

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับซีโอดี-ไลต์-โคโตซาน

อรอริยา โยธา ญัฐพล เพ็งจันทร์ วัชรพงษ์ จิตสมาน เจนจิต เอี่ยมจตุรภัทร
และ ขวัญเนตร สมบัติสมภพ*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณตัวดูดซับซีโอดี-ไลต์-โคโตซานที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดแอมโมเนียมและซีโอดีในระบบเอสบีอาร์และระบบเอสบีอาร์ร่วมกับซีโอดี-ไลต์-โคโตซาน โดยควบคุมอัตราส่วนการเติมอากาศต่อไม่เติมอากาศ 6:2 อายุตะกอนที่ 10 วัน ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี เท่ากับ 500-1300 มก./ล. จากการทดลองพบว่าตัวดูดซับซีโอดี-ไลต์-โคโตซานมีความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียมสูงสุด (q_m) เท่ากับ 13.15 มก./ก. ประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ร่วมกับซีโอดี-ไลต์-โคโตซานในการบำบัดแอมโมเนียม ที่ซีโอดีในน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 510, 1010 และ 1280 มก./ล. มีค่าร้อยละ 76, 73 และ 71 ตามลำดับ ระบบเอสบีอาร์มีค่าร้อยละ 65, 65 และ 60 ตามลำดับ สำหรับการบำบัดซีโอดีที่ความเข้มข้นซีโอดี เฉลี่ยเท่ากับ 510, 1010 และ 1280 มก./ล. ระบบเอสบีอาร์ร่วมกับซีโอดี-ไลต์-โคโตซานมีประสิทธิภาพการบำบัดคิดเป็นร้อยละ 83, 94 และ 94 ตามลำดับ ในขณะที่ระบบเอสบีอาร์มีประสิทธิภาพการบำบัดคิดเป็นร้อยละ 78, 91 และ 91 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระบบเอสบีอาร์ร่วมกับซีโอดี-ไลต์-โคโตซานสามารถบำบัดแอมโมเนียมและซีโอดีได้ดีกว่ารวมทั้งการบำบัดมีความคงที่กว่าระบบเอสบีอาร์ที่ทุกความเข้มข้นของซีโอดี

คำสำคัญ : การบำบัดน้ำเสีย, เอสบีอาร์, ซีโอดี, ไลต์-โคโตซาน

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: kwn@kmutnb.ac.th รับเมื่อ 25 กรกฎาคม 2557 ตอบรับเมื่อ 8 ธันวาคม 2557

Wastewater Treatment by SBR Zeolite-Chitosan

**Orniriya Yota, Nathapon Pengkhan, Watcharapong Jitsaman, Janjit Iamchaturapatr
and Kwannate Sombatsompop***

Abstract

This research aims to determine the amount of zeolite-chitosan adsorbent and comparatively study efficiencies of SBR and SBR zeolite-chitosan systems for removals of ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) and chemical oxygen demand (COD). The ratio between aerated and unaerated period was 6:2 and the sludge retention time (SRT) was controlled at 10 days. Synthetic wastewater having COD values between 500 and 1300 mg/L was used. Results found that the maximum adsorption capacity (q_m) of $\text{NH}_4\text{-N}$ was 13.15 mg/g for zeolite-chitosan adsorbent. The $\text{NH}_4\text{-N}$ removal efficiencies at different the average initial COD concentration of 510, 1010 and 1280 mg/L were 76, 73 and 71% respectively in the SBR zeolite-chitosan system and 65, 65 and 60% respectively in the SBR system. As well, efficiencies for COD removal of SBR-zeolite-chitosan system were 83, 94 and 94% at average initial COD concentration of 510, 1010 and 1280 mg/L, respectively. The COD removal efficiency of SBR system was 78, 91 and 91% at average initial COD concentration of 510, 1010 and 1280 mg/L, respectively. It was clear that the SBR zeolite-chitosan system yielded better and stable treatment efficiency than conventional SBR system.

Keywords : Wastewater Treatment, SBR, Zeolite, Chitosan

Department of Civil and Environmental Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut University of Technology
North Bangkok.

* Corresponding author, E-mail: kwn@kmutnb.ac.th Received 25 July 2014, Accepted 8 December 2014

1. บทนำ

ซีโอไลต์-ไคโตรซาน จัดเป็นวัสดุดูดซับสังเคราะห์ชนิดใหม่ ที่สังเคราะห์จากวัสดุเหลือทิ้ง นำมาขึ้นรูปเป็นเม็ด โดยการนำซีโอไลต์สังเคราะห์และไคโตรซานที่สกัดได้จากเปลือกกุ้ง โดยซีโอไลต์ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากตะกอนดินจากระบบผลิตน้ำประปาซึ่งมีส่วนองค์ประกอบหลักเป็น $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ เท่ากับ 1.89 โดยซีโอไลต์ที่สังเคราะห์เป็นซีโอไลต์ชนิด Na-A ($\text{Na}_{12}\text{Al}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{48}\cdot 27\text{H}_2\text{O}$) ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ได้ 9.597 มก./ก. [1] สำหรับไคโตรซาน Kririn *et al.*[2] ได้ทำการศึกษาการใช้ไคโตรซานที่สกัดจากเปลือกสัตว์ได้แก่ เปลือกกุ้ง หอยและปู มาทำการศึกษาดูดซับแอมโมเนียม จากการศึกษาพบว่า ไคโตรซานจากเปลือกกุ้งมีคุณสมบัติในการดูดซับแอมโมเนียมได้ดีกว่าไคโตรซานจากเปลือกหอยและปู การนำวัสดุดูดซับมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด อีกทั้งชนิดของตัวดูดซับเป็นปัจจัยหลักต่อประสิทธิภาพและต้นทุนของระบบบำบัดการประยุกต์หลักการนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดปริมาณของเสียและสร้างมูลค่าของเสียชุมชน จึงเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยให้ความสำคัญและเป็นแนวทางหนึ่งที่จะนำมาซึ่งการลดมลพิษที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียชุมชนที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์และสารประกอบไนโตรเจน

