



ประสิทธิภาพของถังกรองประติษฐานที่มีเถ้าลอยเป็นตัวดูดซับ ในการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดง ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

Efficiency of Constructed Filter Tank with Fly Ash as Adsorbent in Treatment of Wastewater of Metal Plating Factory Contained with Chromium Nickel and Copper

Chidapa Noiang* and Kanita Tungkananuruk

จิตาภา น้อย่าง* และ คณิศา ตังคณานุรักษ์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

*E-mail : chidapanoiang@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาถังกรองประติษฐานต้นทุนต่ำที่ใช้เถ้าลอยถ่านหินเพื่อบำบัดโครเมียม (VI) นิกเกิล (II) และทองแดง (II) ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมชุบโลหะ และจากการปล่อยน้ำเสียทำให้พบโลหะเหล่านี้ในแหล่งน้ำ ตัวดูดซับที่ใช้ทดลองคือส่วนผสมของเถ้าลอย (ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาไหม้ถ่านหิน) และซีเมนต์ 3 ชนิด ได้แก่ FA1, FA2 และ FA3 ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน คือ 70:30, 90:10 และ 100:0 เถ้าลอยทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพในการดูดซับเหมือนกัน ในน้ำเสียสังเคราะห์ 50 มล. ที่มีโครเมียม นิกเกิล และทองแดง เข้มข้น 80, 40 และ 30 มก./ล. ตามลำดับ พบว่า โครเมียม นิกเกิล และทองแดง ถูกกำจัดด้วยเถ้าลอย FA3, FA1 และ FA2 เท่ากับ 2.7005, 1.9992 และ 1.4968 มก. ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะแบบแบตช์ ความจุในการดูดซับโครเมียม นิกเกิลและทองแดง 0.45, 0.40 และ 0.30 มก./ก. ตามลำดับ ค่าไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นไปตามไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดลิช เมื่อทำการทดลองแบบคอลัมน์ โดยใช้คอลัมน์แก้ว (6.5 cm i.d. x 40 cm H) บรรจุชั้นกรอง 3 ชั้น ประกอบด้วยหิน ทรายหยาบ และเถ้าลอยผสมทรายละเอียด (1:30) จากบนลงล่าง พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียมของเถ้าลอยทั้ง 3 ชนิด เพิ่มขึ้นร้อยละ 20 จากการทดลองแบบแบตช์ นอกจากนี้ จุดเริ่มหมดสภาพและจุดหมดสภาพของคอลัมน์ที่มีเถ้าลอยชนิด FA3 มีระยะเวลาการใช้งานยาวนานกว่ามีเถ้าลอยชนิด FA2 และ FA1 ตามลำดับ นอกจากนี้ ได้ทำถังกรองประติษฐานจากถังพลาสติก ความจุ 18.925 ลิตร บรรจุชั้นกรอง 3 ชั้น ที่มีเถ้าลอยชนิด FA3 ประสิทธิภาพในการบำบัดครั้งแรก พบว่า สามารถบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดง ได้เท่ากับ 222.13, 159.34 และ 119.10 มก. ตามลำดับ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าถังกรองประติษฐานที่มีเถ้าลอยชนิด FA3 มีศักยภาพที่ดีในการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดง สามารถนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะได้

คำสำคัญ : ถังกรองประติษฐาน; เถ้าลอย; การดูดซับ; โลหะหนัก

Abstract

This research aims at investigating the development a low cost constructed filter tank with coal fly ash for the removal of Chromium (Cr) Nickel (Ni) and Copper (Cu). These metals are widely used in a metal plating industry and finds their way to the aquatic environment through wastewater discharge. Three types of fly ash namely FA1, FA2 and FA3 were by-product from different ratio of coal and biomass (70:30, 90:10 and 100:0 respectively) combustion. The adsorption efficiency of 3 fly ashes were similar. In 50 ml of synthetic wastewater consist of 80, 40 and 30 ppm of Cr, Ni and Cu respectively, as much as 2.7005, 1.9992 and 1.4968 mg removal of Cr, Ni and Cu were achieved in about 1 hours under the batch test condition. The adsorption capacity of Cr, Ni and Cu were 0.46, 0.40 and 0.30 mg/g respectively. The adsorption isotherm was consistent with the Langmuir and Freundlich isotherm. Column lab scale experiment was performed in glass column (6.5 cm i.d. x 40 cm H) which packing with 3 filter layers consist of stone, sand, mixture of FA and sand (1:30) from top to bottom. The Cr removal efficiency of 3 fly ashes were increased about 20% from batch experiment. Moreover from breakthrough point and exhaustion point, column with FA3 was found to be a longer useful life than FA2 and FA1 respectively. In addition, the constructed filter tank was reproduced in plastic tank (18.925 L capacity) with containing the 3 filter layers which consist of FA3. At the 1st time of treatment, 222.13 mg of Cr 159.34 mg of Ni and 119.10 mg of Cu were removed. Therefore, there are good prospects for the removal of these metals on constructed filter tank with fly ash FA3 adsorbent in practical applications in metal plating factory wastewater.

Keywords : Constructed Filter Tank; Fly Ash; Adsorption; Heavy metal

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะประเภทชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียมเป็นจำนวนมาก การชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียมจัดอยู่ในประเภทการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งเป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากสามารถนำโลหะและโลหะหลายชนิดมาทำการเคลือบผิว อุตสาหกรรมนี้ก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญคือมลพิษทางน้ำ โดยน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะปนเปื้อนด้วยโลหะหนักปริมาณมากที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ ทองแดง นิกเกิล และโครเมียม ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในสิ่งแวดล้อม กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมชุบโลหะมีหลายขั้นตอนด้วยกันที่ทำให้เกิดมลพิษน้ำ การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะนั้นมีหลายวิธี ได้แก่ การตกตะกอน กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน กระบวนการกรองผ่านเมมเบรน หรือการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งวิธีเหล่านี้สามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งโรงงาน [1] ได้ผลเป็นอย่างดี แต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและลงทุนสูง การบำบัด

โลหะหนักให้ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูง อีกทั้งยังมีของเสียออกมาเพิ่มหลังจากที่บำบัดแล้วเพิ่มขึ้นมาอีกที่ต้องนำไปกำจัดต่อเช่น สารเคมีที่ตกค้างและตะกอนของโลหะที่เกิดขึ้น ดังนั้นการนำถ่านลอย ซึ่งเป็นกรนำของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ในการบำบัด ซึ่งถ่านลอยเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวและมีรูพรุนสูง นอกจากนั้นยังมีองค์ประกอบของสารประกอบออกไซด์อยู่สูง ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวทำให้ถ่านลอยมีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักมีกำลังในการดูดซับสูง จึงช่วยลดของเสียที่เกิดขึ้นใหม่และสารเคมีที่จะใช้ในการบำบัดอีกด้วย

