การใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส *(Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) และไม้กระถินเทพา*(Acacia mangium* Willd.*)* เพื่อการกำจัดโครเมียม และนิเกิลจากน้ำเสียสังเคราะห์

ธเรศ ศรีสถิตย์[1] ธวัชชัย สิงหศิริ[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กทม.10330

[2] สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กทม. 10330

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดโครเมียมและนิเกิลจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถินเทพา ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้โซเดียมคลอไรด์(NaCl) ผลการทดลองในขั้นตอนการเตรียมถ่านพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพาโดยทำการเผาคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ผลผลิตมีค่าสูงสุดถึงร้อยละ 59.01 และ ร้อยละ 60.91 ตามลำดับ แช่สารกระตุ้นเกลือแกงตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นเกลือแกงที่อัตราส่วน 1:2 และเผากระตุ้นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์ถ่านไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 612 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 701 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถินเทพา มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 368.68 ตารางเมตรต่อกรัม และ 408.64 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรโพรงเท่ากับ 0.27 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม 0.34 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ขนาดโพรงเฉลี่ยเท่ากับ 13.55 อังสตรอม และ18.04 อังสตรอม ตามลำดับ การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟลุนดลิช ที่ pH 9 พบว่า ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส ไม้กระถินเทพา และ Calgon Filtrasorb 300 มีค่า K ของการดูดติดผิวโครเมียม ซึ่งมีค่า 1.36, 12.57 และ 24.64 มิลลิกรัมต่อกรัม และการดูดติดผิวนิเกิล ซึ่งมีค่า 38.24, 50.31 และ 217.99 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้ถังดูดซับแบบแท่ง(adsorption column) เลือกใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา บรรจุในคอลัมน์ที่ระดับความสูงของคอลัมน์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร โดย สามารถกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ คิดเป็น 82.34, 52.94, 43.14 และ 41.18 BV ที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และสามารถกำจัดนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์คิดเป็น 129.41, 70.59, 50.98 และ 50.00 BV ที่ความเข้มข้นนิเกิลเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และได้นำถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพาไปผ่านการฟื้นฟูสภาพ(regeneration) โดยการผ่านของสารละลายกรดไฮดรอคลอริก(HCl) ความเข้มข้น 5 % พบว่ามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 388 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 421 มิลลิกรัมต่อกรัม ของถ่านกัมมันต์ที่มีการดูดติดผิวโครเมียมและนิเกิล ตามลำดับ

ABSTRACT

The objective of this research is to study the adsorption of cromium and nickel from synthetic watsewater by activated carbon from Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) and Acacia (*Acacia mangium* Willd.). The chemical activated process was sodium chloride. In the activated carbon preparation process, the results showed that the temperature suitable for carbonization of the raw meterial was 300 degree Celsiuses at 120 minutes, which gave the heighest yield percent at 59.01 % and 60.91 % for both charcoal meterials respectively .The appropriate ratio by weight of charcoal meterial to sodium chloride was 1:2 for both activated carbon at temperature 800 degree Celsiuses for 1 hour, which gave the heighest iodine number at 612 and 701 milligrams per gram respectively. The activated carbon from Eucalyptus and Acacia had surface area 368.68 and 408.64 meters square, pore volume 0.27 and 0.34 centimeters cubic, average pore size 13.55 and 18.04 A^0 respectively. Freundlich adsorption isotherm, it was found that K value of activated carbon from Eucalyptus Acacia and Calgon Filtrasorb 300,at pH 9 can adsorbed cromium 1.36, 12.57 and 24.64 milligram per gram and nickel for 38.24, 50.31 and 217.99 milligram per gram respectively. In adsorption column test, activated carbon from acacia was used for packing in the column. The result showed that activated carbon can treated cromium from synthetic wastewater for 82.34, 52.94, 43.14 and 41.18 BV with 10 milligrams per liter of cromium influent concentration respectively and at depth of adsorbent 30, 60, 90 and 120 centimeters of column test, activated carbon from Acacia can treated nickel from synthetic wastewater for 129.41, 70.59, 50.98 and 50.00 BV with 10 milligrams per liter of nickel influent concentration respectively. For activated carbon regeneration studies, by using 5% by weight of hydrochloric acid as a regenerant it found that the iodine number of activated carbon value was 388 and 421 milligram per gram on cromium and nickel adsorption respectively.

Key Word: ADSORPTION, EUCALYPTUS, ACACIA, CROMIUM, NICKEL

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังมีการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหามลพิษทางน้ำ และนับวันจะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น โลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่สำคัญหลายประเภท วิธีการที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ การกรองผ่านเยื่อกรองแบบผันกลับ การแลกเปลี่ยนประจุ การตกตะกอน และการดูดติดผิว ซึ่งแต่ละวิธีมีประสิทธิภาพและข้อจำกัดแตกต่างกัน ทางเลือกหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่าง

แพร่หลาย คือ การดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์(activated carbon) ในปัจจุบันถ่านกัมมันต์ที่ใช้ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ทำให้ต้นทุนของการบำบัดน้ำเสียสูงขึ้น จึงมีความพยายามที่จะศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบและสารเคมีที่หาได้ง่าย ราคาถูกและมีความเป็นพิษต่ำ [1] โดยได้มีการศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น [2] ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด [3] การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น [4] การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อย [5] การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร [6] การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส(*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) กระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำร้อนยวดยิ่ง [7] การกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเกิดขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์

1. ศึกษาความสามารถในการกำจัดโครเมียม และนิเกิลจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถินเทพา

2. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถินเทพา

3. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมียม และนิเกิลจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถินเทพา และถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายในตลาด

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพาโดยการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์(NaCl) นำวัตถุดิบ คือ ไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถินเทพา มาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ที่ผิวของวัตถุดิบ หลังจากนั้นให้นำไปตากแดดให้แห้ง และเผาให้เป็นถ่านไม้ เผาที่อุณหภูมิ 300 – 500 องศาเซลเซียส และเวลา 20, 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที แล้วเลือกถ่านไม้ที่มีผลผลิตมากที่สุดเป็นตัวทดสอบต่อไป แล้วนำมาแช่ในสารละลายอิ่มตัวของเกลือแกง(NaCl) 24 ชั่วโมง กรองแล้วนำไปผึ่งลมให้แห้งทำการเผาในหม้อดินที่มีฝาปิด เพื่อเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่เหมาะสม โดยเผาที่อุณหภูมิ 400, 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผากระตุ้น ทำการเผาที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัตถุดิบต่อเกลือแกงเท่ากับ 1:0, 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 การเผาจะทำการเผาในหม้อดินเผาที่ปิดฝาแล้วไปวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ โดยนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้และคัดเลือกว่าเหมาะสมที่สุด ไปทดสอบหาค่าพื้นที่ผิว, ปริมาตรโพรง และขนาดโพรงเฉลี่ย โดยใช้เครื่อง Specific Surface Area Analyzer ด้วยวิธี BET(Brunauer – Emmett – Teller) โดยการวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดเก็บไว้โดยถ่านกัมมันต์ การทดสอบหาค่าขนาดประสิทธิผล และสัมประสิทธิ์

ความคงตัว โดยนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ร่อนผ่านชุดตะแกรงมาตรฐานเบอร์ต่างๆ(sieve analysis) วัดน้ำหนักถ่านที่ค้างอยู่ตะแกรงแต่ละเบอร์ แล้วนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟ Log – proability เพื่อหาค่าขนาดประสิทธิผลและสัมประสิทธิ์ความคงตัว

