

การศึกษาประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลนสำหรับชุดบำบัดน้ำเสียแบบอิเล็กทรอนิกส์ โคแอกกูเลชัน

The Study of Hydro Cyclone efficiency for Electrocoagulation Waste Water Treatment

ณัฐ จันท์กรบ และ พรนิภา บริบูรณ์สุขศรี

Natth Jun-krob and Phonnipha Boriboonsuksri

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160 ประเทศไทย

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : natthj@sau.ac.th

บทคัดย่อ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลน สำหรับชุดบำบัดน้ำเสียแบบอิเล็กทรอนิกส์โคแอกกูเลชัน ซึ่งพัฒนาตัวไฮโดรไซโคลนโดยการเพิ่มขนาดเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นขนาด 8 นิ้ว และช่องบังคับการหมุนเป็น 6 ช่อง ทดสอบความสามารถในการคัดแยกตะกอน ในฟังก์ชันของกระแสไฟฟ้า และฟังก์ชันของอัตราการไหล เพื่อหาจุดที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด ผลการทดสอบประสิทธิภาพเมื่อการจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงให้กับไฮโดรไซโคลนที่สร้างขึ้นทั้ง 3 ตัวแยกเป็น 3 กรณีคือ กรณีที่ 1 ใช้ไฮโดรไซโคลน 1 ตัว การคัดแยกตะกอนออกจากน้ำที่ติดที่สุดเกิดขึ้นที่อัตราการไหล 4.5 L/min สามารถคัดแยกตะกอนได้คงเหลือ 48.28 mg/L จาก 1,735 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการคัดแยกตะกอนได้ร้อยละ 97.22 กรณีที่ 2 ใช้ไฮโดรไซโคลน 2 ตัว การคัดแยกตะกอนออกจากน้ำที่ติดที่สุดเกิดขึ้นที่อัตราการไหล 7.5 L/min สามารถคัดแยกตะกอนได้คงเหลือ 36.76 mg/L จาก 1,578 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการคัดแยกตะกอนได้ร้อยละ 97.67 กรณีที่ 3 ใช้ไฮโดรไซโคลน 3 ตัว การคัดแยกตะกอนออกจากน้ำที่ติดที่สุดเกิดขึ้นที่อัตราการไหล 4.5 L/min สามารถคัดแยกตะกอนได้คงเหลือ 29.08 mg/L จาก 1,735 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการคัดแยกตะกอนได้ร้อยละ 98.32 จากผลการศึกษาพบว่า การใช้งานไฮโดรไซโคลนที่สร้างขึ้นพร้อมกันทั้ง 3 ตัว สามารถรองรับการบำบัดน้ำเสียได้ในอัตรา 4.5 L/min และให้ประสิทธิภาพการคัดแยกตะกอนได้ถึงร้อยละ 98.32 และสามารถนำไฮโดรไซโคลนที่สร้างขึ้นนี้ร่วมกับการบำบัดน้ำเสียแบบอิเล็กทรอนิกส์โคแอกกูเลชัน ในโรงงานอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : ไฮโดรไซโคลน การบำบัดน้ำเสีย การตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

Abstract The objective of this study was to develop of hydro cyclone efficiency for electrocoagulation waste water treatment. In this study, the hydro cyclone was designed by increasing the size of the diameter to 8 inches, 6 rotation channels. And it was tested for the separation of sediments from the waste water in the function of electricity and flow rate

in order to investigate the optimum point, which is the point where the system works best performance. The results of performance tested, with function of DC power supply, flow rate and number of hydro cyclones designed, can be classified into 3 cases:

