ้นด้วยกรดจะมีค่าการดูดซับฟอสเฟตที่ดีกว่าตัวที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยกรด และค่าคงที่ Langmuir Isotherm (ตารางที่ 2 และรูปที่ 5) และ Freundlich Isotherm (ตารางที่ 3 และรูปที่ 6)



รูปที่ 5 Langmuir Adsorption Isotherm ของตัวดูดซับที่กระตุ้นและไม่กระตุ้นกรดอะซิติก



รูปที่ 6 Freundlich Adsorption Isotherm ของตัวดูดซับที่กระตุ้นและไม่กระตุ้นกรดอะซิติก

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของ Langmuir Isotherm ของการดูดซับฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

ตัว	Langmuir		
	Q' (mg/g)	K <sub>L</sub> (L/mg)	R <sup>2</sup>
S	0.446	0.498	0.9229
S+CH <sub>3</sub> COOH	0.559	0.615	0.9253

ตารางที่ 3 ค่าคงที่ของ Freundlich Isotherm ของการดูดซับฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

ตัว	Freundlich		
	K <sub>f</sub> (L/g)	1/n	R <sup>2</sup>
S	0.118	0.759	0.9613
S+CH <sub>3</sub> COOH	0.125	0.876	0.9639

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาค่า R<sup>2</sup> ของสมการ Langmuir และ Freundlich พบว่า ตัวดูดซับจะมีพฤติกรรมการดูดซับสอดคล้องกับสมการ Freundlich มากกว่าสมการ Langmuir เนื่องจากสมการของ Freundlich มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด แสดงว่าระบบมีการดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับแบบหลายชั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า R<sup>2</sup> ระหว่างตัวดูดซับที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรด จะมีค่าสูงกว่าไม่มีการกระตุ้นด้วยกรด (Cengeloglu, et al., 2006) เมื่อพิจารณา Freundlich Isotherm พบว่าค่า R<sup>2</sup> ของตัวดูดซับที่มีการกระตุ้นและไม่กระตุ้นกรดอะซิติก มีค่าเท่ากับ 0.9639 และ 0.9613 ตามลำดับ โดยถ้าการทดลองมีค่า K<sub>f</sub> สูง แสดงว่าตัวดูดซับจะมีประสิทธิภาพการดูดซับสูง โดยตัวดูดซับที่กระตุ้นและไม่กระตุ้นด้วยกรดอะซิติก จะมีค่า K<sub>f</sub> เท่ากับ 0.125 L/g และ 0.118 L/g ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าความจุฟอสเฟตของตัวดูดซับที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การกระตุ้นด้วยกรด HCl ร่วมกับการให้ความร้อน จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยจะมีค่า

ความจุในการดูดซับฟอสเฟตสูงถึง 95.8 mg/g (Liu et al., 2007)

สำหรับ ค่า 1/n ที่ได้จากสมการ Freundlich Isotherm นั้น โดยถ้ามีค่า 1/n ≥ 1 แสดงว่าความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับได้มากกว่าหรือกล่าวคือบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับมีปริมาณมากที่จะใช้ในการดูดซับ และถ้า 1/n < 1 อธิบายถึงปริมาณพื้นที่ผิวบนตัวดูดซับมีปริมาณจำกัดที่จะใช้ในการดูดซับ จากตารางที่ 3 พบว่า ค่า 1/n ของตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยกรดและไม่กระตุ้นด้วยกรด จะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่า K<sub>f</sub> ซึ่งตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยกรดอะซิติก และไม่กระตุ้นด้วยกรดอะซิติก จะมีค่า 1/n เท่ากับ 0.876 และ 0.759 ตามลำดับ ซึ่งตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยกรดอะซิติก จะมีค่าความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตสูงกว่าตัวดูดซับที่ไม่กระตุ้น ดังนั้นจึงเหมาะสมในการนำมาใช้งานในการกำจัดฟอสเฟตต่อไป

