

<http://journal.rmutp.ac.th/>

## การดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์

ชญัญะ พรหมศร\* อภิสสิฏฐ์ ศงสะเสน และ บุญธนา วรรณเลิศ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

รับบทความ 20 พฤษภาคม 2563 แก้ไขบทความ 7 พฤศจิกายน 2563 ตอรับบทความ 25 ธันวาคม 2563

### บทคัดย่อ

โครเมียม (III) ในธรรมชาติเป็นเกลืออนินทรีย์ ใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน ชุบโลหะ รักษาพื้นผิว เฟอร์นิเจอร์ ของ ตกแต่ง และการพิมพ์สิ่งทอ เป็นต้น การปล่อยน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีโครเมียม (III) ลงสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และบางส่วนสะสมอยู่ในดิน โครเมียม (III) มีผลลดการเจริญเติบโตของพืช การสังเคราะห์แสงลดลง ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ พืชเกิดภาวะไม่สมดุล และผลผลิตลดลง เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีวิธีกำจัดก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงแหล่งน้ำ การใช้วัสดุอะพาไทต์สำหรับการดูดซับ และการตรึงสารมลพิษต่างๆเป็นเทคนิคที่มีแนวโน้มถูกนำมาใช้มากขึ้น เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับสูงใช้งานง่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมแคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์ การอธิบายลักษณะโครงสร้างของแคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ การศึกษาการดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์ในสภาวะต่างๆ และการหาไอโซเทอมของการดูดซับ ผลการวิจัยพบว่าเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของแคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์กับสารละลายโครเมียม (III) อยู่ที่ 3 ชั่วโมง การดูดซับส่วนใหญ่ได้ผลดีที่ค่า pH ประมาณ 6.76 เมื่อพิจารณาจากค่าปริมาณของโครเมียม (III) ที่ถูกดูดซับ ณ สภาวะสมดุล ( $q_m$ ) พบว่า แคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 400 องศาเซลเซียส แคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 800 องศาเซลเซียสดูดซับโครเมียม (III) ได้มากกว่าตัวดูดซับชนิดอื่น การหาไอโซเทอมของการดูดซับพบว่าเหมาะสมทั้งฟรุนดลิช และ แลงเมียร์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 และ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 400 องศาเซลเซียส มีความสามารถดูดซับมวลของตัวถูกดูดซับได้มากที่สุด ( $q_m$ ) ได้มากถึง 178.57 และ 181.82 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์ที่ถูกทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสสามารถสลายตัวได้ไตรแคลเซียมฟอสเฟตออกมาด้วย

คำสำคัญ : โครเมียม (III); แคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์; ไอโซเทอมของการดูดซับ

<http://journal.rmutp.ac.th/>

## Adsorption of Chromium (III) Solution Using Calcium Hydroxyapatite

Thanya Promsorn\* Apisit Songsasen and Boontana Wannalarse

Faculty of Science, Kasetsart University

50 Ngam Wong Wan Rd, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900

---

*Received 20 May 2020; Revised 7 November 2020; Accepted 25 December 2020*

### Abstract

Chromium (III) is an inorganic salt being used as corrosion inhibitor, plating agents, surface treating agents, furniture, furnishings, and textile printing, and etc. The discharge of industrial waste water containing chromium (III) into the water source was toxic to the aquatic lives, and some parts accumulate in the soil, chromium (III) reduces the growth of plants, reduced photosynthesis, inhibit the enzyme activity, imbalanced in plants, and reduced productivity, and etc. For this reason, method to remove it before discharge the effluent into the water source is necessary. The use of apatite materials for adsorption, and immobilization of various pollutants was a technique that was more likely to be used. Due to its high adsorbency, easy to use, and environmentally friendly. The purpose of this research was to study the preparation of calcium hydroxyapatite, structural characterization of calcium hydroxyapatite by X-ray diffraction technique, adsorption study of chromium solution with calcium hydroxyapatite in various conditions, and the determination of adsorption isotherm. The results showed that the optimum contact time of calcium hydroxyapatite and chromium solution was 3 hours. Most adsorption works well at a pH of around 6.76. Considering the amount of chromium (III) adsorbed at equilibrium ( $q$ ), it was found that the calcium hydroxyapatite with 10 % zinc added that has been calcined to 400 °C, and the calcium hydroxyapatite with 15 % zinc added that has been calcined to 800 °C were to adsorb chromium (III) more than other sorbents. The adsorption isotherm was suited with Freundlich and Langmuir. The calcium hydroxyapatite with 10 %, and 15 % zinc added that has been calcined to 400 °C had the highest adsorption capacity ( $q_m$ ) up to 178.57, and 181.82 mg/g respectively. In addition, it was found that calcium hydroxyapatite, which heated to 800 degrees Celsius, can decompose tricalciumphosphate.

**Keywords :** Chromium (III); Calcium Hydroxyapatite; Adsorption Isotherm

---

\* *Corresponding Author. Tel.: +669 1797 4242, E-mail Address: [thanya.pr@ssru.ac.th](mailto:thanya.pr@ssru.ac.th)*