The 1st case: using single hydro cyclone separator, to separate the sediments from the waste water, the best of separation efficiency was 4.5 L/min flow rate. And it was excluded the remaining sediments for 48.28 mg/L from 1,735 mg/L. The effective segregation of sediment was 97.22%. The 2nd case: using double hydro cyclones separator, to separate the sediments from the waste water, the best of separation efficiency was 7.5 L/min flow rate. And it was excluded the remaining sediments for 36.76 mg/L from 1,578 mg/L. The effective segregation of sediments was 97.67%. The 3rd case: using triple hydro cyclones separator, to separate the sediments from the waste water, the best of separation efficiency was 4.5 L/min flow rate. And it was excluded the remaining sediments for 29.08 mg/L from 1,735 mg/L. The effective segregation of sediments was 98.32%. All these results can be well explained using the 3 hydro cyclones separator to separate the sediments from the wastewater, the best of separation efficiency at a rate of 4.5 L/min. And it was excluded the remaining sediments to 98.32%. These optimized hydro cyclones can be used with electrocoagulation wastewater treatment in industrial factory as well.

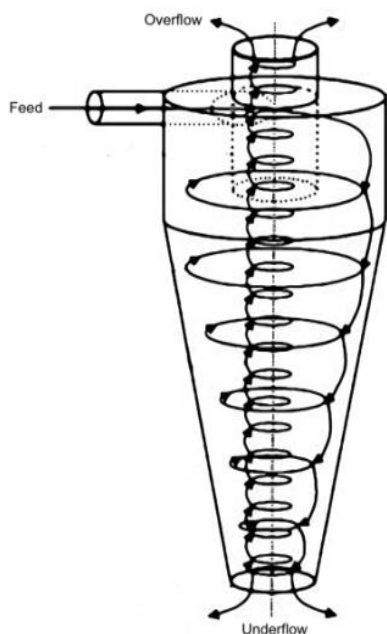
Keywords: Hydro cyclone, Waste water Treatment, Electrocoagulation.

1. บทนำ

วิธีการบำบัดน้ำเสียแบบอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีนวัตกรรมใหม่ในวงการบำบัดน้ำเสีย โดยการใช้ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสียที่มีรูปแบบในการทำงานของระบบที่ไม่ต้องใช้สารเคมีมาช่วยบำบัด และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งตามธรรมชาติสารคอลลอยด์และสิ่งที่เป็นเจือปนอยู่ในน้ำจะมีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยากับไฟฟ้า เช่น น้ำมันเครื่อง ดินโคลน ทราฟฟอสเฟต ผงถ่าน นิกเกิล ตะกั่ว สังกะสี และ ไอออนของแร่ธาตุต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสียวิธีนี้มีผลคือ ต้นทุนต่ำ มีขนาดเล็กใช้พื้นที่น้อย และสามารถบำบัดน้ำเสียได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบอื่น ในการบำบัดน้ำเสียแบบ อิเล็กโทรโคแอกกูเลชันนั้นสามารถบำบัดน้ำเสียได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัด

น้ำเสียแบบอื่น แต่ในการบำบัดน้ำเสียแบบอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน นั้นต้องใช้เวลาระยะหนึ่งเพื่อให้ตะกอนที่ปะปนอยู่ในน้ำนั้นมีความรวมตัวกันตกลงสู่เบื้องล่างได้ [1], [2] ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นมาเพื่อช่วยให้การทำงานแยกกากตะกอนนี้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้ไฮโดรไซโคลน ในการทำหน้าที่เร่งให้เกิดการตกตะกอนและช่วยคัดแยกตะกอนของเสียให้ออกจากน้ำให้ได้และเร็วขึ้น ซึ่งการทำงานของไฮโดรไซโคลนนั้นจะใช้กลไกในการแยกมวลสารโดยอาศัยการเคลื่อนที่แบบหมุนเหวี่ยง เพื่อให้เกิดแรงเหวี่ยงศูนย์กลาง ทำให้การเคลื่อนที่ของอนุภาคถูกเหวี่ยงออกไปคล้ายกับพายุไซโคลน หลักในการแยกนั้นจะอาศัยความแตกต่างทางด้านความหนาแน่น หรือขนาดของสารที่เคลื่อนที่ด้วยแรงเหวี่ยงร่วมกับการออกแบบรูปร่างของ ไฮโดรไซโคลน ที่มีลักษณะ เป็น

