

ตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าวหรือกะลาปาล์มเพื่อการดูดซับ เฮกซะวาเลนท์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

ธเรศ ศรีสถิตย์¹ และ ณัฐ ดิลกเกียรติ²
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

รับเมื่อ 6 สิงหาคม 2547 ตอบรับเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2548

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยการผลิตตัวดูดซับจากดินดำผสมกะลามะพร้าวและดินดำผสมกะลาปาล์ม และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับเฮกซะวาเลนท์โครเมียมของตัวดูดซับที่ผลิตโดยเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ ซึ่งจากผลการทดลองโดยการแปรผันอุณหภูมิการเผา และอัตราส่วนการผสมโดยน้ำหนัก พบว่าตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุดของตัวดูดซับแต่ละชนิด ในเงื่อนไขที่สามารถดูดซับเฮกซะวาเลนท์โครเมียมได้ดีและมีความคงที่ คือ ตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำต่อกะลามะพร้าวในอัตราส่วน 20 ต่อ 80 และตัวดูดซับดินดำต่อกะลาปาล์มในอัตราส่วน 10 ต่อ 90 โดยน้ำหนัก เผาที่อุณหภูมิ 800 °C โดยสามารถดูดซับเฮกซะวาเลนท์โครเมียม ได้ร้อยละ 99.02 และร้อยละ 96.66 ตามลำดับ

ผลศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเฮกซะวาเลนท์โครเมียม พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับของตัวดูดซับทั้งสองชนิด คือ ต้องใช้เวลา 4 ชั่วโมง พีเอช 3 พบว่าค่าปริมาณการดูดซับสูงสุดของตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว และตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลาปาล์ม เท่ากับ 11.08 และ 8.20 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ ขณะที่ถ่านกัมมันต์มีค่าเท่ากับ 47.40 มิลลิกรัม/กรัม การศึกษาการชะตัวดูดซับด้วยสารละลายกรดอ่อนและน้ำกลั่นที่ 24 ชั่วโมง พบว่าไม่สามารถชะไอออนโครเมียมออกมาได้ ในการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ของตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าวพบว่าปริมาตรน้ำเสียไหลผ่านชั้นตัวดูดซับที่จุดหมดสภาพคือ 664.3 เท่าของปริมาตรของคอลัมน์

คำสำคัญ : ตัวดูดซับ / การดูดซับ / เฮกซะวาเลนท์โครเมียม / ดินดำ / กะลามะพร้าว / กะลาปาล์ม

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

² นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

Adsorbent Produced by Ball Clay with Coconut Shell or Palm Shell for Hexavalent Chromium Adsorption in Synthetic Wastewater

Thares Srisatit¹ and Nut Dilokkiat²

Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok 10330

Received 6 August 2004 ; accepted 15 February 2005

Abstract

The purposes of this research were to study factors involving in preparation of adsorbent from ball clay mixed with coconut shell and palm shell and compare their adsorption efficiencies Cr(VI) with activated carbon. (At first, the experiments were performed to determine the proper condition) The adsorbents prepared by varying pyrolysis temperature and mixing ratio between ball clay and fruit shells for the optimum conditions. The results showed that the pyrolysis temperature, 800 °C and the weight ratio of ball clay and coconut shell, and ball clay to palm shell were 20:80 and 10:90 respectively. The Cr(VI) adsorption efficiency in were 99.02% for ball clay mixed with coconut shell and 96.66% for ball clay mixed with palm shell.

The suitable conditions in Cr(VI) adsorption of these two adsorbents were contact time for 4 hours at pH 3. The maximum adsorption capacity of ball clay mixed with coconut shell and ball clay mixed with palm shell were 11.08 and 8.20 mg/g respectively. However the adsorption capacity of activated carbon was at 47.40 mg/g. The result of adsorbent regenerated by leaching with weak acid or distilled water for 24 hours showed that chromium ions was not leach out. In continuous experiment of adsorbent from ball clay mixed with coconut shell, the results indicated that the break-through volume was 664.3 bed volumes.

Keywords : Adsorbent / Adsorption / Hexavalent Chromium / Ball Clay / Coconut Shell / Palm Shell

¹ Associate Professor, Department of Environmental Engineering.

² Graduate Student, Department of Environmental Engineering.

1. บทนำ

ปัจจุบันสิ่งที่เป็นปัญหาอย่างหนึ่งจากโรงงานอุตสาหกรรม คือน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก โดยวิธีการกำจัดโลหะหนักเหล่านี้มีหลายวิธี ซึ่งวิธีการดูดซับก็เป็นวิธีการหนึ่ง ซึ่งมักจะมีการนำถ่านกัมมันต์ (activated carbon) มาใช้ดูดซับโลหะหนักในขั้นตอนการบำบัดขั้นสุดท้าย แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับที่มีราคาสูง และต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยในการผลิตตัวดูดซับ และประสิทธิภาพในการดูดซับเฮกซะวาเลนทีโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายทั่วไป โดยตัวดูดซับในการทดลองผลิตจากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าวที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร นำมาผสมกับดินดำ (ball clay) ซึ่งเป็นดินที่หาได้ง่ายภายในประเทศและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเซรามิก นำมาผ่านกระบวนการเผา จนได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นวัสดุเซรามิกที่มีลักษณะเป็นเม็ด ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆ ที่ดี เช่น สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ มีความแข็งแรงทนทาน สูง และสามารถขึ้นรูปเป็นรูปทรงต่างๆ ได้ [1] โดยหากตัวดูดซับที่ผลิตได้มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนของโลหะหนักใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ ก็จะเป็นการพัฒนาวัสดุดูดซับที่มีต้นทุนการผลิตไม่สูง สามารถแยกออกจากน้ำเสียได้ง่าย และเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เป็นประโยชน์ เพื่อเป็นการลดปริมาณการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศ [2] นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาไปสู่การผลิตตัวดูดซับ เพื่อใช้ดูดซับอนุภาคฝุ่นหรือก๊าซจากปล่องควัน (porious ceramic adsorbent) ในอนาคตต่อไป