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำถ่านลอยซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อ และกระดาษมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในการบำบัดโครเมียม [2] นิกเกิล [3] และทองแดง [4] ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะโดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดง ที่ถ่านลอยสามารถบำบัดได้โดยใช้ถังกรองประดิษฐ์ ที่ประกอบด้วย

ชั้นกรองที่เป็นวัสดุธรรมชาติ ซึ่งสามารถประดิษฐ์ใช้ได้เอง และมีต้นทุนต่ำ ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดว่าผลงานวิจัยดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์เพื่อบำบัดน้ำเสียในระดับอุตสาหกรรมได้

วิธีการวิจัย

1. การวิเคราะห์โลหะหนัก

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในสารละลายใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยด้วยกรดตามวิธี US.EPA Method 3015a [5] และตรวจวัดปริมาณโครเมียม นิกเกิล และทองแดง ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

2. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเป็นสารละลายที่ประกอบด้วยโครเมียม นิกเกิล และทองแดง เข้มข้นเท่ากับ 80, 40 และ 30 มก./ล. ตามลำดับ โดยอ้างอิงจากผลการวิเคราะห์น้ำเสียจริงของโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะโดยสำนักวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงานศูนย์วิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงานส่วนกลางกรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม [6]

3. การเตรียมวัสดุดูดซับ

ถั่วงอกดิบที่ใช้ในการศึกษามี 3 ชนิด คือ ถั่วงอกดิบชนิด FA1 (ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ร้อยละ 70 และชีวมวลร้อยละ 30) ชนิด FA2 (ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ร้อยละ 90 และชีวมวลร้อยละ 10) และชนิด FA3 (ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ร้อยละ 100) มาล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อปรับพีเอชให้เป็นกลาง จากนั้นนำไปตากให้แห้ง อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4. การศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงด้วยถั่วงอกดิบในสารละลายมาตรฐานโครเมียม นิกเกิล และทองแดงโดยวิธีทดลองแบบแบตช์ (Batch Method)

ในการศึกษาใช้ถั่วงอกดิบ 3 ชนิด ที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินของโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

4.1 การศึกษาปริมาณถั่วงอกดิบที่เหมาะสม

1) ถั่วงอกดิบ FA1, FA2 และ FA3 ปริมาณ 0.25 ถึง 5.0 กรัม เติมน้ำเสียมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 80 มก./ล. ปริมาตร 50 มล. วิเคราะห์ปริมาณโครเมียม

2) ศึกษาในสารละลายมาตรฐานนิกเกิล และทองแดงเข้มข้น 40 และ 30 มก./ล. ตามลำดับ ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1)

4.2 การศึกษาในน้ำเสียสังเคราะห์

ถั่วงอกดิบ FA1, FA2 และ FA3 ปริมาณ 0.5, 3.0, 5.0 และ 7.0 กรัม เติมน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 50 มล. เขย่า 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ขนาด 0.45 ไมครอน วิเคราะห์หาปริมาณตามข้อ 1

4.3 การศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม

เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้ถั่วงอกดิบบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในแต่ละชนิด โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 50 มล. ต่อปริมาณถั่วงอกดิบ FA3 จำนวน 1 กรัม โดยทำการทดลองแปรผันระยะเวลาสัมผัสตั้งแต่ 15 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 1 ชั่วโมง 30 นาที และ 2 ชั่วโมง และทำการทดลองต่อเช่นเดียวกับข้อ 4.2

4.4 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.1 โดยศึกษาถั่วงอกดิบทั้ง 3 ชนิด แต่ใช้ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาข้อ 4.3 นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเขียนกราฟแสดงไอโซเทอร์มและสมการการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดลิช

4.5 การศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถั่วงอกดิบต่อทรายละเอียดที่เหมาะสม

นำถั่วงอกดิบผสมกับทรายละเอียดในอัตราส่วนเท่ากับ 1:10, 1:20, 1:30, 1:40 และ 1:50 เติมน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 50 มล. เขย่าและตั้งทิ้งไว้ตามระยะเวลาสัมผัสที่ศึกษาได้จากการทดลองข้อ 4.3 และทำการทดลองต่อเช่นเดียวกับข้อ 4.2

5. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงด้วยถั่วงอกดิบในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการทดลองแบบคอลัมน์

5.1 ทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 ซม. ความสูง 40 ซม. บรรจุชั้นหิน 400 กรัม ทรายหยาบ 200 กรัม และถั่วงอกดิบผสมทรายละเอียด 20 กรัม : 600 กรัม โดยใช้ถั่วงอกดิบผสมทรายละเอียดในอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองแบบแบตช์ในข้อ 4.5 คืออัตราส่วนถั่วงอกดิบต่อทรายละเอียดเท่ากับ 1:30

5.2 จำลองการบำบัดน้ำเสียการไหลแบบคอลัมน์ผ่านชั้นกรองโดยการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 300 มล.

ลงในคอลัมน์ที่เตรียมได้จากข้อ 5.1 แซ่ทิ้งไว้ตามระยะเวลาสัมผัสซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 4.3 จากนั้นเก็บน้ำที่ไหลผ่านออกจากคอลัมน์นำมาวิเคราะห์ตามข้อ 1 จนประสิทธิภาพการบำบัดลดลงหรือคงที่พร้อมทั้งเขียนกราฟเบรคทรูจ์

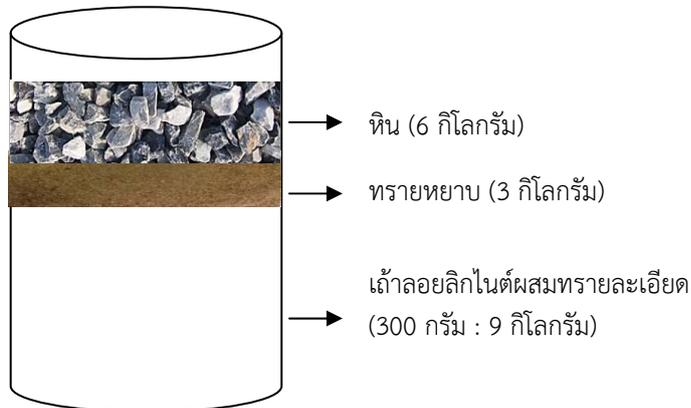
6. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงด้วยถ้ำลอยในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถังกรองประดิษฐ์

6.1 การสร้างถังกรองประดิษฐ์

ทำการทดลองโดยใช้ถังสีที่มีความจุ 18.925 ลิตร (5 ยูเอสแกลลอน) เจาะรูส่วนล่างของถังกรองต่อท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว

6.2 การบรรจุชั้นกรองประดิษฐ์

บรรจุชั้นวัสดุกรองในถังกรองโดยใช้หินกรวดมนรองก้นถังให้เลเยอร์ปล่อยน้ำออกจากรูด้วยแผ่นใยแก้วเพื่อกั้นไว้ไม่ให้ชั้นถ้ำลอยผสมทรายละเอียดไหลมาอุดตันท่อน้ำบรรจุชั้นกรองโดยใช้ถ้ำลอยผสมทรายละเอียดในอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองแบบเบคทรูจ์ในข้อที่ 4.5 คิดเป็น 300 กรัม ทรายละเอียด 9 กิโลกรัม ทรายหยาบ 3 กิโลกรัม และหิน 6 กิโลกรัม ตามลำดับลงในถังกรองประดิษฐ์ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะและชั้นถังกรองของถังกรองที่ประดิษฐ์ขึ้น

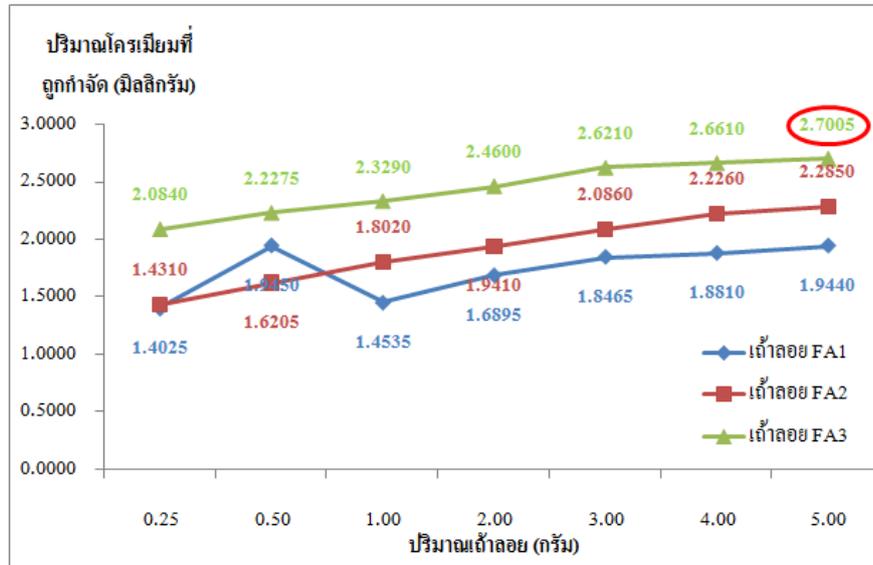
6.3 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองประดิษฐ์

นำน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 4 ลิตร เติมลงในถังกรองประดิษฐ์ แซ่ทิ้งน้ำเสียด้วยระยะเวลาที่เหมาะสมตามที่ศึกษาได้จากข้อ 4.3 จากนั้นปล่อยน้ำผ่านชั้นกรองจนหมดน้ำไปตรวจวิเคราะห์ตามข้อ 1 ทำการทดลองซ้ำจนประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงหรือคงที่

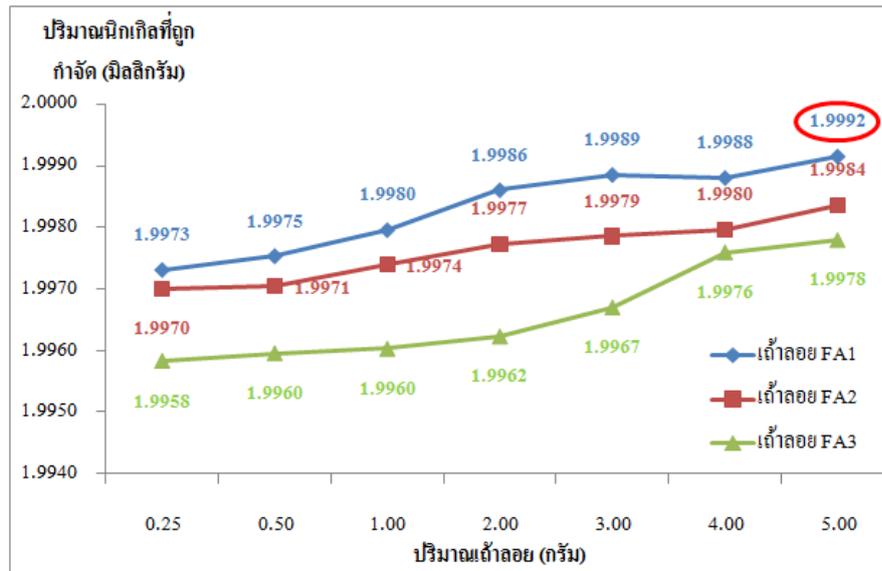
ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาปริมาณถ้ำลอยที่เหมาะสมในสารละลายของโลหะแต่ละชนิด

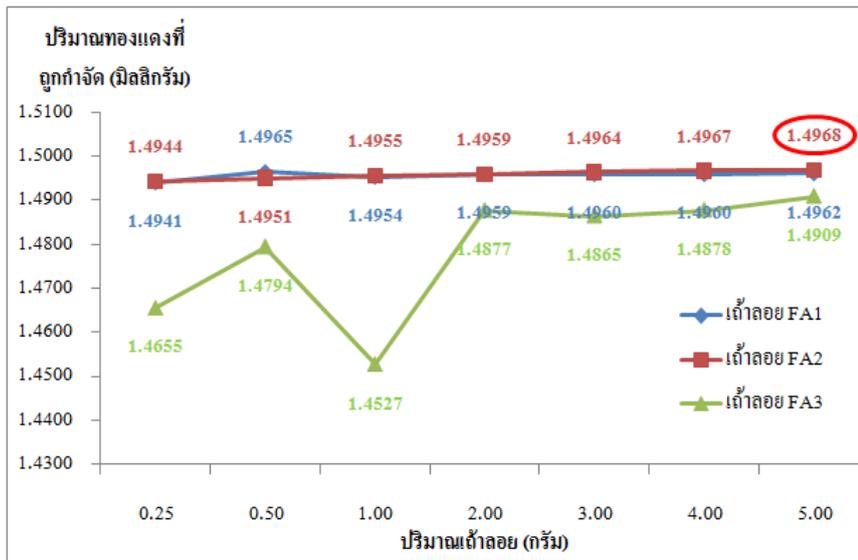
การศึกษ ปริมาณถ้ำลอยที่เหมาะสมทั้ง 3 ชนิด แปรผันปริมาณถ้ำลอยตั้งแต่ 0.25 จนถึง 5.0 กรัมต่อสารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 80 มก./ล. สารละลายมาตรฐานนิกเกิลเข้มข้น 40 มก./ล. และสารละลายมาตรฐานทองแดงเข้มข้น 30 มก./ล. ปริมาตร 50 มล. และระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง พบว่าถ้ำลอยทั้ง 3 ชนิด สามารถดูดซับโครเมียม นิกเกิล และทองแดงได้ดีที่สุดที่ 5 กรัม โดยโครเมียม นิกเกิล และทองแดง ถูกกำจัดด้วยถ้ำลอย FA3, FA1 และ FA2 เท่ากับ 2.7005, 1.9992 และ 1.4968 มก. ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ถูกกำจัดกับปริมาณแก๊ส FA1, FA2 และ FA3