## 1. บทนำ

สารประกอบโครเมียม (III) ที่พบได้บ่อยๆ เช่น โครเมียม (III) ออกไซด์ และโครเมียม (III) ไนเตรท โครเมียม (III) ออกไซด์ใช้ทำให้เกิดสีเขียวในซีเมนต์ ยาง กระเบื้อง เซรามิกส์ และอื่นๆ โครเมียม (III) ไนเตรทใช้เป็นสีย้อม และ เคลือบวัสดุ เป็นต้น [1] การปล่อยน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีโครเมียมลงสู่แหล่งน้ำทำให้เกิดพิษต่อสัตว์น้ำ และบางส่วนสะสมอยู่ในดิน โครเมียมมีผลลดการเจริญเติบโตของพืช ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ การสังเคราะห์แสงลดลง พืชเกิดภาวะไม่สมดุล ผลผลิตลดลง เป็นต้น [2] ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีวิธีการกำจัดก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงแหล่งน้ำ มีการพัฒนาและใช้วิธีการหลายวิธีกำจัดไอออนของโลหะออกจากรน้ำเสีย เช่น ใช้ถ่านกัมมันต์ ถ้ำลอย ฟิท ตะกอนสารส้มรีไซเคิล เปลือกกล้วยลิสง เรซิน คาโอไลน์ท์ แมงกานีสออกไซด์ ซีโอไลท์ และวัสดุชีวภาพ เป็นต้น อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการกำจัดไอออนโลหะของตัวดูดซับเหล่านี้อยู่ในระดับต่ำ [3] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาตัวดูดซับชนิดใหม่ที่นิยมใช้สำหรับการจัดการมลพิษสิ่งแวดล้อมทางด้าน อากาศ น้ำ และ ดิน เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับได้ดี ทนต่อสภาพ กรด-เบส และเสถียรต่อความร้อน [4] ซึ่งก็คือไฮดรอกซีอะพาไทต์ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ด้วยแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ถูกทำให้ร้อน (Calcination) ที่ 400 600 800 องศาเซลเซียส และ แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เจือสังกะสีร้อยละ 5 10 และ 15 ที่ทำให้ร้อนที่ 400 600 800 องศาเซลเซียส

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ประกอบด้วย การเตรียมแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ การอธิบายลักษณะโครงสร้างของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) ใช้เครื่องยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance

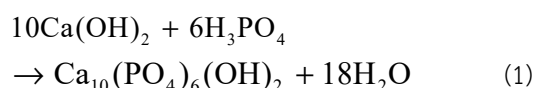
การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม (III) การศึกษาการดูดซับสารละลายโครเมียม (III) และการหาไอโซเทอม (Isotherm) ของการดูดซับ

### 2.1 ขั้นตอนการเตรียมแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์

การเตรียมแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ มีดังนี้

#### 2.1.1 การเตรียมแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมีแบบเปียก

เตรียมแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมีแบบเปียก (Wet Chemical Precipitation) ดัดแปลงวิธีจาก [5], [6] และ [7] ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , Sigma-Aldrich, ACS reagent,  $\geq 95\%$ ) เป็นแหล่งแคลเซียม และใช้กรดออร์โธฟอสฟอริก ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ , Sigma-Aldrich, ACS reagent,  $\geq 85\%$  wt. in  $\text{H}_2\text{O}$ ) เป็นแหล่งฟอสฟอรัส การตกตะกอนทางเคมีเริ่มจากชั่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 74.093 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตร เติมน้ำกลั่นลงไปให้ครบ 1 ลิตร เขย่าให้เกิดเป็นสารแขวนลอย (Suspension) แล้วเทใส่บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร วางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก เตรียมกรดออร์โธฟอสฟอริกเข้มข้น 0.6 M ปริมาตร 1 ลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร แล้วนำไปใส่ลงในกรวยสกัดขนาด 1 ลิตร คนสารแขวนลอยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ตลอดเวลาด้วยความเร็ว 700 รอบต่อนาทีพร้อมกับหยดสารละลายกรดออร์โธฟอสฟอริกที่ละลายลงในสารแขวนลอยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยอัตรา 500 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าพีเอช (pH) ตลอดเวลา และรักษาระดับค่าพีเอชไม่ให้ต่ำกว่า 11 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



เมื่อหยดสารละลายกรดออร์โธฟอสฟอริกจนครบตามจำนวน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะได้สารแคลเซียม

ไฮดรอกซีอะพาไทต์สีขาว ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง สารจะแยกชั้น รินน้ำใส่ทิ้งไป เติมน้ำกลั่นลงไปเท่ากับปริมาตรที่ทิ้งไป แล้วกวนสารเป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง สารจะแยกชั้นรินน้ำใส่ทิ้งไป นำสารที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบ่งสารออกเป็น 3 ส่วนใส่ลงในถ้วยระเหย นำถ้วยที่ 1 ไปทำให้ร้อน (Calcination) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำถ้วยที่ 2 ไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำถ้วยที่ 3 ไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อครบเวลา และอุณหภูมิเย็นลง นำสารมาบดให้ละเอียด แล้วร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 70 ช่องตารางนิ้ว

### 2.1.2 การเตรียมแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์เจือด้วยสังกะสี

เตรียมแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์เจือด้วยสังกะสี (Zinc-doped) ร้อยละ 5 10 และ 15 ด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมีแบบเปียก ดัดแปลงวิธีจาก [8] ใช้สังกะสีไนเตรท ( $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ) (Sigma-Aldrich, ACS reagent,  $\geq 98\%$ ) เป็นแหล่งสังกะสี การตกตะกอนทางเคมีเริ่มจากซิงแคลเซียมไฮดรอกไซด์เหมือนการเตรียมในตอนต้นที่ 2.1.1 แล้วเทใส่โหลแก้วขนาด 4 ลิตรวางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก เตรียมกรดออร์โธฟอสฟอริกเหมือนการเตรียมในตอนต้นที่ 2.1.1 เตรียมสารละลายสังกะสีไนเตรทความเข้มข้นร้อยละตามที่กำหนดปริมาตร 1 ลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร แล้วนำไปใส่ลงในกรวยสกัดขนาด 1 ลิตร คนสาร และหยดสารเหมือนการเตรียมในตอนต้นที่ 2.1.1 ขณะเดียวกันก็หยดสารละลายสังกะสีไนเตรทที่ละลายลงไปในส่วนแขวนลอยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ด้วยอัตรา 500 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าพีเอช (pH) ตลอดเวลา และรักษาระดับค่าพีเอชไม่ให้ต่ำกว่า 11 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เมื่อหยดสารละลายทั้ง 2 ชนิด จนครบตามจำนวน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะได้สารแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์เจือด้วยสังกะสี ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นปฏิบัติเหมือนขั้นตอนที่ 2.1.1