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมวัตถุดิบในการวิจัย

- การเตรียมกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม โดยนำกะลามะพร้าวและกะลาปาล์มที่บดให้มีขนาดเล็กพอสมควร มาแช่ในสารละลายอิมัลชันตัวโซเดียมคลอไรด์ 1 คิน นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาเผาที่อุณหภูมิคงที่ 800 °ซ 1 ชั่วโมง โดยมีอัตราการให้ความร้อนที่ 20 °ซ/นาที่ แล้วนำมาล้างด้วยน้ำร้อน และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 5 แล้วจึงนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh

- การเตรียมดินดำเพื่อใช้ผลิตตัวดูดซับ โดยดินดำที่ใช้เป็นส่วนผสมหลักในการผลิตตัวดูดซับที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เคลย์ แอนด์ มิเนอร์รัลส์ (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งดินดำที่ใช้เป็นดินดำที่มีความบริสุทธิ์และความละเอียดสูง เนื่องจากเป็นดินดำที่ได้ผ่านการล้าง และทำการคัดขนาดโดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด 140 mesh สำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมเซรามิก นำมาอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

- การผลิตตัวดูดซับ โดยนำดินดำและกะลามะพร้าวหรือกะลาปาล์ม ที่ผ่านการเตรียมมาผสมกันตามอัตราส่วนต่างๆ คือ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80 และ 10:90 แล้วจึงนำส่วนผสมที่ได้มาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเม็ดจะได้ชิ้นงานทรงกระบอกยาวประมาณ 0.3 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.1 ซม. นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ 15 นาที แล้วจึงนำไปเผาในสภาวะอับอากาศที่อุณหภูมิการเผาต่างๆ คือ 400, 500, 600, 700, 800 และ 900 °ซ ที่ 20 °ซ /นาที่ เป็นเวลา 30 นาที

2.2 การหาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตตัวดูดซับ

- การหาปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมเบื้องต้นโดยดูจากความคงตัวของตัวดูดซับ

นำตัวดูดซับทั้ง 120 ตัวอย่าง มาคัดขนาด 8-30 mesh เนื่องจากในการนำไปใช้งาน ตัวดูดซับควรมีลักษณะเป็นเม็ดแยกออกจากน้ำเสียได้ง่ายและมีขนาดใกล้เคียงกัน นำมาตัวอย่างละ 1 ก. เติมน้ำกลั่น 100 มล. เขย่าที่ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที นำตัวอย่างไปผ่านตะแกรงขนาด 30 mesh แล้วนำส่วนที่ผ่านตะแกรงไปวัดความชื้นด้วยวิธีเนฟฟีโรเมตริก

- การทดลองหาตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพการดูดซับ Cr(VI) สูงสุด

เตรียมตัวอย่างตัวดูดซับทั้ง 120 ตัวอย่าง ขนาด 8-30 mesh เนื่องจากในการนำไปใช้งาน ตัวดูดซับควรมีลักษณะเป็นเม็ดแยกออกจากน้ำเสียได้ง่ายและมีขนาดใกล้เคียงกัน ปริมาณ 1 ก. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ Cr(VI) ความเข้มข้น 10 มก./ล. ปริมาตร 100 มล. เขย่าที่ 200 รอบต่อนาที พร้อมเก็บตัวอย่างที่เวลา 120 นาที แล้วทำการเลือกอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิการเผาของตัวดูดซับที่ดูดซับ Cr(VI) ได้ดีและมีความคงตัวของทั้งดินดำผสมกะลามะพร้าวและดินดำผสมกะลาปาล์มชนิดละ 1 ตัวอย่าง

2.3 การศึกษาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ

เตรียมตัวดูดซับจากดินดำผสมกะลามะพร้าวหรือกะลาปาล์มชนิดละ 1 ตัวอย่าง นำมาบด และคัดขนาด 325 mesh ตามมาตรฐานของ ASTM ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวดูดซับ [3] ปริมาณ 0.05 ก. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ Cr(VI) 10 มก./ล. ปริมาตร 100 มล. เขย่าที่ 200 รอบต่อนาที นำตัวอย่างไปกรอง เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที และ 1, 1.5, 2, 3, 4, 8, 12, 24 ชั่วโมง

2.4 การศึกษาเพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ

เตรียมตัวดูดซับจากดินดำผสมกะลามะพร้าวหรือกะลาปาล์มชนิดละ 1 ตัวอย่าง ขนาด 325 mesh ตามมาตรฐานของ ASTM ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวดูดซับ ปริมาณ 0.05 ก. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ Cr(VI) 10 มก./ล. ปริมาตร 100 มล. โดยทำการปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 เขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ตามเวลาที่เหมาะสมในข้อ 2.3

2.5 การทดลองหาไอโซเทอมเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของตัวดูดซับและถ่านกัมมันต์

เตรียมตัวดูดซับจากดินดำผสมกะลามะพร้าวหรือกะลาปาล์มชนิดละ 1 ตัวอย่าง และถ่านกัมมันต์ชนิด Calgon Filtrasorb 300 1 ตัวอย่าง ขนาด 325 mesh ตามมาตรฐานของ ASTM ในการศึกษาไอโซเทอมของตัวดูดซับ ปริมาณ 0.0000, 0.0010, 0.0025, 0.0050, 0.0075, 0.0100, 0.0250, 0.0500, 0.0750 และ 0.1000 ก. [4] เติมน้ำเสียสังเคราะห์ Cr(VI) 10 มก./ล. ปริมาตร 100 มล. โดยทำการปรับค่าพีเอชให้เท่ากับพีเอชที่เหมาะสม เขย่าที่ 200 รอบต่อนาที เท่ากับเวลาที่เหมาะสม นำค่าที่ได้เขียนกราฟความสัมพันธ์ไอโซเทอมการดูดซับ

