



การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพของโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยการตกตะกอนทำปุ๋ยไนโตรเจน และ ปุ๋ยฟอสเฟต ธนาธิป เปียงเปีย¹ และธนพล เพ็ญรัตน์^{2*}

Tertiary Treatment of Anaerobic Digested Tapioca Starch Effluent via Struvite (NH₄⁺ and PO₄⁻³ Fertilizer) Precipitation

Thanatip Piangpia¹ and Tanapon Phenrat^{2*}

¹นิสิตหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

²อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 65000

¹Environmental Engineerin Program, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

*Corresponding author. E-mail : pomphenrat@gmail.com

บทคัดย่อ

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง มีน้ำเสียจำนวนมากจากกระบวนการผลิตได้ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการย่อยแบบไร้อากาศ โดยระบบผลิตแก๊สชีวภาพขนาดใหญ่ซึ่งรองรับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตได้ถึงวันละ 4,000 ลบ.ม.แต่น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการออกมาก็ยังไม่ผ่านมาตรฐาน โดยเฉพาะฟอสฟอรัสและแอมโมเนียที่สูงมากกว่าปกติ ด้วยน้ำเสียจากการผลิตแป้งมันมักจะมี NH₄⁺ ประมาณ 100±250 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้คือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (TKj-N) เกือบ 2 เท่า และมีฟอสฟอรัสสูงถึง 80 มิลลิกรัมต่อลิตร การตกตะกอนสตรูไวท์เป็นหนึ่งวิธีในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตในน้ำเสียอุตสาหกรรม และการตกตะกอนสตรูไวท์ที่เกิดขึ้นนั้นสามารถใช้ประโยชน์ในทางเกษตรได้ การทดลองนี้จึงมีจุดประสงค์ไม่ใช่แค่การบำบัด แต่นำไปสู่การต่อยอดเพื่อเพิ่มผลผลิต การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตโดยการตกตะกอนเป็นสตรูไวท์เทียบกับการบำบัดโดยการเติมอากาศและการกรองผ่านเยื่อเลือกผ่าน จากการทดลองการเติมอากาศสามารถกำจัดแอมโมเนียได้ถึง 90% ที่พีเอช 9.5 ใน 16 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถกำจัดฟอสเฟตได้ การทดลองโดยการกรองด้วยเมมเบรนชนิดต่างๆ พบว่าเมมเบรนชนิดรีเวิร์สออสโมซิสมีประสิทธิภาพสูงที่สุดอยู่ที่ 26% แต่ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการทดลองนี้ คือ การตกตะกอนเป็นสตรูไวท์ที่อัตราส่วนโมล (Mg²⁺: NH₄⁺: PO₄³⁻) เท่ากับ 1 : 1 : 1 ที่พีเอช 9 และกวนด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียและฟอสเฟตสูงถึง 78% และ 90% ตามลำดับซึ่งเป็นประสิทธิภาพสูงที่สุดที่ได้จากการทดลอง

คำสำคัญ: สตรูไวท์, ไนโตรเจน, ฟอสเฟต

Abstract

Struvite Chemical precipitation is method for ammonia and phosphate removal in industrial waste water. Struvite precipitation can be used for agriculture, and lead to increase production. The objective of this experiment is to study the efficiency for ammonium and phosphate removal using struvite precipitation in comparison to aeration and membrane filtration. Aeration can remove the ammonium up to 90% at pH 9.5 within 16 h, but can not remove phosphate. Membrane filtration with different membrane including reverse osmosis membrane has the highest efficiency around 26%. Finally, the best from all of experimental is struvite precipitation. The best of formula incldes the precipitation at mole ratio at 1 : 1 : 1 , pH 9, and mixing with velocity about 300 rpm. The efficiency for ammonium and phosphate removal was up to 78% and 90%, respectively.