ทรงกระบอกและบังคับทิศทางของน้ำ มวลสารที่เป็นของเหลวหรือมวลสารที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนเข้าสู่ศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนแล้วไหลออกขึ้นไปทางด้านบน (overflow) ส่วนของแข็งหรือสารที่มีความหนาแน่นมากกว่า จะเคลื่อนที่ในทิศทางหมุนออกจากศูนย์กลางของแกนไฮโดรไซโคลน แล้วไหลหลุดออกที่ทางออกด้านล่าง (underflow) [3], [4] ดังรายละเอียดแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการทำงานของไฮโดรไซโคลน

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนาการคัดแยกตะกอน ณ จุดนี้ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบอเล็กโตรโคแอกกูเลชันอยู่หลายลักษณะอาทิเช่น ออกแบบเป็นลักษณะของถังตกตะกอน (Sedimentation tank) ในการศึกษาวิธีบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมด้วยกระบวนการอเล็กโตรโคแอกกูเลชันแบบต่อเนื่อง [5] ซึ่งใช้ถังตกตะกอนปริมาตร 120 ลิตรรองรับการทดสอบบำบัดน้ำเสียที่อัตรา 1 – 5 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเหมาะกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เท่านั้น ไม่เหมาะสมกับความต้องการที่ใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งควรต้องสามารถรองรับอัตราการไหลที่มากกว่า 50 ลิตรต่อชั่วโมงได้ ขณะเดียวกันหากนำไปขยายสเกลให้เหมาะสม ระบบก็จะมีขนาดใหญ่ ต้องการพื้นที่ติดตั้งมากตามไปด้วย ซึ่งในงานวิจัยของพรนิภาและคณะ [6] ได้ออกแบบระบบการบำบัดน้ำเสียลักษณะแบบนี้ไว้รองรับการบำบัดน้ำเสียได้ถึง 85 ลิตรต่อชั่วโมงใช้งานได้จริงในภาคอุตสาหกรรม โดยระบบการคัดแยกตะกอนใช้ไฮโดรไซโคลนร่วมกับถังตกตะกอน ทำให้สามารถลดพื้นที่ติดตั้งใช้งานได้แต่ยังต้องการใช้พื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์ส่วนนี้ถึง 15 ตารางเมตร

การลดพื้นที่ติดตั้งระบบเป็นความจำเป็นในระดับต้นๆ ของความต้องการของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย เพราะพื้นที่ของโรงงานมีจำกัด ยิ่งเป็นเขตอุตสาหกรรมพื้นที่ยิ่งมีราคาแพง จึงทำให้ต้นทุนการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าสูงตามไปด้วย ซึ่งเป็นภาระอย่างมากสำหรับผู้ประกอบการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการคัดแยกตะกอนน้ำเสียสำหรับระบบบำบัดแบบอเล็กโตรโคแอกกูเลชันโดยใช้ไฮโดรไซโคลนขนาดเล็กหลายตัวช่วยกันทำงาน เพื่อประหยัดพื้นที่ในการติดตั้งใช้งานในภาคอุตสาหกรรม

2. ระเบียบวิธีการวิจัย

การดำเนินการเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการคัดแยกตะกอนของเสียออกจากน้ำของไฮโดรไซโคลนเริ่มจากการพัฒนาไฮโดรไซโคลนขึ้นมาใหม่จำนวน 3 ตัว โดยอาศัยงานสิทธิบัตรของ Arnaud [7] เป็นต้นแบบพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการคัดแยกให้สูงกว่าเดิม โดยการเพิ่มช่องน้ำเข้าไปหมุนวนเพื่อช่วยสร้างให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางให้ได้มากยิ่งขึ้น แล้ว

นำไปทดสอบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอเล็กโตรโค แอวกูเลชันขนาดเล็กที่ถูกพัฒนาขึ้น [8] โดยมีตัวแปร สำหรับการทดสอบประกอบด้วยจำนวนไฮโดรไลโซโคลน (N) อัตราการไหล (Q) และระดับไฟฟ้าที่ใช้ กระตุ้นระบบการบำบัด (V) เพื่อหาความสัมพันธ์ที่มีต่อกันของตัวแปรทั้งสามขณะนำไปใช้งาน โดยใช้วิธีการถดถอย (Regression) รวมทั้งทำการวิเคราะห์หาจุดการทำงานของตัวแปรทั้งสามที่ทำให้ระบบเกิดการคัดแยกตะกอนของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

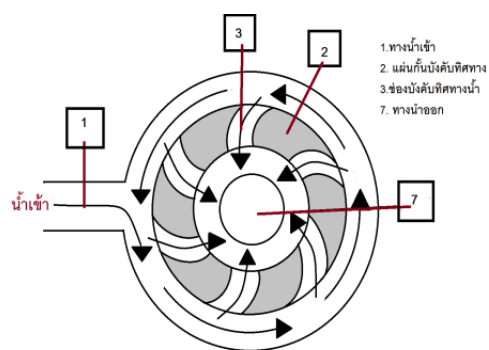
3. การออกแบบ

ไฮโดรไลโซโคลนถูกนำมาใช้แยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลว หรือของเหลวสองชนิดที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันและไม่รวมตัวกันโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง การทำงานจะคล้ายคลึงกับไฮโดรไลโซโคลนที่ใช้แยกอนุภาคของแข็งออกจากก๊าซ รูปแบบของไฮโดรไลโซโคลนจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นทรงกระบอก (Cylindrical Section) อยู่ตอนบน และส่วนที่เป็นทรงกรวย (Conical Section) อยู่ทางตอนล่าง ท่อทางเข้า (Feed inlet) ของไฮโดรไลโซโคลนจะติดตั้งอยู่ทางตอนบน โดยอยู่ในแนวเส้นสัมผัสของท่อทรงกระบอก ท่อทางออกของอนุภาคมวลสารจะมีอยู่ 2 ทาง คือ ทางตอนบน (Overflow) กับท่อทางออกทางตอนล่าง (Underflow) โดยมีจุดเส้นผ่านศูนย์กลางร่วมกัน ท่อทางออกทางตอนบนจะมีส่วนหนึ่งยื่นมุดลึกเข้าไปในไฮโดรไลโซโคลน (Vortex Finder) เพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคของของแข็งหรือของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าเกิดการไหลลัดวงจรหลุดติดออกไปตามกันที่ทางออกตอนบนทันที โดยปกติส่วนที่ยื่นเข้าไปภายในของท่อทางออกจะอยู่ในระดับเดียวกับท่อป้อนมวลสาร เพื่อให้การไหลซึ่งใช้ลักษณะ Gravity flow สามารถไหลผ่านออกไปได้อย่างต่อเนื่องนิ่มนวลไม่เกิดการไหลแบบปั่นป่วนขึ้นในระบบ ซึ่งจะช่วยให้แยกสิ่ง

ของแข็งขนาดเล็กที่ได้จากบำบัดของระบบอเล็กโตรโค แอวกูเลชัน เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ลักษณะโครงสร้างของไฮโดรไลโซโคลนจะเป็นรูปทรงกระบอก ปลายด้านล่างจะมีลักษณะเป็นกรวย มีทางเข้าของน้ำเสียอยู่ทางด้านข้างของไฮโดรไลโซโคลน น้ำที่เข้าจะเกิดการแยกตะกอนที่ผสมออกจากกันโดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่แบบหมุนเพื่อให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และอาศัยความหนาแน่นของมวลที่แตกต่างกันคัดแยกตัวเองออกไป โดยกากตะกอนจะมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ จะถูกพัดหมุนออกไปจากศูนย์กลางของไฮโดรไลโซโคลน แล้วไหลลงออกทางช่องออกด้านล่าง (underflow) ส่วนน้ำซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะเคลื่อนที่หมุนเข้าใกล้ศูนย์กลางของไฮโดรไลโซโคลน และด้วยความจริงของการบำบัดน้ำเสียแบบนี้ กากตะกอนที่ได้มีความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกับน้ำมาก ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านเข้าไปภายในของไฮโดรไลโซโคลนจะต้องช้าเพียงพอให้กากตะกอนถูกเหวี่ยงออกไปอยู่ปลายขอบของไฮโดรไลโซโคลนได้