## 2.2 การอธิบายลักษณะโครงสร้างของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์

จากการเตรียมทั้ง 4 ตัวอย่างในหัวข้อ 2.1 ทำให้ได้ผงแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ถูกทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส (CaHap400 CaHap600 และ CaHap800) ผงแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์เจือด้วยสังกะสีร้อยละ 5 10 และ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส (CaHap400 Zn5, Zn10, Zn15; CaHap600 Zn5, Zn10, Zn15; และ CaHap800 Zn5, Zn10, Zn15) ตามลำดับ ใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) อธิบายลักษณะโครงสร้างของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ [7] ซึ่งแบบแผน (Pattern) ของการเลี้ยวเบน เกิดจากการแผ่รังสีของ  $Cu K\alpha$  ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ) ซึ่งบันทึกที่มุม  $2\theta$  ในช่วง 20-80 องศา ค่าเฉลี่ยของขนาดผลึก (T) ของอนุภาคคำนวณโดยใช้สมการของ Debye-Scherrer [9] ดังสมการที่ (2)

$$T = \frac{\kappa\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2)$$

โดยที่

T = ค่าเฉลี่ยของขนาดผลึก (นาโนเมตร)

$\lambda$  = ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์  $Cu K\alpha$  (อังสตรอม)

$\beta$  = ความกว้างของพีคตรงระดับครึ่งหนึ่งของความสูงของพีค (องศา)

$\theta$  = มุมของการเลี้ยวเบน (องศา)

เปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์กับการ์ดหมายเลข 09-0432 ตามมาตรฐาน ICDD [5]

## 2.3 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลาย

### โครเมียม (III)

เตรียมสารละลายโครเมียม (III) จากขวดสารละลายมาตรฐาน  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  (Certipur) เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม (III) โดยเจือจางจากขวดสารละลายมาตรฐานให้ได้ 4 ความเข้มข้น คือ 50 100 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7 นำค่าความเข้มข้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 408 นาโนเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างวัดค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้น

## 2.4 การศึกษาการดูดซับสารละลายโครเมียม

### (III) ของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์

การศึกษาการดูดซับสารละลายโครเมียม (III) แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

#### 2.4.1 การศึกษาผลของมวลของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีต่อการดูดซับสารละลายโครเมียม (III)

ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 400, 600, 800 องศาเซลเซียส ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เจือสังกะสีร้อยละ 5, 10 และ 15 ที่ทำให้ร้อนที่ 400, 600, 800 องศาเซลเซียส อย่างละ 12.50 25.00, 50.00 และ 100.00 มิลลิกรัม ใส่ลงในขวดพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร เติมน้ำโครเมียม (III) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงไปในขวด ปิดฝาขวด ทูกรายการเตรียมทั้งหมด 3 ซ้ำ นำไปเขย่าที่ 120 รอบต่อนาที ด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อครบตามเวลา วัดค่า pH และวัดค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวในขวด นำผลที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วอ่านค่าออกมาเป็นความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (III) ที่เหลืออยู่ ปริมาณของ

โครเมียมที่ถูกดูดซับ ณ สภาวะสมดุลคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$q = \frac{v(C_0 - C)}{W} \quad (3)$$

โดยที่

$q$  = ปริมาณของโครเมียม (III) ที่ถูกดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$C_0$  = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม (III) (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$C$  = ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายโครเมียม (III) (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$v$  = ปริมาตรของสารละลายโครเมียม (III) (ลิตร)

$W$  = มวลของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ (กรัม)

#### 2.4.2 การศึกษาผลของเวลาเขย่าที่มีต่อการดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ด้วยแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์

จากหัวข้อ 2.4.1 ทำให้ทราบมวลแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ได้มากที่สุดเมื่อเขย่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ปริมาณดังกล่าวใส่ลงในขวดพลาสติกแล้วทดลองเหมือนหัวข้อ 2.4.1 อีก 5 การทดลอง โดยเปลี่ยนเวลาเขย่าเป็น 1, 2, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ

#### 2.4.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (III) ที่มีต่อการดูดซับด้วยแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์

จากหัวข้อ 2.4.1 และ 2.4.2 ทำให้ทราบมวลของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์และเวลาเขย่าที่ดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ได้มากที่สุด ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์เหมือนหัวข้อ 2.4.2 ใส่ลงในขวดพลาสติก เติมน้ำโครเมียม (III) ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าตาม

เวลาที่เหมาะสมจากหัวข้อ 2.4.2 ทดลองแบบเดียวกัน อีก 2 การทดลอง โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของ สารละลายโครเมียม (III) เป็น 200 และ 400 มิลลิกรัม ต่อลิตร ตามลำดับ

#### 2.4.4 การศึกษาผลของค่า pH ของสารละลายโครเมียม (III) ที่มีต่อการดูดซับด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์

จากหัวข้อ 2.4.1 2.4.2 และ 2.4.3 ทำให้ทราบมวลของแคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์ เวลาเขย่า และความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (III) ที่ถูกดูดซับได้มากที่สุด นำฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7 มาปรับค่า pH ให้ได้ 6 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก แล้วใช้เตรียมสารละลายโครเมียม (III) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์อะพาไทต์เหมือนหัวข้อ 2.4.2 ใส่ลงในขวดพลาสติก เติมสารละลายโครเมียม (III) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 6 ปริมาตร 10 มิลลิตร แล้วเขย่าตามเวลาที่เหมาะสมตามหัวข้อ 2.4.2 นำฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7 มาปรับค่า pH ให้ได้ 8 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วใช้เตรียมสารละลายโครเมียม (III) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วทดลองเช่นเดียวกับ pH 6

## 2.5 การหาไอโซเทอมของการดูดซับ

วิธีที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับการทดลองเพื่อหาความสามารถในการดูดซับ คือการหาไอโซเทอมของการดูดซับ ซึ่งเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ ( $q$ ) กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลาย ( $C$ ) ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่ ในการศึกษานี้ก็กล่าวถึง 2 สมการที่นิยมใช้กันดังนี้

