

การกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำทิ้งชุมชนโดยการแลกเปลี่ยนไอออน

Ammonia and Phosphate Removal from Domestic Wastewater

by Ion Exchange

กฤษฎณ์ เทียรณประสิทธิ์ และ บุญมาส มุ่งธัญญา

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

บทคัดย่อ

สารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและสกปรกมากยิ่งขึ้น การวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำเสียชุมชนด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้คอลัมน์ที่บรรจุเรซิน และศึกษาผลของพีเอช ความเข้มข้นของแอมโมเนียและฟอสเฟตเริ่มต้น และอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าคอลัมน์ ที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด ตลอดจนเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินก่อนและหลังการคืนสภาพ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตโดยการแลกเปลี่ยนไอออนจะให้ประสิทธิภาพสูงเมื่อดำเนินการในสภาวะที่เหมาะสม ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 และเรซินใหม่กับเรซินที่ผ่านการคืนสภาพแล้วจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตไม่แตกต่างกัน

Abstract

Nitrogen and Phosphorus are major pollutants in domestic wastewater. This study was to determine the efficiency of ion exchange of resin in a column in the removal of ammonia and phosphate from domestic wastewater. The effects of initial pH, flow rate of influent, and initial ammonia and phosphate concentrations were studied. The comparison of the efficiency of ammonia and phosphate removal by ion exchange method between new resin and regenerated resin was also studied. The results showed that the highest removal efficiency was achieved when operated under the optimal condition. The best pH value for this process was 7; and the new resin and regenerated resin had no significant difference in their ammonia and phosphate removal efficiency.

1. บทนำ

สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น คือ สารอินทรีย์ต่างๆ รวมทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุที่สำคัญในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เมื่อปล่อยน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะทำให้มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำมากเกินไป ทำให้พวกสาหร่ายสีเขียวเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และเมื่อสาหร่ายเหล่านี้ตาย จะไปเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ ทำให้แหล่งน้ำนั้นสกปรกน้ำเสียและเกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำ

ธรรมชาติ ดังนั้น จึงควรจัดการให้มีการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส รวมทั้งแอมโมเนียในน้ำเสียให้มีปริมาณลดลงจนถึงระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำเสียก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำ สารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้ง [1] แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย ไนไตรต์ ไนเตรต และสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดอะมิโน ส่วนฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งมักอยู่ในรูปของ Poly-Phosphate ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ ที่อาศัยหลักทางชีววิทยาในปัจจุบัน ส่วน

ใหญ่มีกอกแบบและสร้างขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนเท่านั้น ดังนั้นหากน้ำเสียมีสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสละลายอยู่ในปริมาณสูง น้ำทิ้ง (Effluent) ที่ผ่านการบำบัดแล้วก็จะมีสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเหลือค้างอยู่ในปริมาณสูงเช่นกัน เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้การเพิ่มปริมาณสารอาหารแก่แหล่งรองรับน้ำทิ้งและเมื่อถึงระดับหนึ่งที่มีสภาวะเหมาะสม จะเกิด Algae boom โดยเฉพาะในแหล่งน้ำปิด พบว่า หากในน้ำมีค่าไนโตรเจนเกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตรและสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสเกิน 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ภายในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม พืชน้ำจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อพืชเหล่านี้ตายลงกลายเป็นสารอินทรีย์ทำให้แหล่งน้ำมีปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น จากผลนี้ทำให้จุลินทรีย์ในแหล่งน้ำใช้ออกซิเจนมากขึ้นตามไปด้วยทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจนและเกิดมลพิษทางน้ำขึ้น เรียกว่า Eutrophication [2] นอกจากนี้ยังพบว่า ถ้าแหล่งน้ำมีปริมาณแอมโมเนียอิสระสูงกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร[2]และมีระดับฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.7-1.1 มิลลิกรัม/ลิตร จะแสดงความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ [3] จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องควบคุมปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เหลือค้างอยู่ในน้ำทิ้งให้มีปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ จากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 ก่อนที่จะมีการระบายลงสู่แหล่งน้ำรองรับต่อไป การกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟต โดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถทำต่อจากระบบบำบัดเดิมที่สร้างไว้ อาจจะมีความแพง แต่ใช้งานได้เป็นเวลานานและสามารถคืนสภาพได้ง่าย