น้ำเสียชุมชนเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน โดยน้ำเสียชุมชนจะมีองค์ประกอบทั่วไป คือ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียมจากการย่อยสลายโปรตีนเป็นต้น ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ สารพิษที่มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือน จากองค์ประกอบน้ำเสีย

ชุมชนดังกล่าว ถ้าไม่มีการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จะส่งผลให้เกิดสภาพน้ำเน่าเหม็นเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและเสียประโยชน์ใช้สอยไป ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์นั้นก็คือกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

ระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor: SBR) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่สามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้เป็นอย่างดี ระบบเอสบีอาร์มีการทำงานแบบเติมเข้า-ถ่ายออก ขั้นตอนของระบบประกอบด้วย การเติมน้ำเสีย (Fill) การบำบัด (React) การตกตะกอน (Settle) การถ่ายน้ำทิ้ง (Draw) และการพัก (Idle) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้มีความเหมาะสมกับลักษณะของน้ำเสียระบบสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และสารอาหารได้เป็นอย่างดีมีการศึกษาระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ ซึ่งน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์มีสารอินทรีย์และสารอาหารสูงโดยประกอบด้วยเลือด โปรตีน ไขมัน และ สารแขวนลอยเป็นต้น [3] นอกจากนี้ระบบเอสบีอาร์เป็นระบบที่มีขนาดเล็ก ไม่ต้องบำรุงรักษามากนัก ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของระบบต่ำ ไม่ยุ่งยากซับซ้อนง่ายต่อการและควบคุม [4] สามารถปรับเปลี่ยนวัฏจักรการทำงานให้เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียแต่ละประเภทได้เป็นอย่างดี ระบบเอสบีอาร์สามารถปรับเปลี่ยนและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยการใช้ร่วมกับวัสดุตัวกลางเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะทั้งแบบเคลื่อนที่ได้ (Moving bed) และแบบไม่เคลื่อนที่ (Fixed bed) จากการศึกษา งานวิจัยที่ผ่านมาของ Sombatsompop *et al.* [5] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบ Moving bed-SBR ที่มีตัวกลางยึดเกาะและระบบเอสบีอาร์

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading) เท่ากับ 0.59-2.36 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน ระบบ Moving bed-SBR ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่าระบบเอสบีอาร์สำหรับ Rahimiet *al.* [6] ใช้ระบบ Fixed bed sequencing batch reactor (FBSBR) สำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 0.5-1.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.วัน ระบบให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีไนโตรเจน และฟอสฟอรัส คิดเป็นร้อยละ 90-96, 60-88 และ 76-90 ตามลำดับ Sombatsompop *et al.* [7] ทำการศึกษาผลกระทบของวัฏจักรในการเติมอากาศ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบเอสบีอาร์ ซึ่งกำหนดอัตราส่วนการไม่เติมอากาศต่ออัตราส่วนการเติมอากาศเป็น 2:6, 4:4 และ 6:2 ตามลำดับ ควบคุมอายุตะกอนที่ 10 วัน ในน้ำเสียดังเคราะห์มีค่าซีโอดี 500 มก./ล. ผลการทดลองพบว่า ซีโอดีของน้ำที่ไหลออกที่ผ่านการบำบัดในระบบเอสบีอาร์ที่มีอัตราส่วนการไม่เติมอากาศ ต่ออัตราส่วนการเติมอากาศเป็น 2:6, 4:4 และ 6:2 มีค่าเท่ากับ 59, 45 และ 32 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 88, 91 และ 94 ตามลำดับ ปริมาณค่าเฉลี่ยแอมโมเนียในน้ำเข้าเท่ากับ 110 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียของน้ำที่ไหลออกในระบบที่มีอัตราส่วนการไม่เติมอากาศต่ออัตราส่วนการเติมอากาศเป็น 2:6, 4:4 และ 6:2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 75, 53 และ 13 ตามลำดับ นั้นแสดงว่าอัตราส่วนการไม่เติมอากาศต่อการเติมอากาศเท่ากับ 6:2 มีความเหมาะสมต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีและแอมโมเนียไนโตรเจน

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอสบีอาร์โดยการนำวัสดุที่มีความสามารถ

ในการดูดซับแอมโมเนียได้ดีมาขึ้นรูปเป็นเม็ดด้วยโคลโคซานจากเปลือกกุ้ง ซึ่งได้มีการศึกษาวิจัยเบื้องต้นพบว่าการผสมซีโอไลต์ลงในโคลโคซานแล้วขึ้นรูปเป็นวัสดุเม็ดผสม มีคุณสมบัติในการดูดซับแอมโมเนียได้ดี [2] ซึ่งการนำวัสดุดูดซับมาใช้ร่วมกับระบบเอสบีอาร์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอสบีอาร์ และระบบเอสบีอาร์ร่วมกับซีโอไลต์-โคลโคซาน เพื่อเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพัฒนาระบบเอสบีอาร์ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในระบบบำบัดสำหรับกำจัดแอมโมเนียมต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