Keywords: Struvite, Nitrogen, Phosphate



บทนำ

ปัจจุบันโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับรถบรรทุกน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโดยกระบวนการ Anaerobic Digestion โดยมีระบบผลิตแก๊สชีวภาพขนาดใหญ่สำหรับรองรับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตได้ถึงวันละ 4,000 ลบ.ม. ซึ่งกระบวนการ Anaerobic Digestion อันประกอบด้วย กระบวนการ Hydrolysis, Acidogenesis, Acetogenesis, และ Methanogenesis ที่สามารถเปลี่ยนภาวะความสกปรกของน้ำเสีย (สารอินทรีย์) ในรูปของ COD ให้เป็นแก๊สชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความสกปรกเริ่มต้น $COD_0 = 11,000$ มิลลิกรัมต่อลิตร และ หลังจากการบำบัดด้วย Anaerobic Digestion 14 วันจะเหลือ COD น้ำปล่อยออก = 250 มิลลิกรัมต่อลิตร แม้ระบบบำบัดดังกล่าวจะสามารถกำจัดความสกปรกในรูปคาร์บอนได้ดีเยี่ยม (ประสิทธิภาพมากกว่า 95%) แต่น้ำที่ปล่อยออกจากระบบก็ยังไม่ผ่านมาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งมาตรฐานแอมโมเนีย (NH_4^+) ด้วยน้ำเสียจากการผลิตแอมโมเนียจะมี NH_4^+ ประมาณ 100 ± 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้คือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (TKJ-N) เกือบ 2 เท่า ในปัจจุบันโรงงานได้เก็บน้ำออกจากระบบเหล่านี้ไว้ในบ่อผึ่งขนาดใหญ่ 4 บ่อ ซึ่งก็ไม่สามารถบำบัด NH_4^+ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังจะเห็นได้จากปรากฏการณ์ Eutrophication ซึ่งหากน้ำเหล่านี้ถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติก็จะเป็นมลพิษทางน้ำ องค์ประกอบของสิ่งปฏิกลส่วนใหญ่จะประกอบด้วยน้ำ และสารอินทรีย์เป็นหลักโดยจะมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส สารอินทรีย์อื่น ๆ ประกอบอยู่เล็กน้อย นอกจากนี้ในการและกำจัดสิ่งปฏิกลเป็นระบบซึ่งใช้น้ำในการขับเคลื่อน อีกอย่างหนึ่ง คือ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ยังมีปริมาณสารอาหารเป็นจำนวนมาก เช่น ไนโตรเจน แอมโมเนีย (NH_3) และไนไตรท์ (NO_2) สามารถเป็นพิษต่อสัตว์น้ำและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในน้ำ และแอมโมเนียสามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีน ทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic) ส่วนไนไตรท์ (NH_3) สามารถปนเปื้อนในน้ำดื่ม น้ำใช้ ทำให้เกิดการเสี่ยงต่อการเกิดโรค Methanoglobinemia หรือ Blue Baby Syndrome ในเด็กทารกและเกิดความเสี่ยงในการก่อให้เกิดสารประกอบมะเร็ง Nitrosamine และ ฟอสฟอรัสซึ่งเป็นสารอาหารที่ทำให้จุลชีพต่าง ๆ ในน้ำเจริญเติบโตได้ดี จึงเกิดการขยายพันธุ์เพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ มีการใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นตามจำนวนจุลชีพที่มีอยู่ จนกระทั่งออกซิเจนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำถูกใช้จนหมด เกิดปัญหาสภาพไร้อากาศ (Anaerobic condition) ทำให้ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะไม่มีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ส่งผลให้เกิดสภาพน้ำมีสีดำ มีกลิ่นเหม็น เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เกิดการเน่าตายของสิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต นอกจากนั้นฟอสฟอรัสยังเป็นสารอาหารสำคัญที่ก่อให้เกิดสาหร่ายเซลล์เดียวในน้ำอย่างมากมาย ทั้งที่มองเห็นและมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า อย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำมีสีเขียวหรือเกิดการเน่าเสีย เรียกรวมการเกิดสภาพนี้ว่า ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) (Shin & Lee, 1977)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ประเมินความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพของโรงงานแอมโมเนียสำหรับรถบรรทุกน้ำเสีย โดยการตกตะกอนเป็น สตรูไวท์
2. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การตกตะกอนเป็น สตรูไวท์กับวิธีอื่น ๆ ที่เป็นไปได้

วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาผลของ พีเอช ต่อการกำจัดแอมโมเนียโดยการตกตะกอน สตรูไวท์