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 รูปแบบการทดลอง

การศึกษานี้ใช้ระบบจำลองของการทดลองแบบคอลัมน์ (Column Test) ทำการทดลองภายใต้ห้องปฏิบัติการ โดยใช้ท่อแก้วทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. บรรจุเรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบและเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก ตามลำดับ โดยบรรจุชนิดละ 20 เซนติเมตร ทำการทดลองแบบต่อเนื่อง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำทิ้ง โดยทำการศึกษาหาพีเอชที่เหมาะสม แล้วจึงศึกษาที่ความ

เข้มข้นของแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำทิ้ง อัตราการไหลของน้ำทิ้ง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตก่อนและหลังการคืนสภาพเรซินครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

2.2 การเตรียมเรซินและการบรรจุคอลัมน์

เตรียมเรซินก่อนการทดลอง โดยล้างในน้ำ deionized หลายๆ ครั้ง แล้วแช่ไคโตนเพื่อกำจัดสารเจือปน นำไปล้างออกด้วย n-hexane แล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ใน desiccator จากนั้นนำไปบรรจุคอลัมน์ โดยซึ่ง Cation Resin 74 กรัม และ Anion Resin 50 กรัม ปิดหลอดแก้วด้านล่างด้วยยูทาจยางเจาะรูและมีหลอดแก้วต่อสายยาง เติมน้ำกลั่นลงในหลอดแก้วบรรจุเยื่อแก้วประมาณ 2 ซม. แล้วเท Anion Resin ลงไปก่อน สูง 20 ซม. ตามด้วย Cation Resin สูงประมาณ 20 ซม. ปิดด้านบนด้วยเยื่อแก้วอีกชั้น จะได้คอลัมน์ที่มีเรซินแต่ละชนิดสูง 20 ซม. ก่อนการทดลองแช่เรซินด้วย NaCl 10% ทั้งไว้ 24 ชั่วโมง ทำเหมือนเดิม 3 ครั้ง

2.3 วิธีการศึกษาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตที่ระดับพีเอช, ความเข้มข้นของแอมโมเนียและฟอสเฟต และอัตราการไหลของน้ำเสียต่างกัน

- เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ที่มีความเข้มข้นแอมโมเนียและฟอสเฟตค่าหนึ่ง และ พีเอช 5, 7 และ 9
- ติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง
- ผ่านน้ำเสียสังเคราะห์ เข้าคอลัมน์ที่เตรียมไว้ ด้วยอัตราการไหล 8 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างน้ำทุก 4 ชั่วโมง จนครบ 48 ชั่วโมง แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียและฟอสเฟต

- นำค่าพีเอชที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตดีที่สุด มาทดลอง โดยทำการทดลองเหมือนเดิม ด้วยอัตราการไหล 8 มิลลิลิตรต่อนาทีและ 15 มิลลิลิตรต่อนาทีและให้น้ำทิ้งมีความเข้มข้นของแอมโมเนียและฟอสเฟต ดังนี้

ความเข้มข้นแอมโมเนีย 35 มก./ลิตร ฟอสเฟต 25 มก./ลิตร
ความเข้มข้นแอมโมเนีย 35 มก./ลิตร ฟอสเฟต 35 มก./ลิตร
ความเข้มข้นแอมโมเนีย 45 มก./ลิตร ฟอสเฟต 25 มก./ลิตร
ความเข้มข้นแอมโมเนีย 45 มก./ลิตร ฟอสเฟต 35 มก./ลิตร

- นำชุดการทดลองคอลัมน์กับเรซินชุดหนึ่ง มาทำการปรับสภาพด้วย NaCl 10% จำนวน 10 ลิตร และทำการทดลองซ้ำในสภาวะเดิม เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนก่อนและหลังการคืนสภาพ 2 ครั้ง