## 5. วิจารณ์ผลการวิจัย

### 5.1 ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพตัวดูดซับ

ผลการปรับปรุงประสิทธิภาพตัวดูดซับที่ทำจากตะกอนโรงผลิตน้ำประปา ที่มีการกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก ( $S+CH_3COOH$ ) และไม่มีการกระตุ้น เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ จากการทดสอบ นำตัวมากระตุ้นโดยที่ผสมกับกรดไฮโดรคลอริก ( $S+HCl$ ) และกรดอะซิติก ( $S+CH_3COOH$ ) ในความเข้มข้นต่างกัน พบว่าในส่วนของไฮโดรคลอริก ( $HCl$ ) ซึ่งเป็นกรดแก่ที่อยู่ในประเภทของกรดอินทรีย์ที่เกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต คืออยู่ในกลุ่มของกรดไฮโดร (Hydro acid) ที่ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและคลอรีนโดยไม่มีธาตุออกซิเจนรวมอยู่ด้วย ซึ่งค่า pH ที่ใช้ในการศึกษาต่ำกว่า 7 (ค่า  $K_a$  ของ  $HCl$  เท่ากับ  $1.3 \times 10^6$ ) ที่ทำให้กรดทำลายโครงสร้างของเม็ดตะกอนที่ขึ้นรูป ทำให้ตัวดูดซับแตกออกและละลายอย่างเห็นได้ชัด ส่วนตัวดูดซับด้วยกรดอะซิติก ( $S+CH_3COOH$ ) ที่ใช้ในการทดลองที่ความเข้มข้น 1, 2 และ 5 M ตัวดูดซับละลายและแตกออก จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการทดลองในขั้นต่อไปได้ ส่วนเมื่อกระตุ้นด้วยความเข้มข้นต่างๆ ที่ 0.1, 0.5M พบว่าไม่แตกและไม่ละลาย เนื่องจากกรดอะซิติก เป็นกรดที่อยู่ในกลุ่มกรดอินทรีย์ที่มีหมู่คาร์บอกซิล ( $-HCOOH$ ) เป็นหมู่ฟังก์ชัน เป็นกรดที่มีอยู่ในธรรมชาติหรือได้จากสิ่งมีชีวิต จึงเหมาะสมในการเลือกมาใช้ในการทดลองครั้งนี้

### 5.2 ผลการศึกษาระยะเวลาสมดุลของตัวดูดซับ

ผลการศึกษาระยะเวลาสมดุลของการดูดซับฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ตัวดูดซับที่ขึ้นรูปมาจากตะกอนดินระบบผลิตน้ำประปา ระหว่างตัวดูดซับที่กระตุ้นกรดกับตัวดูดซับที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยกรด พบว่า ตัวดูดซับที่มีการกระตุ้นด้วยกรด จะมีระยะเวลาที่สมดุลเร็วกว่าตัวที่ไม่มีการกระตุ้น โดยระยะเวลา

สมดุลของตัวที่กระตุ้นด้วยกรดอยู่ที่ 16 ชั่วโมง ส่วนระยะเวลาสมดุลของตัวที่ไม่มีการกระตุ้นจะมีระยะเวลาสมดุลที่ 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Karaca et al. (2006) พบว่า เมื่อทำการศึกษาระยะเวลาสมดุลของการดูดซับ  $PO_4^{3-}$  โดยใช้หินปูน จะมีระยะเวลาในการเข้าสู่สมดุลที่เร็วมากเพียง 15-30 นาทีเท่านั้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cengelloglu (2006) ได้ศึกษาการกำจัดไนเตรทในน้ำดื่มโดยใช้ดินโคลนเป็นตัวแบบผ่านการกระตุ้นและไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรด  $HCl$  ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 14.2 และ 20.7 ตารางเมตรต่อกรัมตามลำดับ ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ ปริมาณของตัวดูดซับและเวลาสัมผัสของการดูดซับ ผลการทดลอง พบว่า ดินโคลนที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรด  $HCl$  จะมีความสามารถในการดูดซับไนเตรทได้ดีกว่าดินที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรด  $HCl$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.858 และ 1.859 มิลลิโมลไนเตรทต่อดินโคลน 1 กรัม โดยการดูดซับสามารถอธิบายได้ดี เมื่อใช้สมการ Langmuir และ Freundlich การดูดซับไนเตรทจะมีความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวของโลหะออกไซด์กับไนเตรทไอออนและการดูดซับจะเข้าถึงจุดสมดุลที่ 60 นาที

### 5.3 ผลการศึกษา Adsorption Isotherm

ผลการศึกษา Adsorption Isotherm ของตัวดูดซับ ฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า Freundlich Isotherm ให้ค่า  $R^2$  เข้าใกล้ 1 มากกว่า Langmuir Isotherm แสดงว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดทำให้ระบบการดูดซับของผิวตัวดูดซับเป็นระบบการดูดซับแบบหลายชั้น เนื่องจากเป็นการดูดซับทางกายภาพเคมี เพราะกรดจะไปกระตุ้นรูพรุนของตัวดูดซับจึงช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับตัวดูดซับ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าค่าคงที่ของฟรุนดิสท์ที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับ ( $K_f$ ) ของตัวที่ไม่

กระตุ้นด้วยกรด พบว่าค่า  $K_f$  ของตัวดูดซับที่กระตุ้นด้วยกรดอะซิติก ( $S+CH_3COOH$ ) มีค่า  $K_f$  ในการดูดซับฟอสเฟตได้ดีกว่าตัวที่ไม่กระตุ้นด้วยกรด เนื่องจากกรดอะซิติก ( $S+CH_3COOH$ ) เป็นกรดที่อยู่ในกลุ่มกรดอินทรีย์ ที่มีหมู่คาร์บอกซิล ( $-COOH$ ) หรือ หมู่ซัลโฟนิก ( $-SO_3H$ ) เป็นหมู่ฟังก์ชัน เป็นกรดที่มีอยู่ในธรรมชาติหรือได้จากสิ่งมีชีวิต หรือเป็นกรดเบสอ่อน กรดอะซิติกเป็นกรดที่มีช่วง pH ต่ำกว่า 7 และมีสมบัติทางเคมี มีประจุ  $H^+$  เป็นบวก จึงมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนกับฟอสเฟต ( $PO_4^{3-}$ ) ที่มีไอออนเป็นประจุลบได้ง่าย เช่นเดียวกับงานวิจัยของปรินทร (2551) ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไม้ตรง และไม้หมาจู้ ผลการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับไอโอดีน พบว่าถ่านที่ถูกกระตุ้นจะให้ค่า  $Q^0$  มากกว่าถ่านที่ไม่ได้ถูกกระตุ้น แสดงว่าการกระตุ้นทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น