ทดลองหาค่า พีเอช ที่เหมาะสมต่อการกำจัดแอมโมเนีย โดย กำหนดความเข้มข้นแอมโมเนีย เริ่มต้นตามตัวอย่างจริงและอัตราส่วนโมล แมกนีเซียม แอมโมเนีย ฟอสเฟต ($Mg^{2+} : NH_4^+ : PO_4^{3-}$) เท่ากับ 1 : 1 : 1ปรับ พีเอช ให้ อยู่ในช่วง ค่าเริ่มต้นจนถึง 9.5 (7.5,8,8.5,9,9.5) โดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ กวนด้วยเครื่อง jar test 150 รอบต่อ นาทีเป็นเวลา 30 นาที รอดตกตะกอน 30 นาที



ศึกษาผลของอัตราส่วนโมลที่มีผลต่อการกำจัดแอมโมเนียโดยการตกตะกอนเป็น สตรูไวท์

ทดลองหาอัตราส่วนโมลที่เหมาะสมต่อการกำจัดแอมโมเนีย โดยใช้ความเข้มข้นแอมโมเนียเท่ากับ ค่าเริ่มต้น แล้วปรับอัตราส่วนโมล ($Mg^{2+}: NH_4^+: PO_4^{3-}$) ให้เท่ากับ 1:1:1 1.5:1:1 1:1.5:1 และ 1:1:1.5 ปรับ พีเอช ให้เท่ากับ 9 กวนด้วยเครื่อง jar test 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที แล้วรอดตะกอน 30 นาที

ศึกษาผลของอัตราการกวนผสม เพื่อที่จะตกตะกอนเป็น สตรูไวท์

ทดลองการหาอัตราการกวนผสมที่เหมาะสมต่อการกำจัดแอมโมเนีย โดยใช้ความเข้มข้นแอมโมเนียเท่ากับ ค่าเริ่มต้นแล้วปรับอัตราส่วนโมล ($Mg^{2+}: NH_4^+: PO_4^{3-}$) ให้เท่ากับ 1:1:1 ปรับ พีเอช ให้เท่ากับ 9 กวนด้วยเครื่อง jar test 50 150 และ 300 รอบต่อนาทีแยกกันอย่างละ 30 นาที แล้วรอดตะกอน 30 นาที

บำบัดน้ำเสียโดยวิธีอื่นนอกเหนือจากการตกตะกอนเป็น สตรูไวท์

การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียโดยวิธีการ Air stripping

ทดลองการหา พีเอช ที่เหมาะสมต่อการกำจัดแอมโมเนีย โดยการใช้อากาศเป่าใส่น้ำเสียเพื่อให้เกิดการนำพาแอมโมเนียไปสู่อากาศ ทดลองโดยใช้ความเข้มข้นแอมโมเนียเท่ากับ ค่าเริ่มต้นของน้ำตัวอย่าง คือ ≈ 100 ppmปรับ พีเอช ให้เท่ากับ 7.5 8.5 9.5 และ 10.5 ตามลำดับ ใช้ปั๊มเติมอากาศผ่านหัวฟู่ ด้วยอัตราการไหล 4.5 ลิตร/นาที บันทึกผลทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง ทำซ้ำอีก 2 รอบ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย ที่พีเอช ต่าง ๆ กัน

การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียโดยวิธี reverse osmosis