- ทำการทดลองซ้ำโดยใช้น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลราชวิถี มีความเข้มข้นของแอมโมเนียระหว่าง 5-10 มิลลิกรัม/ลิตร ความเข้มข้นของฟอสเฟตระหว่าง 3-5 มิลลิกรัม/ลิตร ปรับความเข้มข้นให้อยู่ในช่วงที่ทำการทดลอง โดยใช้พีเอชที่เหมาะสม คือ pH 7.0

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อทำการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำทิ้ง สามารถแสดงผลการศึกษาได้ดังนี้

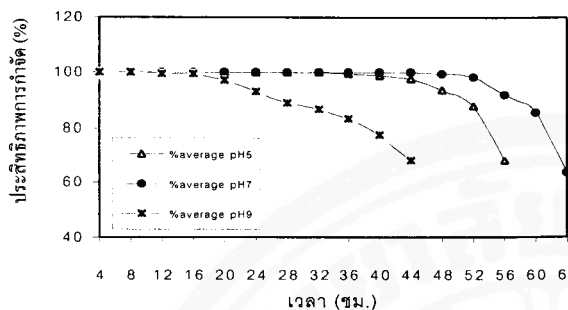
จากการศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้น ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย ดังรูปที่ 1 พบว่า ในช่วงพีเอช 5 และ 7 จะให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดแอมโมเนียสูง ขณะที่พีเอช 9 มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่ลดลงอย่างมากในช่วงโม่งที่ 44 และเมื่อเวลาผ่านไป 56 ชั่วโมง ที่พีเอช 7 ยังสามารถกำจัดแอมโมเนียได้ดี (92%) ส่วนที่พีเอช 5 ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง (68%) สำหรับการกำจัดฟอสเฟต (รูปที่ 2) ที่พีเอช 7 และ 9 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ดี ส่วนที่พีเอช 5 จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง จากรูปที่ 1 และ 2 จะพบว่า พีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสม คือ พีเอช 7 เนื่องจากให้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยในการกำจัดดีที่สุดทั้งแอมโมเนียและฟอสเฟต

ทั้งนี้อธิบายได้ว่าในสารละลาย แอมโมเนียสามารถอยู่ในรูปที่ไม่มีประจุ (NH_3) และรูปที่มีประจุ (NH_4^+) ขึ้นอยู่กับ พีเอช และอุณหภูมิ แอมโมเนียในรูปที่มีประจุ คือ NH_4^+ สามารถกำจัดได้โดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน ที่พีเอชตั้งแต่ 7 ลงมา แต่ถ้าพีเอชสูงกว่า 7 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำจะค่อยๆ ลดลง ก็จะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งคล้ายคลึงกับการทดลองของ Koon และ Kaufman [4] พบว่า

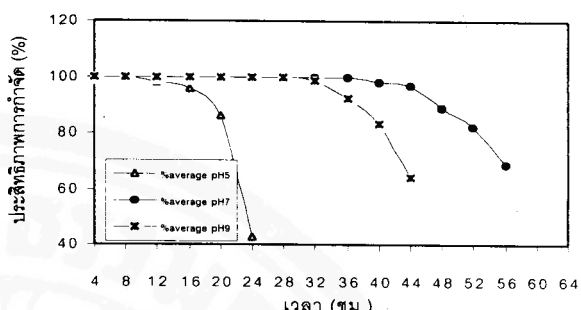
พีเอชมีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างแอมโมเนียกับ Clinoptilolite และให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่พีเอชน้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 Sheng และ Chang [5] ได้ทดลองกำจัดแอมโมเนียโดยใช้เรซิน Dowex HCR-S ชนิด Na-type ปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วงพีเอช 4 ถึงพีเอช 10 พบว่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนที่จุดสมมูล (Q_e) มีค่าคงที่เมื่อพีเอชต่ำกว่า 7 และจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น ดังนั้นช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการแลกเปลี่ยนไอออนกับแอมโมเนียควรต่ำกว่าหรือเท่ากับ 7 สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตจะดีที่ระดับพีเอช 7 หรือสูงกว่า แต่จะลดลงเมื่อพีเอชต่ำลง ทั้งนี้อธิบายได้ว่าอนินทรีย์ออร์โทฟอสเฟต จะอยู่ในรูป H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-} ในแหล่งน้ำธรรมชาติมีมากกว่าในรูป PO_4^{3-} และ H_3PO_4 สมการสมดุลระหว่างโมโนและไดวาเลนต์ ซึ่งขึ้นกับพีเอช สอดคล้องกับการทดลองของ Gregory และ Dhond [6] ซึ่งศึกษาการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนลบ 10 ชนิด กำจัดฟอสเฟตจากน้ำเสีย พบว่า ที่พีเอช 7.8 เหมาะสมที่สุด คือมี H_2PO_4^- 14% และ HPO_4^{2-} 86% ดังนั้น พีเอชที่เหมาะสมในการแลกเปลี่ยนฟอสเฟตควรจะประมาณ 7.8

