

# การลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมด้วยเรซินชานอ้อย

## Removal of Chromium Industrial Wastewater by Bagasse Resin

วรรณภา นิติมงคลชัย (Wannapa Nitimongkalchai)\* วรังกนา สังสิทธิ์สวัสดิ์ (Warangkana Sungsitthisawad)\*\*  
อุไรวรรณ อินทร์ม่วง (Uraivan Inmoung)\*\*\*

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเรซินชานอ้อยในการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียม มีวิธีศึกษาแบบทีละเท (batch study) แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 นำชานอ้อยมาปรับสภาพโดยใช้กระบวนการทางเคมีคือ carboxymethylation reaction ขั้นตอนนี้ได้เรซินชานอ้อยที่มี คุณสมบัติเป็น เรซินแบบกรดอ่อน ขั้นตอนที่ 2 เป็นการหาปริมาณเรซินชานอ้อยที่เหมาะสมโดยศึกษาปริมาณเรซินชานอ้อยที่ 5, 6, 7, 8 และ 9 กรัม/ลิตร ที่ระดับพีเอช 9 และระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง ขั้นตอนที่ 3 หาประสิทธิภาพของ เรซินชานอ้อยในการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย โดยใช้ปริมาณเรซินชานอ้อยที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาในขั้นตอนที่ 2 โดยทำการศึกษาที่ระดับพีเอช 7, 8, 9 และ 10 ที่ระยะเวลาเก็บกัก 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง และ ขั้นตอนที่ 4 เป็นการทดสอบการชะละลายของโครเมียมจากกากตะกอนที่เป็น optimum dose มากที่สุด

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณเรซินชานอ้อยที่ 8 กรัม/ลิตร ที่ระดับพีเอชและระยะเวลาเก็บกักเดียวกัน มีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 56.95 เหลือปริมาณโครเมียมในน้ำเสียน้อยที่สุด คือ 4.477 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อศึกษาที่ระดับพีเอชที่เหมาะสมพบว่าที่ระดับพีเอช 7 มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงที่สุดร้อยละ 45.71 เหลือปริมาณโครเมียมในน้ำเสียน้อยที่สุดคือ 5.646 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาเก็บกักและสัดส่วนเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แสดงว่าพีเอชมีผลต่อการใช้เรซินชานอ้อย ลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย และเมื่อระยะเวลาเก็บกักมากขึ้น ที่ระดับพีเอชและสัดส่วนเดียวกันมีผลต่อประสิทธิภาพการลดปริมาณโครเมียมอย่างไม่แตกต่างกัน โดยทั้งนี้ให้มีระยะเวลาเก็บกักไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง การใช้เรซินชานอ้อยลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ ปริมาณเรซิน ชานอ้อย 8 กรัม/ลิตร ระดับพีเอช 7 และระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพร้อยละ 45.71 กลไกการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียเกิดจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชานอ้อยร่วมกับกระบวนการปรับระดับพีเอชในน้ำเสีย ทำให้ประสิทธิภาพร้อยละการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และเมื่อนำกากตะกอนที่เป็น optimum dose มาทำการทดสอบการชะละลายของโครเมียมด้วยวิธีการสกัดสาร (leachate extraction procedure) ตามกรรมวิธีในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) พบว่า มีปริมาณโครเมียมในกากตะกอนดังกล่าวถูกชะละลายออกมา 3.046 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม กากตะกอนดังกล่าวจึงไม่มีความเสถียร ต้องผ่านกระบวนการทำลายฤทธิ์ก่อน จึงสามารถนำไปกำจัดทิ้งหรือฝังกลบ (secured landfill) ให้ถูกต้อง

### ABSTRACT

Effectiveness of using bagasse resin to reduce the amount of chromium contaminated in industrial wastewater at 10.40 mg/l from chromium coating industries was investigated. A particular objective was to optimise the amount of bagasse resin, pH level and treatment time suitable for a chromium removal process. An experiment was divided into 4 steps, bagasse was first chemically treated by means of the carboxymethylation reaction to get a weak acidic cationic bagasse resin. Various amounts of bagasse resin i.e. 5, 6, 7, 8 and 9 g/l, at pH 9 and treatment time of 12 hours were tested to

\*มหาบัณฑิตหลักสูตรสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\*รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\*\*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

obtain an optimum dose of bagasse resin. By using the optimum dose of bagasse resin, various pH levels i.e. 7, 8, 9 and 10 and various treatment time i.e. 6, 12, 18 and 24 hours were then examined to find the most effective condition for the chromium removal process. Finally, the leachate extraction procedure according to the announcement of the ministry of industry No.6 (1997) was employed to find the amount of chromium absorbed by bagasse resin after the chromium removal treatment.

The results from this study showed that the optimum dose of bagasse resin was 8 g/l at pH 9 and treatment time of 12 hours. The efficiency of chromium removal process at this condition was at 56.95% . It was also found that the level of pH significantly influenced the amount of chromium absorbed by bagasse resin at 95% confidence limit ( $p < 0.05$ ) . The amount of chromium absorbed by bagasse resin, on other hand, was not affected by the treatment time which were longer than 12 hours. The optimum condition for the chromium removal process was at pH 7 and at treatment time of 12 hours which was capable of reducing the amount of chromium in wastewater at the efficiency of 45.71% . By using the optimum condition, the amount of absorbed chromium within the bagasse resin after the treatment was 3.046 mg/l which was more than the maximum limit of chromium (5.0 mg/l) allowed by the ministry of industry. As a result, the bagasse resin no can be directly destroyed or land-filled after the chromium removal process any further treatments.