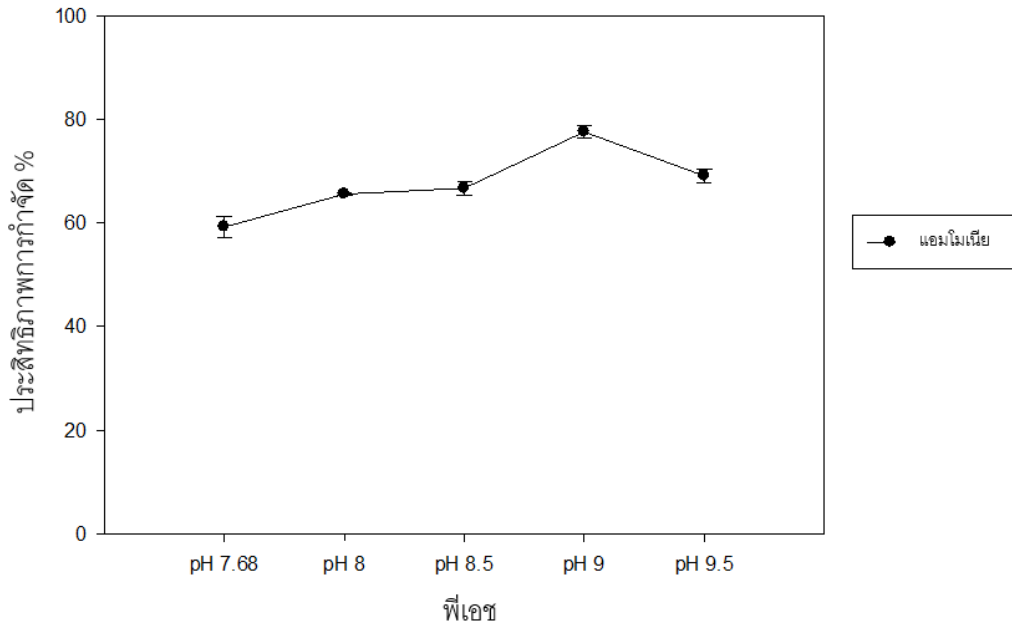
reverse osmosis เป็นการศึกษาการกำจัดแอมโมเนียโดยใช้เมมเบรนชนิดต่าง ๆ มากrong สิ่งที่ไม่พึงประสงค์ออกจากน้ำตัวอย่าง โดยการกำหนดค่าอัตราการไหลและชนิดของเมมเบรนที่เครื่อง membrane filtration ผ่านกระดาษกรองชนิด RO ไนลอน 1k 10k 100k และ1000k ที่ความดัน 60 ถึง 250 psi ด้วยอัตราการไหล 3 10 และ 20 มิลลิตรต่อนาที บันทึกผล เปรียบเทียบความสามารถของเมมเบรนแต่ละชนิดในการกำจัดแอมโมเนีย

สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดลอง

ผลการทดลอง งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้น เพื่อที่จะกำจัดปัญหา ที่เกิดจากปรากฏการณ์ ยูโทรฟิเคชั่น ซึ่งสาเหตุคาดว่าเกิดจากการสะสมของแอมโมเนียมากในแหล่งน้ำ จึงทำให้แนวทางมุ่งเน้น ไปทางประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย และมีแนวโน้มที่จะปรับปรุง เพิ่มเติมและแก้ไข วิธีการทดลอง เพื่อให้สอดคล้อง และแก้ปัญหาได้มากที่สุด ผลของ พีเอช ต่อการกำจัดแอมโมเนียโดยการตกตะกอน สตรูไวท์

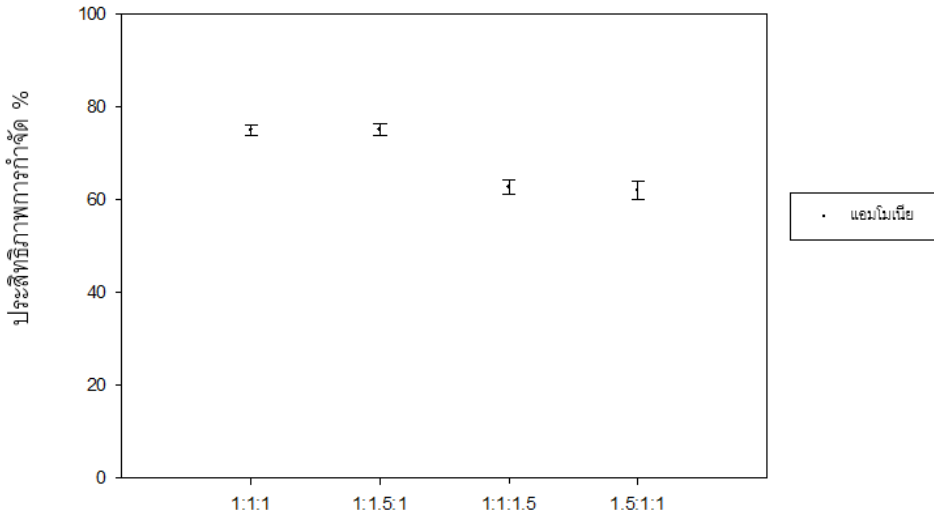
จากการทดลอง พีเอช ต่าง ๆ ที่อัตราส่วนโมล ($Mg^{2+}: NH_4^+: PO_4^{3-}$) เท่ากับ 1:1:1 เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย ผลที่ได้ทำให้เห็นแนวโน้มว่าประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียนั้น จะสูงขึ้น เมื่อ พีเอช สูงขึ้น โดยสังเกตได้จาก พีเอช 7.6 ที่ประสิทธิภาพทำได้เพียงแค่ประมาณ 60% แล้วเมื่อปรับ พีเอช เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพก็เพิ่มขึ้นด้วยเรื่อย ๆ จนถึง พีเอช เท่ากับ 9 ที่มีประสิทธิภาพเข้าใกล้ 80%แล้วหลังจากนั้น ก็ลดลงเรื่อย ๆ ดังภาพที่ 6 เพราะอย่างนั้น เราถึงรู้ลิมิตว่าที่ พีเอช 9 จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด จะไม่มากไปกว่านี้ แล้วทำให้ค่า พีเอช นี้เหมาะสมและสมควรที่สุด เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ ใช้ในกรทดลองอื่น ๆ ต่อไป