2.6 การศึกษาการชะลออินโครเมียมด้วยสารละลายกรดและน้ำกลั่น

เตรียมตัวดูดซับจากดินดำผสมกะลามะพร้าวหรือกะลาปาล์มชนิดละ 1 ตัวอย่าง ขนาด 8-30 mesh เนื่องจากในการนำไปใช้งานตัวดูดซับควรมีลักษณะเป็นเม็ดแยกออกจากน้ำเสียได้ง่ายและมีขนาดใกล้เคียงกันปริมาณ 1 ก. ที่ผ่านการดูดซับ Cr(VI) และอบแห้งแล้ว ทำการชะด้วยสารละลายกรดพีเอช 5 และน้ำกลั่นปริมาตร 100 มล. เขย่าที่ 200 รอบต่อนาที นำตัวอย่างไปกรอง เมื่อเวลาผ่านไป 5, 15, 30 นาที และ 1, 2, 4, 8, 12, 24 ชั่วโมง

2.7 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ Cr(VI) ของตัวดูดซับที่ผลิตได้ในถังดูดซับ

เตรียมถังดูดซับแบบคอลัมน์สูง 120 ซม. ตัวกลางคือตัวดูดซับเพียงชนิดเดียวที่มีประสิทธิภาพการดูดซับดีกว่าขนาด 8-30 mesh เนื่องจากในการนำไปใช้งานตัวดูดซับควรมีลักษณะเป็นเม็ดแยกออกจากน้ำเสียได้ง่ายและมีขนาดใกล้เคียงกัน บรรจุตัวกลางให้มีความสูงของชั้นตัวกลาง 90 ซม. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น Cr(VI) 10 มก./ล. แบบต่อเนื่องโดยควบคุมอัตราการไหลที่ 18 มล./นาที ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุก 1-5 ลิตรของปริมาตรน้ำที่บำบัดผ่านระบบแล้วจากทางน้ำออกที่ตำแหน่ง 0, 30, 60, และ 90 ซม. ของความสูงชั้นตัวกลาง โดยในแต่ละครั้งจะเก็บตัวอย่างน้ำ 15 มล. โดยจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำจนประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับศูนย์

2.8 การหาคุณลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับกับถ่านกัมมันต์

นำตัวดูดซับที่ผลิตได้จากดินดำผสมกะลามะพร้าวหรือกะลาปาล์มและถ่านกัมมันต์ไปวิเคราะห์หาค่าต่างๆ คือ Iodine Number [5] , Surface Area และ Pore Diameter โดยเครื่อง BET. Surface Area, Functional Group โดยเครื่อง FT-IR, Electrical Charge โดยเครื่อง Zeta Potential และวิเคราะห์ลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

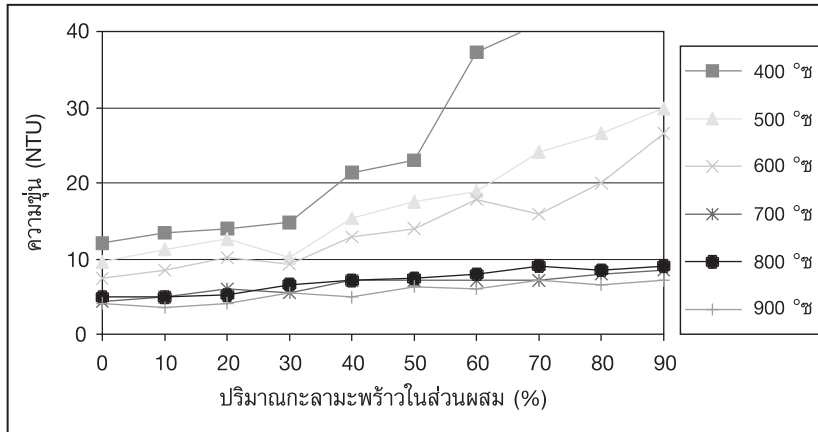
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 การหาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตตัวดูดซับ

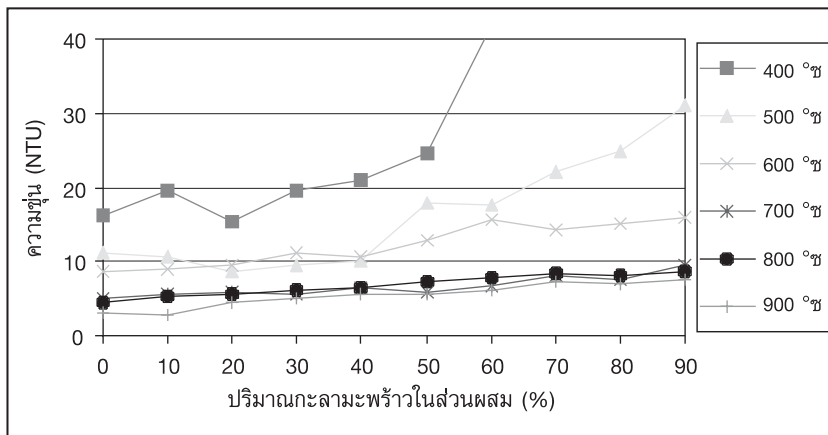
ในการวิจัยนี้มีการเตรียมตัวดูดซับเพื่อใช้ในการทดลองทั้งสิ้นสองชนิดหลักๆ ได้แก่ตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว และอีกชนิดคือตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลาปาล์ม ที่อัตราส่วนและอุณหภูมิการเผาต่างๆ จำนวนทั้งหมด 120 ตัวอย่าง นำตัวอย่างทั้งหมดไปทำการทดลองเพื่อดูความคงตัว และค่าประสิทธิภาพในการดูดซับ Cr(VI) เพื่อหาตัวอย่างที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดของตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกับกะลามะพร้าวจำนวน 1 ตัวอย่าง และตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกับกะลาปาล์มจำนวน 1 ตัวอย่าง

3.1.1 ปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมเบื้องต้นโดยดูจากความคงตัวของตัวดูดซับ