คำสำคัญ: เรซินชานอ้อย โครเมียม

Keyword: Bagasse Resin, Chromium

## บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่เริ่มทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ ในระยะสิบกว่าปีที่ผ่านมา ประเทศไทยได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในด้าน อุตสาหกรรม และมีโรงงานที่ผลิตของเสียอันตรายในปริมาณค่อนข้างสูง ประมาณ 1,000 โรงงาน เช่น โรงงานชุบโลหะ โรงงานผลิตสารเคมีกำจัดศัตรูพืช โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ เป็นต้น คาดว่าประมาณร้อยละ 90 ของของเสียอันตรายนี้ เกิดจากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมทั้งสิ้น (กองบรรณาธิการ, 2540)

โรงงานชุบโลหะในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดย่อม มีจำนวนมากและมีแนวโน้มจะเพิ่มจำนวนโรงงานมากขึ้นซึ่งการชุบโลหะมีหลากหลายชนิดด้วยกัน เช่น การชุบโครเมียม นิกเกิล ทองแดง เงิน และทอง เป็นต้น ปัจจุบันกระทรวงอุตสาหกรรมได้จัดลำดับโรงงานชุบโลหะไว้เป็นอันดับต้นๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องเร่งควบคุมอย่างใกล้ชิด เนื่องจากกระบวนการผลิตได้มีการปล่อยสารพิษโลหะหนักอยู่ในน้ำเสีย อุตสาหกรรมฟอกย้อมและการชุบโลหะมีการปล่อยน้ำทิ้งที่มีโลหะหนักปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ โดยพบโครเมียมสูงถึง 40-110 ไมโครกรัมต่อลิตร (ประเสริฐ, 2536) หากมีการปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศจะเกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและเกิดการสะสมของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมได้

ปัจจุบันการกำจัดโลหะหนักมีหลายวิธีที่นิยมใช้

ได้แก่ กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) การแยกสลายด้วยไฟฟ้า (Electrolysis) การกลั่น (Distillation) การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) กระบวนการเฟอร์ไรท์ (Ferrite Process) และการทำให้ลอยตัว (Flotation) เป็นต้น การกำจัดโลหะหนักโดยใช้วิธีการ แลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) เป็นวิธีการที่ใช้ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ แต่สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออนแบบสังเคราะห์ที่ใช้ในปัจจุบันมีราคาแพง จึงได้มีการ คิดค้นที่จะนำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้เป็นเรซิน แลกเปลี่ยนไอออน เช่น เปลือกไม้ เปลือกผลไม้ ชีล้อย กากใบชา แกลบ ผักตบชวา และชานอ้อย ฯลฯ เนื่องจากวัสดุธรรมชาติมีองค์ประกอบของเซลลูโลส ลิกนิน ซึ่งภายในโครงสร้างเหล่านี้ประกอบด้วยฟังก์ชันนอลกรุป (Functional Group) มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิลิก หมู่ฟีนอลิก และหมู่ไฮโดรซิลิก สารเซลลูโลสที่ได้จากวัสดุธรรมชาติมีคุณสมบัติคล้ายกับเรซินแลกเปลี่ยนไอออนสังเคราะห์จากกระบวนการทางเคมี ส่วนการเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจากธรรมชาติสามารถทำได้โดยการประสานพันธะเซลลูโลสโดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆ สารเซลลูโลสที่ได้มีทั้งแบบกรดและแบบด่างขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ใช้ (เกศสุชา, 2537; เพลินพิศ & ประวีณา, 2540)

ชานอ้อย เป็นผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาล และเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีอยู่มากมายและคุณสมบัติของชานอ้อยมีองค์ประกอบที่เป็นไฮโดรเซลลูโลสร้อยละ 82.52 แอลฟาเซลลูโลส ร้อยละ 44 ลิกนินร้อยละ 19.78 และเพนโตแซน ร้อยละ 27.12 (เกษสุชา, 2537) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการนำชานอ้อยมาปรับสภาพเป็นสารเรซินแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อกำจัดโครเมียมจากน้ำเสีย โรงงานชุบโครเมียม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมและการชะละลายกากตะกอนที่เป็น Optimum Dose อันจะเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้กับโรงงานชุบโครเมียมเพื่อลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียและเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

## ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Study) โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ

1.1 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เป็นน้ำเสียจากโรงงานชุบโครเมียม

1.2 ชานอ้อยที่ใช้ในการทดลองเป็นชานอ้อยที่เหลือใช้จากการที่บอ้อยในโรงงานน้ำตาล

1.3 เรซินชานอ้อยที่เตรียมขึ้น เป็นเรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acidic Cationic Resin) ที่มี หมู่คาร์บอกซิลิก ( $\text{COO}^-$ ) เป็นหมู่ไอออนที่มีประจุ ไฟฟ้า โดยมี  $\text{H}^+$  เป็นไอออนอิสระ

1.4 ระดับพีเอชที่ใช้แบ่งเป็น 4 ระดับคือ 7, 8, 9 และ 10 โดยวัดระดับพีเอชในน้ำเสียก่อนทำการทดลองแล้วปรับระดับพีเอชให้เพิ่มขึ้นโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) หรือต้องการให้ พีเอชน้อยลงใช้กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) โดยปรับพีเอชน้ำเสียก่อนที่จะเติมเรซิน

1.5 โลหะหนักที่ศึกษาคือ โครเมียม ที่วัดในรูปโลหะทั้งหมดด้วยวิธี AAS

1.6 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างรวมแบบ Composited Sampling ซึ่ง เหมาะสมสำหรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ระยะเวลาเก็บ 15 วัน น้ำเสียตัวอย่างดังกล่าวเป็นตัวแทนของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างนี้เท่านั้น

1.7 ระยะเวลาเก็บกัก แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

1.8 สัดส่วนระหว่างเรซินชานอ้อยและ น้ำเสีย ในการวิจัย ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมดังนี้ 5, 6, 7, 8 และ 9 กรัมต่อลิตร

## วิธีการดำเนินการวิจัย

แบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำชานอ้อยมาปรับสภาพให้กลายเป็นเรซินโดยกระบวนการทางเคมี ได้แก่ Carboxymethyl cellulose