ถังปฏิกริยาที่ใช้ในการทดลองเป็นถังรูปทรงกระบอก มีความจุ 6 ลิตร ปริมาตรที่ใช้จริงในการทดลองคือ 5 ลิตร ทำจากอะคริลิกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 ซม. สูง 40 ซม. หนา 3 มม. ใช้มอเตอร์ยี่ห้อ Takawawa รุ่น DS-400 (Japan) 12 โวลต์/5 แอมป์ ความเร็วรอบ 60 รอบ/นาที ใช้เครื่องเติมอากาศยี่ห้อ Aquarium รุ่น ACO-9903 เครื่องตั้งเวลาที่ใช้เป็นยี่ห้อ Controlmax Mechanical Timer รุ่น TM106D หม้อแปลง 220 โวลต์เป็นไฟ 12 โวลต์ ใช้ของ KENJI รุ่น K-01 การติดตั้งระบบเอสบีอาร์แสดงดังรูปที่ 1 สำหรับน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองใช้น้ำเสียดังเคราะห์ (Glucose 235 มก./ล. Soy protein 250 มก./ล., NH_4Cl 115 มก./ล., KH_2PO_4 43 มก./ล., CaCl_2 10 มก./ล., $\text{MgSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ 10 มก./ล., FeCl_3 3 มก./ล., และ NaHCO_3 150 มก./ล. สำหรับปริมาณซีโอดี 500 มก./ล.) ในการทดลองจะเตรียมน้ำเสีย

สังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นสูง (Stock Solution) เก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 5°C เมื่อนำมาใช้ต้องทำการเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยน้ำประปาเพื่อให้ความเข้มข้นของซีโอไลต์ตามต้องการที่มีค่าซีโอไลต์เท่ากับ 500, 1000 และ 1200 มก./ล. องค์ประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์มีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัด และมีองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกับน้ำเสียชุมชน จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดลอง เป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากระบบแอกติเวเต็ดสแตจ จากบริษัทปทุมธานี บิรวเวอร์ จำกัด ซีโอไลต์ที่ใช้เป็นซีโอไลต์สังเคราะห์ชนิด Na-A ($\text{Na}_{12}\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}\cdot 27\text{H}_2\text{O}$) สังเคราะห์จากตะกอนดินโรงผลิตน้ำประปา [8] มีรูปร่างเป็นผลึกทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีค่า BET surface area เท่ากับ 52.2 ตร.ม/ก. และมีค่า Cation Exchange Capacity (CEC) เท่ากับ 1.07 มก.สมมูลย์/ก. และมีองค์ประกอบทางเคมี SiO_2 52.5, Al_2O_3 31.2, Fe_2O_3 9.5, CaO 1.0, MgO 1.04 และ TiO_2 ร้อยละ 0.86 สำหรับไลโคซานที่นำมาประกอบการศึกษาวิจัย เป็นไลโคซานที่สกัดจากเปลือกกุ้ง [2]

2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 คือ การขึ้นรูปซีโอไลต์-ไลโคซาน และการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ และระบบเอสบีอาร์ ซีโอไลต์-ไลโคซาน

ขั้นตอนที่ 1

ทำการขึ้นรูปวัสดุดูดซับซีโอไลต์-ไลโคซานโดยนำซีโอไลต์สังเคราะห์ชนิด Na-A สูตรโมเลกุล $\text{Na}_{12}\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}\cdot 27\text{H}_2\text{O}$ ที่สังเคราะห์จากตะกอนโรงผลิตน้ำประปา [1] จำนวน 50 กรัม ผสมกับสารละลาย

ไลโคซานที่เตรียมจากการผสมระหว่างไลโคซานจากเปลือกกุ้งน้ำหนัก 5 ก. ผสมกับกรดอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 2 (ปริมาตร:ปริมาตร) ใช้เครื่องปั่นผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาหยดเป็นเม็ดขนาด 3.4 ± 0.2 มม. (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จำนวนข้อมูล เท่ากับ 50) ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มอล (Normality: N) โดยใช้หลอดหยดสาร ดังรูปที่ 2 จากนั้นกรอง ซีโอไลต์-ไลโคซานที่ได้ ออกแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น จนกระทั่งน้ำล้างมีค่าพีเอชระดับกลาง (pH 6.5-7.0) นำเม็ดซีโอไลต์-ไลโคซานที่ได้ใส่ในขวดทดลองจำนวน 10, 15, 25 และ 30 มล. เติมน้ำเสียสังเคราะห์ 100 มล. ลงในขวดทดลอง และนำไปเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการแยกด้วยกระดาษกรอง นำสารละลายมาวัดค่าความเข้มข้นแอมโมเนียด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) รุ่น HACH DR 4000 นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟไอโซเทอมการดูดซับ ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log q$ กับ $\log c$ และ $1/q$ กับ $1/C$ ตามสมการของไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช (Freundlich Isotherm) (1) และไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) (2) เพื่อหาปริมาณซีโอไลต์-ไลโคซานที่เหมาะสมสำหรับใส่ลงไปในระบบเอสบีอาร์ร่วมกับซีโอไลต์-ไลโคซาน

$$\log q = \log K_f + 1/n(\log C) \quad (1)$$

$$1/q = (1/(q_m K_L)(1/C) + 1/q_m \quad (2)$$

โดย q คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับ (แอมโมเนีย) ที่ถูกดูดซับที่สภาวะสมดุลต่อปริมาณตัวดูดซับ (ซีโอไลต์-ไลโคซาน)

K_p, K_L คือ ค่าคงที่ของไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชและแลงเมียร์

C คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เหลือนอยู่ในสถานะสมดุล

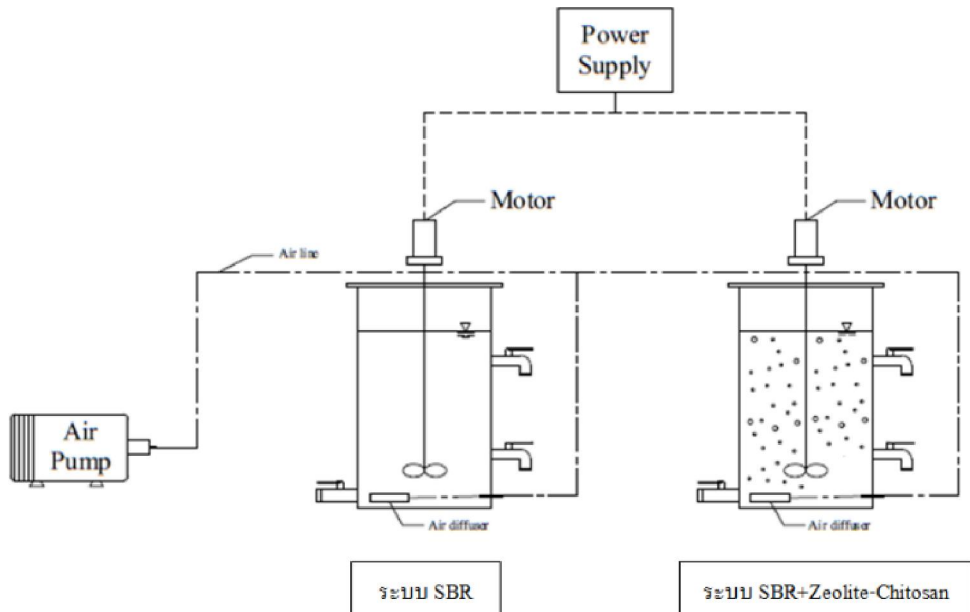
q_m คือ ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับสูงสุดบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

$1/n$ คือ ค่าคงที่จากสมการไอโซเทอมแบบฟรุนดลิช
 ขั้นตอนที่ 2

เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัด โดยเริ่มจากการนำตะกอนจุลินทรีย์มาเลี้ยงในระบบเอสบีอาร์ โดยควบคุมอายุตะกอนที่ 10 วัน [9] ระบบเอสบีอาร์มีวัฏจักรการทำงานดังนี้ 1 วัฏจักรจะประกอบด้วย

ช่วงการเติมน้ำเสีย 1 ชั่วโมง ช่วงการบำบัด 8 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนการเติมอากาศต่ออัตราส่วนการไม่เติมอากาศที่ 6:2 [7] ช่วงตกตะกอน 2 ชั่วโมง ช่วงถ่ายน้ำทิ้ง 1 ชั่วโมง เลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์จนกระทั่งคืนเคยกกับน้ำเสีย โดยพิจารณาจากค่ามวลตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ (Mixed liquor suspended solid : MLSS)

หลังจากได้ข้อมูลปริมาณซีโอไลต์-ไคโตซานที่เหมาะสมและการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ให้คืนเคยกกับน้ำเสียแล้ว จึงนำมาศึกษาเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี สารประกอบไนโตรเจนและปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบเอสบีอาร์ และระบบเอสบีอาร์ร่วมกับซีโอไลต์-ไคโตซาน



รูปที่ 1 การติดตั้งระบบเอสบีอาร์และระบบเอสบีอาร์ร่วมกับซีโอไลต์-ไคโตซาน



รูปที่ 2 วัสดุดูดซับซีโอไลต์-ไคโตซาน

3. ผลการทดลองและอภิปราย

3.1 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับจากสมการฟรุนดลิช และแลงเมียร์

ไอโซเทอมการดูดซับ เป็นการอธิบายถึงความสัมพันธ์ของพฤติกรรมดูดซับระหว่างค่าความเข้มข้นที่สมดุลกับจำนวนของตัวถูกดูดซับที่มีการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ ผลที่ได้จากการศึกษานำมาทำการเปรียบเทียบไอโซเทอมการดูดซับระหว่างสมการของฟรุนดลิช และแลงเมียร์ โดยพิจารณาความน่าเชื่อถือและความสอดคล้องของไอโซเทอมจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) จากทั้ง 2 สมการ โดยทำการพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ที่มีค่า R^2 ถ้าสมการใดมีค่า R^2 มากกว่าหรือเข้าใกล้ 1 มากที่สุด แสดงว่ามีผลสอดคล้องกับสมการนั้น

รูปที่ 3 แสดงไอโซเทอมของการดูดซับด้วยสมการของฟรุนดลิช ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบลอการิทึมระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่เหลืออยู่ในสภาวะสมดุล ($\log C$) เป็นแกน x และปริมาณแอมโมเนียมที่ถูกดูดซับต่อปริมาณซีโอไลต์-ไคโตซาน ($\log q$) เป็นแกน y จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $1/n$ (n = Correction factor) และมีจุดตัดแกนในแนวตั้งเท่ากับ K_f ซึ่งเป็นค่าคงที่ของสมการไอโซเทอม

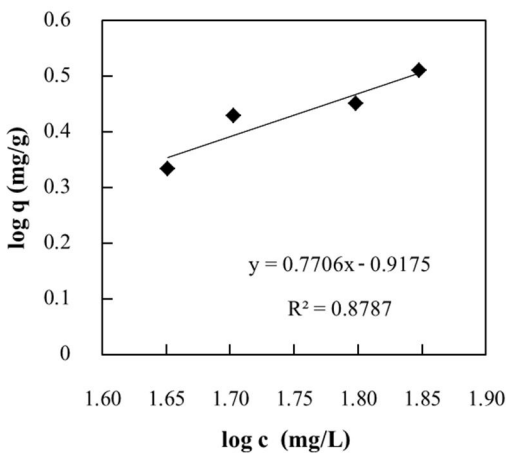
แบบฟรุนดลิช แสดงถึงความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียมด้วยวัสดุดูดซับซีโอไลต์-ไคโตซาน มีค่าเท่ากับ 0.12 ล./ก. และจากการพิจารณาไอโซเทอมการดูดซับดังกล่าวเพิ่มเติมพบว่า ค่า $1/n$ มีค่าเท่ากับ 0.77 สามารถอธิบายได้ว่า วัสดุดูดซับชนิดนี้มีความขึ้นขอบสารแอมโมเนียมหรือวัสดุดูดซับสามารถดูดซับสารแอมโมเนียมได้ดี และมีค่า R^2 (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์) แสดงความสอดคล้องของข้อมูลต่อสมการไอโซเทอมแบบฟรุนดลิชเท่ากับ 0.879