การทดลองเพื่อศึกษาความคงตัวของตัวดูดซับทั้งสองชนิด โดยใช้ความขุ่นของน้ำหลังเขย่ากับตัวดูดซับในการศึกษาความคงตัวของตัวดูดซับ ผลการทดลองดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 ความขุ่นของน้ำกลั่นหลังเขย่ากับตัวดูดซับที่อัตราส่วนดินดำต่อกะลามะพร้าว และอุณหภูมิการเผาต่างๆ

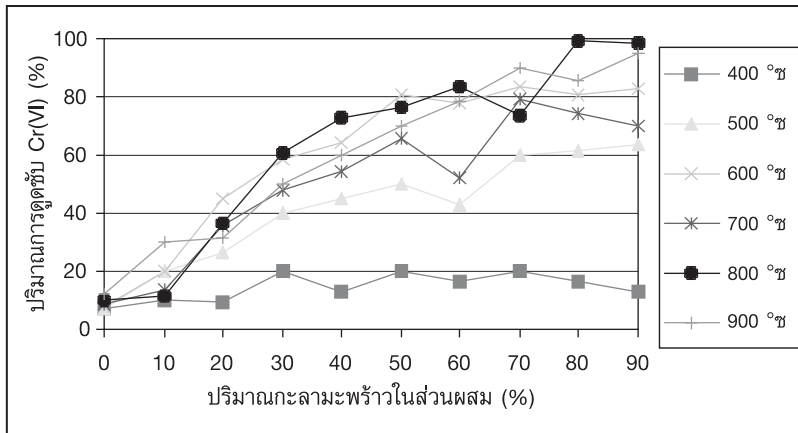


รูปที่ 2 ความขุ่นของน้ำกลั่นหลังเขย่ากับตัวดูดซับที่อัตราส่วนดินดำต่อกะลาปาล์ม และอุณหภูมิการเผาต่างๆ

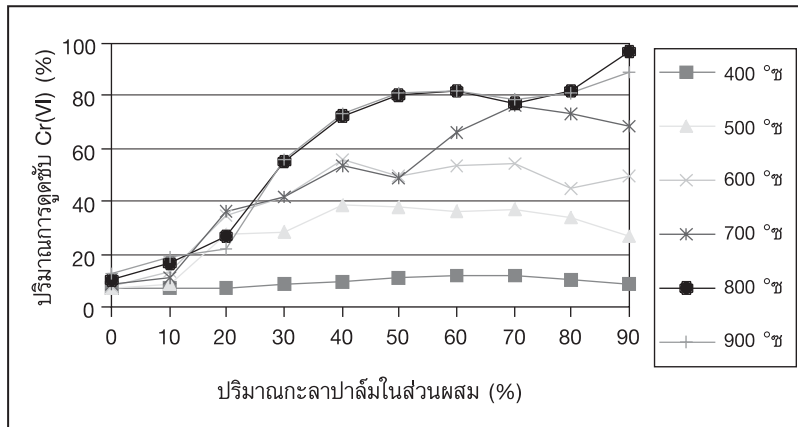
พบว่าอุณหภูมิการเผา มีผลต่อค่าความคงตัวของตัวดูดซับทั้งสองชนิด โดยอุณหภูมิการเผาต่ำจะมีแนวโน้มของค่าความขุ่นสูงกว่าที่อุณหภูมิการเผาสูง เนื่องจากที่อุณหภูมิการเผาสูงชั้นดินมีความสุกตัวมากขึ้น เมื่อดินสุกตัวมากขึ้นอนุภาคดินจะเกาะกันดีขึ้นและแข็งแรงขึ้นทำให้ตัวดูดซับที่ได้มีความคงตัวสูง [6] และจากผลการทดลองการผลิตตัวดูดซับใหญ่ที่เผาที่อุณหภูมิ 700 - 900 °ซ ค่อนข้างมีความคงตัวไม่ต่างกันมาก เนื่องจากสารประกอบ SiO₂ และ Al₂O₃ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของดินจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ อีกในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว [7] ดังนั้นควรเลือกอุณหภูมิการเผาในช่วง 700 ถึง 900 °ซ

3.1.2 การทดลองหาตัวอย่างที่มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับเฮกซะวาเลนทีสูงสุด

นำตัวอย่างตัวอย่างทั้งหมด 120 ตัวอย่าง มาทดลองหาค่าการดูดซับ Cr(VI) ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3 และ 4



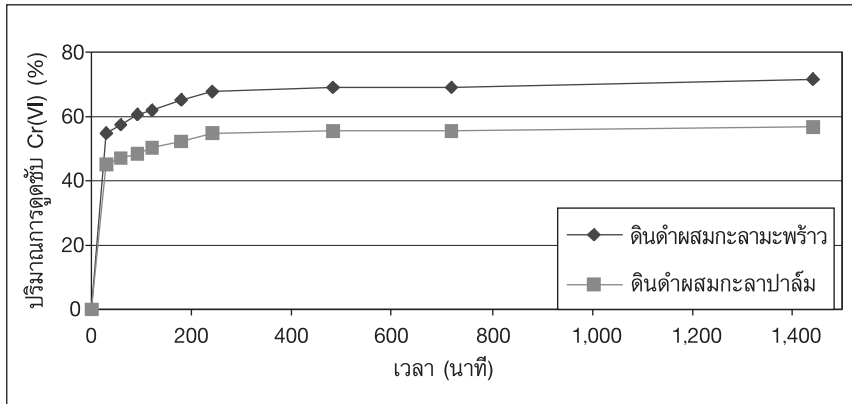
รูปที่ 3 การดูดซับ Cr(VI) ของตัวดูดซับที่อัตราส่วนดินดำต่อกะลามะพร้าว และอุณหภูมิการเผาต่างๆ



รูปที่ 4 การดูดซับ Cr(VI) ของตัวดูดซับที่อัตราส่วนดินดำต่อกะลาปาล์ม และอุณหภูมิการเผาต่างๆ