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวโครเมียมและนิเกิล อิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์ นำน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นและพีเอชที่เหมาะสม ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมผงถ่านกัมมันต์ 10 ค่า คือ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.10, 0.20, 0.40, 1.00, 2.00 และ 4.00 กรัม ลงในขวดแต่ละใบ ตามลำดับ นำขวดไปเขย่าบนเครื่องเขย่า เป็นเวลา 120 นาที ทิ้งให้ถ่านจมตัว จากนั้นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 เพื่อแยกถ่านออกและนำน้ำไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมและนิเกิล แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช

ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมและนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่อง (column test) นำถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับการดูดติดผิวโครเมียมและนิเกิลมาทำการคัดขนาดในช่วง 8 × 30 เมช ซึ่งจะมีขนาดระหว่าง 0.59 – 2.38 มิลลิเมตร บรรจุในถังดูดซับแบบแท่งที่เป็นท่ออะไคริกแบบใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.9 เซนติเมตร และมีการเจาะรูเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสียระดับความลึกของชั้นถ่านกัมมันต์ที่ 0, 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ป้อนน้ำเสียโครเมียมและนิเกิลที่เตรียมได้ ควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้คงที่ 3 ลิตรต่อชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ความลึกของชั้นถ่านที่ 0, 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ทุกๆ 1 ลิตร โดยการกรองผ่านกระดาษกรอง นำน้ำเสียที่ได้มาวัดค่าพีเอชและวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมและนิเกิลที่เหลือ คำนวณชั้นความลึกของถ่านที่เหมาะสมแล้วสร้าง Breakthrough curve

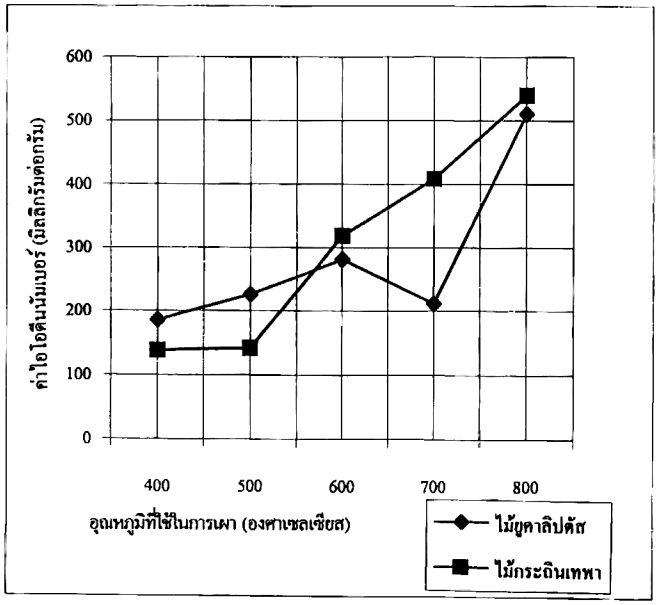
ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ทำการศึกษาวิจัย

คุณสมบัติ	**มาตรฐาน**	**เครื่องมือ**
1.ไอโอดีนนัมเบอร์	ASTM D4607-94	-
2.พื้นที่ผิว,ปริมาตรโพรงและขนาดโพรงเฉลี่ย	ASTM D918-77	Specific Surface Area Analysis
3.ไอโซเทอมการดูดติดแบบฟรุนดลิช	ASTM D3860-89a	-
4.วิเคราะห์ โครเมียมและนิเกิล	Standard Method	Atomic Absorption Spectrophotometer

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพาโดยการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์

จากรูปที่ 1 ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพา ที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ กัน คือ 400, 500, 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยพิจารณาจากค่าไอโอดีนนัมเบอร์ พบว่า ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาสูงขึ้น เนื่องจากการที่ใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารประกอบอื่นๆ ในถ่านไม้ยูคาลิปตัสและถ่านไม้กระถินเทพาที่สลายยังไม่หมดจากการเผาก็จะสลายเมื่อมากขึ้น ส่วนที่เหลืออยู่ก็จะเป็นถ่านคาร์บอนคงตัว หรือ โครงสร้างหลักของถ่านกัมมันต์[8] เมื่อสารประกอบที่ระเหยได้สลายไป พื้นที่ว่างในโครงสร้างถ่านก็จะเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้นด้วย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจากการศึกษานี้ พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุดคือ 510 และ 539 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงเลือกอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มาเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาในขั้นต่อไป

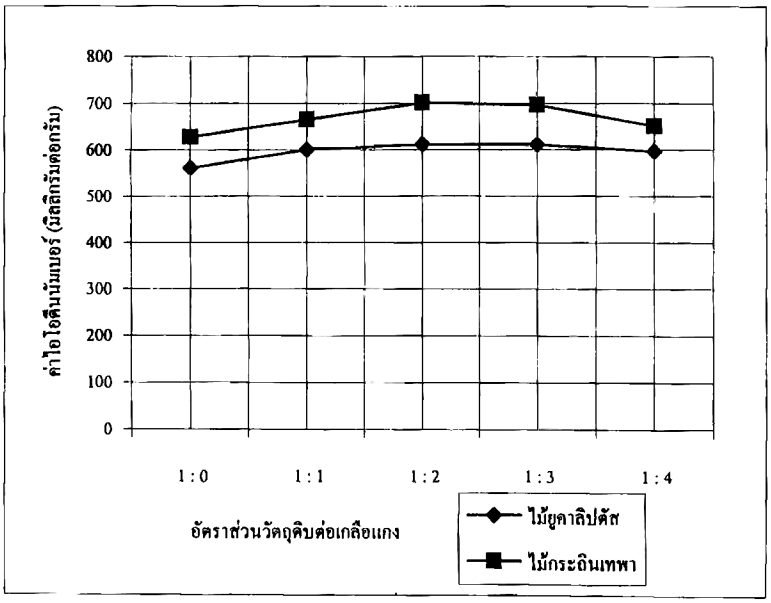


รูปที่ 1 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาต่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์

และจากรูปที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่อัตราส่วนวัตถุดิบถ่านไม้ยูคาลิปตัสต่อสารกระตุ้นเกลือแกง เท่ากับ 1:0 1:1 และ 1:2 จะเห็นว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน คือ จาก 561 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็น 600 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 612 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แสดงว่า สารกระตุ้นเกลือแกงทำให้ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์

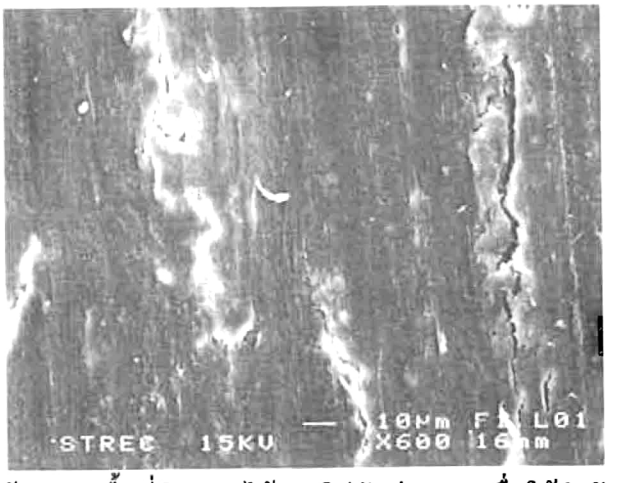
เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อมีการเติมสารกระตุ้นเกลือแกงเพิ่มลงไป 3 และ 4 เท่าของน้ำหนักวัตถุดิบ พบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์มีค่าลดลงจาก 611 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็น 597 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ของถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่เตรียมในอัตราส่วน 1:2 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