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาหาสัดส่วนระหว่างเรซินต่อ น้ำเสีย ที่เหมาะสม ตั้งแต่ 5, 6, 7, 8, และ 9 กรัม/ลิตร ที่ระดับพีเอช 9 และระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาหาระดับพีเอชและระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสม ที่พีเอช 7, 8, 9, 10 และระยะเวลาเก็บกัก 4 ช่วงเวลา ตั้งแต่ 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 4 นำกากตะกอนที่เป็น Optimum Dose มากที่สุดมาทำการทดสอบการชะละลายโดยวิธีการสกัดสาร (Leachate Extraction Procedure)

การเตรียมสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน

1.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

นำชานอ้อยมาล้างด้วยน้ำประปาหลาย ๆ ครั้งจนสะอาด นำมาตากให้แห้งกลางแดด 1 วัน อบที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ทำให้ละเอียดด้วยเครื่องบด และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 70 และ 80 จน ได้ชานอ้อยที่มีขนาด Effective Size 0.18-0.20 มิลลิเมตร

1.2 การเตรียม Carboxymethyl Cellulose (Peska และคณะ, 1976)

1.2.1 ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 90 กรัม ในน้ำกลั่น 200 มล. เติมชานอ้อย 60 กรัม ผสมให้เข้ากันกวนนาน 30 นาทีในอ่างน้ำแข็ง

1.2.2 ละลาย Chloroacetic acid 30 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มล. เติมลงในของผสม นำไปกวนบนอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แล้วทำให้เย็นในอ่างน้ำแข็ง

1.2.3 ปรับระดับพีเอชของผสมให้เป็นกลางโดยใช้ acetic acid

1.2.4 นำของผสมที่ได้ไปกรองล้างด้วยน้ำกลั่น และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มัล จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนระดับพีเอชของน้ำสุดท้ายเท่ากับ 7 แล้วจึงล้างด้วย Ethanol ทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

การทดลองชุดที่ 1 ศึกษาหาสัดส่วนเรซินชานอ้อยต่อน้ำเสียที่เหมาะสม

โดยแบ่งสัดส่วนที่ต้องการศึกษาออกเป็น 5 สัดส่วน คือ 5, 6, 7, 8 และ 9 กรัมต่อลิตร น้ำเสียกลุ่มทดลองจะถูกปรับเป็นพีเอช 9 และใช้ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง

อุปกรณ์ทดลองใช้ภาชนะพลาสติก ขนาด 1 ลิตร บรรจุน้ำเสียโรงงานซูโครเมียมจำนวน 1 ลิตร แล้วปรับพีเอชให้เป็น 9 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 โมลาร์ และกรดไนตริกเข้มข้น หลังจากนั้นใส่เรซินลงในแต่ละภาชนะใน สัดส่วนเรซินต่อน้ำเสียตามที่ต้องการศึกษาคือ 5, 6, 7, 8, และ 9 กรัมต่อลิตร

แต่ละสัดส่วนทำการศึกษาแบบ 3 ซ้ำ นั่นคือ ใช้สัดส่วนละ 3 ขวด รวมจำนวนภาชนะในการทดลองชุดนี้จำนวน 15 ขวด นำไปตั้งบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary Agitator) ตั้งจำนวนรอบ 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นเก็บกักน้ำเสียจนครบ 12 ชั่วโมง แล้วเก็บตัวอย่าง น้ำเสียส่วนที่ใส่ในแต่ละสัดส่วนอย่างละ 100 มิลลิลิตรด้วยไปเปตต์ ใส่ขวดพลาสติกปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่ผ่านการล้างดีแล้ว ทั้งหมดจำนวน 15 ขวด นำไปเตรียมตัวอย่างด้วยการย่อยสลายด้วยกรดอย่างรุนแรงคือ Nitric-Sulfuric Acid Digestion พร้อมสำหรับนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโครเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิก-แอบซอร์พชัน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมและได้สัดส่วนเรซินชานอ้อยต่อน้ำเสียที่เหมาะสมแล้วจึงนำสัดส่วนดังกล่าวไปใช้ทดลองในชุดที่ 2 ต่อไป

ในกลุ่มควบคุมทำการทดลองเหมือนในกลุ่มทดลอง แต่ไม่มีการใส่เรซินชานอ้อย

การทดลองชุดที่ 2 ศึกษาพีเอชและระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสม

โดยมีชุดวิจัยดังนี้

ชุดวิจัย (ปรับสภาพน้ำเสียในการทดลองและใส่เรซินชานอ้อย) ชุดวิจัยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มตามระดับพีเอชคือ 7, 8, 9 และ 10 เป็นช่วงพีเอชที่ เรซินแบบกรดอ่อนสามารถจับโลหะหนักได้ ใช้กรดไนตริกเข้มข้น 1 นอร์มัลสำหรับปรับพีเอชให้ต่ำลงและให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปรับพีเอชให้สูงขึ้นในแต่ละระดับพีเอชใช้ระยะเวลาเก็บกัก 6, 12, 18, 24 ชั่วโมงตามลำดับ ใช้สัดส่วนระหว่าง เรซินต่อน้ำเสียโดย น้ำหนักในสัดส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากผลการวิจัยชุดที่ 1

การทดลองครั้งนี้ ชุดวิจัยใช้ภาชนะพลาสติกขนาด 1 ลิตร เป็นภาชนะสำหรับบรรจุน้ำเสียจากโรงงานซูโครเมียม ใช้ น้ำเสียขวดละ 1 ลิตร ปรับพีเอชให้เป็น 7 ถึง 10 แล้วใส่เรซินชานอ้อยตาม สัดส่วนที่ทดลองได้ในชุดการทดลองที่ 1 จำนวน 1 สัดส่วน ดังนั้น รวมจำนวนขวดของกลุ่มทดลองได้ 4 ขวด นำไปตั้งบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary Agitator) 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ตามช่วงเวลาที่กำหนดคือ 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับจนครบทำการเก็บตัวอย่างแบบ 3 ซ้ำ ในการเก็บ ตัวอย่างน้ำแต่ละครั้งจะเก็บครั้งละ 100 มิลลิลิตรในขวดพลาสติกปิดฝาเรียบร้อย เพื่อเตรียมนำเข้าสู่ ขั้นตอนการย่อยสลายก่อนนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิก-แอบซอร์พชันต่อไป