รูปที่ 3 ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกกำจัดกับปริมาณแก๊ส FA1, FA2 และ FA3



รูปที่ 4 ปริมาณทองแดงที่ถูกกำจัดกับปริมาณแฉะลอย FA1, FA2 และ FA3

2. ผลการศึกษาปริมาณแฉะลอยที่เหมาะสมในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาปริมาณแฉะลอยที่เหมาะสมทั้ง 3 ชนิด แปรผันปริมาณแฉะลอยตั้งแต่ 0.5 ถึง 7.0 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 50 มล. และระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นตามปริมาณแฉะลอยที่เพิ่มขึ้นและเริ่มมีแนวโน้มคงที่จนลดต่ำลงอธิบายได้ว่าการเพิ่มปริมาณแฉะลอยเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวการดูดซับ แต่ปริมาณโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม นิกเกิล และทองแดงที่แฉะลอยดูดซับในแต่ละการทดลองมีปริมาณคงที่ดังนั้นเมื่อถึงจุดสมดุลการดูดซับโครเมียม นิกเกิล และทองแดงจะคงที่ในขณะที่ปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้นดังนั้นเมื่อนำมาคำนวณร้อยละการดูดซับจึงส่งผลให้มีค่าน้อยลงซึ่งจากการทดลองแฉะลอยทั้ง 3 ชนิด กำจัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงได้ดีที่สุดที่ 5 กรัม โดยโครเมียม นิกเกิล และทองแดง ถูกกำจัดด้วยแฉะลอย FA3, FA1 และ FA2 เท่ากับ 2.3880, 1.9960 และ 1.4979 มก. ดังรูปที่ 5

3. ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม

จากการศึกษาการแปรผันระยะเวลาสัมผัสเริ่มตั้งแต่ 15 นาที ถึง 2 ชั่วโมง ทดลองกับแฉะลอย FA3 ปริมาณ 1 กรัมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมียม นิกเกิล

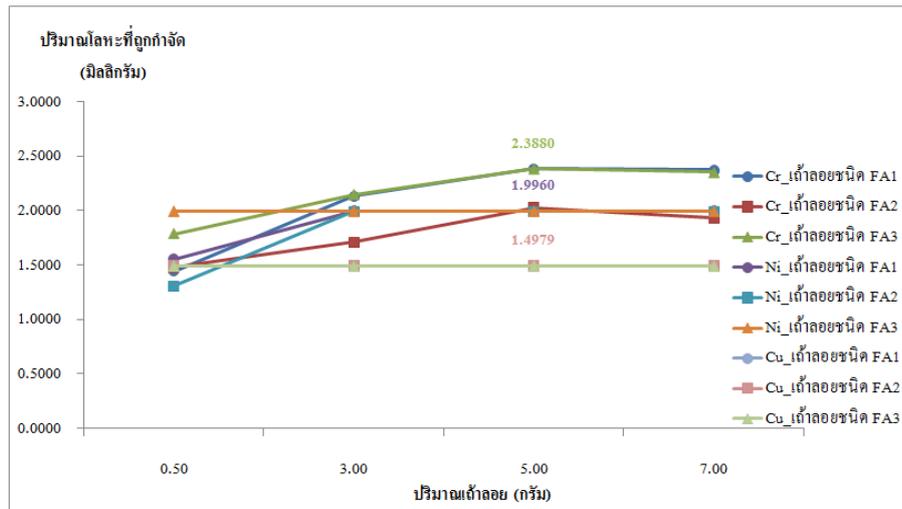
และทองแดง เท่ากับ 4.0000, 2.0000 และ 1.5000 มก. พบว่าแฉะลอยมีระยะเวลาสัมผัสที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ดีที่สุดคือ 1 ชั่วโมง 30 นาที แสดงดังรูปที่ 6 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อระยะเวลาสัมผัสมากขึ้น ทำให้ผลสารมีโอกาสสัมผัสกับตัวดูดซับแฉะลอยได้มากขึ้น แต่พื้นที่ของตัวดูดซับมีจำกัด เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งบริเวณพื้นผิวตัวดูดซับถูกครอบครองด้วยตัวถูกดูดซับจนเข้าสู่สภาวะสมดุลทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับคงที่

4. ผลการคำนวณความสามารถการดูดซับในสภาวะที่เหมาะสม

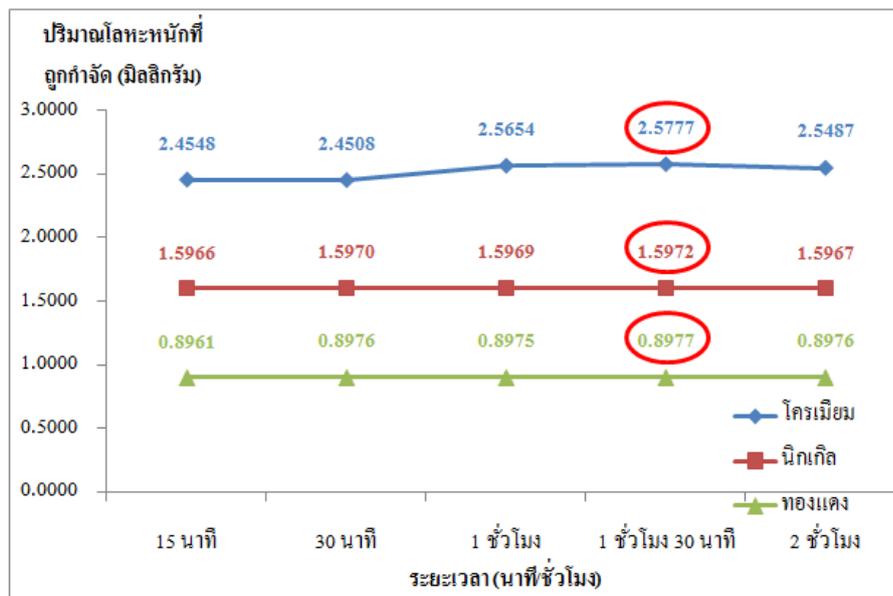
จากการทดลอง ความสามารถในการดูดซับโครเมียม นิกเกิล และทองแดง ด้วยแฉะลอยทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณ 1 กรัม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า แฉะลอยทั้ง 3 ชนิด สามารถดูดซับโครเมียม นิกเกิล และทองแดง ได้โดยแต่ละธาตุมีค่าความจุของการดูดซับ (Adsorption capacity) เท่ากับ 0.46, 0.40 และ 0.30 มก./ก. ตามลำดับ

5. ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

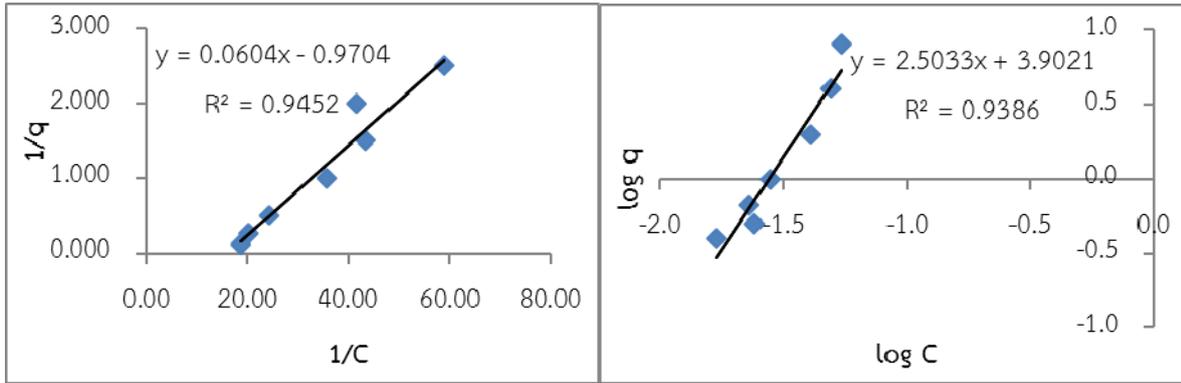
จากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแฉะลอยทั้ง 3 ชนิด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของสมการไอโซเทอร์มแลงเมียร์และฟรุนดิช ดังรูปที่ 7



รูปที่ 5 ปริมาณโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกกำจัดกับปริมาณแถาลอย FA1, FA2 และ FA3

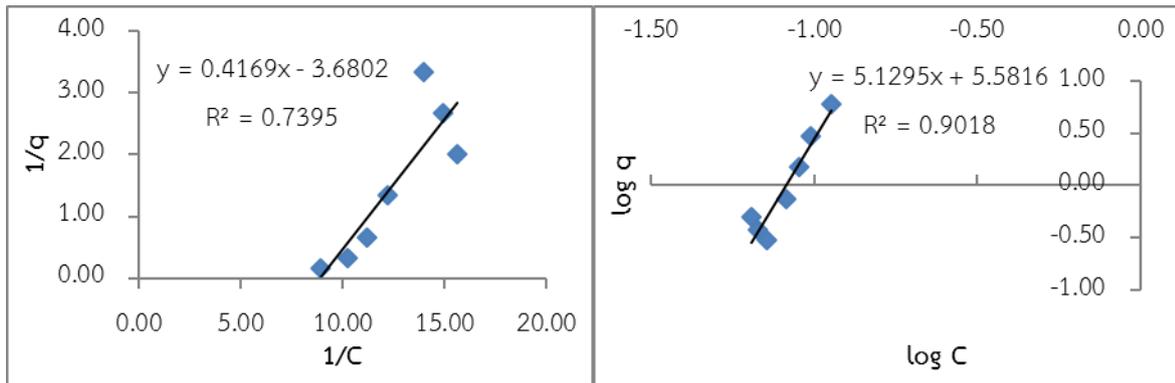


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนัก (โครเมียม นิกเกิล และทองแดง) ที่ถูกกำจัดกับระยะเวลาสัมผัสด้วยแถาลอย FA3



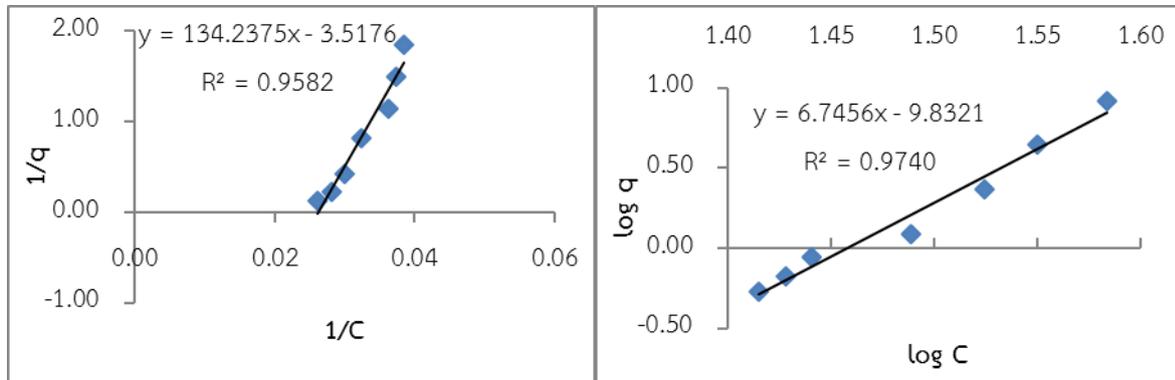
(ก)

(ข)



(ค)

(ง)



(จ)

(ฉ)

รูปที่ 7 ไอโซเทอมแลงเมียร์ของ FA1(ก), FA2(ค) และ FA3(จ) และไอโซเทอมฟรุนดิชของ FA1(ข), FA2(ง) และ FA3(ฉ)

ซึ่งถือได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไอโซเทอร์มการดูดซับแต่ละอย่างทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกันดังนั้นกลไกการดูดซับจึงมีความสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนดิชกล่าวคือกลไกการดูดซับอาจเกิดได้ 2 แบบคือ

แบบแรกการดูดซับที่พื้นที่ผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันทั้งหมด (Homogeneous adsorption surface) คือเป็นแบบชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับที่จำกัดและแบบที่ 2 อาจมีกลไกการดูดซับเป็นแบบวิวิธพันธ์คือไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

ตลอด (Heterogeneous adsorption surface) และตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวกันหลายชั้นบนพื้นผิวตัวดูดซับโดยที่ไม่เลกุลตัวถูกดูดซับสามารถเกิดการซ้อนทับกันได้ [7] อธิบายได้ว่า กลไกการดูดซับเกิดได้ทั้งที่ผิวและภายในรูพรุนของถ้ำลอย

6. ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักถ้ำลอย FA3 ต่อทรายละเอียดที่เหมาะสม