ผลการทดลองพบว่าในกรณีของตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าวก็คือ ตัวอย่างที่อัตราส่วนดินดำต่อกะลามะพร้าวเป็นร้อยละ 20 ต่อ 80 อุณหภูมิการเผา 800 °ซ มีปริมาณการดูดซับ Cr(VI) ร้อยละ 99.02 ส่วนในกรณีของตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลาปาล์ม คือตัวอย่างที่อัตราส่วนดินดำต่อกะลาปาล์มเป็นร้อยละ 10 ต่อ 90 อุณหภูมิการเผา 800 °ซ มีปริมาณการดูดซับ Cr(VI) ร้อยละ 96.66

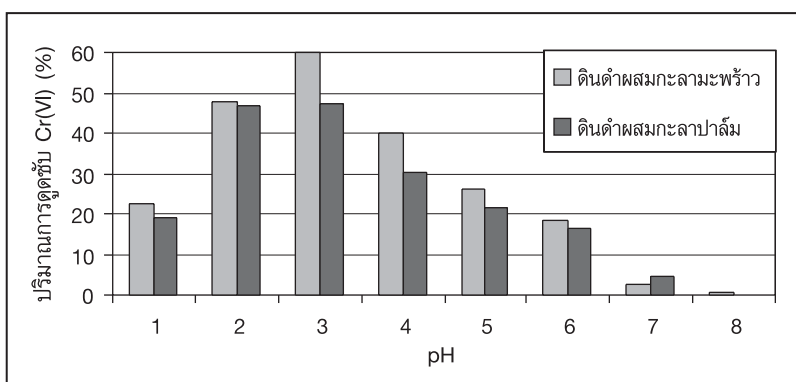
3.2 การศึกษาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ Cr(VI) ของตัวดูดซับ



รูปที่ 5 เวลาในการเข้าสู่สมดุลของตัวดูดซับทั้งสองชนิด

จากรูปที่ 5 ผลการทดลองเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการเข้าสู่สมดุลของตัวดูดซับทั้งสองชนิด พบว่า อัตราการดูดซับ Cr(VI) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ในช่วง 30 นาทีแรก และเมื่อระยะเวลาการสัมผัสเพิ่มมากขึ้น อัตราการดูดซับ Cr(VI) ของตัวดูดซับทั้งสองชนิดจะลดลง โดยเวลาในการสัมผัสที่เหมาะสมในการเข้าสู่สมดุลของตัวดูดซับทั้งสองชนิด ควรมีค่าประมาณ 4 ชั่วโมง และจะพบว่าตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกับกะลามะพร้าวจะมีปริมาณการดูดซับ Cr(VI) สูงกว่าตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกับกะลาปาล์มในทุกๆ ช่วงเวลาสัมผัส

3.3 การศึกษาเพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับเฮกซะวาเลนซ์ของตัวดูดซับ



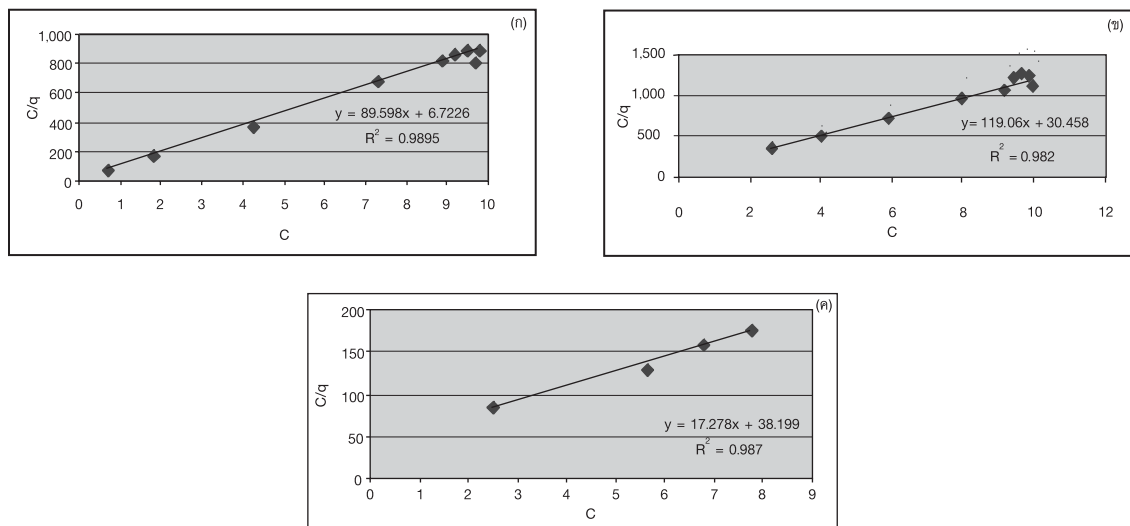
รูปที่ 6 พีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ Cr(VI) ของตัวดูดซับทั้งสองชนิด

ผลการทดลองพบว่าตัวดูดซับทั้งสองชนิดสามารถดูดซับ Cr(VI) ได้ดีเมื่อค่าพีเอชมีค่าต่ำกว่าระหว่าง 2 – 4 โดยที่ค่าพีเอชเท่ากับ 3 ตัวดูดซับทั้งสองชนิดมีปริมาณการดูดซับสูงสุดเหมือนกัน โดยตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกับกะลามะพร้าวมีปริมาณการดูดซับ Cr(VI) ได้เท่ากับร้อยละ 59.82 และตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกับกะลาปาล์มมีปริมาณการดูดซับ Cr(VI) ได้เท่ากับร้อยละ 47.14 และเมื่อค่าพีเอชของสารละลายสูงขึ้น ปริมาณการดูดซับของตัวดูดซับทั้งสองชนิดจะมีค่าลดลง โดยพบว่าตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกับกะลามะพร้าว จะมีปริมาณการดูดซับสูงกว่าในทุกๆ ค่าพีเอช