ในกลุ่มควบคุมทำการทดลองเหมือนในกลุ่มทดลอง แต่ไม่มีการใส่เรซินชานอ้อย

การทดลองชุดที่ 3 การทดสอบการชะละลายโดยวิธีการสกัดสาร (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2540)

3.1 นำกากตะกอนที่ได้ในการทดลองชุดที่ 2 (Optimum Dose ที่มากที่สุด) มาตากแห้ง

3.2 นำกากตะกอนจาก 3.1 มาบดให้เป็นผงละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงเส้นผ่าศูนย์กลาง รูกรองขนาด 70 mesh

3.3 ชั่งตัวอย่างที่ได้จากข้อ 3.2 มาใส่ใน น้ำสกัด (Leachant) หรือน้ำฝนกรดสังเคราะห์ (Synthetic Acid Rain Extraction Fluid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในสัดส่วน

80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) จนพีเอชของส่วนผสมมีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของ น้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง

3.4 ตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.3 มาสกัดบนเครื่องเขย่าแบบหมุน (Rotary Agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง

3.5 กรองสารละลายโดยใช้กระดาษกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน

3.6 นำสารละลายที่ได้จากข้อ 3.5 มาทำการย่อยสลายด้วยกรดไนตริก แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมทั้งหมด โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS)

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

##### 1. สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่

1.1 ร้อยละ ใช้บอกค่าประสิทธิภาพร้อยละของการกำจัดโครเมียม

1.2 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่า SD ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณโครเมียม ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง เพื่อนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพ

##### 2. สถิติเชิงอนุมาน ได้แก่

2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Anova)

สำหรับการวิจัยชุดที่ 1 มีปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง 1 ตัวคือ สัดส่วนระหว่างเรซินต่อน้ำเสีย ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโครเมียม

2.2 วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way Anova)

การวิจัยชุดที่ 2 มีปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้องมากกว่า 1 ปัจจัย ที่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักโครเมียม แตกต่างกันคือ

- ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก โครเมียม เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

- ระดับพีเอช 7, 8, 9 และพีเอช 10 เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

- ระยะเวลาเก็บกัก นาน 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง เป็นตัวแปรอิสระ

2.3 การเปรียบเทียบเชิงซ้อนเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักแต่ละพีเอชทดสอบความแตกต่างของแต่ละพีเอชด้วย One-Way ANOVA วิธี Least-Signification Different (LSD) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประชากรได้ครั้งละหลายคู่

2.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร (Correlation Analysis) เนื่องจากตัวแปรหลายตัวมีความสัมพันธ์กัน ตัวแปรตามคือปริมาณโลหะหนัก (Dependent Variable) กับตัวแปรอิสระคือพีเอชและระยะเวลาเก็บกัก (Independent Variable) ด้วยวิธีการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วน (Partial Correlation Coefficients) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 ( $\alpha = 0.05$ )

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการวิจัยครั้งนี้ได้นำชานอ้อยที่ผ่านการหีบอ้อยจากโรงงานผลิตน้ำตาลโดยนำส่วนที่เป็นกากอ้อยมาเตรียมและปรับสภาพให้เป็นเรซิน แลกเปลี่ยนไอออน กระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพคือ Carboxymethylation Reaction ขั้นตอนแรกของการกระบวนการ คือ การทำชานอ้อยหมดคุณสมบัติในการดูดซับ (absorbent) โดยนำชานอ้อยมาตากให้แห้งและทำการอบ บด ให้มีขนาด 0.18 - 0.20 mm. เสร็จแล้วกวนชานอ้อยที่ อบ บด และคัดขนาดแล้ว ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปฏิกริยานี้ทำให้การพองน้ำของชานอ้อยลดลง หลังจากนั้นจึงเติมคลอไรด์-ซิติคแอซิด ( $C_2H_3ClO_2$ ) เพื่อเป็นตัวประสานและแสดงฟังก์ชัน กรุ๊ป (Function Group) จากนั้น จึงล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เพื่อเพิ่มไอออนอิสระที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน (เกศสุชา, 2537) ในปฏิกริยาของกระบวนการทางเคมีที่ใช้ปรับสภาพชานอ้อยดังกล่าว จะมีโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และโซเดียมไกลโคลเลต (sodium glycolate) เป็นผลจากปฏิกริยาข้างเคียง จึงต้องใช้ เอทานอล ( $C_2H_5OH$ ) เป็นตัวสกัดแยกเกลือทั้งสองชนิดนี้ เพื่อให้ได้เรซินชานอ้อยที่มีความบริสุทธิ์สูง

(ยุรภัณฑ, 2540) ชานอ้อยที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพแล้วจะมีคุณสมบัติเป็นเรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acidic Cationic Resin) เรียกว่า Carboxymethyl Cellulose โดยมีหมู่คาร์บอกซิลิก ( $\text{COO}^-$ ) เป็นหมู่ไอออนที่มีประจุไฟฟ้า และมี  $\text{H}^+$  เป็นไอออนอิสระที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อนำเรซินชานอ้อยที่เตรียมขึ้นมา ทดสอบหาขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (Cation Exchange Capacity) โดยวิธี ammonium saturation method โดยใช้เรซินชานอ้อย 2 กรัม บรรจุในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ความยาว 40 เซนติเมตร จากนั้น

1. ชะเรซินชานอ้อยด้วยแอมโมเนียอะซิเตด ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ) เข้มข้น 1 นอร์มัล พีเอช 7.0 เพื่อที่จะให้ประจุบวก (Cation) ต่างๆ ที่ดูดซับอยู่ในชานอ้อยหลุดออกมาให้หมด (leaching)

2. ล้างเรซินชานอ้อยด้วย  $\text{NH}_4\text{OAc}$  ที่มากเกินไป แล้วล้างเพิ่มเติมด้วย ethyl alcohol (washing)