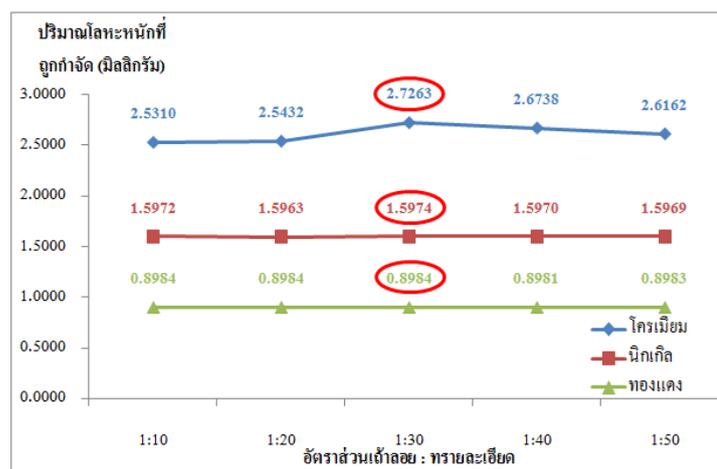
ในการศึกษาอัตราส่วนใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 50 มล. จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ้ำลอย FA3 ต่อทรายละเอียดที่อัตราส่วน 1 ต่อ 30 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีที่สุด เท่ากับ 2.7263, 1.5974 และ 0.8984 มก. ตามลำดับ ดังรูปที่ 8

7. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงด้วยถ้ำลอยโดยการทดลองไหลแบบคอลัมน์ผ่านชั้นกรอง

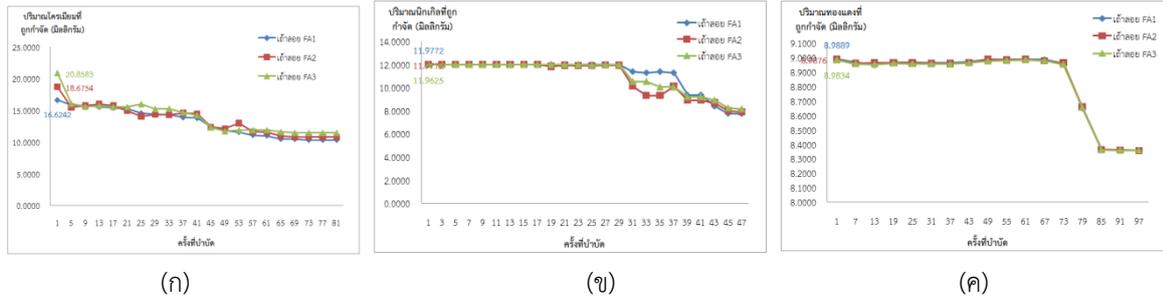
การทดลองแบบการไหลแบบคอลัมน์ผ่านชั้นกรอง โดยการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 300 มล. ลงในคอลัมน์แข็งที่ไว้ตามระยะเวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง 30 นาที แล้วเก็บน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์มาวิเคราะห์พบว่าทั้ง 3 คอลัมน์บำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดง ได้ดีในครั้งแรกและลดลงในการบำบัดครั้งต่อไป ดังรูปที่ 9 โดยอธิบายได้ว่าการบำบัดในครั้งแรก พื้นผิวสัมผัสของตัวดูดซับถ้ำลอยยังมีพื้นที่ผิวและรูพรุนที่ใช้ในการดูดซับเป็นจำนวนมาก

จึงให้ประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงสูง แต่เมื่อผ่านการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงไปหลายๆ ครั้ง พื้นผิวรูพรุนสัมผัสของตัวดูดซับถ้ำลอยลดน้อยลง เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสถูกรอบครอบด้วยโมเลกุลของโลหะหนักจึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดน้อยลงอย่างต่อเนื่องและจะเห็นได้ว่าคอลัมน์ที่บรรจุชั้นกรองมีถ้ำลอยแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพร้อยละการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงได้ใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดครั้งแรกดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าคอลัมน์ที่มีถ้ำลอย FA3 สามารถบำบัดโลหะทั้ง 3 ชนิด ได้ดีที่สุด เพราะถ้ำลอย FA3 ได้มาจากการเผาไหม้ถ่านหินร้อยละ 100 อธิบายคือถ้ำลอยถ่านหินมีคุณสมบัติทางกายภาพ [8] คือ มีรูพรุนและพื้นที่ผิวมาก คุณสมบัติทางเคมี [9] ซึ่งมี SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ CaO เป็นองค์ประกอบหลัก มี MgO , K_2O และ SO_3 เป็นองค์ประกอบรอง จึงทำให้ถ้ำลอย FA3 ซึ่งมีสารประกอบออกไซด์ของเหล็กมากกว่าจึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีกว่าถ้ำลอยชนิดอื่นๆ คือ FA2 และ FA1 ซึ่งได้มาจากการเผาไหม้ถ่านหินร้อยละ 90 ผสมกับชีวมวลร้อยละ 10 และได้มาจากการเผาไหม้ถ่านหินร้อยละ 70 ผสมกับชีวมวลร้อยละ 30 มีความเป็นไปได้ที่ถ้ำลอยทั้ง 3 ชนิด มีประสิทธิภาพในการบำบัดไม่เท่ากัน เนื่องจากการได้มาของถ้ำลอยแต่ละชนิดมีการเผาไหม้ถ่านหินที่แตกต่างกัน



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนัก (โครเมียม นิกเกิล และทองแดง) ที่ถูกกำจัดกับอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ้ำลอย FA3 ต่อทรายละเอียด



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียม (ก) นิกเกิล (ข) และทองแดง (ค) ที่ถูกกำจัดกับจำนวนครั้งที่บำบัด

ตารางที่ 1 ปริมาณโครเมียม นิกเกิล และทองแดงที่ถูกกำจัดครั้งที่ 1 ด้วยคอลัมน์ที่ศึกษาถ้ำลอย FA1, FA2 และ FA3

โลหะหนัก/ ถ้ำลอย	ปริมาณที่ถูกกำจัดครั้งที่ 1 ด้วยคอลัมน์ (มก.)		
	ถ้ำลอย FA1	ถ้ำลอย FA2	ถ้ำลอย FA3
โครเมียม	16.6242	18.6754	20.8583
นิกเกิล	11.9772	11.9772	11.9625
ทองแดง	8.9889	8.9876	8.9834
ค่าเฉลี่ย	12.5301	13.2134	13.9347

หมายเหตุ: ปริมาณโครเมียม นิกเกิล และทองแดง เริ่มต้นเท่ากับ 24.0000, 12.0000 และ 9.0000 มก. ตามลำดับ

8. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีการทดลองแบบถังกรองประดิษฐ์

การทดลองในชั้นถังกรองประดิษฐ์เป็นการทดลองที่ขยายขนาดจากคอลัมน์มาสร้างเป็นชั้นกรองในถังขนาดความจุ 18.925 ลิตร ส่วนชั้นกรองประกอบไปด้วยวัสดุธรรมชาติเช่นเดียวกับชั้นกรองในคอลัมน์ จากนั้นใช้ผลที่ได้จากการศึกษาแบบเบดซ์ มาทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถังกรองประดิษฐ์