- 1) สมการการดูดซับของฟรุนดลิช อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์ พื้นผิวไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด มีรูปแบบของสมการเส้นตรงเป็นดังนี้

$$\log q = \log K + \frac{1}{n} \cdot \log C \quad (4)$$

โดยที่

- $q$  = มวลของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
- $K$  = ค่าคงที่ของฟรุนดลิช (ลิตรต่อมิลลิกรัม)
- $n$  = ค่าแสดงการดูดซับ (กรัมต่อลิตร)
- $C$  = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $\log q$  (แกน Y) กับ  $\log C$  (แกน X) จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ  $1/n$  และมีจุดตัดแกน Y เท่ากับ  $\log K$  ซึ่งจะทำให้หาค่า  $K$  และ  $n$  ได้ ถ้าค่า  $n < 1$  แสดงถึงการดูดซับที่ไม่ดี และถ้าค่า  $n > 1$  แสดงถึงการดูดซับที่ดี 2) สมการการดูดซับของแลงเมียร์ อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับภายใต้สมมติฐานที่ว่าพื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด มีกลไกของการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกัน ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว (ถูกดูดซับได้มากที่สุด) มีรูปแบบของสมการเส้นตรงเป็นดังนี้

$$\frac{c}{q} = \frac{1}{q_m \cdot K} + \frac{1}{q_m} \cdot C \quad (5)$$

โดยที่

- $C$  = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

- q = มวลของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
- q<sub>m</sub> = ความสามารถของตัวดูดซับในการดูดซับมวลของตัวถูกดูดซับได้มากที่สุด (มิลลิกรัมต่อกรัม)
- K = ค่าคงที่ของแลงเมียร์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง c/q (แกน Y) กับ C (แกน X) จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ 1/q<sub>m</sub> และมีจุดตัดแกน Y เท่ากับ 1/q<sub>m</sub>.K ซึ่งจะทำให้หาค่า q<sub>m</sub> และค่า K ได้

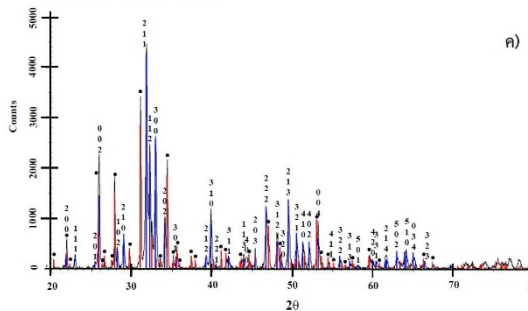
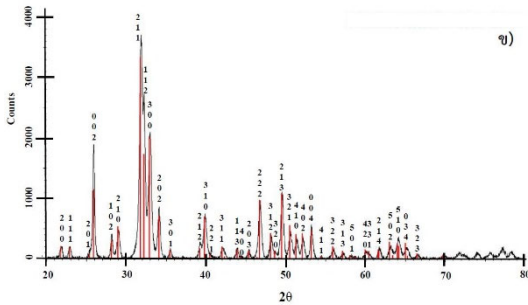
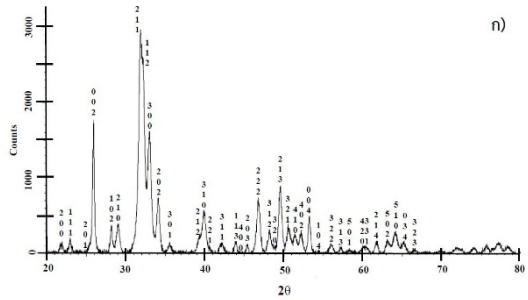
การทำไอโซเทอมของการดูดซับประกอบด้วย การเตรียมพารามิเตอร์สำหรับการสร้างกราฟไอโซเทอรัม สร้างกราฟไอโซเทอรัมของฟรูนดิช สร้างกราฟไอโซเทอรัมของแลงเมียร์ และหาค่าการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis, R<sup>2</sup>) หลังจากที่ได้ไอโซเทอมของการดูดซับจะสามารถพิจารณาเลือกแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีความเหมาะสมต่อการดูดซับสารละลายโครเมียม (III)

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

#### 3.1 ลักษณะโครงสร้างของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์

##### ซีอะพาไทต์

ใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ศึกษา ลักษณะโครงสร้างของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ และแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์เจือด้วยสังกะสี รูปที่ 1 ก) ข) และ ค) เป็นตัวแทนของแบบแผนการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผลึกแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ถูกทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าสารที่ถูกทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 400 และ 600 องศาเซลเซียสคือแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ สารที่ถูกทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสคือสารผสมของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์กับไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) ขนาดของอนุภาค (T) แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ทั้งเจือและไม่เจือสังกะสี แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 แบบแผนการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผลึกแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ ก) 400 ข) 600 และ ค) 800 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 ขนาดของอนุภาค (T) แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ทั้งเจือและไม่เจือสังกะสี คำนวณจากสมการของ Debye-Scherrer

รายการ	ขนาดอนุภาค (nm)
CaHap400	12.45
CaHap400 Zn5	13.34
CaHap400 Zn10	5.49
CaHap400 Zn15	12.44
CaHap600	16.99
CaHap600 Zn5	13.35
CaHap600 Zn10	4.55

ตารางที่ 1 ขนาดของอนุภาค (T) แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ทั้งเจือและไม่เจือสังกะสี คำนวณจากสมการของ Debye-Scherrer (ต่อ)

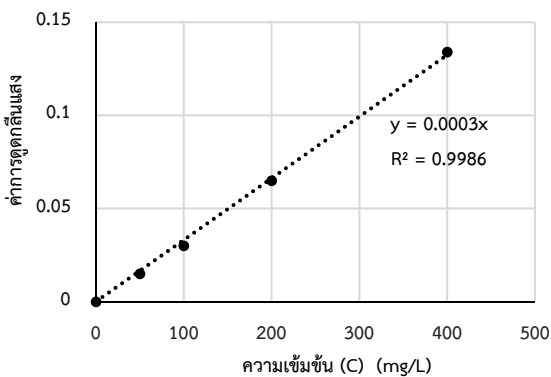
รายการ	ขนาดอนุภาค (nm)
CaHap600 Zn15	14.37
CaHap800	31.13
CaHap800 Zn5	32.48
CaHap800 Zn10	31.14
CaHap800 Zn15	37.37