3. แทนแอมโมเนียที่ถูกดูดซับ (adsorbed  $\text{NH}_4^+$ ) ด้วยสารละลายที่เป็นกรดเล็กน้อยของโซเดียมคลอไรด์ (acidified NaCl solution) (replacing)

4. วิเคราะห์  $\text{NH}_4^+$  ที่ถูกแทนที่ออกมาด้วยการกลั่น (Distillation Determination) (พงศศิริ, 2537) พบว่า เรซินชานอ้อยที่เตรียมขึ้นมานั้น มีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (Cation exchange capacity) โดยวิธี ammonium saturation method มีค่า C.E.C 0.116 meq/g ซึ่งสูงกว่าผลการศึกษามากศุชา (2537) มีค่า C.E.C 0.069 meq/g และ Dorfner (1973) พบว่า Carboxymethyl Cellulose มีค่า C.E.C 0.62 (0.1 meq/g

การวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพ และสภาวะที่เหมาะสมในการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย โรงงานชุบโครเมียมด้วยเรซินชานอ้อย โดยศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของเรซินชานอ้อยต่อ น้ำเสียที่ปริมาณเรซินชานอ้อย 5 ระดับ คือ 5, 6, 7, 8, และ 9 กรัม/ลิตร ที่ระดับพีเอช 9 และระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง และนำผลที่ได้ไปหาสภาวะที่เหมาะสมที่พีเอช 7, 8, 9, และ 10 และระยะเวลาเก็บกักที่ 6, 12, 18, และ 24 ชั่วโมง อุณหภูมิห้อง (26-28 องศาเซลเซียส) โดยศึกษาทางห้องปฏิบัติการ ในช่วงเดือน มกราคม พ.ศ. 2546

ผลการวิจัยมีดังนี้

### 1. ปริมาณเรซินชานอ้อยที่มีผลต่อการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียม

เมื่อทำการทดลองหาปริมาณเรซินชานอ้อยที่เหมาะสมโดยทดลองที่ปริมาณเรซินชานอ้อยที่ปริมาณ 5, 6, 7, 8 และ 9 กรัม/ลิตร พบว่า มีค่าเฉลี่ยโครเมียมเหลือในน้ำทิ้งแตกต่างกัน ดังนี้ ปริมาณเรซินชานอ้อยที่ 8 กรัม/ลิตร มีปริมาณโครเมียมในน้ำเสียเหลือน้อยที่สุด คือ 4.477 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อคิดเป็นร้อยละการกำจัดโครเมียม (% Removal) มีค่าร้อยละ 56.95 ส่วนปริมาณเรซินชานอ้อยอื่น มีค่าเฉลี่ยโครเมียมที่เหลือในน้ำเสีย เรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ที่ปริมาณ 7 กรัม (ค่าเฉลี่ยโครเมียม 5.392 มิลลิกรัม/ลิตร), 5 กรัม (ค่าเฉลี่ยโครเมียม 5.643 มิลลิกรัม/ลิตร), 9 กรัม (ค่าเฉลี่ยโครเมียม 5.819 มิลลิกรัม/ลิตร) 6 กรัม (ค่าเฉลี่ยโครเมียม 6.806 มิลลิกรัม/ลิตร) และชุดควบคุม 0 กรัม (ค่าเฉลี่ยโครเมียม 8.904 มิลลิกรัม/ลิตร) เมื่อคิดเป็นร้อยละการกำจัด (% Removal) คิดเป็นร้อยละ 48.15, 45.74, 44.04, 34.56 และตัวควบคุม 14.38 ตามลำดับ และปริมาณ 0 กรัม (ชุดควบคุม) มีค่าเฉลี่ยปริมาณโครเมียมเหลือในน้ำเสียมากที่สุด คือ 8.904 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อคิดเป็นร้อยละการกำจัดโครเมียมมีค่าร้อยละ 14.38 รองลงมาคือที่ 6 กรัม/ลิตร มีค่าเฉลี่ยปริมาณโครเมียมเหลือในน้ำเสีย 6.806 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อคิดเป็นร้อยละการกำจัดโครเมียมมีค่าร้อยละ 34.56 ตามลำดับ

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่า การแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชานอ้อย โดยปัจจัยด้านปริมาณของเรซินชานอ้อยที่เหมาะสม ไม่ได้เกิดจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชานอ้อยเพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากกระบวนการ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับกระบวนการปรับระดับพีเอชในน้ำเสีย เนื่องจากพบว่าปริมาณเรซินชานอ้อยที่ปริมาณ 6 และ 9 กรัม/ลิตร มีผลต่อการลดลงของปริมาณโครเมียมในน้ำเสียน้อยกว่าปริมาณเรซินชานอ้อย 5 และ 8 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งหากเกิดจากกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนเพียงอย่างเดียวที่ปริมาณเรซินชานอ้อย

6 และ 9 กรัม/ลิตร ควรมีค่าร้อยละการกำจัดโครเมียมสูงกว่าที่ปริมาณ 5 และ 8 กรัม/ลิตร ตามหลักการแลกเปลี่ยนไอออนที่ กล่าวว่า เมื่อปริมาณเรซินเพิ่มมากขึ้นจะมี หมู่ COOH-group เพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินเพิ่มมากขึ้น แต่ผลการทดลองไม่เป็นไปตามหลักการดังกล่าว

จากผลการทดลองและการทดสอบทางสถิติสรุปได้ว่าปริมาณเรซินชานอ้อยมีผลต่อการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงาน ชุบโครเมียม ( $p < 0.05$ ) และปริมาณเรซินชานอ้อย 8 กรัม/ลิตร เป็นปริมาณเรซินชานอ้อยที่สามารถ ลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงาน ชุบโครเมียมได้มากกว่าปริมาณอื่นๆ เมื่อปรับระดับพีเอชเท่ากับ 9 และระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 12 ชั่วโมง

ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 1 กล่าวคือ เมื่อปริมาณของเรซินชานอ้อยแตกต่างกัน ระยะเวลาเก็บกักและระดับพีเอชเท่ากัน ประสิทธิภาพในการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงาน ชุบโครเมียมจะแตกต่างกัน

2. ระดับพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียที่มีผลต่อการใช้เรซินชานอ้อยลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียม

น้ำเสียก่อนเริ่มวิจัยมีปริมาณโลหะหนักโครเมียม 10.40 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อเติมเรซินลงในน้ำเสียหลังสิ้นสุดการวิจัย พบว่า ปริมาณโครเมียมในแต่ละระดับ พีเอชมีค่าลดลงแตกต่างกัน คือ ที่ระดับพีเอช 7 ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยโครเมียมเหลือในน้ำเสียน้อยที่สุด คือ 5.646 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็นร้อยละการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมของเรซินชานอ้อยเท่ากับร้อยละ 45.71 รองลงมาคือที่ระดับพีเอช 8 ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง มีปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมเท่ากับ 5.796 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็นร้อยละการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมของเรซินชานอ้อยเท่ากับร้อยละ 44.27

จากผลการทดลอง สรุปว่า ประสิทธิภาพการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงาน ชุบโครเมียมของเรซินชานอ้อย จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อปริมาณเรซินชานอ้อยเท่ากับ 8 กรัม/ลิตร ที่ระดับพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ

7 และระยะเวลา เก็บกักเท่ากับ 12 ชั่วโมง รองลงมา คือ ที่ปริมาณ เรซินชานอ้อยเท่ากับ 8 กรัม/ลิตร ที่ระดับพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 8 และระยะเวลาเก็บกักเท่ากับ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียของเรซินชานอ้อย เป็นกลไกระหว่างกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชานอ้อยร่วมกับกระบวนการปรับระดับ พีเอชในน้ำเสีย ทำให้ประสิทธิภาพร้อยละการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมของเรซินชานอ้อยมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

เมื่อพิจารณาปัจจัยทางด้านพีเอช เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย โรงงานชุบโครเมียมของเรซินชานอ้อย ควรปรับระดับพีเอชของน้ำเสียประมาณ 7 - 8 จะทำให้ ประสิทธิภาพการลดปริมาณโครเมียมของเรซิน ชานอ้อยดีที่สุดและดีกว่าระดับพีเอชอื่นๆ

จากการทดสอบความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในน้ำเสียในแต่ละกลุ่มพีเอชของกลุ่มทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ที่เวลาและสัดส่วนเดียวกัน แสดงว่าพีเอชมีผลต่อการใช้ เรซินชานอ้อยลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียม

ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 2 กล่าวคือ ระดับพีเอชแตกต่างกัน เวลาและปริมาณของเรซินชานอ้อยเท่ากัน ประสิทธิภาพในการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมจะแตกต่างกัน

3. ระยะเวลาเก็บกักที่มีผลต่อการใช้เรซินชานอ้อยลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียม

เมื่อเริ่มต้นการวิจัยมีปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย 10.40 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อใส่เรซิน ชานอ้อยลงในน้ำเสีย จากผลการทดลอง พบว่า หลังสิ้นสุดการวิจัยที่พีเอช 7 ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยปริมาณโครเมียมที่เหลือใน น้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมเหลือน้อยที่สุดคือ 5.646 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็นร้อยละการลดปริมาณโครเมียมใน น้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมของเรซินชานอ้อยเท่ากับร้อยละ 45.71 รองลงมาคือ ที่พีเอช 8 ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยปริมาณโครเมียมที่เหลือในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียม 5.796 มิลลิกรัม/ลิตร

คิดเป็นร้อยละการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงาน  
ชุบโครเมียมของเรซินซานอ้อยเท่ากับร้อยละ 44.27

เมื่อพิจารณาทุกระดับพีเอชที่ระยะเวลาเก็บ  
กักเดียวกัน พบว่า เมื่อระยะเวลาเก็บกักนาน ประสิทธิภาพ  
ในการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียม  
ของเรซินซานอ้อยไม่แตกต่างกัน แสดงว่าระยะเวลาเก็บ  
กักที่มากกว่า 12 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อการใช้เรซินซานอ้อย  
ในการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียม

จากการทดสอบความแตกต่างของปริมาณ  
โครเมียมตามระยะเวลาเก็บกักทั้ง 4 ช่วง พบว่า ไม่ต่าง  
ต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ที่พีเอชและสัดส่วนเดียวกัน  
ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 3 กล่าวคือ เมื่อระยะ  
เวลาเก็บกักแตกต่างกัน ระดับพีเอชและปริมาณเรซินซาน  
อ้อยเท่ากัน ประสิทธิภาพในการลดปริมาณโครเมียมใน  
น้ำเสียโรงงาน ชุบโครเมียมจะแตกต่างกัน

สรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม  
ในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมของเรซินซานอ้อยสูงที่สุดที่  
ระดับพีเอช 7 ปริมาณเรซินซานอ้อย 8 กรัม/ลิตร และ  
ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง ซึ่ง ทำให้ประสิทธิภาพการ  
ลดปริมาณโครเมียมใน น้ำเสียโรงงานชุบโครเมียม เท่ากับ  
ร้อยละ 45.71 และประสิทธิภาพการลดปริมาณโครเมียม  
ใน น้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมของเรซินซานอ้อย เป็น  
กลไกระหว่างกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน  
ซานอ้อยร่วมกับกระบวนการปรับระดับพีเอชในน้ำเสีย  
ทำให้ประสิทธิภาพร้อยละการกำจัดโครเมียมในน้ำเสีย  
โรงงานชุบโครเมียมของเรซิน ซานอ้อยมีประสิทธิภาพ  
เพิ่มมากขึ้น

4. การทดสอบการชะละลายของโครเมียม  
ในกากตะกอนที่ปริมาณการแลกเปลี่ยนไอออนได้ผลดีที่สุด  
(Optimum Dose)