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนียและฟอสเฟตต่อการแลกเปลี่ยนไอออน จากรูปที่ 3 และ 4 เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำทิ้งมีค่าต่ำกว่า จะมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียสูงกว่าและจากรูปที่ 5 และ 6 จะพบว่า เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอสเฟตในน้ำทิ้งมีค่าต่ำกว่า จะมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตสูงกว่าเช่นเดียวกัน

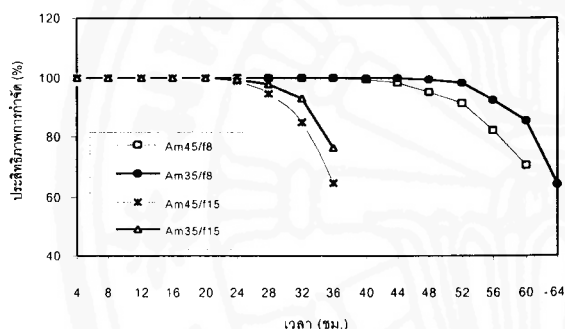
จากการพินิจรูปที่ 3-6 จะเห็นได้ว่า ถ้าความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองมีค่าที่ต่ำกว่า จะมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตสูงกว่าเล็กน้อย ในทุก ๆ ชุดการทดลอง คือ ประสิทธิภาพการกำจัดที่ระดับความเข้มข้นแอมโมเนียและฟอสเฟต เท่ากับ 35 ± 2 และ 25 ± 3 จะสูงกว่าระดับ 45 ± 2 และ 35 ± 3 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ



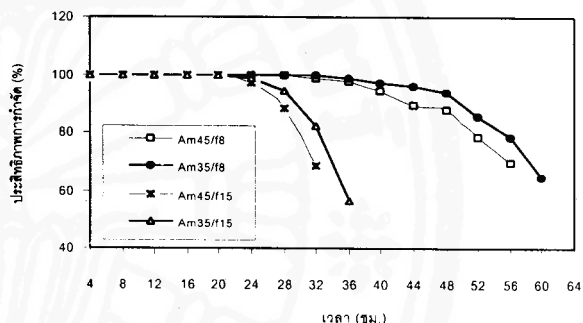
รูปที่ 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งที่พีเอชต่างกัน



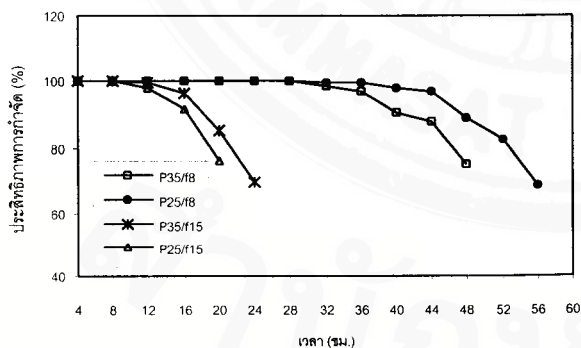
รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำทิ้งที่พีเอชต่างกัน



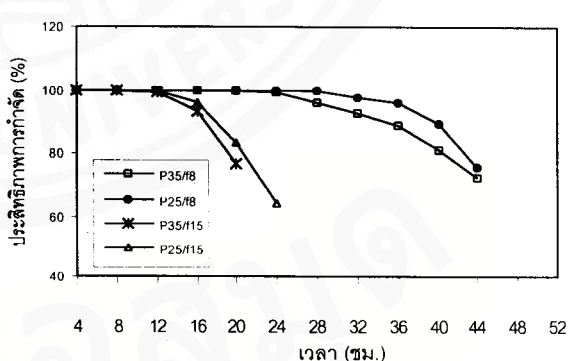
รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียเมื่อความเข้มข้นต่างกัน ที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตประมาณ 25+/- 3 มก./ล. และอัตราการไหล 8 และ 15 มล./นาที่



รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียเมื่อความเข้มข้นต่างกัน ที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตประมาณ 35+/-3 มก./ล. และอัตราการไหล 8 และ 15 มล./นาที่



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตเมื่อความเข้มข้นต่างกัน ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 35+/- 2 มก./ล. และอัตราการไหล 8 และ 15 มล./นาที่



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตเมื่อความเข้มข้นต่างกัน ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนีย 45+/- 2 มก./ล. และอัตราการไหล 8 และ 15 มล./นาที่

จากการที่เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นแล้วมีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียลดลงนั้น ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดแรงขับ (driving force) ในการที่จะเอาชนะความต้านทานการแลกเปลี่ยนมวล (mass-transfer resistance) ระหว่างสถานะสารละลายและสถานะของแข็ง ทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินมากขึ้น ไอออนอิสระของเรซินก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียจะลดลง แต่ในกรณีนี้ มีแนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัดเป็นไปในแนวทางเดียวกัน แต่แตกต่างกันไม่ชัดเจน เพราะช่วงความแตกต่างของระดับความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองต่างกัน น้อยเกินไป ประสิทธิภาพการกำจัดที่ได้จึงมีค่าใกล้เคียงกัน คล้ายคลึงกับการทดลองของ Sheng และ Chang [5] ได้ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียโดยการแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซิน ทำการทดลองแบบที่ละเท (bath experiment) ที่พีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 4 ความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนียเท่ากับ 10, 20, 40 และ 80 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนียสูงขึ้น และอีก การทดลองหนึ่งที่ Sheng และ Chang [7] ได้ศึกษาการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนจากสารละลายโดยวิธีไอโซนและแลกเปลี่ยนไอออน พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียจะแปรผกผันกับความเข้มข้นของแอมโมเนีย กล่าวคือ ถ้าน้ำเสียมีปริมาณแอมโมเนียมาก ประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงอย่างรวดเร็ว

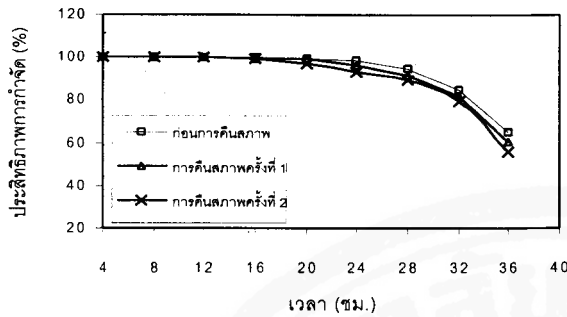
ส่วนเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอสเฟตในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นแล้วทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตลดลงนั้น อธิบายได้ว่า เมื่อความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำทิ้งเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดแรงขับ (driving force) ในการที่จะเอาชนะความต้านทานการแลกเปลี่ยนมวล (mass-transfer resistance) ระหว่างสถานะสารละลายและสถานะของแข็งทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็จะมีฟอสเฟตที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนมากขึ้นเช่นเดียวกัน เพราะเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นไอออนอิสระของเรซินก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตจะลดลง

จากการศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่เข้าสู่คอลัมน์ จากการทดลองพบว่า ที่ระดับอัตราการไหล 8

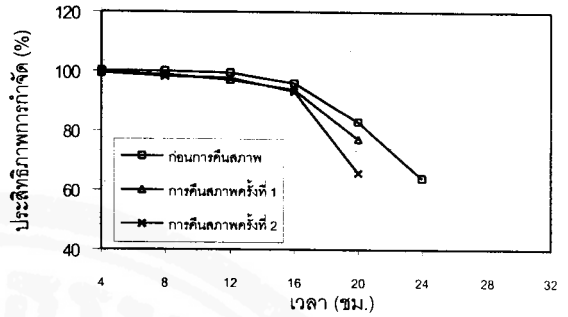
มิลลิลิตร/นาที่ จะมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตดีกว่าที่ระดับอัตราการไหล 15 มิลลิลิตร/นาที่ ในทุกชุดการทดลอง ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 3,4,5 และ 6 คือ ในทุกระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำทิ้ง ชุดการทดลองที่ใช้ระดับอัตราการไหล 8 มล./นาที่ จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตสูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้อัตราการไหล 15 มล./นาที่

ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่คอลัมน์เพิ่มขึ้น จะทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินน้อยลง เพราะในระดับอัตราการไหลของน้ำเสียที่ต่ำกว่า ไอออนของแอมโมเนียและฟอสเฟตมีเวลาพอเพียงที่จะเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนไอออนที่สมบูรณ์ดังการทดลองที่คล้ายคลึงกันของ Sheng และ Chang [7] ได้ศึกษาการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนจากสารละลายโดยวิธีไอโซนและแลกเปลี่ยนไอออน ศึกษาผลอันเนื่องมาจากอัตราการไหล พบว่าเมื่ออัตราการไหลลดลง จะมีเวลาในการแลกเปลี่ยนไอออนเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถกำจัดแอมโมเนียและไนโตรเจนเพิ่มขึ้น Booker และ Cooney [8] ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียโดยการดูดซับของซีโอไลต์ ศึกษาผลอันเนื่องมาจากอัตราการไหล พบว่า การกำจัดแอมโมเนียขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำเสียที่ผ่านคอลัมน์ เนื่องจากการต้องการให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียของน้ำทิ้งมีค่าต่ำกว่า 1 mgNH₃-N/l ถ้าอัตราการไหลต่ำกว่าจะสามารถดำเนินระบบได้นานกว่าที่อัตราการไหลสูง

จากการศึกษาผลของเรซินที่มีต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนไอออนในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟต จากรูปที่ 7 และ 8 จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตทั้งก่อนและหลังการคืนสภาพเรซินมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยประสิทธิภาพการกำจัดก่อนการคืนสภาพ จะสูงกว่าหลังการคืนสภาพครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ตามลำดับ ทั้งนี้อธิบายได้ว่า ในขั้นตอนการแลกเปลี่ยนไอออน Na⁺ ในเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกและ Cl⁻ ในเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบจะถูกแทนที่โดย NH₄⁺ และ HPO₄²⁻ ตามลำดับ จึงต้องทำการคืนสภาพด้วย NaCl เพื่อเพิ่มปริมาณ Na⁺ และ Cl⁻ ให้แก่เรซิน ในทางปฏิบัติ มักนิยมทำการคืนสภาพเพื่อเรียกอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินให้กลับคืนมาบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากประสิทธิภาพในการทำการคืนสภาพของเรซินมักมีค่าต่ำ ทำให้การเรียก



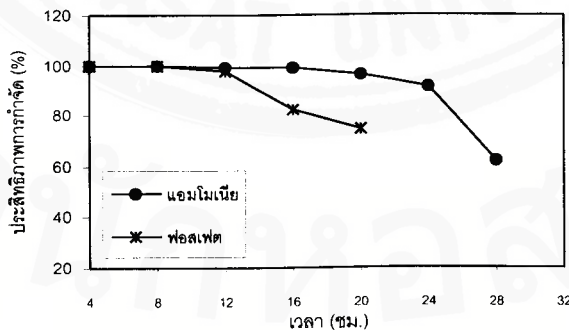
รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในน้ำทั้งก่อนและหลังการคั้นสภาพ โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียและฟอสเฟต คือ 45 ± 2 และ 25 ± 3 มก./ล ตามลำดับ และอัตราไหล 15 มล./นาที พีเอช7



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำทั้งก่อนและหลังการคั้นสภาพ โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียและฟอสเฟต 45 ± 2 และ 25 ± 3 มก./ล. ตามลำดับ และอัตราไหล 15 มล./นาที พีเอช7