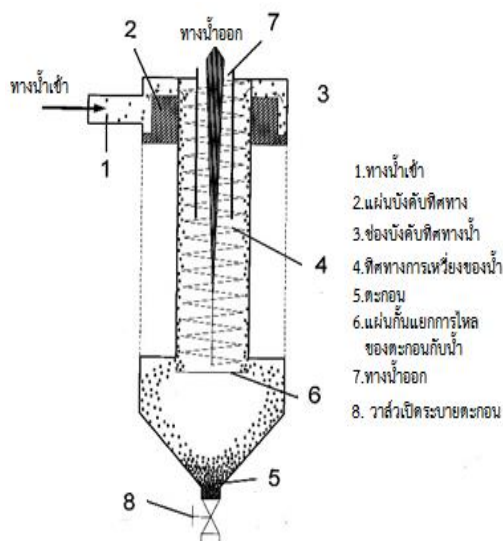
รูปแบบของการสร้างกระบวนการไหลวนจึงได้ออกแบบตามแนวทางในสิทธิบัตรของ Arnaud [7] ตามที่แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างกลไกบังคับการไหลวนของไฮโดรไลโซโคลนที่พัฒนาขึ้น

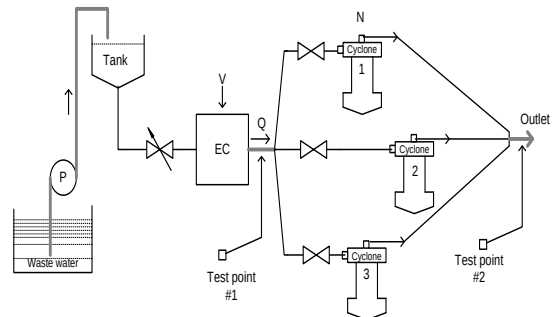
การออกแบบพัฒนาให้ประสิทธิภาพดีขึ้น โดยขยายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน เป็น 8 นิ้ว และเพิ่มแผ่นกั้นบังคับทิศทางเป็น 6 ช่อง เมื่อมองทางด้านบนของไฮโดรไซโคลนจะเห็นได้ว่าน้ำจะเข้าทางด้านข้างของไฮโดรไซโคลนตามหมายเลขที่ 1 จากนั้นก็จะมีแผ่นกั้นบังคับทิศทางอยู่ 6 ชั้นตามหมายเลขที่ 2 น้ำก็จะไหลไปตามลูกศร และเข้าช่องที่บังคับทิศทางน้ำตามหมายเลขที่ 2 (ข)

สำหรับการทำงานทิศทางน้ำที่เหวี่ยง ตะกอน แผ่นกั้นไม่ให้ตะกอนไหลย้อนขึ้นไปข้างบน ทางออก น้ำและวาล์วอ้างอิงจากแนวทางในสิทธิบัตรของ Arnaud [7] ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการทำงานและทิศทางการเหวี่ยง ตะกอนของไฮโดรไซโคลน

3.1 การทดสอบ



รูปที่ 4 ระบบทดสอบความสามารถการแยกกากตะกอนของไฮโดรไซโคลน

ไซโคลนตามโครงสร้างที่กล่าวมา ถูกสร้างขึ้นมาจำนวน 3 ชุด แล้วนำไปทดสอบใช้งานกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอเล็กโตรโคแอกกูเลชันที่สร้างขึ้น [8] แล้วจัดโครงสร้างการทดสอบตามรูปที่ 4 เพื่อทดสอบตัวแปรที่จะสามารถหวังผลได้กับการบำบัดน้ำเสียในอัตรา $20 \text{ m}^3/\text{day}$ หรือ $20,000 \text{ L/day}$ ซึ่งเป้าหมายตัวแปรที่ต้องทดสอบคือ ประสิทธิภาพในการแยกตะกอนออกจากน้ำของไฮโดรไซโคลนที่สร้างขึ้นใช้ในระบบภายใต้การปรับตัวแปรอิสระคือ อัตราการไหล (Q) แรงดันไฟฟ้า (V) และจำนวนไฮโดรไซโคลน (N) ดังนี้