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านคอลัมน์ด้วยชั้นกรองที่มีถ้ำลอยทั้ง 3 ชนิด ในข้อ 7 พบว่า ถ้ำลอย FA3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงได้เลือกถ้ำลอย FA3 มาศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถังกรองประดิษฐ์

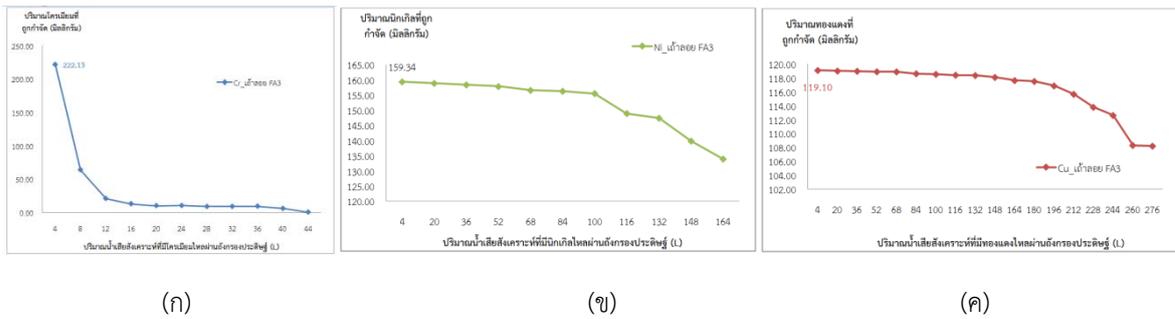
ผลจากการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถังกรองประดิษฐ์ที่ประกอบด้วยชั้นกรองที่มีตัวดูดซับถ้ำลอย FA3 ผสมทรายละเอียดเป็นชั้นกรองชั้นสุดท้ายพบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดีที่สุดในครั้งแรกดังรูปที่ 10 โดย

สามารถกำจัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ในครั้งแรกได้ปริมาณเท่ากับ 222.13, 159.34 และ 119.10 มก. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ถูกบำบัดได้ใกล้เคียงกับการทดลองในคอลัมน์เมื่อเทียบกับปริมาณที่ถูกกำจัดส่วนครั้งที่บำบัดของถังกรองจะบำบัดได้น้อยครั้งกว่าในคอลัมน์เนื่องจากถังกรองมีขนาดใหญ่กว่าและปริมาตรน้ำที่ผ่านในแต่ละครั้งมากกว่าตอนผ่านในคอลัมน์จึงมีความเป็นไปได้ที่คอลัมน์กับถังกรองมีครั้งที่บำบัดไม่เท่ากันแต่โดยภาพรวมแล้วคือการเพิ่มขนาดของชั้นกรองและบำบัดน้ำเสียปริมาณที่มากขึ้นพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดยังคงใกล้เคียงกับการบำบัดในคอลัมน์ระดับห้องปฏิบัติการ แสดงให้เห็นว่าถังกรองมีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดง ซึ่งมีแนวโน้มประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์จากน้ำเสียสังเคราะห์ลดลงอย่างต่อเนื่องในการบำบัดครั้งต่อไป

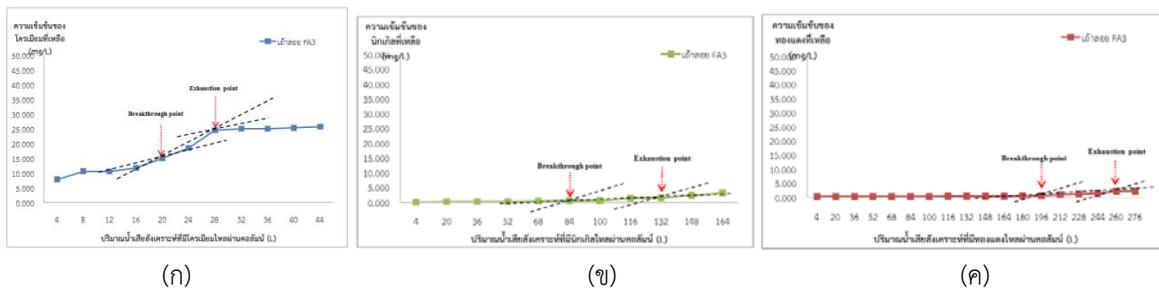
จากการศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์วิธีแบบถังกรองประดิษฐ์ที่มีส่วนประกอบตัวของถ้ำลอย FA3 สามารถคำนวณปริมาณโครเมียม นิกเกิล และทองแดงที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งหลังการบำบัดที่ถูกปล่อยออกจาก

ถังกรอง หลังการแช่สัมพัทธ์เป็นระยะเวลาครั้งละ 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยใส่น้ำเสียครั้งละ 4 ลิตร และนำมาสร้างกราฟ เบรคทวร์จ (Breakthrough curve) ดังรูปที่ 11 พบว่า ในช่วงแรกกราฟมีแนวโน้มลดลงจนถึงจุดเริ่มหมดสภาพ หรือจุดเบรคทวร์จ (Breakthrough Point) และจุดหมดสภาพ (Exhaustion Point) ซึ่งเป็นไปตามกราฟเบรคทวร์จ (Breakthrough Curve) ของ Reynolds and Richards (1996) [10] นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลปริมาณน้ำเสีย

สังเคราะห์ที่กราฟเบรคทวร์จในการทดลองแบบคอลัมน์ ที่มีส่วนประกอบของถ้ำลอย FA1 FA2 และ FA3 พบว่าการทดลองวิธีแบบคอลัมน์มีปริมาณน้ำเสียที่จุดเริ่มหมดสภาพและจุดหมดสภาพต่ำกว่า แสดงดังตารางที่ 2 เนื่องจากคอลัมน์มีขนาดเล็กกว่าถังกรองประดิษฐ์จึงส่งผลทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสส่วนตัวดูดซับน้อยเลยทำให้คอลัมน์มีปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่จุดเริ่มหมดสภาพและจุดหมดสภาพน้อยกว่าในถังกรองประดิษฐ์



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียม (ก) นิกเกิล (ข) และทองแดง (ค) ที่ถูกกำจัดกับปริมาณน้ำเสียที่ไหลผ่านถังกรองประดิษฐ์



รูปที่ 11 กราฟเบรคทวร์จของการบำบัดโครเมียม (ก) นิกเกิล (ข) และทองแดง (ค) ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีแบบถังกรองประดิษฐ์เมื่อใช้ถ้ำลอยชนิด FA3