สำหรับถ่านไม้กระถินเทพา ก็ให้ผลการศึกษาเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านไม้กระถินเทพาที่อัตราส่วนวัตถุดิบถ่านไม้กระถินเทพาต่อสารกระตุ้นเกลือแกง เท่ากับ 1:0 1:1 และ 1:2 จะเห็นได้ว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน คือ จาก 628 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็น 665 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 701 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ แสดงว่า สารกระตุ้นเกลือแกงทำให้ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อมีการเติมสารกระตุ้นเกลือแกงเพิ่มลงไปเป็น 3 และ 4 เท่าของน้ำหนักวัตถุดิบ พบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์มีค่าลดลงจาก 696 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็น 651 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับของถ่านไม้กระถินเทพาที่เตรียมในอัตราส่วน 1:2 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เช่นเดียวกันกับไม้ยูคาลิปตัส อย่างไรก็ตามค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานผลิตอุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ของประเทศไทยที่กำหนดไว้เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่าน[9]

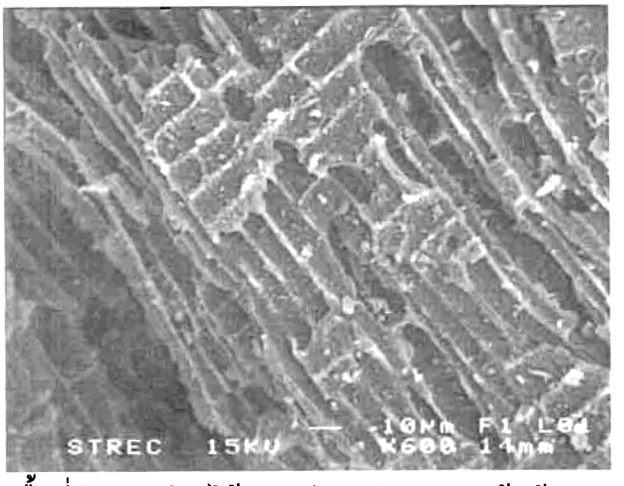


รูปที่ 2 อัตราส่วนสารกระตุ้นเกลือแกงต่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพา

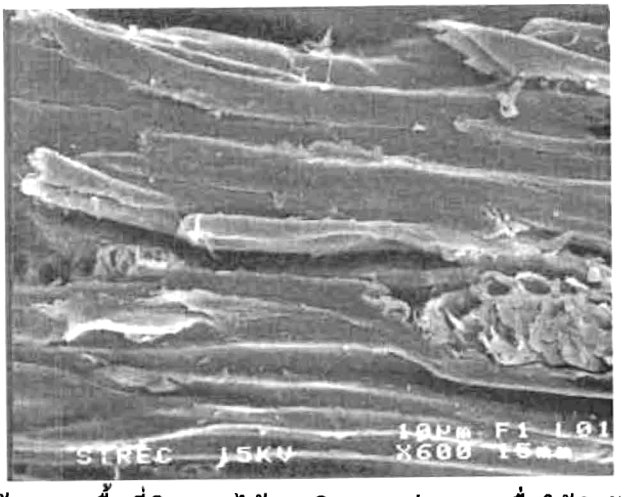
นอกจากนี้ยังได้นำไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพาซึ่งเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น ถ่านไม้ที่ผ่านการเผาณ อุณหภูมิและเวลาเหมาะสม ถ่านไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายเกลือแกงอิ่มตัว และถ่านกัมมันต์หลังการกระตุ้นที่อัตราส่วน 1:2 ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน(SEM) เมื่อพิจารณาโครงสร้างพื้นผิวและความพรุน พบว่า ไม้ยูคาลิปตัสก่อนเผามีรูพรุนน้อยมาก แต่เมื่อเผาแล้วจะเกิดรูพรุนทั่วถ่านกัมมันต์ (รูปที่ 3 ถึง 4) ส่วนไม้กระถินเทพาวัตถุดิบก่อนเผามีรูพรุนเกิดตามธรรมชาติบ้างพอสมควรซึ่งมากกว่าไม้ยูคาลิปตัส และหลังจากผ่านการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้นเกลือแกงแล้ว พบว่า มีความพรุนมากขึ้น ขนาดรูพรุนจะกระจายอย่างสม่ำเสมอ (รูปที่ 5 ถึง 6) [5]



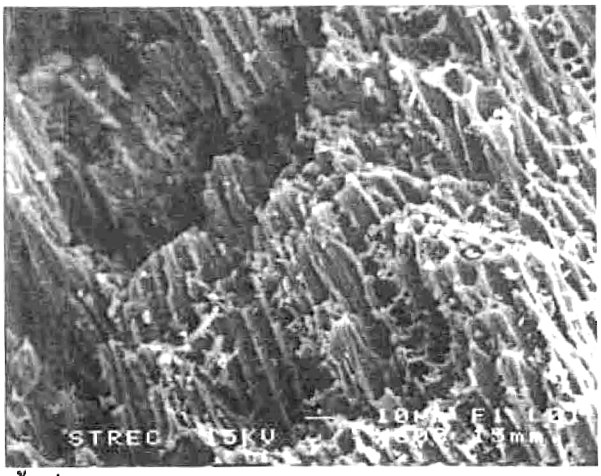
รูปที่ 3 โครงสร้าง และพื้นที่ผิว ของไม้ยูคาลิปตัสก่อนเผา เมื่อใช้กำลังขยาย 600 เท่า



รูปที่ 4 โครงสร้าง และพื้นที่ผิว ของถ่านไม้ยูคาลิปตัสหลังการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้นเกลือแกง ด้วยอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นเกลือแกง เท่ากับ 1:2 เมื่อใช้กำลังการขยาย 600 เท่า



รูปที่ 5 โครงสร้าง และพื้นที่ผิว ของไม้กระถินเทพาก่อนเผา เมื่อใช้กำลังขยาย 600 เท่า



รูปที่ 6 โครงสร้าง และพื้นที่ผิว ของถ่านไม้กระถินเทพาหลังการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้นเกลือแกง ด้วยอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อสารกระตุ้นเกลือแกง เท่ากับ 1:2 เมื่อใช้กำลังการขยาย 600 เท่า

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> ศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

จากตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ ซึ่งจะมีคุณสมบัติแสดงถึงความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ ได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้คือ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ก่อนการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้นเกลือแกง มีค่าพื้นที่ผิว(ตร.ม./กรัม) ปริมาตรโพรง(ลบ.ซม./กรัม) และขนาดโพรงเฉลี่ย (อังสตรอม) เท่ากับ 14.02 ตร.ม./กรัม 0.02 ลบ.ซม./กรัม และ 6.14 อังสตรอม ตามลำดับ และหลังการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้นเกลือแกง เท่ากับ 368.68 ตร.ม./กรัม 0.27 ตร.ม./กรัม และ 13.55 อังสตรอม ตามลำดับ