## 6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ คือ

1. ระยะเวลาสมดุลของการดูดซับฟอสเฟต ( $PO_4^{3-}$ ) ของตัวดูดซับที่ไม่มีกรกระตุ้น (S) และกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก ( $S+CH_3COOH$ ) มีระยะเวลาเท่ากับ 16 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากโมเลกุลฟอสเฟตสามารถแทรกเข้าสู่รูพรุนของตัวดูดซับในระยะเวลาต่างกัน

2. จากการศึกษา Isotherm ของการดูดซับฟอสเฟต พบว่า การดูดซับฟอสเฟตของวัสดุดูดซับจากตะกอนโรงบำบัดน้ำที่กระตุ้นด้วยกรดสูงกว่าวัสดุดูดซับที่ไม่กระตุ้นด้วยกรดเล็กน้อย เนื่องจากกรดอะซิติกมีสมบัติทางเคมี ซึ่ง  $H^+$  เป็นประจุบวก จึงมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนกับฟอสเฟต ( $PO_4^{3-}$ ) ที่มีไอออนเป็นประจุลบได้ง่าย และสำหรับข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์ และมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ สถานที่ในการทำการทดลองในครั้งนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา คุณาทัย,วีราภรณ์ คารมณ และ ภัทธา เฟงธรรมกิริติ. (2549). การผลิตซีโอไลต์จากเถ้าลอยและการใช้ประโยชน์เพื่อบำบัดน้ำเสีย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: 430 หน้า.
- ปรินทร เต็มญารศิลป์. (2551). การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไม้ตรง และไม้หมาจู้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: 285 หน้า.
- ภัทรวรรณ จุฬารเรืองอักษร และภัทธา เฟงธรรมกิริติ. (2549). การกำจัดธาตุอาหารในน้ำเสียด้วยซีโอไลต์ที่ผลิตจากเถ้าลอยและความเป็นไปได้ในการใช้เป็นปุ๋ยละลายช้า. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย. ปีที่ 21, ฉบับที่ 3: 61-71
- มันสิน ตัณฑุลเวศม์. (2543). คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 1-12.
- ยุพดี เส้นขาว. (2557). การกำจัดไอออนแคดเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียด้วยมะขามและเปลือกทับทิม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22(2): 185-201.
- วีระ รัตนศิริโสภณ. (2547). การใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเคลือบด้วยไคโตซานในการกำจัดสีและกลิ่นในน้ำธรรมชาติ, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ: 122 หน้า.
- ศรีวิไล โฆษิตชัยยงค์, สิริลักษณ์ เจริญรากร และสร้อยดาว วินิจนันทรัตน์. (2551). การปรับปรุงวัสดุดูดซับจากตะกอนโรงกรองน้ำประปาเพื่อกำจัดฟลูออไรด์. ใน:

รายงานการประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อม  
และวัสดุ ครั้งที่ 1 วันที่ 31 สิงหาคม 2550  
ณ โรงแรมเดอะทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพฯ.

- ASTM Committee on Standards. (1998a). Standard Test Method for Determination of Iodine number of Activated carbons. In annual Book of ASTM Standards. pp. 112-125. Philadelphia, PA: ASTM Committee on Standards.
- Cengelolu, Y. Ali, T. Ersoz, and M. Arslan, G. (2006). Removal of Nitrate from Aqueous Solution by Using Red mud. *Separation and Purification Technology* 51(3): 374-378.
- Liu, C.J., Li, Y. Z., Luan, Z, K., Chen, Z. G. and Jia, Z.P. (2007). Adsorption removal of phosphate from aqueous solution by active red mud. *Journal of Environmental Science* 19(10): 1166-1170.
- Barca, C., Gerente, C., Meyer, D., Chazarenc, F. and Andres, Y. (2012). Phosphate removal from synthetic and real wastewater using steel slag produced in Europe. *Water Research* 46(7): 2376-2384.
- Jie, Y., Xiangna, C, Panyue, Z., and Erhard, H. (2015). onto Granular acid activated Neutralized Red Mud: Parameter Optimization, Kinetics, Isotherms, and Mechanism Analysis. *Journal of Water Air Soil Pollute* 226: 206-306.
- Pearl, H. W. and Huisman, J. (2008). Blooms like it hot. *Science* 320(5872): 57.
- Karaca, S., Gurses, A., Ejder, M. and Acikyildiz, M., (2006). Adsorptive Removal of Phosphate from Aqueous Solutions Using Raw and Calcinated Dolomite. *Journal of Hazardous Materials* 128(2): 273-279.