อำนาจทั้งหมดที่มีอยู่กลับคืนมา ต้องสิ้นเปลืองสารคั้นสภาพปริมาณสูงมากและจัดว่าไม่คุ้มค่ากับผลตอบแทนที่ได้รับ และระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารคั้นสภาพ เช่น เกลือแอมโมเนียมความเข้มข้นประมาณ 10-15% จึงจะได้อำนาจแลกเปลี่ยนไอออนมากที่สุด การใช้ความเข้มข้นสูงเกินไป ทำให้เรซินหดตัวเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโซเดียมและคลอไรด์เข้าสู่ช่องว่างภายในเรซิน แต่ถ้าความเข้มข้นของเกลือแอมโมเนียมต่ำเกินไป ก็จะมีปริมาณ Na^+ และ Cl^- ชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เพียงพอที่จะดึงไอออนให้หลุดออกจากเรซินได้ Sheng และ Chang [5] ศึกษาถึงปริมาณของ Na^+ ที่มีผลต่อขบวนการแลกเปลี่ยนไอออน พบว่า ถ้าความเข้มข้นของ Na^+ มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 กรัม/โมล/ลิตร NH_4^+ ที่อยู่ในเรซินทั้งหมดสภาพแล้วจะถูกขับออกมาจาก

สถานะของแข็ง คือ เรซินได้สมบูรณ์ซึ่งเท่ากับความเข้มข้นของ NaCl 4.7% น้ำหนักโดยน้ำหนัก ดังนั้นสารละลาย NaCl 10% จึงเหมาะสมต่อการคั้นสภาพเรซิน ดังในการทดลองที่คล้ายคลึงกับ Sheng และ Chang [5] ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียโดยการแลกเปลี่ยนไอออนกับเรซินแบบที่ละเท ทำการคั้นสภาพโดยแช่เรซินในสารละลายเกลือแอมโมเนียม 10% ทั้งไว้ข้ามคืน ทำการคั้นสภาพรวม 4 ครั้ง มีค่าน้อยกว่า 2.5% เนื่องจากว่ายังคงมีปริมาณแอมโมเนียเหลืออยู่ในเรซินอีกเล็กน้อยหลังจากการคั้นสภาพแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตาม การนำไปใช้ประโยชน์ยังคงถือว่าพอเพียงแล้ว Liberti และ Boari [9] ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตจากน้ำเสียและนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการแลกเปลี่ยนไอออนบวกและลบ ทำการคั้นสภาพด้วย NaCl จากน้ำ



รูปที่ 9 กราฟค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำทั้งจากโรงพยาบาลราชวิถี โดยความเข้มข้นของแอมโมเนียประมาณ 46.78 มก./ล. ความเข้มข้นของฟอสเฟตประมาณ 25.35 มก./ล. และอัตราการไหล 15 มล./นาที พีเอช7

ทะเล ได้ผลผลิตคือ $MgNH_4PO_4$ และ NH_4NO_3 ซึ่งนำมาใช้เป็นปุ๋ยได้ และสามารถนำเรซินมาใช้และทำการคืนสภาพได้ถึง 500 ครั้ง Gregory และ Dhond [10] ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยการแลกเปลี่ยนไอออน ทำการคืนสภาพด้วย NaCl 20% 4 ลิตร พบว่า เป็นระดับที่ไม่เหมาะสม ควรจะเจือจางเกลือแกงให้มีความเข้มข้นน้อยลง แต่ไม่ควรต่ำกว่า 10% เพราะไม่มีความสามารถพอที่จะดึง NH_4^+ และ HPO_4^{2-} ออกจากเรซินได้

จากรูปที่ 9 ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตโดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออนในน้ำเสียจริงซึ่งเป็นน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลราชวิถี มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียและฟอสเฟตประมาณ 46.78 และ 25.35 มก./ล. โดยทดลองที่อัตราการไหล 15 มิลลิลิตร/นาที เพื่อขอ 7

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตเริ่มลดลง เมื่อเวลาที่ผ่านเรซินเพิ่มขึ้น แสดงว่าสามารถลดปริมาณแอมโมเนียและฟอสเฟตได้ดี ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณไอออนอื่นๆ เช่น ซัลเฟต แคลเซียม อยู่ในน้ำทิ้งด้วย