(1) ทดสอบประสิทธิภาพไฮโดรไซโคลนในการกำจัดตะกอน โดยเปิดใช้ไซโคลนจำนวน 1 ตัว ใช้ค่าอัตราการไหลเป็นระดับตั้งแต่ 1 ถึง 7.5 L/min และเก็บตัวอย่างกากตะกอนในน้ำเสียที่จุดทดสอบก่อนผ่านไฮโดรไซโคลนและหลังผ่านไฮโดรไซโคลน กรณีการบำบัดที่แรงดันไฟฟ้า 302 V เปรียบเทียบกับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า เท่ากับ 150 V

(2) เปิดทดสอบประสิทธิภาพการใช้ไฮโดรไซโคลนในการกำจัดตะกอนจำนวน 2 ตัว ใช้ค่าอัตราการไหลตั้งแต่ 1 ถึง 7.5 L/min จ่ายแรงดันไฟฟ้า 302 V เปรียบเทียบกับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า เท่ากับ 150 V และเก็บตัวอย่าง

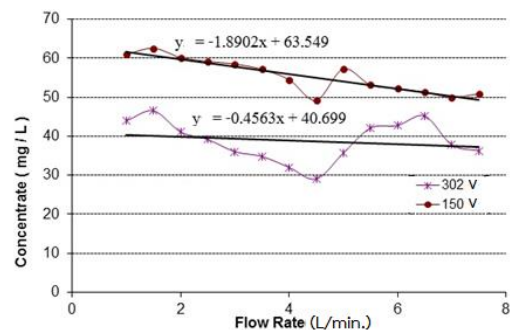
กากตะกอนในน้ำเสียที่จุดทดสอบก่อนผ่านไฮโดรไซโคลนและหลังผ่านไฮโดรไซโคลน

(3) เปิดทดสอบประสิทธิภาพการใช้ไฮโดรไซโคลนในการกำจัดตะกอนจำนวน 3 ตัว ใช้ค่าอัตราการไหลตั้งแต่ 1 ถึง 7.5 L/min จ่ายแรงดันไฟฟ้า 302 V เปรียบเทียบกับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า เท่ากับ 150 V และเก็บตัวอย่างกากตะกอนในน้ำเสียที่จุดทดสอบก่อนผ่านไฮโดรไซโคลนและหลังผ่านไฮโดรไซโคลน

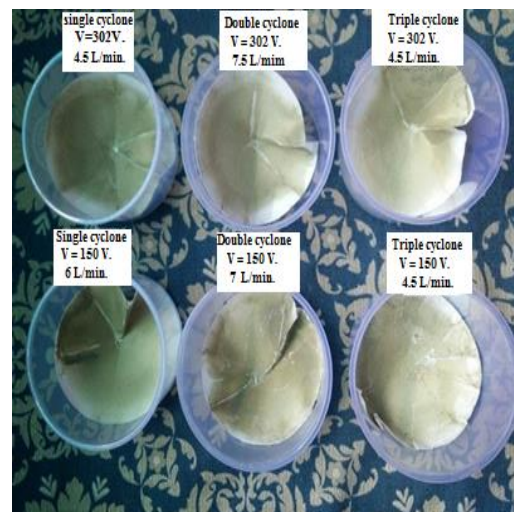
(4) นำตัวอย่างน้ำเสียไปกรองเอาเฉพาะกากตะกอนของแข็งด้วยกระดาษกรองแล้วอบทิ้งไว้ให้แห้งแล้วนำไปชั่งน้ำหนักแล้ววิเคราะห์หาปริมาณกากตะกอนของแข็งที่ได้ในแต่ละตัวอย่างแล้วนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอย

4. ผลการทดสอบ

ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพการแยกตะกอนออกจากน้ำของไฮโดรไซโคลน โดยพิจารณาจากระดับตะกอนที่อยู่ในน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน ที่ระดับการจ่ายไฟฟ้า 150 V และ 302 V ที่อัตราการไหล ตั้งแต่ 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5 L/min ที่การจ่ายไฟฟ้า 150 V พบว่าดีที่สุด อยู่ที่การใช้ไฮโดรไซโคลน 3 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งสามารถเห็นถึงความแตกต่างของระดับตะกอนที่มีอยู่น้อยที่สุด ที่อัตราการไหลที่ 4.5 L/min ซึ่งน้ำหนักของตะกอนได้ 49.24 mg โดยมีแนวโน้มเป็นไปตามสมการ $y = -1.8902x + 63.549$ และที่ ระดับการจ่ายไฟฟ้าที่ 302 V ระดับตะกอนที่มีอยู่น้อยที่สุด ที่อัตราการไหลที่ 4.5 L/min ซึ่งน้ำหนักของตะกอนได้ 29.24 mg และมีแนวโน้มเป็นไปตามสมการ $y = -0.4563x + 40.699$



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของตะกอนที่จุดขาออกเทียบกับอัตราการไหลและแรงดันไฟฟ้าที่บำบัดน้ำเสีย สำหรับกรณีที่ใช้ไฮโดรไซโคลน 3 ตัว แรงดันไฟฟ้า 302 V และแรงดันไฟฟ้า 150 V.



รูปที่ 6 ตัวอย่างกากตะกอนคงเหลือในน้ำหลังบำบัดด้วยแรงดัน 150 V และ 302 V

จากกราฟในรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและตะกอนของไฮโดรไซโคลน จะเห็นได้ว่า ถ้าเลือกใช้ไฮโดรไซโคลนในการแยกตะกอนออกจากน้ำ 3 ตัว และใช้การจ่ายไฟฟ้าที่ระดับ 302 V และ อัตราการไหลที่ 4.5 L/min ไฮโดรไซโคลนจะมีประสิทธิภาพในการคัดแยกกากตะกอนดีที่สุด

ตัวอย่างกากตะกอนที่ได้จากการกรองดังแสดงรูปที่ 6 ณ ีระดับอัตราการไหลที่ดีที่สุด ถูกนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพได้ผลดังแสดงในจากตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่าประสิทธิภาพการแยกตะกอนออกจากน้ำของไฮโดรไซโคลนกรณีใช้งาน 1 ตัว, 2 ตัว และ 3 ตัว ที่เงื่อนไขดีที่สุดคืออัตราการไหล 4.5 L/min และใช้การจ่ายไฟฟ้าที่ 302 V จะมีประสิทธิภาพแตกต่างกันออกไป โดยไฮโดรไซโคลนจะมีประสิทธิภาพในการแยกตะกอนร้อยละ 97.22, 97.67 และ 98.32 ตามลำดับ โดยที่สุดคือเมื่อใช้ไฮโดรไซโคลน 3 ตัว ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 98.32

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการเพิ่มขนาดเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นขนาด 8 นิ้ว และช่องบังคับการหมุนเป็น 6 ช่อง เพื่อทดสอบความสามารถในการคัดแยกตะกอน ในฟังก์ชันของแรงดันไฟฟ้า และฟังก์ชันของอัตราการไหล เพื่อหา