จากการค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าในสภาวะความเป็นกรดที่ช่วงพีเอชระหว่าง 2 - 4 ซึ่งเป็นช่วงที่ Cr(VI) ถูกรีดิวซ์เป็น Cr(III) ได้ดี เนื่องจากสารประกอบของ Cr(VI) เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง โดยที่ค่าพีเอชต่างๆ จะมีปริมาณ H⁺ มากขึ้น ทำให้ปฏิกิริยารีดักชันเกิดได้ดีขึ้น [8] และเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 6 จะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโครเมียมได้ [9] จึงมีความเป็นไปได้มากกว่าการดูดซับ Cr(VI) ของตัวดูดซับที่ผลิตได้จะเกิดจากสองกลไกใหญ่ๆ คือ การเกิดปฏิกิริยารีดักชันของ Cr(VI) โดยมีการเปลี่ยนรูปจาก Cr(VI) เป็น Cr(III) พร้อมกับเกิดการดูดซับ โดยเกิดพันธะเคมียึดจับกันระหว่าง Cr(III) กับตัวออกซิไดซ์ที่อยู่บนบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับ [10]

3.4 การศึกษาทดลองหาไอโซเทอมเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับ Cr(VI) ของตัวดูดซับและถ่านกัมมันต์

ในการทดลองหาไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับที่ผลิตได้ทั้งสองชนิด และถ่านกัมมันต์ (F300) โดยทำการเลือกใช้สมการของ Langmuir มาอธิบาย เนื่องจากค่าที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับสมการ Langmuir ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ไอโซเทอมแบบ Langmuir ของตัวดูดซับทั้งสองชนิดและถ่านกัมมันต์ที่พีเอช 3

(ก) ตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว

(ข) ตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลาปาล์ม

(ค) ถ่านกัมมันต์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

จากสมการไอโซเทอมของตัวดูดซับทั้งสองชนิดและถ่านกัมมันต์ เมื่อทำการแทนค่าความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10 มก./ล. จะได้ค่าความหนาแน่นของการดูดซับสูงสุดของตัวดูดซับทั้งสองชนิดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความหนาแน่นของการดูดซับสูงสุดของตัวดูดซับทั้งสองชนิดเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์

ชนิดวัสดุดูดซับ	ความหนาแน่นของการดูดซับสูงสุด q_{max} (มก./ล.)
ตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว	11.078
ตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลาปาล์ม	8.190
ถ่านกัมมันต์ (F300)	47.398

พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับ Cr(VI) ได้มากกว่าตัวดูดซับที่ผลิตได้ โดยตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว มีค่าเท่ากับ 11.078 มก. ส่วนตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลาปาล์ม มีค่าเท่ากับ 8.190 มก. จึงเลือกตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว เพื่อนำไปทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ Cr(VI) ของตัวดูดซับที่ผลิตได้ ในถังดูดซับแบบคอลัมน์ต่อไป

3.5 การศึกษาการชะไอออนโครเมียมด้วยสารละลายกรดและน้ำกลั่น

การศึกษาการชะไอออนโครเมียมเป็นการทดลอง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการคืนสภาพ (regeneration) นำกลับมาใช้ใหม่ของตัวดูดซับ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การชะไอออนโครเมียมด้วยน้ำกลั่นและสารละลายกรดพีเอช 5 ของตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว และตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลาปาล์ม

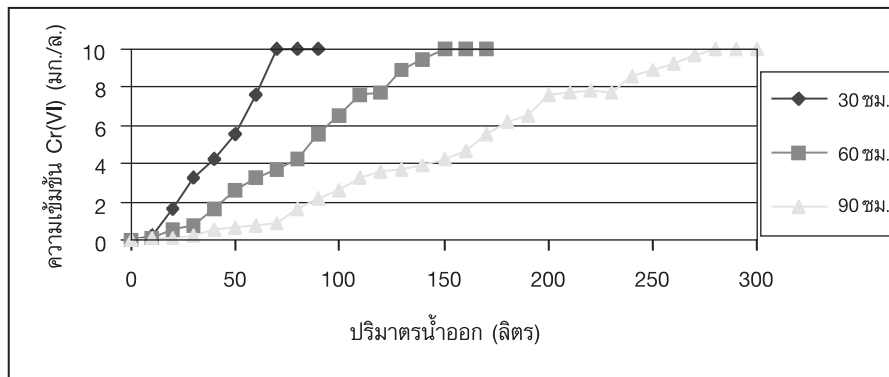
เวลา (ชั่วโมง)	ตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว		ตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลาปาล์ม	
	Cr(VI) ที่ถูกชะด้วยน้ำกลั่น (ร้อยละ)	Cr(VI) ที่ถูกชะด้วยสารละลายพีเอช 5 (ร้อยละ)	Cr(VI) ที่ถูกชะด้วยน้ำกลั่น (ร้อยละ)	Cr(VI) ที่ถูกชะด้วยสารละลายพีเอช 5 (ร้อยละ)
0.25	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0

พบว่าไม่มีการชะละลายของไอออนโครเมียมออกมาจากตัวดูดซับทั้งสองชนิด ไม่ว่าจะด้วยตัวชะละลายใดตลอด 24 ชั่วโมง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกลไกการดูดซับของตัวดูดซับทั้งสองชนิดน่าจะเป็นการดูดซับทางเคมี โดยเกิดการปฏิกิริยาทางเคมีขึ้นระหว่างพื้นที่ผิวของตัวดูดซับกับ Cr(VI) และมีการสร้างพันธะเคมีเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งเป็นการดูดซับที่ยึดโมเลกุลของโครเมียมในรูปของพันธะเคมีไว้ทำให้โครเมียมที่ถูก

ดูดซับไว้จะไม่มีการเคลื่อนที่ในสารละลายของเหลว [11] ด้วยเหตุนี้หากนำตัวดูดซับทั้งสองชนิดไปใช้งานจริง เมื่อใช้งานตัวดูดซับจนหมดสภาพแล้ว จะไม่สามารถทำการคืนสภาพ

3.6 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ Cr(VI) ของตัวดูดซับที่ผลิตได้ในถังดูดซับ

เลือกตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าวมาทำการทดลอง เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับ Cr(VI) ดีกว่าตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลาปาล์ม โดยทำการทดลองที่ค่าพีเอชเท่ากับ 3 ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ปริมาณน้ำเสียที่จุหมดสภาพของตัวดูดซับในคอลัมน์ที่ระยะ 30 60 และ 90 ซม.