จากตารางที่ 1 พบว่า แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 800 องศาเซลเซียสมีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด โดยขนาดของอนุภาคโดยรวมอยู่ในช่วง 5-37 นาโนเมตร

### 3.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมใช้เป็นกราฟมาตรฐานเทียบกับผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 2

กราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม (III)



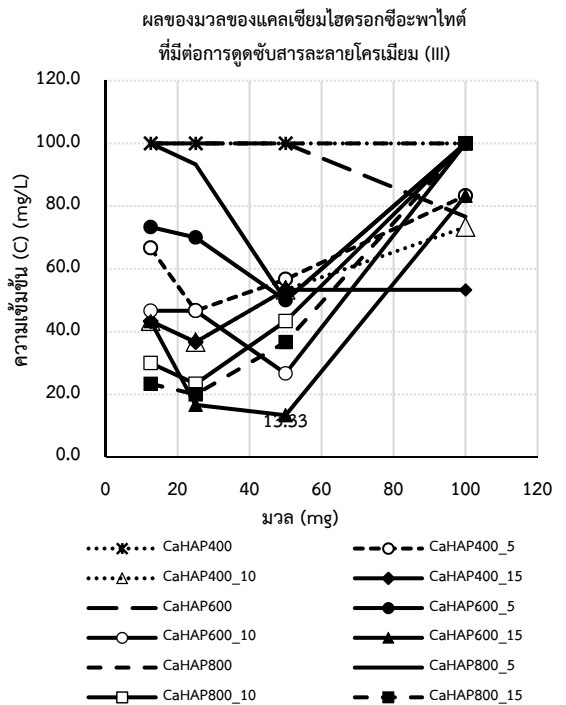
รูปที่ 2 กราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม (III)

### 3.3 การดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ (CaHap)

ผลของการศึกษาการดูดซับสารละลายโครเมียม (III) มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

#### 3.3.1 ผลของมวลของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีต่อการดูดซับสารละลายโครเมียม (III)

ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (C) ของสารละลายโครเมียม (III) เมื่อถูกดูดซับด้วยแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ 12.50, 25.00, 50.00, และ 100.00 มิลลิกรัมแช่ 120 รอบต่อนาที่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ความเข้มข้นเริ่มต้น (C<sub>0</sub>) ของสารละลายโครเมียม (III) เท่ากับ 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 3



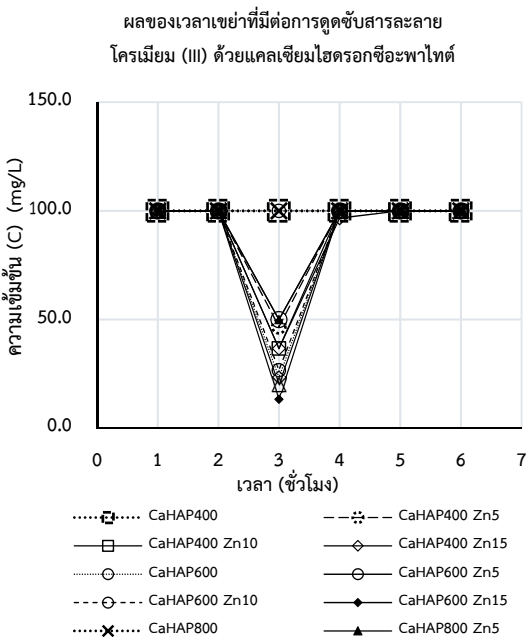
รูปที่ 3 ผลของมวลของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีต่อการดูดซับสารละลายโครเมียม (III)

จากรูปที่ 3 โดยภาพรวมพบว่ามวล 25.00 และ 50.00 มิลลิกรัมดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ได้ดีกว่ามวล 12.50 และ 100.00 มิลลิกรัม แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 600 องศาเซลเซียส (CaHap600 Zn15) ดูดซับสารละลายโครเมียมได้ดีที่สุดโดยมีความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (C) น้อยที่สุดคือ 13.33 มิลลิกรัมต่อลิตร



**3.3.2 ผลของเวลาเขย่าที่มีต่อการดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ด้วยแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์**

กำหนดความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_0$ ) ของสารละลายโครเมียม (III) เท่ากับ 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เขย่า 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 2 3 4 5 และ 6 ชั่วโมง ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ ( $C$ ) ของสารละลายโครเมียม (III) แสดงดังรูปที่ 4



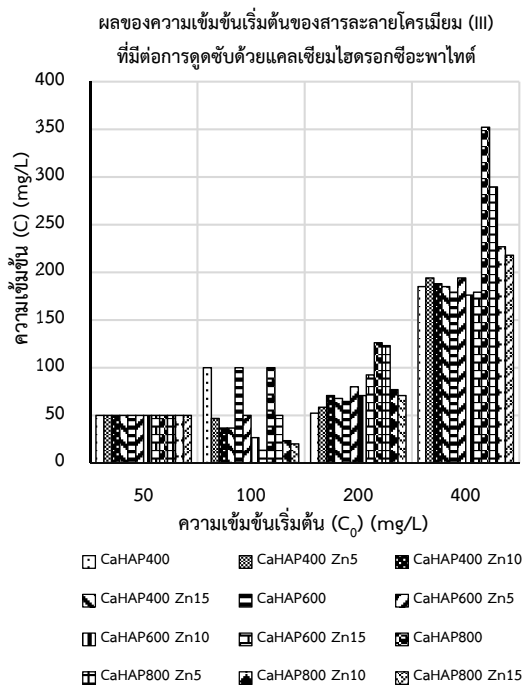
**รูปที่ 4** ผลของเวลาเขย่าที่มีต่อการดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ด้วยแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์

จากรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นที่เหลืออยู่ ( $C$ ) ของสารละลายโครเมียม (III) พบว่าเวลาเขย่าที่เหมาะสมคือ 3 ชั่วโมง เวลาเขย่าที่มากกว่า 3 ชั่วโมงเป็นเวลานานเกินไปเป็นผลให้อาจเกิดการคายการดูดซับ (Desorption)

**3.3.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (III) ที่มีต่อการดูดซับด้วยแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์**

ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ ( $C$ ) ของสารละลายโครเมียม (III) เมื่อเขย่า 120 รอบต่อนาทีตามเวลาที่

เหมาะสม เทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_0$ ) ของสารละลายโครเมียม (III) แสดงดังรูปที่ 5



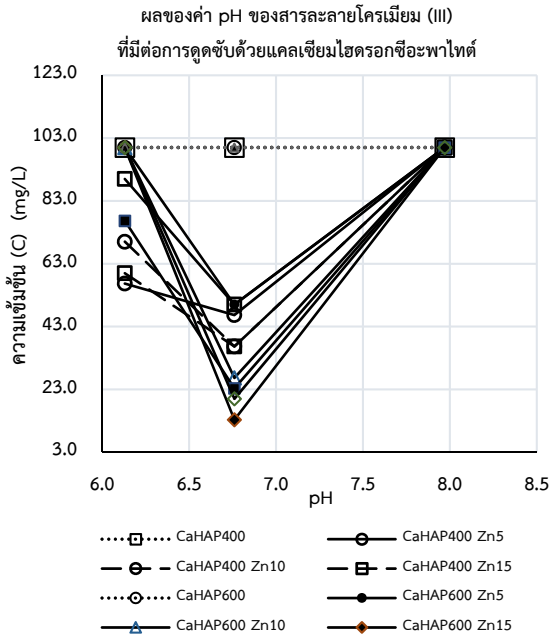
**รูปที่ 5** ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมียม (III) ที่มีต่อการดูดซับด้วยแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์

จากรูปที่ 5 พบว่าแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ทุกชนิดไม่ดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_0$ ) 50.00 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจเกิดจากสารละลายมีความเข้มข้นน้อย แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 600 องศาเซลเซียส (CaHap600 Zn15) ให้ผลการดูดซับสารละลายโครเมียม (III) จากเริ่มต้น 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตรจนเหลือ 13.33 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งให้ผลการดูดซับได้มากที่สุดถึงร้อยละ 86.67

**3.3.4 ผลของค่า pH ของสารละลายโครเมียม (III) ที่มีต่อการดูดซับด้วยแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์**

กำหนดความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_0$ ) ของสารละลายโครเมียม (III) เท่ากับ 100.00 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร เมื่อเขย่า 120 รอบต่อนาทีตามเวลาที่กำหนด ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ (C) ของสารละลายโครเมียม (III) ที่ค่า pH 6 7 และ 8 ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของการดูดซับในสภาวะเป็น กรด กลาง และ เบส แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลของค่า pH ของสารละลายโครเมียม (III) ที่มีต่อการดูดซับด้วยแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์

จากรูปที่ 6 พบว่าพบว่าการดูดซับส่วนใหญ่ได้ผลดีที่ค่า pH ประมาณ 6.76

### 3.4 พารามิเตอร์สำหรับการสร้างกราฟไอโซเทอร์ม

ข้อมูล  $\log C$  และ  $\log q$  ข้อมูล  $C/q$  และ  $C$  แสดงเฉพาะตัวแทนของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์แต่ละชนิดที่เมื่อสร้างกราฟแล้วให้ค่า  $R^2$  มากที่สุด ซึ่งได้แก่แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 400 องศาเซลเซียส แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 600 องศาเซลเซียส แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์สำหรับหาไอโซเทอร์มของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 400 องศาเซลเซียส

C (mg/L)	q (mg/g)	C/q (g/L)	log C	log q
50.00	0.00	-	1.70	-
36.67	25.32	1.45	1.56	1.40
70.77	51.68	1.37	1.85	1.71
188.06	84.76	2.22	2.27	1.93

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์สำหรับหาไอโซเทอร์มของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 600 องศาเซลเซียส

C (mg/L)	q (mg/g)	C/q (g/L)	log C	log q
50.00	0.00	-	1.70	-
26.67	14.66	1.82	1.43	1.17
70.77	25.84	2.74	1.85	1.41
176.12	44.78	3.93	2.25	1.65

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์สำหรับหาไอโซเทอร์มของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส

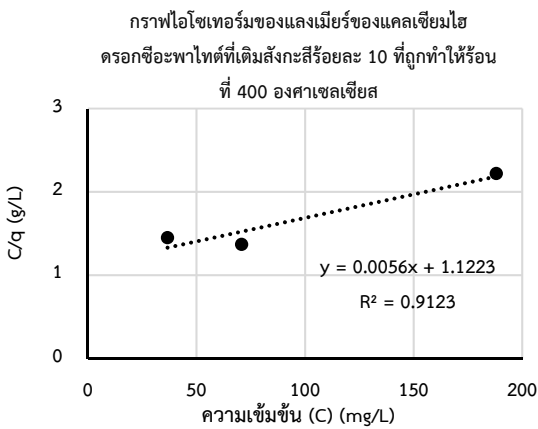
C (mg/L)	q (mg/g)	C/q (g/L)	log C	log q
50.00	0.00	-	1.70	-
20.00	32.00	0.62	1.30	1.50
70.77	51.68	1.37	1.85	1.71
217.91	72.84	2.99	2.34	1.86

จากตารางที่ 2-4 เมื่อพิจารณาจากค่า q พบว่าแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 600 องศาเซลเซียส ดูดซับโครเมียม (III) ได้น้อยกว่าสารดูดซับอีก 2 ชนิดในทุกความเข้มข้น และแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 ที่