รูปที่ 4 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแอมโมเนียมด้วยสมการไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ ซึ่งไอโซเทอมแบบนี้จะใช้อธิบายกระบวนการดูดซับโดยสมมติให้การดูดซับเกิดขึ้นที่ผิวของวัสดุดูดซับเพียงชั้นเดียว (Monolayer adsorption) และเมื่อตัวถูกดูดซับได้ถูกดูดซับไว้แล้วจะไม่มีการคายออกจากบริเวณพื้นที่ผิวตัวดูดซับ โดยค่า K_L เป็นค่าคงที่ของสมการไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ และค่า q_m คือปริมาณของแอมโมเนียมที่ถูกดูดซับสูงสุดต่อปริมาณของวัสดุดูดซับซีโอไลต์-ไคโตซาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 13.15 มก./ก. แสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับซีโอไลต์-ไคโตซานที่ผลิตได้ให้ประสิทธิภาพการดูดซับที่ดี นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.877 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับไอโซเทอมการดูดซับจากสมการของฟรุนดลิช นั้นแสดงว่าการดูดซับสารแอมโมเนียมด้วยวัสดุดูดซับซีโอไลต์-ไคโตซานสอดคล้องกับทั้งสองสมการ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกับวัสดุดูดซับซีโอไลต์อื่นๆ ที่สังเคราะห์จากตะกอนน้ำประปา และเบนโทไนท์ (Bentonite) ดังตารางที่ 1 พบว่าวัสดุดูดซับในงานวิจัยนี้ (Zeolite-Chitosan) มีค่า q_m มากกว่าวัสดุดูดซับซีโอไลต์ทั่วไป (Zeolite) ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับ

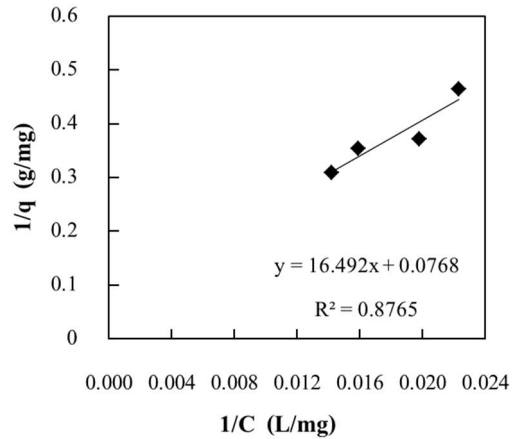
ไคโตซานที่ผสมพอลิอะคริลิกแอซิด (Chitosan-PAA) พบว่า วัสดุดูดซับในงานวิจัยนี้มีค่า q_m น้อยกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะวัสดุดูดซับไคโตซานที่ผสมพอลิอะคริลิกแอซิดเป็นวัสดุที่ทำการปรับปรุงโดยการเชื่อมขวาง (Chemical cross-link) ด้วยการเติมสารเคมีประเภทกรดอะคลิลิกเพิ่มเติม ทำให้มีความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียมในรูปไนโตรเจนได้สูงถึง 109.20 มก./ก. ผลงานวิจัยดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการปรับปรุงผิววัสดุดูดซับมีผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงขึ้น

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารแอมโมเนียมในรูปไนโตรเจน (NH_4-N) ของวัสดุดูดซับชนิดต่างๆ

Absorbent material	q_m (mg/g)	References
Zeolite-Chitosan	13.13	This study
Zeolite	9.59	[1]
Chitosan-PAA	109.20	[11]



รูปที่ 3 ไอโซเทอมการดูดซับสารแอมโมเนียมในรูปไนโตรเจน (NH_4-N) โดยใช้สมการฟรอนด์ลิช (Freundlich)

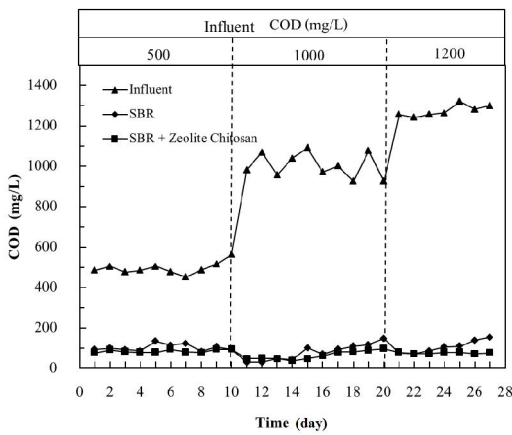


รูปที่ 4 ไอโซเทอมการดูดซับสารแอมโมเนียมในรูปไนโตรเจน (NH_4-N) โดยใช้สมการแลงเมียร์ (Langmuir)

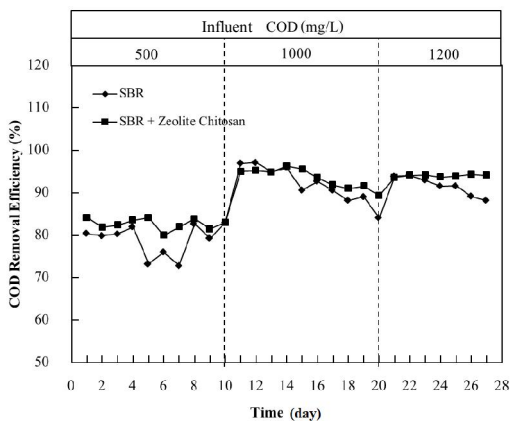
3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี สารไนไตรท์ ไนเตรท และของแข็งแขวนลอย