ความเข้มข้นของ Cr(VI) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์เพิ่มขึ้น โดยน้ำเสียไหลจากบนลงล่างแสดงให้เห็นว่าตัวดูดซับจะหมดสภาพจากส่วนบนก่อน จากนั้นค่อยๆ หมดจนถึงส่วนกลางและถึงส่วนล่างของคอลัมน์ในที่สุด จุดสูงสุดของเส้นกราฟคือจุดที่ความเข้มข้นน้ำเสียเข้าเท่ากับความเข้มข้นน้ำเสียออกคือ 10 มก./ล. หรือคือจุดหมดสภาพของตัวดูดซับ โดยสามารถสรุปผลการทดลองแบบต่อเนื่องในสัดส่วนของปริมาณน้ำไหลผ่านต่อปริมาตรของชั้นถ่าน (bed volume, BV) ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการดูดซับ Cr(VI) ในคอลัมน์

ความสูงชั้นตัวกลาง (ซม.)	ปริมาณน้ำไหลผ่าน/ปริมาตรของชั้นถ่าน (BV)	ความหนาแน่นของการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)
30	485.5	8.54
60	521.7	9.14
90	664.3	11.59

จากตารางที่ 3 ที่ความสูง 90 เซนติเมตร ความหนาแน่นของการดูดซับเท่ากับ 11.59 มิลลิกรัมเฮกซะวาเลนทีโครเมียม/กรัมตัวดูดซับ ซึ่งสอดคล้องกับจากการทดลองที่ผ่านมา ในการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว (การทดลอง 3.4) มีค่าความหนาแน่นของการดูดซับเท่ากับ 11.078 มิลลิกรัมเฮกซะวาเลนทีโครเมียม/กรัมตัวดูดซับ

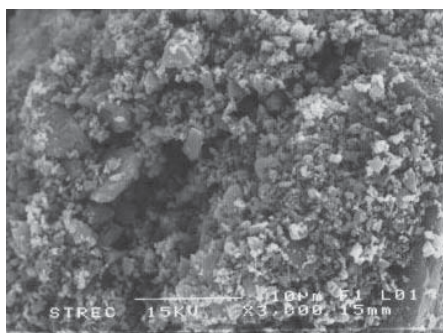
3.7 การหาคุณลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับกับถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 4 ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับทั้งสองชนิดกับถ่านกัมมันต์ (F300)

พารามิเตอร์	ตัวดูดซับ		ถ่านกัมมันต์ (F300)
	ดินดำผสมกะลามะพร้าว	ดินดำผสมกะลาปาล์ม	
Iodine Number (mg.I/g)	546.23	504.53	891.25
Surface Area (m ² /g)	392.55	388.45	955.70
Total Pore Volume (cm ³ /g)	0.23	0.23	0.49
Average Pore Diameter (°A)	45.0	46.4	20.73
Zeta Potential (mV)	-29.4	-23.2	-20.20

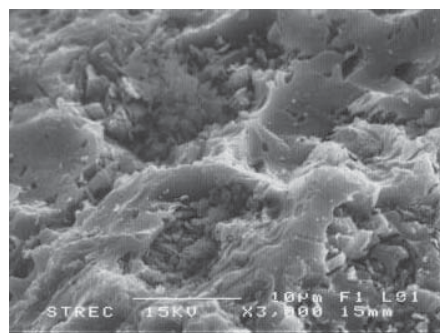
จากตารางที่ 4 จะพบว่าค่า Iodine Number, Surface Area และ Total Pore Volume ของตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว จะมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จากตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลาปาล์มเล็กน้อย แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ พบว่ามีค่าน้อยกว่าถ่านกัมมันต์อยู่มาก ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากใช้วัตถุดิบในการผลิต และขั้นตอนการผลิตที่ต่างกัน โดยหากกระตุ้นตัวดูดซับด้วยวิธีที่ดีกว่านี้ น่าจะทำให้ตัวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับได้ดีขึ้น

จากการศึกษาภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว และดินดำผสมกะลาปาล์ม โดยใช้กำลังขยาย 3,000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 11



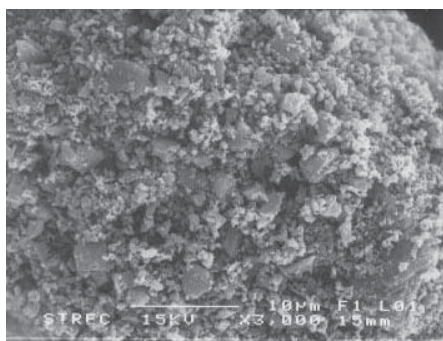
ตัวดูดซับผลิตจากดินตำผสมกะลามะพร้าว
เผาที่ 800 °ซ นาน 30 นาที

(ก)



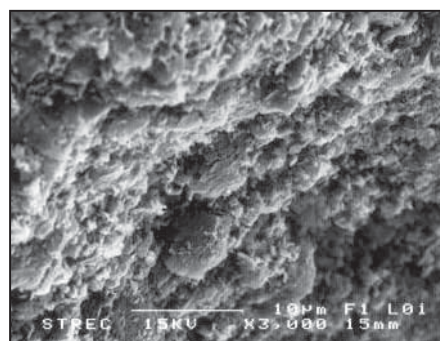
ตัวดูดซับผลิตจากดินตำผสมกะลามะพร้าว
ที่ผ่านการดูดซับแล้ว