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่จุดเริ่มหมดสภาพและจุดหมดสภาพของวิธีการไหลแบบคอลัมน์และถังกรองประดิษฐ์

วิธี/ชนิดถ้ำลอย/	โลหะหนัก	Breakthrough Point (ลิตร)	Exhaustion Point (ลิตร)
คอลัมน์/FA1	โครเมียม	12.3	19.5
คอลัมน์/FA2	โครเมียม	12.3	19.5
คอลัมน์/FA3	โครเมียม	12.3	19.5
ถังกรองประดิษฐ์/FA3	โครเมียม	20	28
คอลัมน์/FA1	นิกเกิล	9.3	13.5

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ที่จุดเริ่มหมดสภาพและจุดหมดสภาพของวิธีการไหลแบบคอลัมน์และถังกรองประดิษฐ์ (ต่อ)

วิธี/ชนิดถ้ำลอย/ โหลหนัก	Breakthrough Point (ลิตร)	Exhaustion Point (ลิตร)
คอลัมน์/FA2	9.3	13.5
คอลัมน์/FA3	9.3	13.5
ถังกรองประดิษฐ์/FA3	84	132
คอลัมน์/FA1	23.7	25.5
คอลัมน์/FA2	23.7	25.5
คอลัมน์/FA3	23.7	25.5
ถังกรองประดิษฐ์/FA3	196.0	260.0

สรุป

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากถ้ำลอยทั้ง 3 ชนิด ร่วมกับชั้นกรองที่ประกอบไปด้วยวัสดุธรรมชาติเพื่อใช้บำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดง โดยใช้ถ้ำลอยทั้ง 3 ชนิด มาผสมกับทรายละเอียดเพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นกรองร่วมกับทรายหยาบ และหินปูน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การทดลองแบบแบดซ์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ส่วนที่ 2 การทดลองแบบคอลัมน์เพื่อจำลองชั้นกรองระดับห้องปฏิบัติการ และส่วนที่ 3 การจำลองระบบบำบัดแบบถังกรองประดิษฐ์ดังนี้

ส่วนที่หนึ่งจากการทดลองแบบแบดซ์พบว่า ถ้ำลอย FA1 กำจัดนิกเกิลได้ดีที่สุด เท่ากับ 1.9960 มก. ถ้ำลอย FA2 กำจัดทองแดงได้ดีที่สุด เท่ากับ 1.4979 มก. และถ้ำลอย FA3 กำจัดโครเมียมได้ดีที่สุด เท่ากับ 2.3880 มก. มีระยะเวลาสัมผัสเหมาะสมอยู่ที่ 1 ชั่วโมง 30 นาที ปริมาณถ้ำลอยที่เหมาะสมเท่ากับ 5 กรัม มีค่าความจุในการดูดซับโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในสภาวะที่ดีที่สุดของถ้ำลอยทั้ง 3 ชนิดเท่ากับ 0.45, 0.40 และ 0.30 มก./ก. ตามลำดับ อัตราส่วนโดยน้ำหนักถ้ำลอย FA3 ต่อทรายละเอียดที่ดีที่สุดเท่ากับ 1:30 กรัม ในการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงที่ปริมาณ เท่ากับ 2.7263, 1.5974 และ 0.8984 มก. ตามลำดับ และมีไอโซเทอร์มการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มแลงเมียร์ และฟรุนดิช

ส่วนที่สองจากการทดลองแบบคอลัมน์บรรจุชั้นกรองด้วยชั้นหิน ทรายหยาบและถ้ำลอยผสมทรายละเอียด นำมาบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดง

ในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ปริมาณการกำจัดด้วยถ้ำลอย FA3 โดยเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 13.9347 มก. รองลงมาคือถ้ำลอย FA2 และถ้ำลอย FA1 เท่ากับ 13.2134 และ 12.5301 มก. ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าถ้ำลอยมีประสิทธิภาพการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียได้จริง

ส่วนที่สาม การทดลองด้วยถังกรองประดิษฐ์ได้ทำการเลือกถ้ำลอย FA3 มาทำการทดลอง เนื่องจากการทดลองแบบคอลัมน์มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุด จากนั้นนำถ้ำลอย ชนิด FA3 ผสมกับทรายละเอียด และบรรจุชั้นกรองเหมือนกับในคอลัมน์ โดยทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงในน้ำเสียได้ดี ปริมาณที่กำจัดได้ เท่ากับ 222.13, 159.34 และ 119.10 มก. ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าถ้ำลอยมีประสิทธิภาพในการบำบัดโครเมียม นิกเกิล และทองแดงได้ดี

จากงานวิจัยนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าถ้ำลอยมีศักยภาพสูงพอที่จะนำมาเป็นตัวดูดซับมลสารในน้ำเสีย และสามารถนำถ้ำลอยมาผสมกับทรายละเอียดในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อเป็นตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียด้วยถังกรองประดิษฐ์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีอย่างง่ายใช้วัสดุรองตามธรรมชาติ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง รวมถึงเป็นการใช้ประโยชน์จากของเสียอุตสาหกรรม และลดปริมาณของเสียที่จะนำไปกำจัดให้เหลือน้อยลงได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Fu, F. and Wang, Q., 2011, Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review, *J. Environ Manage.* 92: 407-418.
- [2] Bayat, B., 2002, Comparative study of adsorption properties of Turkish fly ashes:II. The case of chromium (VI) and cadmium (II), *J. Hazard. Mater.* B95: 275-290.
- [3] Bayat, B., 2002, Comparative study of adsorption properties of Turkish fly ashes: I. The case of nickel(II), copper(II) and zinc(II), *J. Hazard. Mater.* B95: 251-273.
- [4] Gupta, G. and Torres, N., 2002, Use of fly ash in reducing toxicity of and heavy metals in wastewater effluent, *J. Hazard. Mater.* 57: 243-248.
- [5] US Environmental Protection Agency, 2007, Method 3015A Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts, Available Source: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3015a.pdf>, August 31, 2015.
- [6] Department of industrial works, 2008, Manual of Metal Finishing Industry, DM Printing Company Limited Bangkok, 262. (in Thai)
- [7] Tangkananuruk, N. and Tangkananuruk, K., 2007, Principles of Chemical Water Quality Analysis, Kasetsart University Press, Bangkok, 281. (in Thai)
- [8] Chindraprasirt, P., 2004, Fly Ash in Concrete, Thai Concrete Association, Bangkok, 109. (in Thai)
- [9] Matthayan, W., Visitsak, S. and Khedari J., 2011, Improvement of compressive strength for adobe block by using lime and palm oil ash, Available Source: http://rdi.ku.ac.th/kasetresearch54/GroupEconomic/43-Worawut_mat/template.html, December 18, 2015.
- [10] Reynolds, T. D. and Richards, P. A., 1996, Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, PWS Pub., Boston, 798.