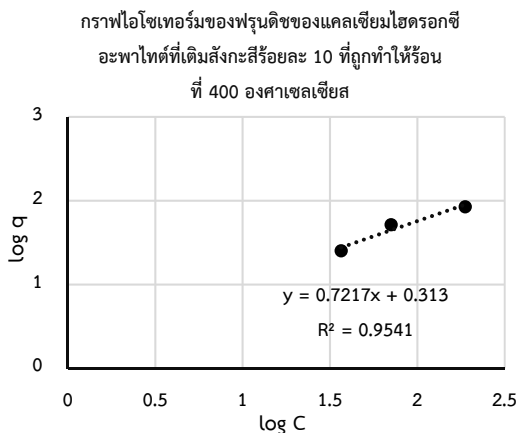
ถูกทำให้ร้อนที่ 400 องศาเซลเซียส ดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรได้มากที่สุด รองลงมาได้แก่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส

### 3.5 กราฟไอโซเทอร์มของฟรูดิช และแลงเมียร์

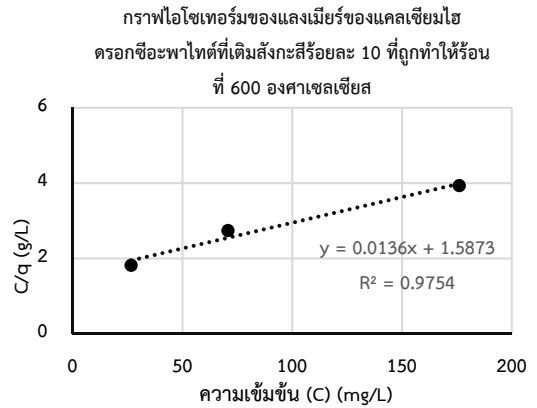
ใช้พารามิเตอร์จากตารางที่ 2-4 สร้างกราฟไอโซเทอร์มของฟรูดิช และ แลงเมียร์ ดังรูปที่ 7-12



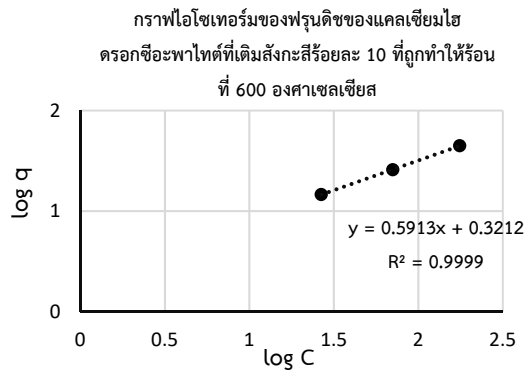
รูปที่ 7 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 ถูกทำให้ร้อนที่ 400 องศาเซลเซียส



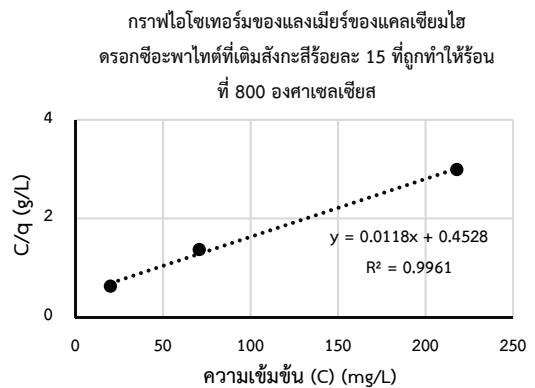
รูปที่ 8 ฟรูดิชไอโซเทอร์มของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 400 องศาเซลเซียส



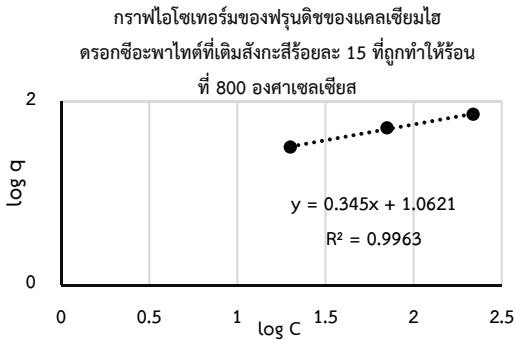
รูปที่ 9 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 600 องศาเซลเซียส



รูปที่ 10 ฟรูดิชไอโซเทอร์มของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 600 องศาเซลเซียส



รูปที่ 11 แลงเมียร์ไอโซเทอร์มของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส



รูปที่ 12 ฟรอนดิชไอโซเทอร์มของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์ของฟรอนดิช และ แลงเมียร์ที่คำนวณได้จากกราฟไอโซเทอร์ม

	ฟรอนดิช			แลงเมียร์		
	R <sup>2</sup>	n	K	R <sup>2</sup>	q <sub>m</sub>	K
CaHap 400	0.9541	1.386	2.056	0.9123	178.57	0.005
Zn10						
CaHap 400	0.9326	1.384	2.100	0.8605	181.82	0.005
Zn15						
CaHap 600	0.9999	1.691	2.095	0.9754	73.53	0.009
Zn10						
CaHap 800	0.9987	2.217	1.726	0.9948	30.03	0.009
Zn5						
CaHap 800	0.9958	2.794	10.086	0.9963	81.97	0.023
Zn10						
CaHap 800	0.9963	2.899	11.537	0.9961	84.75	0.026
Zn15						

จากรูปที่ 7-12 นำมาคำนวณค่า K n และ q<sub>m</sub> แสดงเฉพาะการทดลองที่ค่า R<sup>2</sup> > 0.8 ดังตารางที่ 5

จากตารางที่ 5 พบว่าในภาพรวมแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 และ 15 ดูดซับโครเมียมได้ดี ค่า R<sup>2</sup> ส่วนใหญ่มีค่า > 0.9 ในภาพรวมค่า ค่า R<sup>2</sup> ของฟรอนดิชมีค่ามากกว่าแลงเมียร์เล็กน้อย ค่า n ของฟรอนดิชมีค่า > 1 แสดงถึงการดูดซับได้ดี การที่อะตอมของ Zn (รัศมีไอออน 0.074 นาโน