การศึกษาการชะละลายของโครเมียมในกาก  
ตะกอนที่ปริมาณการแลกเปลี่ยนไอออนได้ผลดีที่สุด  
(Optimum Dose) โดยใช้กากตะกอนที่ได้จากสภาวะที่  
เหมาะสมที่สุดในการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงาน  
ชุบโครเมียมของเรซินซานอ้อย คือ ระดับพีเอช 7 ปริมาณ  
ของเรซินซานอ้อย 8 กรัม/ลิตร ปริมาณโครเมียมที่เหลือ  
ในน้ำทิ้ง 5.646 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้น ปริมาณโครเมียม

ที่เรซิน ซานอ้อยดูดซับได้เท่ากับ 4.754 มิลลิกรัม/ลิตร  
ทำการทดสอบการชะละลายตามวิธีมาตรฐานของ กรม  
โรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม  
ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) โดยวิธีการสกัดสาร แล้วเปรียบ  
เทียบผลที่ได้กับค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม  
พบว่า ปริมาณโครเมียมในกากตะกอนดังกล่าวถูกชะ  
ละลายออกมาเฉลี่ย 3.046 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเป็น  
ปริมาณที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม  
ที่กำหนดให้กากตะกอน 100 กรัม โครเมียมมีการ  
ชะละลายออกมาได้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้น  
กากตะกอนจากการทดลองในครั้งนี้ 8 กรัม ควรมีการ  
ชะละลายออกมาไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้น  
กากตะกอนดังกล่าวจึงไม่มีความเสถียร ต้องผ่านกระบวนการ  
ทำลายฤทธิ์ก่อน จึงสามารถนำไปกำจัดทิ้งหรือฝังกลบ  
(secured landfill) ให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ

## ข้อเสนอแนะ

### 1. ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้

1.1 การใช้เรซินซานอ้อยในการลดปริมาณ  
โลหะหนักโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน จำเป็น  
ต้องคำนึงถึงขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของ  
เรซินซานอ้อย ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการนำไปใช้งาน  
และต้องพิจารณา องค์ประกอบที่เหมาะสมในการทดลอง  
เช่น ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสีย และเทคนิค  
ในการทดลอง เนื่องจากขีดความสามารถของเรซิน  
ซานอ้อยที่เตรียมขึ้นมามีขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยน  
ประจุที่ไม่สูงนักจึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้ลดปริมาณโลหะ  
หนักในน้ำเสียที่ปริมาณสูงๆ

1.2 ประสิทธิภาพการลดปริมาณโครเมียม  
ในน้ำเสียโรงงานชุบโครเมียมของเรซินซานอ้อย พบว่า  
การปรับระดับพีเอชในน้ำเสียด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์  
(NaOH) จะมีตะกอนเกิดขึ้นก่อนการทดลองด้วยเรซิน  
ซานอ้อย ซึ่งตะกอนที่เกิดขึ้นเกิดจากการรวมตัวของ  
ไอออนโครเมียมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ อยู่ในรูปของ  
โครเมียมไฮดรอกไซด์ที่สามารถตกตะกอนได้ แต่ตะกอน  
ที่เกิดขึ้นไม่มีความเสถียร เมื่อทำการทดลองโดยใส่เรซิน  
ซานอ้อยโดยไม่มีการแยกตะกอนออกก่อน ตะกอนที่เกิด

ขึ้นจะเป็นปัจจัยกวนในการหาประสิทธิภาพการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย ดังนั้น ในการนำเรซินชานอ้อยไปใช้ควรมีการแยกตะกอนที่เกิดจากการปรับระดับพีเอชในน้ำเสียออกก่อน แล้วจึงนำน้ำใสไปใช้ในการทดลองโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชานอ้อยต่อไป ซึ่งอาจมีผลทำให้ประสิทธิภาพการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียของเรซินชานอ้อยเพิ่มมากขึ้น

1.3 สาเหตุที่ผลการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินชานอ้อยในการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียโรงงานซูบโครเมียมมีประสิทธิภาพต่ำ อาจเนื่องจากเรซินชานอ้อยที่เตรียมขึ้นมาด้วยกระบวนการ Carboxymethylation Reaction กระบวนการ ดังกล่าวให้เรซินชานอ้อยที่มีคุณสมบัติแบบกรดอ่อน ดังนั้น เมื่อเติมลงไปใต้น้ำเสียตัวอย่างจึงมีผล ทำให้พีเอชของน้ำเสียตัวอย่างลดลง และส่งผลโดยตรงต่อการตกตะกอนของ  $Cr^{3+}$  ดังนั้น ในการทดลองจึงควรมีการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในเรซินชานอ้อยและควรปรับระดับพีเอชที่ต้องการทดลองหลังจากใส่เรซินชานอ้อยในน้ำเสียแล้ว เพื่อลดปัจจัยรบกวนดังกล่าว ซึ่งอาจมีผลทำให้มีประสิทธิภาพการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียของ เรซินชานอ้อยเพิ่มมากขึ้น

1.4 ขั้นตอนการนำภาคตะกอนที่เป็น Optimum Dose ทำการชะละลายโดยวิธีการสกัดสารในการทดลองชุดที่ 4 การตรวจวัดปริมาณโครเมียมในเรซินชานอ้อยได้จากค่าความต่างของปริมาณโครเมียมที่เหลือในน้ำเสียบวกกับปริมาณโครเมียมที่เริ่มต้น ( $10.4 - 5.646 = 4.754$ ) ซึ่งค่า ดังกล่าวเป็นค่าที่ไม่ชัดเจน จึงควรมีการตรวจวัดปริมาณโครเมียมที่เหลือตกค้างอยู่ในเรซินชานอ้อยหลังจากกรองน้ำเสียออกแล้ว จึงทำการทดสอบโดยวิธีการสกัดสารและตรวจวัดปริมาณโครเมียมอีกครั้งหลังการทดสอบ จึงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณโครเมียมที่ชะละลายออกมา ซึ่งจะได้ค่าที่ชัดเจน

1.5 ขั้นตอนการปรับสภาพเรซินชานอ้อยโดยวิธี Carboxymethylation Reaction เนื่องจากในกระบวนการปรับสภาพเรซินชานอ้อย ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 90 กรัม ในน้ำกลั่น 200 มล. เพื่อลดการพองน้ำของเรซินชานอ้อย แล้วทำการเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 1 นอร์มัล เป็นตัวเพิ่มไอออนอิสระให้กับเรซินชานอ้อย