(ข)



ตัวดูดซับผลิตจากดินตำผสมกะลาปาล์ม
เผาที่ 800 °ซ นาน 30 นาที

(ค)



ตัวดูดซับผลิตจากดินตำผสมกะลาปาล์ม
ที่ผ่านการดูดซับแล้ว

(ง)

รูปที่ 11 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 3,000 เท่า ของตัวดูดซับทั้งสองชนิด

เพื่อให้ทราบถึงหมู่ฟังก์ชันนัลกรุป (functional group) ของตัวดูดซับและตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับ Cr(VI) แล้ว โดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) ผลการวิเคราะห์ functional group ของตัวดูดซับทั้งสองชนิดพบว่าประกอบด้วยหมู่ O-H, C=O, Si-O-C และ Si-O ซึ่ง functional group ที่มีผลต่อการดูดซับคือ หมู่ C=O, O-H โดยทำให้เกิดปฏิกิริยากับระหว่างตัวดูดซับและเฮกซะวาเลนทีโครเมียมซึ้นที่ผิวของตัวดูดซับ [9]

4. สรุปผลการทดลอง

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลสำหรับการผลิตตัวดูดซับ เพื่อให้ตัวดูดซับมีประสิทธิภาพในการดูดซับ Cr(VI) สูงสุดและมีความคงรูปเมื่อนำไปใช้งาน พบว่าตัวดูดซับผลิตจากดินตำผสมกะลามะพร้าวก็คือตัวอย่างที่อัตราส่วนดินตำต่อกะลามะพร้าวเป็นร้อยละ 20 ต่อ 80 ส่วนในกรณีของตัวดูดซับผลิตจากดินตำผสมกะลาปาล์ม คือตัวอย่างที่อัตราส่วนดินตำต่อกะลาปาล์มเป็นร้อยละ 10 ต่อ 90 อุณหภูมิการเผา 800 °ซ เท่ากัน โดยที่ตัวดูดซับทั้งสองชนิด

มีความสามารถดูดซับ Cr(VI) ได้เท่ากับร้อยละ 99.02 และร้อยละ 96.66 ตามลำดับ ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ Cr(VI) ของตัวดูดซับทั้งสองชนิด พบว่าเวลาสัมพัทธ์ที่เหมาะสมคือ 4 ชั่วโมง ค่าพีเอชเท่ากับ 3 ซึ่งจากการทดลองหาไอโซเทอมการดูดซับที่สภาวะที่เหมาะสม พบว่าสอดคล้องกับสมการของ Langmuir โดยตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกับกะลามะพร้าวมีค่าการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 11.078 มก. Cr(VI) /กรัมตัวดูดซับ และตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกับกะลาปาล์มมีค่าการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 8.190 มก. Cr(VI) /กรัมตัวดูดซับ ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ได้ในการทดลอง โดยใช้ถ่านกัมมันต์มีค่าการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 47.398 มก. Cr(VI) /กรัมตัวดูดซับ ในการทดลองเพื่อศึกษาการชะไอออนโครเมียมของตัวดูดซับ พบว่าเมื่อตัวดูดซับทั้งสองชนิดได้ผ่านการดูดซับ Cr(VI) ไปแล้ว ไอออนโครเมียมจะไม่สามารถถูกชะออกมาได้ เนื่องจากการดูดซับ Cr(VI) ของตัวดูดซับทั้งสองชนิดเป็นการดูดซับทางเคมี ซึ่งการดูดซับดังกล่าวมีการสร้างพันธะระหว่างตัวดูดซับกับโครเมียม ในการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ของตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าวที่พีเอช 3 พบว่าจุดหมดสภาพที่ความลึก 30, 60 และ 90 ซม. อยู่ที่ 485.5 BV 521.7 BV และ 664.3 BV ตามลำดับ โดยคิดเป็นตัวดูดซับ 1 กรัม ดูดซับ Cr(VI) ได้ 11.59 มก. จนหมดสภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนบางส่วนในการทำวิจัย ขอขอบคุณหน่วยวิจัยการจัดการกากอุตสาหกรรม ห้องปฏิบัติการขยะ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ใช้สถานที่ในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

1. ปนัดดา คำรัตน์, 2545, *ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากซีเมนต์ของโรงงานน้ำยางชั้นในการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์*, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 60-69.
2. กิตตินันท์ คงสืบชาติ, 2546, *ดินเผาดูดซับจากดินเหนียวและซีลี้อยู่เพื่อการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์*, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 79-120.
3. American Society for Testing and Materials. ASTM E300, 1996, "Practice for Sampling Industrial Chemicals", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 15.05, Philadelphia, PA, USA.
4. American Society for Testing and Materials. ASTM D3860-89a, 1996, "Standard Practice for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon by Aqueous Phase Isotherm Technique", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 15.01, Philadelphia, PA, USA.

5. American Society for Testing and Materials. ASTM D 4607-94, 1996, "Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 15.01, Philadelphia, PA, USA.
6. เล็ก สีคง, 2540, *วัสดุวิศวกรรมและอุตสาหกรรม*, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
7. ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539, *เซรามิกส์*, พิมพ์ครั้งที่ 4, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
8. พิษิต จริยธรรมานุกูล, 2544, *การกำจัดเฮกซะวาเลนต์โครเมียมในน้ำใต้ดินสังเคราะห์ด้วยเหล็กสภาวะออกซิเดชันศูนย์*, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
9. Huang, C. P. and Wu, M. H. 1977, "The Removal of Chromium (VI) from Dilute Aqueous Solution by Activated Carbon" *Water Research*, Vol. 11, pp. 673-679.
10. Rai, D., Eary, L. E., and Zachara, J. M., 1989. "Environmental Chemistry of Chromium" *The Science of the Total Environment*, Vol. 86, pp. 15-23.
11. U.S. Environmental Protection Agency, 2000, In Situ Treatment of Soil and Groundwater Contaminated with Chromium, EPA 625/R-00/004, October 2000.