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำทิ้งโดยการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซิน โดยศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้น อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าคอลัมน์ ความเข้มข้นของแอมโมเนียและฟอสเฟตเริ่มต้น ตลอดจนเปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินก่อนและหลังการคืนสภาพ พบว่า พีเอชที่เหมาะสมในการแลกเปลี่ยนไอออนเพื่อกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟต คือ พีเอช 7 เนื่องจากให้ค่าการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตดีที่สุด ส่วนความเข้มข้นเริ่มต้นของแอมโมเนียและฟอสเฟต พบว่า ในกรณีแอมโมเนีย เมื่อความเข้มข้นในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียจะลดลงแต่ไม่ชัดเจนมากนัก ส่วนในกรณีของฟอสเฟตนั้น เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตจะลดลงอย่างชัดเจน ส่วนการศึกษาอัตราการไหลของน้ำทิ้งเข้าคอลัมน์ต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตจะมีค่าลดลง เมื่ออัตราการไหลของน้ำทิ้งเข้าคอลัมน์มากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตของเรซินใหม่และ

เรซินที่ผ่านการคืนสภาพแล้ว พบว่า ในกรณีแอมโมเนีย ชุดการทดลองก่อนการคืนสภาพเรซิน หลังการคืนสภาพเรซินครั้งที่1 และ ชุดทดลองหลังการคืนสภาพครั้งที่2 มีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย ร้อยละ 93.60 , 92.15 และ 90.55 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าให้ค่าใกล้เคียงกัน ในกรณีฟอสเฟต ชุดการทดลองก่อนการคืนสภาพ หลังการคืนสภาพครั้งที่1 และ หลังการคืนสภาพครั้งที่2 มีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 90.43, 85.84 และ 90.97 ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกัน น้ำที่ได้จากการคืนสภาพ แม้จะมีปริมาณไม่มากนัก แต่มีปริมาณแอมโมเนียและฟอสเฟตสูงมาก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และจากการได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำทิ้งจากโรงพยาบาล ซึ่งเป็นน้ำเสียจริง โดยมีสารปนเปื้อนหลายชนิด พบว่าสามารถลดปริมาณแอมโมเนียได้ดีถึงร้อยละ 92.56 ระยะเวลาในการจำลองถึงชั่วโมงที่ 28 และลดปริมาณฟอสเฟตได้ถึงร้อยละ 90.86 ระยะเวลาในการจำลองชั่วโมงถึงชั่วโมงที่ 20 ในช่วงการรับพีเอชที่ 7

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ, พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- [2] ชานูชัย วิฑูรปัญญากิจ, เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่องการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระบบบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร, กรุงเทพฯ, 2536.
- [3] เฉลิมศรี พละพล , ผลกระทบของน้ำเสียในกรุงเทพมหานคร ต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ, สัมมนาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมภาคต้นปีการศึกษา 2530-2531 , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2530.
- [4] Koon J.H. , Kaufman W.J. Ammonia , Removal from Municipal Wastewater by Ion Exchange. WPCF, 1975.
- [5] Sheng H.L. , Chang L.W. Ammonia Removal from Aqueous Solution by Ion Exchange , Ind Eng Chem Res. 35:553-8 p. ,1996.

- [6] Gregory J., Dhond R.V. , Anion Exchange Equilibria involving Phosphate, Sulphate and Chloride , Wat Res , 6:695-702 p., 1972.
- [7] Sheng H.L., Chang L.W., Removal of Nitrogenous Compounds from Aqueous Solution By Ozonation and Ion Exchange , Wat Res , 30(8): 1851-7 p., 1996.
- [8] Booker N.A., Coony E.L., Priestley A.J. , Ammonia Removal from Sewage using Natural Australian Zeolite , Wat Sci Tech, 17-24 p., 1996.
- [9] Liberti L., Gianfranco B., Domenico P., Roberto P. , Nutrient Removal and Recovery from Wastewater by Ion Exchange , Wat Res. 5:337-4 p., 1981.
- [10] Gregory J., Dhond R.V. , Wastewater Treatment by Ion Exchange , Wat Res , 6:681-94 p., 1972.