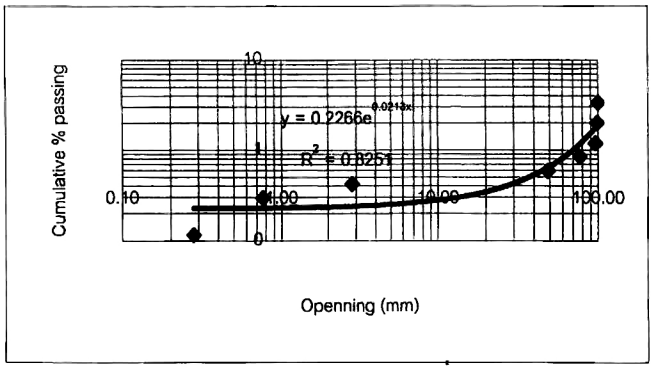
สำหรับถ่านไม้กระถินเทพาก่อนการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้นเกลือแกง มีค่าพื้นที่ผิว (ตร.ม./กรัม) ปริมาตรโพรง(ลบ.ซม./กรัม) และขนาดโพรงเฉลี่ย(อังสตรอม) เท่ากับ 129.30 ตร.ม./กรัม, 0.13 ลบ.ซม./กรัม และ 6.13 อังสตรอม ตามลำดับ และหลังการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้นเกลือแกง เท่ากับ 408.64 ตร.ม./กรัม 0.34 ลบ.ซม./กรัม และ 18.04 อังสตรอม ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ พื้นที่ผิว ปริมาตรโพรงและขนาดโพรงเฉลี่ย ทั้งถ่านไม้ยูคาลิปตัสและถ่านไม้กระถินเทพา ก่อนและหลังการกระตุ้นด้วยสารกระตุ้นเกลือแกง มีค่าเพิ่มขึ้น และถ่านไม้กระถินเทพามีค่าสูงกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัสเพียงเล็กน้อย ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ แสดงว่า ถ่านไม้กระถินเทพาย่อมมีความสามารถในการดูดติดผิวได้ดีกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัส

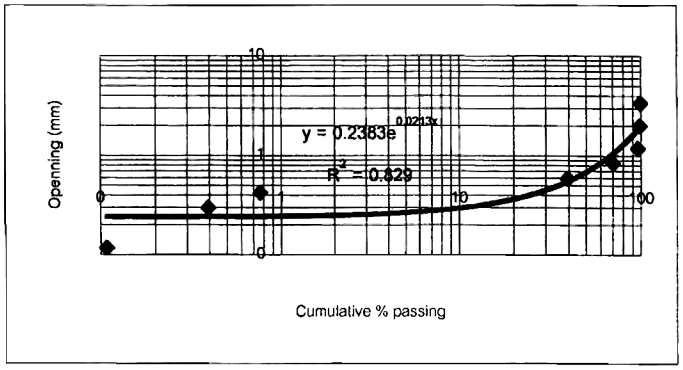
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส ไม้กระถินเทพา และถ่านกัมมันต์ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป

ลักษณะทางกายภาพ	ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส		ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส		Calgon Filtrsorb 300
	ก่อนการกระตุ้น	หลังการกระตุ้น	ก่อนการกระตุ้น	หลังการกระตุ้น	
พื้นที่ผิว(ตร.ม./กรัม)	14.02	368.68	129.30	408.64	900-1000
ปริมาตรโพรง (ลบ.ซม./กรัม)	0.02	0.27	0.13	0.34	0.75-0.85
ขนาดโพรงเฉลี่ย (อังสตรอม)	6.14	13.55	6.13	18.04	16.51

จากรูปที่ 7 ถึง 8 พบว่า ถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยูคาลิปตัสและถ่านไม้กระถินเทพา มีลักษณะการกระจายตัวของขนาดถ่านกัมมันต์เมื่อนำมาพล็อต กราฟ จะได้กราฟที่มีลักษณะความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้งแบบ exponential จากกราฟสามารถคำนวณหาค่าขนาดประสิทธิผล ของถ่านกัมมันต์ไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพา ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.28 และ 0.29 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ความคงตัว มีค่าเท่ากัน เท่ากับ 2.9



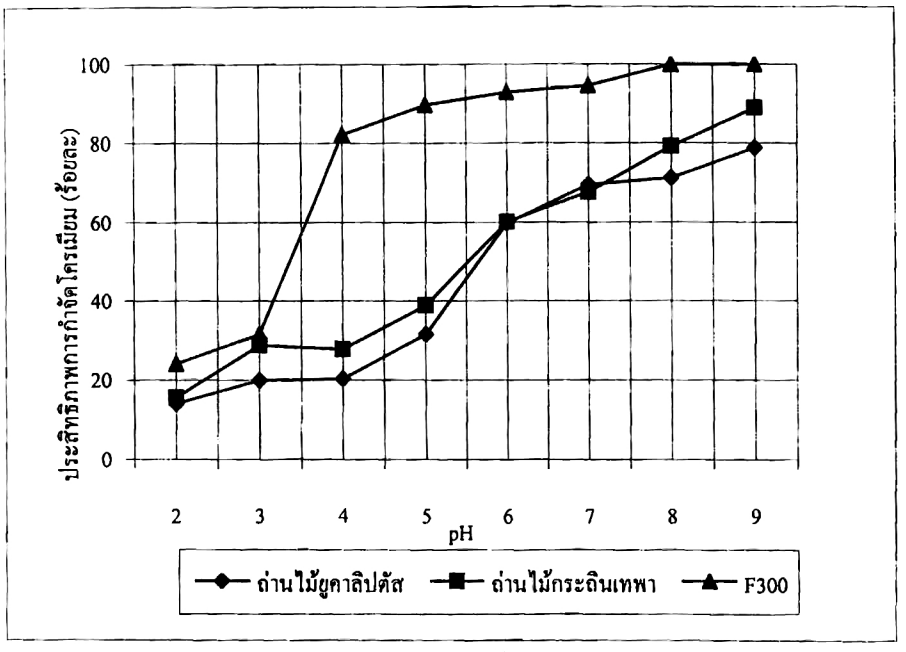
รูปที่ 7 ขนาดประสิทธิผลและสัมประสิทธิ์ความคงตัวของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส



รูปที่ 8 ขนาดประสิทธิผลและสัมประสิทธิ์ความคงตัวของถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพา

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิวโครเมียมและนิเกิล

จากรูปที่ 9 การทดลองหา pH ที่เหมาะสม พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านแต่ละชนิดที่ pH ต่างๆ กัน โดยสำหรับถ่านไม้ยูคาลิปตัส มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเพิ่มขึ้น เมื่อ pH เพิ่มขึ้น ที่ pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 มีค่าร้อยละ 14.09, 19.88, 20.33, 31.53, 59.75, 69.55, 71.21 และ 78.82 ตามลำดับ ส่วนถ่านไม้กระถินเทพามีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมมีค่าร้อยละ 15.57, 28.73, 27.77, 38.83, 60.06, 67.63, 79.22 และ 88.97 ตามลำดับ และสำหรับถ่าน Calgon Filtrasorb 300 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมมีค่าร้อยละ 24.09, 31.58, 82.21, 89.75, 92.96, 94.57, 99.88 และ 100 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าถ่าน Calgon Filtrasorb 300 มีความสามารถในการกำจัดโครเมียมได้ดีกว่า ถ่านจากไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพา

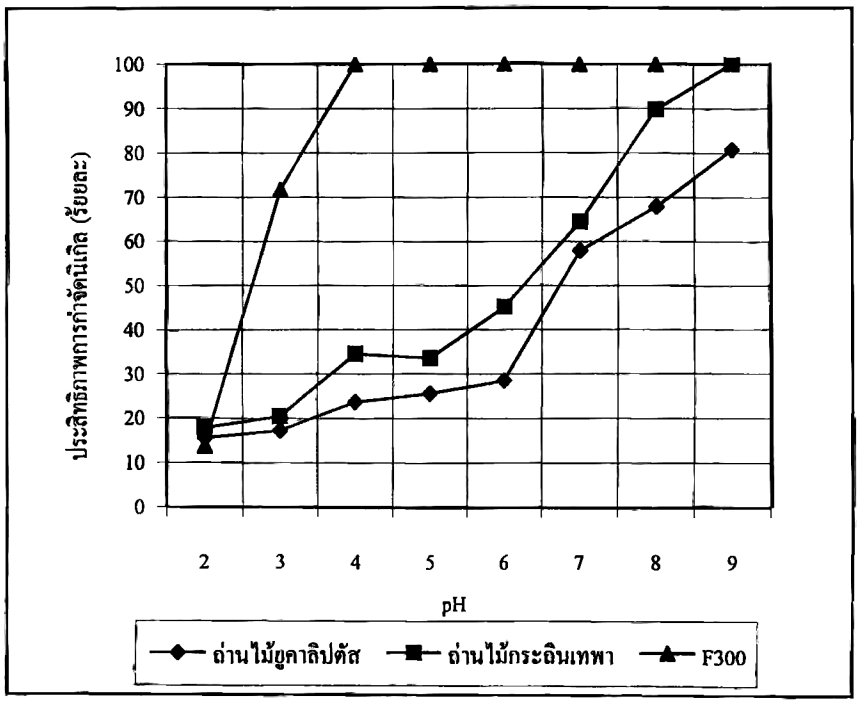


รูปที่ 9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส ไม้กระถินเทพา และถ่าน Calgon Filtrasorb 300

จากรูปที่ 10 การทดลองหา pH ที่เหมาะสม พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านแต่ละชนิดที่ pH ต่างๆ กัน โดยสำหรับถ่านไม้ยูคาลิปตัส มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิเกิลเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม ที่ pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 มีค่าร้อยละ 15.62, 17.33, 23.76, 25.65, 28.59, 57.82, 67.8 และ 80.68 ตามลำดับ ส่วนถ่านไม้กระถินเทพามีประสิทธิภาพในการกำจัดนิเกิล มีค่าร้อยละ 17.87, 20.49, 34.53, 33.58, 45.11, 64.43, 89.77 และ 100 ตามลำดับ สำหรับถ่าน Calgon Filtrasorb 300 มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิเกิล ที่ pH 2 และ 3 มีค่าร้อยละ 13.84 และ 71.63 ตามลำดับ และตั้งแต่ pH 4 ถึง 9 มีค่าร้อยละ 100 ซึ่งพบว่ามีความสามารถ

ในการกำจัด นิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพา เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม

จากรูปที่ 9 และ 10 พบว่าถ่านไม้กระถินเทพามีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมและนิเกิลได้ดีกว่าไม้ยูคาลิปตัส ทั้งนี้เนื่องจากสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทั้งไอโอดีนนัมเบอร์ และพื้นที่ผิว ซึ่งถ่านไม้กระถินเทพามีค่ามากกว่าไม้ยูคาลิปตัสจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมและนิเกิลได้ดีกว่า

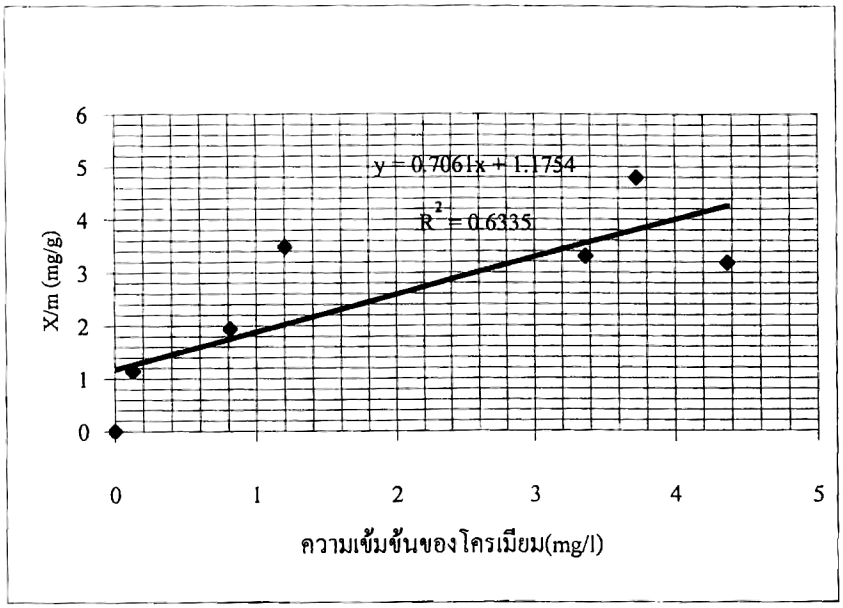


รูปที่ 10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส ไม้กระถินเทพา และถ่าน Calgon Filtrasorb 300

ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสต่อการดูดติดผิวของโครเมียมและนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ผลดังรูปที่ 11 ถึง 12

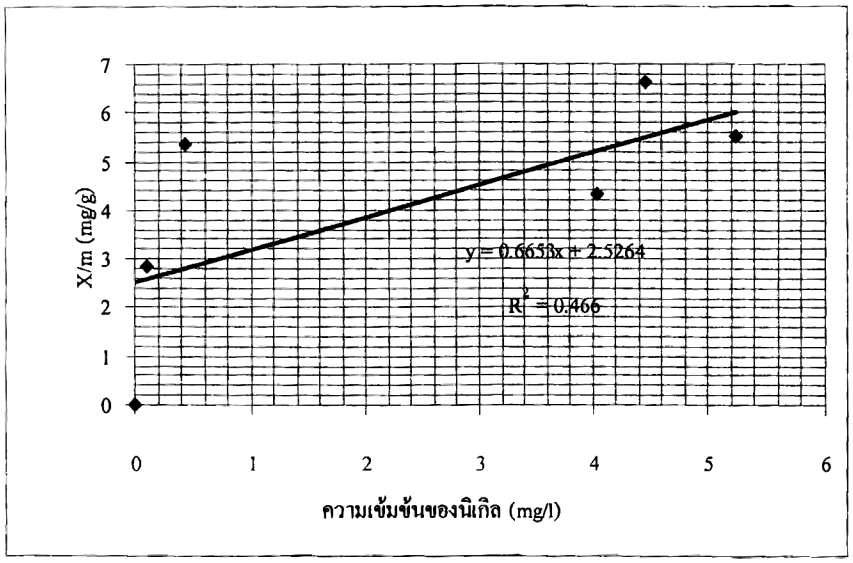
จากรูปที่ 11 กราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์แบบฟลุนดลิชของถ่านไม้ยูคาลิปตัส สามารถคำนวณหาสมการเส้นตรงได้เท่ากับ

$$y = 0.7061x + 1.1754 \text{ และค่า } R^2 = 0.6335$$



รูปที่ 11 ไอโซเทอมการดูดติดผิวโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังการดูดติดผิวด้วยถ่านจากไม้ยูคาลิปตัส

จากรูปที่ 12 กราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์แบบฟลุนดลิชของถ่านไม้ยูคาลิปตัส สามารถคำนวณหาสมการเส้นตรงได้เท่ากับ $y = 0.6653x + 2.5264$ และค่า $R^2 = 0.466$