แต่เนื่องจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้ในการปรับสภาพมีค่าความเข้มข้นมากกว่ากรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งอาจมีผลต่อไอออนอิสระที่ใช้ในการจับกับไอออนของโครเมียม โดยมีไอออนของโซเดียม ( $Na^+$ ) มากกว่าไอออนของไฮโดรเจน ( $H^+$ ) ซึ่งอาจเป็นผลทำให้ คุณสมบัติของเรซินชานอ้อยเปลี่ยนไปเป็นคุณสมบัติของเรซินแบบกรดแก่ ฉะนั้นในขั้นตอนการปรับสภาพเรซินชานอ้อยจึงควรมีการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของเรซินชานอ้อยหลังจากที่ปรับสภาพแล้ว เพื่อให้ทราบคุณสมบัติที่แน่นอนของ เรซิน

2. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

2.1 น้ำเสียที่โรงงานซูบโครเมียมควรผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นก่อนแล้วปรับระดับพีเอชประมาณ 7-8 จึงทำการบำบัดด้วยเรซินชานอ้อยในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียโรงงานซูบโครเมียมของเรซินชานอ้อยมีค่าสูงสุดที่ระดับพีเอช 7 ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง รองลงมาคือที่พีเอช 8 ระยะเวลาเก็บกัก 12 ชั่วโมง

2.2 ไม่ควรทำที่  $PH > 7$  เพราะโครเมียมจะตกตะกอนเป็นโรโคโครเมียมไฮดรอกไซด์

3. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

3.1 ศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณโลหะหนักตัวอื่น ๆ ในน้ำเสียโรงงาน โดยใช้เรซินชานอ้อยที่มีขนาดปริมาณและระยะเวลาการเก็บกักแตกต่างกันี้

3.2 ศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออน เช่น รูปแบบของเรซินชานอ้อยในการนำไปประยุกต์ใช้โดยการทำเป็นผงขนาดต่างๆ การอัดเป็นเม็ด การทำเป็นแท่งกลม เป็นต้น

3.3 ศึกษาการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ของเรซินชานอ้อย เนื่องจากเรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acidic Cationic Resin) มีประสิทธิภาพการ Regeneration สูงถึง 90%

3.4 ศึกษาการนำเรซินชานอ้อยมาทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuos Process) โดยเป็นการทำงานแบบคอลัมน์ที่มีเรซินบรรจุอยู่ในถัง แล้วปล่อยน้ำทิ้งไหลผ่านชั้นเรซินอย่างต่อเนื่อง ทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น ช่วยอำนวยความสะดวกทุกอย่างในการทำวิจัย ในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ได้อนุมัติทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิจัย ทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

## เอกสารอ้างอิง

- เกศสุชา พูลคำ.2537. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กองบรรณาธิการ. 2540. กากอุตสาหกรรม. วารสารอินดัสเทรียล. 29 กุมภาพันธ์ 2540 : 99-104.
- ประเสริฐ ดปนิยางกูร. 2536. แนวทางป้องกันและลดปัญหามลพิษในอุตสาหกรรมฟอกย้อม. โรงงาน. 12 (3):18-27.
- พงศ์ศิริ พชรปรีชา. 2537. การวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 123-129.
- เพลินพิศ บุชาธรรม & ประวีณา ทิระ. 2540. เรซินกำจัดโลหะหนักดัดแปลงจากยางธรรมชาติ. วารสารวิจัยและพัฒนา สจธ. 20 (2):39-52.
- วรางคณา สังสิทธิ์สวัสดิ์.2545. การประปา. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สังข์ เวสารัชชระกุล. 2540. การลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- APHP. AWWA. WPCE.1995.Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 19<sup>th</sup> ed. Washington DC. : American Public Health Ass.
- Dorfner, K.1973. Ion exchange properties and application. 2<sup>nd</sup> ed. Michigan: Ann Arbor Science Publisher Inc.
- Peska, J. Stambery, J. and Hradil, J. 1976. Chemical Trasformation of polymer. XIX. Ion Exchange Derivatives of Bead Cellulose. Die Angewandte Makromolekulare Chemie. 53: 73-80. อ้างถึงใน เกศสุชา พูลคำ. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย;2537.
- Randall, J.M., Hautala, E., Waiss, A.C. Jr. and Tschernitz, J.L. 1976. Modified batk as scavengers For heavy metal ion. Forest Prod. J 1976; 46-50. อ้างถึงใน สังข์ เวสารัชชระกุล. การลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียโดยใช้ผักตบชวาที่ปรับสภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล; 2540.
- Lee, C.K. and Low, K.S. 1989. Removal of copper from solution using moss. Environmental Technology Letter 10:395-404.
- Maranon, E. and Sastre, H. 1992. Preconcentration and removal of trace metals from water by apple waste. Bioresource Technology 40:73-76.
- Maranon, E. and Sastre, H. 1991. Heavy metal removal in packed bed using apple waste. Bioresource Technology 30:39-43.

- Nakajima, A. and Sakaguchi, T. 1991. Recovery and removal of uranium by using plant waste. **Biomass**, 21:55-63.
- Odizi, T.O., Okeke, S. and Lartey, R.B. 1985. Studies on binding metal ions with polymerized corn cob and a composite resin with sawdust and onion skin. **Agricultural Wastes** 12: 13-21.
- Srivastava, H.C.P., Mathur, R.P. and Mehrotra, J. 1986. Removal of chromium from industrial effluents by adsorption on sawdust. **Environmental Technology Letter** 7:55-63.
- Tan, W.T., Ooi, S.T. and Lee, C.K. 1993. Removal of chromium (VI) from solution by coconut husk and palm pressed fibers. **Environmental Technology** 14:277-282.
- Tan, W.T. and Khan, A.R.M. 1988. Removal of Lead cadmium and zinc by waste tea leaves. **Environmental Technology Letter** 9:1223-1232.