จากรูปที่ 5 แสดงความเข้มข้นซีโอดีในน้ำก่อนและหลังการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ (SBR) และระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซาน (SBR Zeolite-Chitosan) โดยมีค่าซีโอดีในน้ำก่อนบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ 510, 1010 และ 1280 มก./ล. ตามลำดับ หลังจากบำบัดแล้วมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ค่าซีโอดีหลังบำบัดในระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซาน มีค่าเท่ากับ 86, 65 และ 77 มก./ล. ตามลำดับ ในขณะที่ระบบเอสบีอาร์มีค่าเท่ากับ 104, 79 และ 107 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 83, 94 และ 94 ตามลำดับ ในระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซาน สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเอสบีอาร์มีค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 78, 91 และ 91 ตามลำดับ (รูปที่ 6)

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ ร่วมกับ การใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซานมี ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีดีกว่าระบบเอสบีอาร์ ทั้งนี้ อาจเกิดจากการใส่วัสดุซีโอไลท์-ไคโตซานลงไป ทำหน้าที่เสมือนตัวกลางอยู่อาศัยของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์ยึดเกาะมากขึ้นทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น



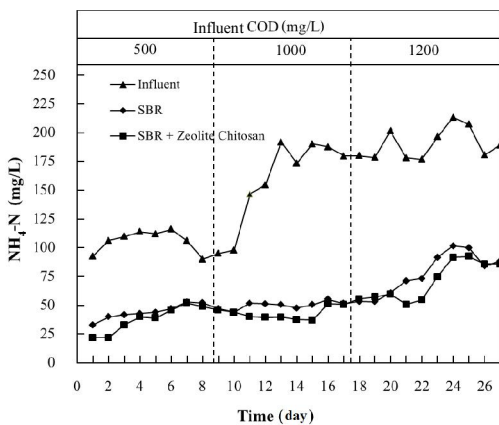
รูปที่ 5 ปริมาณซีโอดีก่อนและหลังบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ (SBR) และระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซาน (SBR Zeolite-chitosan)



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ระยะเวลาต่างๆ

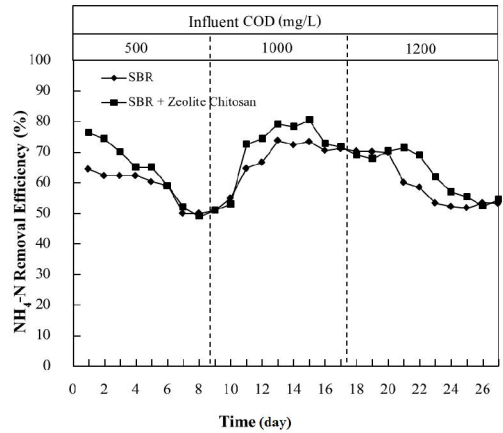
รูปที่ 7 แสดงปริมาณแอมโมเนียมในน้ำเสียก่อนและหลังบำบัด จากการทดลองค่าปริมาณแอมโมเนียมในน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 100, 170 และ 180 มก./ล. ที่ความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสียตั้งต้นเท่ากับ 500, 1000 1200 มก./ล. ตามลำดับ เมื่อผ่านระบบการบำบัดแล้วพบว่า ระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซานมีค่าแอมโมเนียมในน้ำหลังการบำบัดเหลือน้อยกว่าระบบเอสบีอาร์ ในช่วงแรก 5-6 Cycle ที่ทุกๆ ความเข้มข้นของซีโอดี เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในโตรเจนดังรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของซีโอดีในน้ำเสียเท่ากับ 500, 1000 และ 1200 มก./ล. ระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซานมี ประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 76, 73 และ 71 ตามลำดับ ในขณะที่ระบบเอสบีอาร์มี ประสิทธิภาพการบำบัดที่ร้อยละ 65, 65 และ 60 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการใส่วัสดุซีโอไลท์-ไคโตซาน ช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดแอมโมเนียให้กับระบบ โดยเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำทั้งระหว่างระบบเอสบีอาร์และระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซาน พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำทิ้งของระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซานมีค่าต่ำกว่าระบบเอสบีอาร์อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากกลไกการดูดซับแอมโมเนียมโดยซีโอไลท์-ไคโตซานทำให้ปริมาณแอมโมเนียมลดลงอย่างรวดเร็วในทุกช่วงสัปดาห์แรกของการทดลองของแต่ละความเข้มข้นของซีโอดี หลังจากนั้นจะเห็นว่าปริมาณแอมโมเนียมของทั้งสองระบบมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เกิดจากวัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซานเกิดการแตกออกจากกันเนื่องจาก

แรงเหวี่ยงของน้ำที่เกิดจากสภาวะการเติมอากาศใน ระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของวัสดุดูดซับชนิดนี้ ดังแสดงในรูปที่ 9 นอกจากนี้เมื่อกลไกการดูดซับของวัสดุดูดซับเกิดการอิ่มตัวจะทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง ดังนั้นการบำบัดแอมโมเนียมจะเข้าสู่กระบวนการกำจัดทางชีวภาพด้วยตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำและจุลินทรีย์ที่เกาะบริเวณพื้นผิววัสดุดูดซับ กลไกการช่วยดูดซับช่วงแรกเช่นนี้เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีปริมาณแอมโมเนียมสูงๆ เพื่อลดความเป็นพิษให้กับระบบบำบัดทางชีวภาพ การลดลงของแอมโมเนียมในช่วงหลังอาจเป็นผลจากการกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ที่เกิดขึ้นกับทั้งสองระบบ ซึ่งแอมโมเนียมจะถูกเปลี่ยนไปเป็น NO_2^- (Nitrite) และ NO_3^- (Nitrate) ตามลำดับ ดังรูปที่ 10 และ 11 ซึ่งแสดงปริมาณ NO_2^- -N (ไนโตรทไนโตรเจน) และ ปริมาณ NO_3^- -N (ไนเตรทไนโตรเจน) ที่ระยะเวลาบำบัดต่างๆและระดับความเข้มข้นซีโอดีตั้งแต่ต้นที่ 500, 1000 และ 1200 มก./ล. ตามลำดับ