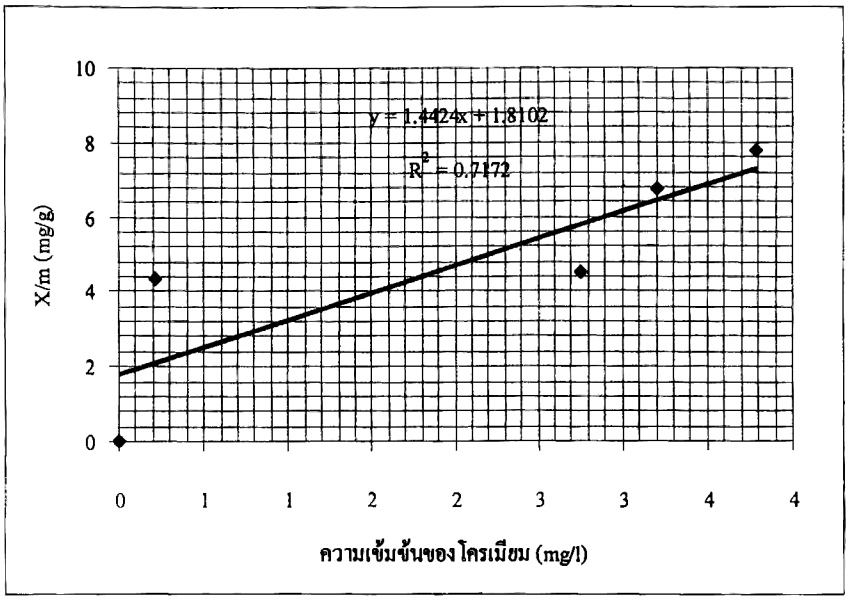


รูปที่ 12 ไอโซเทอมการดูดติดผิวนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังการดูดติดผิวด้วยถ่านจากไม้ยูคาลิปตัส

จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพาต่อการดูดติดผิวของโครเมียมและนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ผลดังรูปที่ 13 ถึง 14

จากรูปที่ 13 กราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ แบบฟลุนดลิชของถ่านไม้กระถินเทพา สามารถคำนวณหาสมการเส้นตรงได้ เท่ากับ

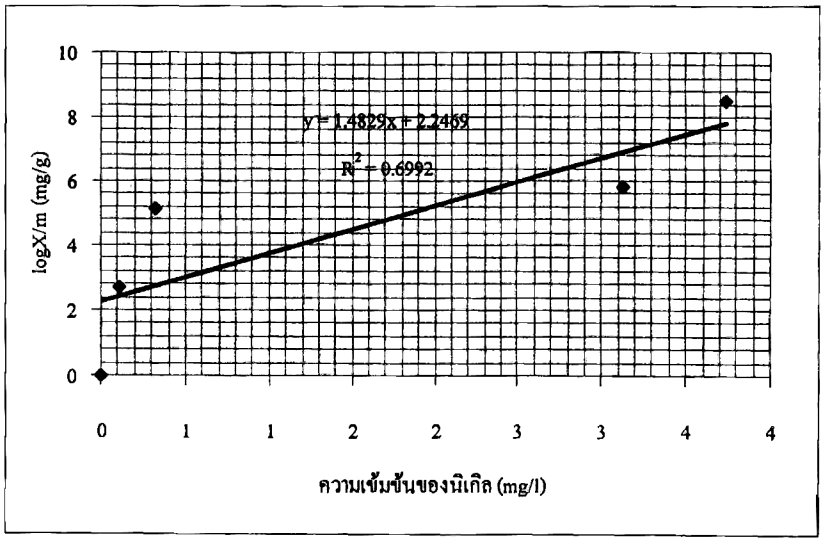
$y = 1.4424x + 1.8102$ และค่า $R^2 = 0.7172$



รูปที่ 13 ไอโซเทอมการดูดติดผิวโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์หลังการดูดติดผิวด้วยถ่านจากไม้กระถินเทพา

จากรูปที่ 14 กราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ แบบฟรุนดลิชของถ่านไม้กระถินเทพา สามารถคำนวณหาสมการเส้นตรงได้ เท่ากับ

$y = 1.4829x + 2.2469$ และค่า $R^2 = 0.6992$

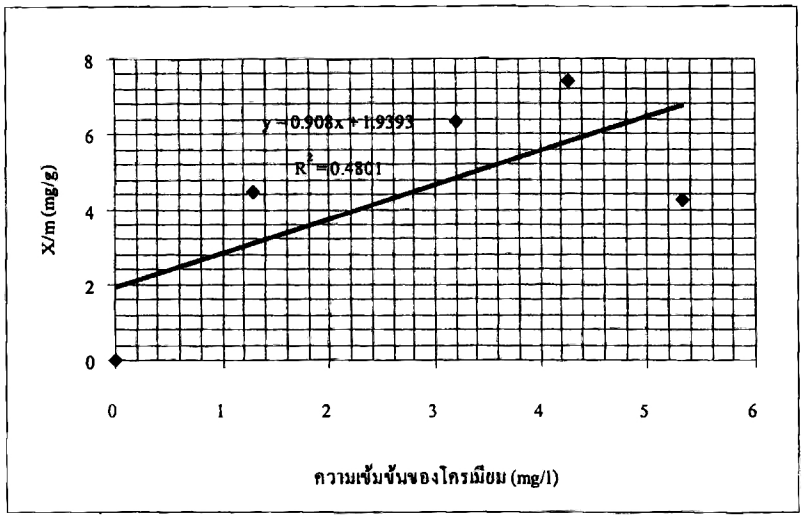


รูปที่ 14 ไอโซเทอมการดูดติดผิวนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังการดูดติดผิวด้วยถ่านจากไม้กระถินเทพา

ไอโซเทอมการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ Calgon Filtrasorb 300 จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพาต่อการดูดติดผิวของโครเมียมและนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ผลดังรูปที่ 15 ถึง 16

จากรูปที่ 15 กราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์แบบฟลุนดลิช ของถ่าน Calgon Filtrasorb 300 สามารถคำนวณหาสมการเส้นตรงได้ เท่ากับ

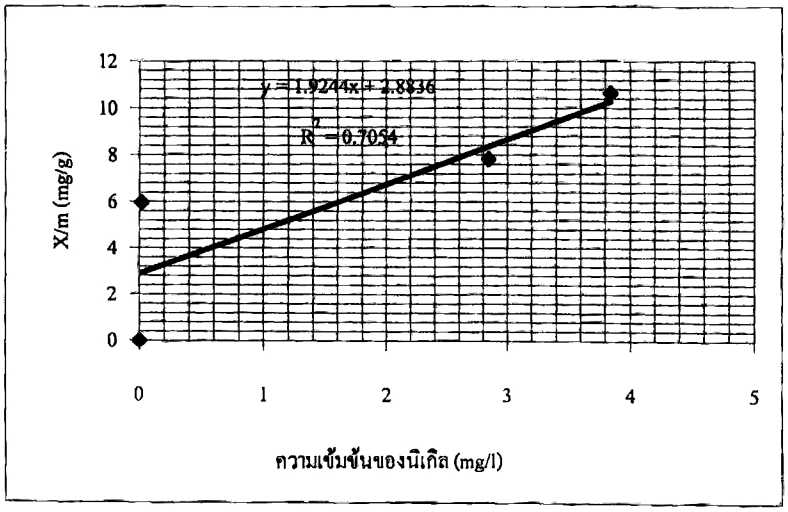
$y = 0.908x + 1.9393$ และค่า $R^2 = 0.4801$