เมตร) เข้าไปแทนที่ตรงตำแหน่งอะตอมของ Ca (รัศมีไอออน 0.099 นาโนเมตร) ในแลตทิซมากขึ้นมีผลทำให้ขนาดของแลตทิซขดเล็กกลง [9] ซึ่งเป็นไปตามผลการทดลองในหัวข้อขนาดของอนุภาคดังที่แสดงในตารางที่ 1 ทำให้เกิดการดูดซับได้มากขึ้น แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 และ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส ให้ค่า n มากกว่าตัวดูดซับชนิดอื่น นั่นคือทั้งสองสารนี้มีความเหมาะสมสำหรับใช้ดูดซับสารละลายโครเมียม (III) เมื่อพิจารณาทางด้านแลงเมียร์พบว่าแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 และ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 400 องศาเซลเซียส มีความสามารถดูดซับมวลของโครเมียม (III) ได้มากที่สุด (q<sub>m</sub>) ถึง 178.57 และ 181.82 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับชนิดอื่น

มีการศึกษาการดูดซับโครเมียม (III) โดยใช้เรซิน พบว่าการดูดซับเป็นไปตามแลงเมียร์ไอโซเทอร์มโดยดูดซับโครเมียม (III) ได้มากที่สุดเท่ากับ 0.341 มิลลิโมลต่อกรัม [10] มีการศึกษาการกำจัดสารละลายโครเมียม (III) โดยใช้ซีลี้อย พบว่าการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของซีลี้อย เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม (III) และเพิ่มอุณหภูมิ การดูดซับเป็นไปตามแลงเมียร์ไอโซเทอร์มโดยดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับ 38.878 มิลลิกรัมต่อกรัม [11] อีกตัวอย่างหนึ่งคือการศึกษาการดูดซับโครเมียม (III) ด้วยสาหร่ายสีน้ำตาล การดูดซับเป็นไปตามแลงเมียร์ไอโซเทอร์ม มีความสามารถในการดูดซับได้มากที่สุดคือ 102.7 มิลลิกรัมต่อกรัม [12] เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้พบว่ามีความสามารถดูดซับมวลของโครเมียม (III) ได้มากที่สุดถึง 178.57 และ 181.82 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับชนิดอื่น

#### 4. สรุป

แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ถูกทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส สามารถสลายตัวได้ แคลเซียมฟอสเฟตออกมาด้วย เวลาสัมผัสที่เหมาะสม

ของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์กับสารละลายโครเมียม (III) คือ 3 ชั่วโมง การดูดซับส่วนใหญ่ได้ผลดีที่ค่า pH ประมาณ 6.76 เมื่อพิจารณาจากค่าปริมาณของโครเมียม (III) ที่ถูกดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (q) พบว่าแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 10 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 400 องศาเซลเซียส ดูดซับสารละลายโครเมียม (III) ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้มากที่สุด รองลงมาได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เติมสังกะสีร้อยละ 15 ที่ถูกทำให้ร้อนที่ 800 องศาเซลเซียส กรณีของไอโซเทอร์มพบว่าเหมาะสมกับฟรุนดลิช และ แลงเมียร์ การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการดูดซับสารละลายโครเมียม (III)

## 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ministry of the environment of Japan, "Trivalent chromium compound," Profiles of the initial environmental risk assessment of chemical, vol. 8, pp. 1-3, 2009.
- [2] H. Oliveira, "Chromium as an environmental pollutant: Insight on induced plant toxicity," *Journal of Botany*, vol. 2012, pp. 1-8, May 2012.
- [3] M. A. Atieh *et al.*, "Removal of Chromium (III) from water by using modified and non-modified carbon nanotubes," *Journal of Nanomaterials*, vol. 2010, pp. 1-9, Jan. 2010.
- [4] M. Ibrahim, M. Labaki, J.-M. Giraudon, and J.-F. Lamonier, "Hydroxyapatite, a multifunctional material for air, water and soil pollution control: A review," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 383, p. 121139, Feb. 2020.
- [5] N. Angelescu, D.N. Ungureanu and F.V. Anghelina, "Synthesis and characterization of hydroxyapatite obtained in different experimental conditions," *The Scientific Bulletin of Valahia University – Materials and Mechanics*, vol. 9, pp. 15–18, 2011.
- [6] R. Sahlil Miraz Mohamed and N. Darman, "Synthesis and characterization of hydroxyapatite nanoparticle," *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, vol. 21, no. 1, pp. 136–148, Feb. 2017.
- [7] S. S. A. Abidi and Q. Murtaza, "Synthesis and Characterization of Nano-hydroxyapatite Powder Using Wet Chemical Precipitation Reaction," *Journal of Materials Sciences and Technology*, vol. 30, no. 4, p. 307, Apr. 2014.
- [8] G. D. Venkatasubbu, S. Ramasamy, V. Ramakrishnan and J. Kumar, "Nanocrystalline hydroxyapatite and zinc-doped hydroxyapatite as carrier material for controlled delivery of ciprofloxacin," *3 Biotech*, vol. 1, no. 3, pp. 173–186, Oct. 2011.
- [9] J.S.J. Hargreaves, "Some considerations, related to the use of the Scherrer equation in powder X-ray diffraction as applied to heterogeneous catalysts," *Catalysis Structure & Reactivity*, vol. 2, no. 1-4, pp. 33–37, Oct. 2016.
- [10] F. Gode and E. Pehlivan, "A comparative study of two, chelating ion-exchange resins for the removal of chromium (III) from aqueous solution," *Journal*

- ofnHazardous Materials*, vol. B100, no. 1-3, pp. 231–243, Jun. 2003.
- [11] M. Rafatullah, O. Sulaiman, R. Hashim, and A. Ahmad, “Adsorption of copper (II), chromium (III), nickel (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by meranti sawdust,” *Journal of hazardous materials*, vol. 170, pp. 969–977, Jun. 2009.
- [12] J.R. Guarrín-Romero, P. Rodríguez-Estupiñán, L. Giraldo and J. C. Moreno-Piraján, “Simple and competitive adsorption study of nickel (II) and chromium (III) on the surface of the brown algae *Durvillaea antarctica* biomass,” *American Chemical Society Omega*, vol. 4 pp. 18147–18158, Oct. 2019.