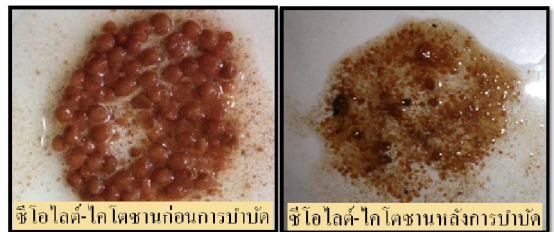


รูปที่ 7 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4\text{-N}$) ก่อนและหลังบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ (SBR) และ

ระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซาน (SBR Zeolite-chitosan)



รูปที่ 8 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4\text{-N}$) ด้วยด้วยระบบเอสบีอาร์ (SBR) และระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซาน (SBR Zeolite-chitosan)



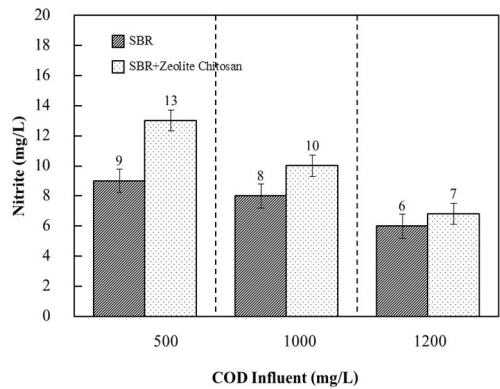
รูปที่ 9 วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซาน (Zeolite-Chitosan adsorbent) ก่อนและหลังบำบัด

จากรูปที่ 10 แสดงปริมาณ NO_2^- -N และ รูปที่ 11 แสดงปริมาณ NO_3^- -N ของระบบเอสบีอาร์และระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซาน โดยทำการตรวจวัดทุกๆ 2 วัน ในแต่ละความเข้มข้นของซีโอดี พบว่าปริมาณ NO_3^- -N เฉลี่ยของทั้งสองระบบมีค่าสูงขึ้นเมื่อระบบมีปริมาณการป้อนคาร์บอนในรูป

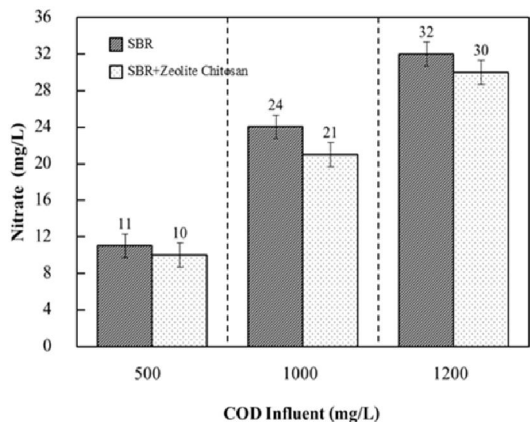
ซีโอไซด์สูงขึ้น นั้นเป็นการยืนยันว่าทั้งสองระบบเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยระบบทั้งสองได้ควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในปริมาณที่เพียงพอ (Dissolve Oxygen: DO) ไม่น้อยกว่า 2 มก./ล. [9] ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอสำหรับการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ $\text{NO}_3^- \text{-N}$ พบว่าระบบเอสบิโออาร์มีค่าความเข้มข้น $\text{NO}_3^- \text{-N}$ น้อยกว่าระบบเอสบิโออาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซาน อย่างไรก็ตามหากพิจารณาค่าความเข้มข้น $\text{NO}_2^- \text{-N}$ จะพบว่าระบบเอสบิโออาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซานมีค่าความเข้มข้น $\text{NO}_2^- \text{-N}$ สูงกว่าระบบเอสบิโออาร์ โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นซีโอไซด์ต่ำ ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการเกิดขบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ร่วมด้วย แม้ปริมาณดีไอจะถูกควบคุมให้มีค่าไม่น้อยกว่า 2 มก./ล. ซึ่งในระบบเอสบิโออาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซานมีแนวโน้มการเกิดขบวนการดีไนตริฟิเคชันที่ดีกว่าระบบเอสบิโออาร์อันเนื่องมาจากจุลินทรีย์แบบตรึงฟิล์ม (Biofilm) ที่เกิดขึ้นและยึดเกาะบริเวณพื้นผิววัสดุดูดซับ

รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแอมโมเนียในน้ำภายหลังการบำบัดในระบบเอสบิโออาร์และระบบเอสบิโออาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซานที่ค่าความเข้มข้นซีโอไซด์ในน้ำเสียตั้งต้นเท่ากับ 500, 1000 และ 1200 มก./ล. โดยทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุกๆ 2 วัน ในแต่ละช่วงความเข้มข้นของซีโอไซด์ จะเห็นได้ว่าระบบเอสบิโออาร์ร่วมกับการใส่วัสดุซีโอไลท์-ไคโตซานมีปริมาณของแอมโมเนียในน้ำที่น้อยกว่าระบบเอสบิโออาร์ทุกกรณีความเข้มข้นซีโอไซด์ แสดงให้เห็นว่าการเติมวัสดุ

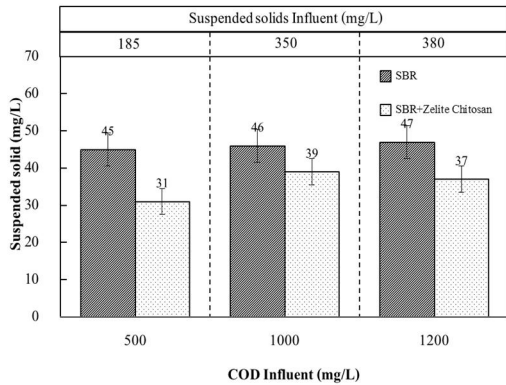
ดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซานลงไป ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดของแอมโมเนียลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบสามารถยึดเกาะบริเวณผิวของวัสดุดูดซับซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการตกตะกอนให้ดีขึ้นปริมาณของแอมโมเนียที่ จะหลุดออกไปจากน้ำที่ อันเนื่องมาจากจุลินทรีย์จึงมีค่าลดลง



รูปที่ 10 ปริมาณไนไตรท์ในรูปไนโตรเจน ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) ในระบบเอสบิโออาร์และระบบเอสบิโออาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นซีโอไซด์ในน้ำเสียระหว่าง 500 ถึง 1000 มก./ล.