รูปที่ 15 ไอโซเทอมการดูดติดผิวโครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังการดูดติดผิวด้วยถ่าน Calgon Filtrasorb 300

จากรูปที่ 16 กราฟไอโซเทอมการดูดติดผิวนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์แบบฟลุนดลิช ของถ่าน Calgon Filtrasorb 300 สามารถคำนวณหาสมการเส้นตรงได้ เท่ากับ

$y = 1.9244x + 2.8836$ และค่า $R^2 = 0.7054$



รูปที่ 16 ไอโซเทอมการดูดติดผิวนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ หลังการดูดติดผิวด้วยถ่าน Calgon Filtrasorb 300

จากตารางที่ 3 ถ่านกัมมันต์ที่มีค่า K สูงสุด คือ ถ่าน Calgon Filtrasorb 300 ซึ่งจะสูงกว่าถ่านไม้กระถินเทพา และถ่านไม้ยูคาลิปตัส ทั้งในการดูดติดผิวโครเมียมและนิเกิล แสดงว่า ถ่านกัมมันต์ที่สามารถดูดติดผิวโครเมียมและนิเกิลได้ดี คือ ถ่าน Calgon Filtrasorb 300 ถ่านไม้กระถินเทพา และถ่านไม้ยูคาลิปตัส โดยมีค่า K ของการดูดติดผิวโครเมียม ที่ pH 9 เท่ากับ 24.64, 12.57 และ 1.36 mg/g และการดูดติดผิวนิเกิล เท่ากับ 217.99, 50.31 และ 38.24 mg/g ตามลำดับ

นอกจากนี้พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพาจะมีค่า 1/n สูงในการดูดติดผิวโครเมียม และถ่าน Calgon Filtrasorb 300 มีค่า 1/n สูงในการดูดติดผิวนิเกิล แสดงว่าค่าความเข้มข้น มีบทบาทต่อความสามารถในการดูดติดผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา และ ถ่าน Calgon Filtrasorb 300 นั่นคือ ถ้าสารดูดติดผิวมีความเข้มข้นสูงจะมีแนวโน้มในการดูดติดผิวได้ดี จากการทดลองนี้ สอดคล้องกับผลการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ และการหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านมา นั่นคือ ถ่าน Calgon Filtrasorb 300 เป็นถ่านที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ และพื้นที่ผิวสูงสุด รองลงมาคือถ่านจากไม้กระถินเทพา และถ่านไม้ยูคาลิปตัส ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่าคงที่ของถ่านกัมมันต์ไม้ยูคาลิปตัส ไม้กระถินเทพา และถ่าน Calgon Filtrasorb 300 จากสมการการดูดติดผิวแบบฟลุนดลิช

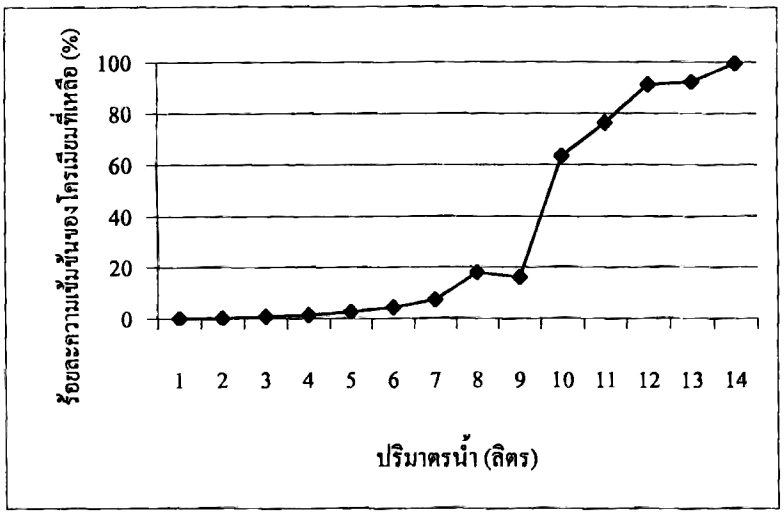
ถ่านกัมมันต์	**โครเมียม**		**นิเกิล**	
	K (mg/g)	**1/n**	**K (mg/g)**	**1/n**
ถ่านไม้ยูคาลิปตัส	1.36	0.71	38.24	0.67
ถ่านไม้กระถินเทพา	12.57	1.44	50.31	1.48
ถ่าน Calgon Filtrasorb 300	24.64	0.91	217.99	1.92

จากตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟลุนดลิชในการดูดติดผิวโครเมียมและนิเกิลของถ่านจากไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินเทพา พบว่า ถ่านไม้กระถินเทพามีประสิทธิภาพในการกำจัดทั้งโครเมียมและนิเกิลสูงกว่าไม้ยูคาลิปตัส โดยพิจารณาจากค่าคงที่ K ที่คำนวณได้ และแนวโน้มของกราฟไอโซเทอมการดูดติด ซึ่งพบว่าเส้นกราฟของถ่านไม้กระถินเทพาจะสูงกว่า ดังนั้นจึงเลือกถ่านไม้กระถินเทพาเพื่อนำไปใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่องต่อไป

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมและนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้การทดลองแบบต่อเนื่อง (column test)

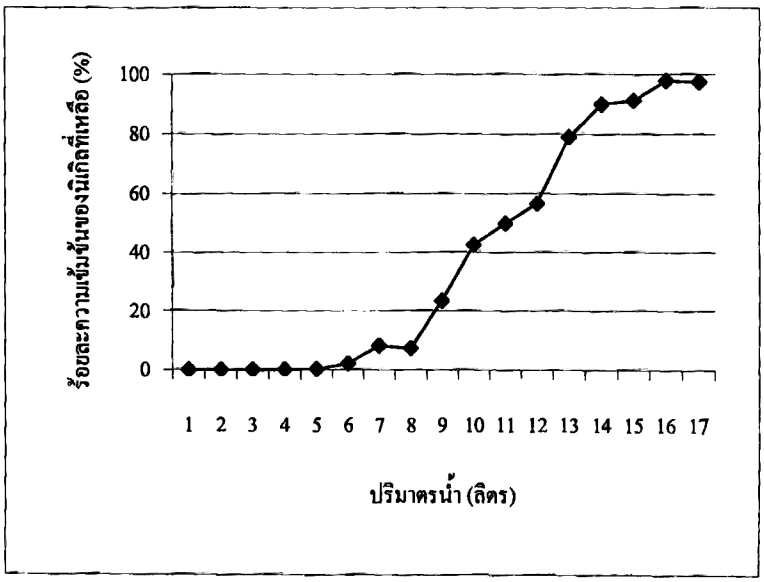
จากรูปที่ 17 Breakthrough Curve ของการดูดติดผิวโครเมียมที่ระดับความสูงของคอลัมน์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา ดังนั้นที่ระดับความสูง

30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา 1 กรัม สามารถดูดติดผิวโครเมียมได้เท่ากับ 2.75, 1.77, 1.44 และ 1.37 มิลลิกรัม ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และคิดเป็น 82.34, 52.94, 43.14 และ 41.18 BV ตามลำดับ



รูปที่ 17 เส้นโค้งเบรคทรูจ์ ระหว่างความเข้มข้นของโครเมียม กับปริมาตรน้ำเสียที่ความสูงชั้นถ่านกัมมันต์ที่ 120 เซนติเมตร