จุดที่ให้ประสิทธิภาพดี พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 302 V ประสิทธิภาพไฮโดรไซโคลนที่ออกแบบขึ้นเพียงตัวเดียว การคัดแยกตะกอนออกจากน้ำที่ดีที่สุดจะมีค่าตะกอนตกค้างในน้ำน้อยที่สุด 29.08 mg/L ที่อัตราการไหล 4.5 L/min การใช้ไฮโดรไซโคลนทำงานร่วมกันจำนวน 3 ตัวจะเกิดการคัดแยกตะกอนออกจากน้ำที่ดีที่สุดที่อัตราการไหล 4.5 L/min โดยสามารถคัดแยกตะกอนจาก 1,735 mg/L ให้คงเหลือ 29.08 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการคัดแยกตะกอนได้ร้อยละ 98.32 ซึ่งที่อัตราการไหลที่ดีที่สุดนี้ทำให้ระบบสามารถรองรับน้ำเสียได้ 19.92 m³/day สอดคล้องกับเป้าหมายที่วางไว้คือ 20 m³/day สามารถประเมินได้ว่าการใช้งานไฮโดรไซโคลนที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้สร้างไว้และรองรับการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีน้ำเสียในอัตราไม่เกิน 20 m³/day ได้ โดยที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถควบคุมให้อยู่ในกรอบตามกฎหมายได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนของไฮโดรไซโคลน

จำนวน ไซโคลน	แรงดันไฟฟ้า (Volts)	Flow Rate (L/min)	ตะกอนก่อน ไซโคลน(mg/L)	ตะกอนหลัง ไซโคลน (mg/L)	ประสิทธิภาพ (%)
1	302	4.5	1735.09	48.28	97.21744
2	302	4.5	1577.9	36.76	97.67032
3	302	4.5	1735.09	29.08	98.32401

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chu, L., Yu, W., Wang, G. J., Zhou, X. T., Chen, W. M. and Dai, G. Q., 2004, "Enhancement of Hydrocyclone Separation Performance by Eliminating The Air Core", *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 43, No. 12, pp. 1441-1448.
- [2] Martinez, L. F., Lavin, A. G., Mahamud, M. M. and Bueno, J. L., 2008, WVortex Finder Optimum Length in Hydrocyclone Separation", *Chemical*

Engineering and Processing : Process Intensification, Vol. 47 No. 2, pp. 192-199.

- [3] Bhaskar, K.U., Murthy, Y.R. and Raju, M.R., 2007, “CDF Simulation and Experimental Validation Studies on Hydrocyclone”, *Minerals Engineering*, Vol. 20 No. 1, pp. 60- 71.
- [4] Wang, Z.B. Chu, L.T., Chen, W. M. and Wang, S. G., 2008, “Experimental Investigate of The Motion Trajectory of Solid Particles in Solid Particles The Hydrocyclone by A Lagrange Method”, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 138 No. 1-3, pp. 1-9.
- [5] C. Phalakornkule, S. Polgumhang, and W. Tongdaung. (2009). “Performance of an electrocoagulation process in treating direct dye: Batch and Continuous Upflow Processes”, *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering* Vol:3, No:9, pp.494-499.
- [6] B. Phonnipha and J. Natth. (2016) “A Prototype of Industrial Waste Water Treatment using Electrocoagulation”, *5th International Conference on Material Science and Engineering Technology (ICMSET 2016)* October 29-31, 2016, Tokyo, Japan.
- [7] Arnaud. “Method for Removing Dissolved from Wastewater by Electrocoagulation” *United Stat Patent* No. US6797179B2, Sep. 28 2004.
- [8] B. Phonnipha. (2018). “A Design of Mobile Unit of Electrocoagulation Wastewater Treatment.” *Research study report*. Southeast Asia University.

ประวัติผู้ประพันธ์ :



ณัฐ จันท์กรบ
วศ.ม.(วิศวกรรมไฟฟ้า)
พระจอมเกล้าลาดกระบัง
มีความสนใจงานวิจัยด้าน
ระบบสื่อสาร/โทรคมนาคม
พลังงาน และการจัดการ
อุตสาหกรรม



พรนิภา บริบูรณ์สุขศรี
วท.ม.สุศาสตร์อุตสาหกรรม
จากมหาวิทยาลัยมหิดล
มีความสนใจงานวิจัยด้าน
การยศาสตร์/สุศาสตร์
อุตสาหกรรม และความ
ปลอดภัย ตลอดจนการ
จัดการอุตสาหกรรม