รูปที่ 11 ปริมาณไนเตรทในรูปไนโตรเจน ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) ในระบบเอสบิโออาร์และระบบเอสบิโออาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลท์-ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นซีโอไซด์ในน้ำเสียระหว่าง 500 ถึง 1000 มก./ล.



รูปที่ 12 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งหลังการบำบัดที่ปริมาณซีโอไลต์ในน้ำเสียดังต้นต่างๆ

4. สรุปผล

จากการทดลองพบว่า วัสดุดูดซับซีโอไลต์-ไคโตซานมีความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียมสูงสุด (q_m) เท่ากับ 13.15 มก./ก. การดูดซับสอดคล้องกับสมการไอโซเทอมของฟรุนดลิชและแลงเมียร์ โดยมีค่า R^2 ของสมการทั้งสอง เท่ากับ 0.879 และ 0.877 ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไลต์ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 510, 1010 และ 1280 มก./ล. ระบบระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลต์-ไคโตซาน มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 83 94 และ 94 ตามลำดับ ในขณะที่ระบบเอสบีอาร์มีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 78, 91 และ 91 ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียมในรูปไนโตรเจนที่ระดับความเข้มข้นซีโอไลต์ในน้ำเสียดังต้น เท่ากับ 500, 1000 และ 1200 มก./ล. มีค่าร้อยละ 76, 73 และ 71 ตามลำดับ ระบบเอสบีอาร์มีค่าเท่ากับร้อยละ 65, 65 และ 60 ตามลำดับ ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งหลังการบำบัดของระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลต์-ไคโตซาน มีปริมาณน้อยกว่าระบบเอสบีอาร์

นอกจากนี้ระบบเอสบีอาร์ร่วมกับการใส่วัสดุดูดซับซีโอไลต์-ไคโตซาน ยังสามารถช่วยลดความเป็นพิษจากสารแอมโมเนียมในน้ำเสียให้กับระบบบำบัดได้อีกด้วยการนำวัสดุซีโอไลต์-ไคโตซาน มาใช้ร่วมกับระบบบำบัดทางชีวภาพจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์และสารไนโตรเจน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อมที่ให้สถานที่ในการทำวิจัยและขอขอบคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Sombatsompop, T. Jeensawak, P. Sonpai, A. Wangbooncong, J. Wongwichien and S. Asavapisit, "Adsorption of ammonium sulfate using fabricated zeolite from waste sludge of water treatment plant", *Advanced Materials Research*. 410, 2012, pp. 220-223.
- [2] T. Kririn, B. Maharach, P. Banma and J. Iamchaturapatr, "Ammonium Removal in Wastewater by Adsorption Process Using Waste Shellfish", 3rd Phranakhon Rajabhat University National Conference, 2012, pp.1-9.
- [3] P. Kundu, A. Debsarkar and S. Mukherjee, "Treatment of Slaughter House Wastewater in a Sequencing Batch Reactor", *Performance Evaluation and Biodegradation Kinetics*", *BioMed Research International* 1, 2013, pp. 1-11.

- [4] J. Keller, K. Subramaniam and J. Gosswein, “Nutrient removal from Industrial Wastewater Using Single Tank Sequencing Batch Reactor”, *Wat. Sci. Tech.* 35, 1997, pp. 137-144.
- [5] K. Sombatsompop, A. Songpim, S. Reabroi and P. Inkong-ngam, “A Comparative Study on Moving Bed-Sequencing Batch Reactor and Sequencing Batch Reactor for Piggery Wastewater Treatment”, *Maejo Int. J. Sci. Technol.* 5, 2011, pp.191-203.
- [6] Y. Rahimi, A. Torabian, N. Mehrdadi, and B. Shahmoradi, “Simultaneous Nitrification-Denitrification and Phosphorus Removal in a Fixed Bed Sequencing Batch Reactor (FBSBR)”, *Journal of Hazardous Materials* 185, 2011, pp. 852–857.
- [7] K. Sombatsompop, P. Poosaenkam and A. Kraisawan, “Effect of Aeration Cycle on Efficiency of wastewater Treatment in SBR System”, *Journal of Environmental Research* 30, 2008, pp. 53-64.
- [8] J. Wongwichien, S. Asavapisit and K. Sombatsompop, “Synthesis of Zeolite type A from Sludge of Water Treatment Plant”, *The 4th Ubon Ratchathani University Research Conference*, 2011, pp.1-8.
- [9] K. Sombatsompop, J. Wongwichien, W. Janthong and W. Prapurit, “Effect of Sludge Retention Time on Efficiencies of Wastewater Treatment in Sequencing Batch Reactor”, *KKU Res J.* 14, 2009, pp. 26-34.
- [10] Y. Zheng and A. Wang, “Evaluation of Ammonium Removal Using a Chitosan-g-poly (Acrylic Acid)/ Rectorite Hydrogel Composite”, *Journal of Hazardous Materials* 171, 2009, pp. 671-677.
- [11] A. Jang, P.L. Bishop, S.Okabe, S. G. Lee and I.S. Kim, “ Effect of Dissolved Oxygen Concentration on the Biofilm and in Situ Analysis by Fluorescence in Situ Hybridization (FISH) and Microelectrodes”, *Wat. Sci. Tech.* 47, 2002, pp.49-57.