จากรูปที่ 18 Breakthrough Curve ของการดูดติดผิวนิเกิลที่ระดับความสูงของคอลัมน์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา ดังนั้นที่ระดับความสูง 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา 1 กรัม สามารถดูดติดผิวนิเกิลได้เท่ากับ 4.32, 2.35, 1.70 และ 1.67 มิลลิกรัม ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นนิเกิลเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และคิดเป็น 129.41, 70.59, 50.98 และ 50.00 BV ตามลำดับ



รูปที่ 18 เส้นโค้งเบรคทรูจ์ ระหว่างความเข้มข้นของนิเกิล กับปริมาตรน้ำเสียที่ความสูงชั้นถ่านกัมมันต์ที่ 120 เซนติเมตร

จากรูปที่ 17 ถึง 18 พบว่า ทั้งความเข้มข้นของโครเมียมและนิเกิลที่ผ่านออกจากคอลัมน์ในระยะแรกมีปริมาณน้อย แต่เมื่อปริมาณน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์มากขึ้นเรื่อยๆ ความเข้มข้นของโครเมียมและนิเกิลในน้ำเสียจะค่อยๆ สูงขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมและนิเกิลในระดับชั้นความสูงแต่ละชั้นมีแนวโน้มที่ลดลง แสดงว่า ถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพาที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์เริ่มหมดประสิทธิภาพของการดูดติดผิว ถึงปริมาตรหนึ่งที่ความเข้มข้นของโครเมียมและนิเกิลในน้ำเสียเท่ากับความเข้มข้นโครเมียมและนิเกิลเริ่มต้น ณ จุดนี้เรียกว่า จุดหมดสภาพ ซึ่งเป็นจุดที่ถ่านไม้กระถินเทพาหมดประสิทธิภาพในการดูดติดผิว นั่นเอง และการที่ในระยะแรกปริมาณโครเมียมและนิเกิลลดลงนั้น เนื่องจาก ถ่านไม้กระถินเทพายังมีพื้นที่ผิวอยู่มาก ดังนั้นจึงสามารถดูดติดผิวโครเมียมและนิเกิลที่ผ่านคอลัมน์ได้สูง แต่เมื่อมีปริมาณน้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์มากยิ่งขึ้นทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการดูดติดผิวลดน้อยลง และไม่สามารถดูดติดผิวโครเมียมและนิเกิลที่ผ่านเข้ามาใหม่ได้ จึงทำให้น้ำเสียที่ออกจากคอลัมน์ในระยะหลังมีปริมาณโครเมียมและนิเกิลสูงขึ้น

จากการทดสอบประสิทธิภาพของการดูดติดผิวโครเมียมและนิเกิลของถ่านไม้กระถินเทพาในถังดูดติดผิวแบบแท่ง สามารถสรุปปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัดได้ดังตารางที่ 4 ถึง 5

ตารางที่ 4 การทดลองการกำจัดโครเมียมในถังดูดติดผิวแบบแท่ง

ชั้นความสูงของถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัด (ลิตร)	คิดเป็นปริมาณ Bed Volume	น้ำหนักโครเมียมที่ถูกกำจัดต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
30	7	82.34	2.75
60	9	52.94	1.77
90	11	43.14	1.44
120	14	41.18	1.37

ตารางที่ 5 การทดลองการกำจัดนิเกิลในถังดูดติดผิวแบบแท่ง

ชั้นความสูงของถ่านกัมมันต์ (เซนติเมตร)	ปริมาตรน้ำที่ผ่านการบำบัด (ลิตร)	คิดเป็นปริมาณ Bed Volume	น้ำหนักนิเกิลที่ถูกกำจัดต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
30	11	129.41	4.32
60	12	70.59	2.35
90	13	50.98	1.70
120	17	50.00	1.67

ถ่านกัมมันต์จากไม้กระถินเทพาที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) โดยการผ่านของสารละลายกรดไฮดรอคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 5 %HCl โดยน้ำหนัก แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ซึ่งมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 388 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 421 มิลลิกรัมต่อกรัม ของถ่านกัมมันต์ที่มีการดูดติดผิวโครเมียมและนิเกิล ตามลำดับ ซึ่งพบว่า มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ลดลงจากเดิมเกือบร้อยละ 50

สรุปผลการทดลอง

1) ไม้ยูคาลิปตัสมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 612 มิลลิกรัมต่อกรัมและไม้กระถินเทพามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงสุดเท่ากับ 701 มิลลิกรัมต่อกรัม พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถินเทพา เท่ากับ 368.68 และ 408.64 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรโพรงเท่ากับ 0.27 และ 0.34 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีขนาดโพรงเฉลี่ยเท่ากับ 13.55 และ 18.04 อังสตรอม ตามลำดับ

2) ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมและนิเกิล ของถ่านไม้ยูคาลิปตัสและกระถินเทพาสามารถดูดติดผิวได้สูงสุด คือ pH เท่ากับ 9 ดังนั้นจึงเลือก pH เท่ากับ 9 ส่วนถ่าน Calgon Filtrasorb 300 เลือก pH เท่ากับ 4 การทดสอบไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบฟรุนดลิช พบว่า ถ่านกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัส ไม้กระถินเทพา และ Calgon Filtrasorb 300 มีค่า K ของการดูดติดผิวโครเมียม ที่ pH 9 เท่ากับ 1.36, 12.57 และ 24.64 mg/g และการดูดติดผิวนิเกิล เท่ากับ 38.24, 50.31 และ 217.99 mg/g ตามลำดับ

3) การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา โดยการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ (Column Test) การใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา ในการดูดติดผิวโครเมียมที่ระดับความสูงของคอลัมน์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร โดย ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา 1 กรัม สามารถดูดติดผิวโครเมียมได้เท่ากับ 2.75, 1.77, 1.44 และ 1.37 มิลลิกรัม ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และคิดเป็น 82.34, 52.94, 43.14 และ 41.18 BV ตามลำดับ และการดูดติดผิวนิเกิลที่ระดับความสูงของคอลัมน์ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากไม้กระถินเทพา 1 กรัม สามารถดูดติดผิวนิเกิลได้เท่ากับ 4.32, 2.35, 1.70 และ 1.67 มิลลิกรัม ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นนิเกิลเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และคิดเป็น 129.41, 70.59, 50.98 และ 50.00 BV ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

ดำรง ขุมมงคล และ อภิสิทธิ์ เจริญกุล. 2533. **การผลิตถ่านกัมมันต์ โดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น.** วิศวกรรมสาร 43 (6): 96-99.

พงศธร โค้วคชาภรณ์ .2538. **ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พงศ์ศักดิ์ โอชารส. 2539. **การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยใช้เกลือแกงเป็นตัวกระตุ้น.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

มานพ ติระรัตนสมโภช .2545. **การกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อย** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลลิดา นิทัศนจารุกุล. 2544. **การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการดูดติดผิวโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิจิตร จินดาพันธ์ไพโรจน์. 2543. **การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส Eucalyptus camaldulensis Dehnh. กระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำร้อนยวดยิ่ง.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุจนีย์ คุ่ยเสงี่ยม. 2544. **การกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Orfao, J. J. M., Antunes, F. J. A.and Figueiredo, J. L. 1999. **Pyrolysis kinetics of lignocellulosic materials – three independent reactions model. Fuel** 78: 349-358

อุตสาหกรรม , กระทรวง. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม , สำนักงาน. 2532. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ : Standard for activated carbon.** กรุงเทพมหานคร : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

American Society for Testing and Materials. 1996. Standard practice for : Determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique, D 3860 – 89a. **Annual book of ASTM standards Vol.** 15.01. Philadephia:ASTM.