ภาพที่ 6 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย ณ พีเอช ต่างๆ โดยมีอัตราส่วนโมลเท่ากับ ($Mg^{2+} : NH_4^+ : PO_4^{3-}$) 1:1:1

ผลของอัตราส่วนโมลที่มีผลต่อการกำจัดแอมโมเนียโดยการตกตะกอนเป็น สตรูไวท์

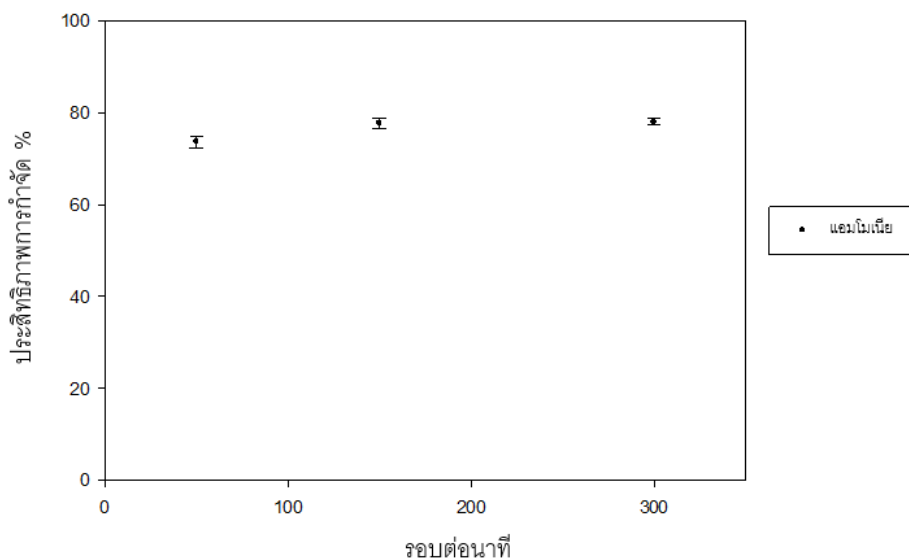
จากการทดลองครั้งก่อน เราได้ใช้ พีเอช เริ่มต้นที่ 9 แล้วมาเล่นกับอัตราส่วนโมล เพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ ที่จะเกิดขึ้น มากน้อยอย่างไรกับประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียโดยการตกตะกอนเป็นสตรูไวท์ โดยเริ่มจาก อัตราส่วนโมลเริ่มแรก 1:1:1 ส่วนที่ 1 เราได้เพิ่มปริมาณฟอสเฟต 0.5 โมลจากเดิม สิ่งที่เกิดขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียลดลง 4-6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ 2 เพิ่มปริมาณแมกนีเซียม 0.5 โมล จากเดิมทำให้ประสิทธิภาพลดลง 8-10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ 3 เพิ่มปริมาณแอมโมเนีย 0.5 โมลจากเดิมสิ่งที่เกิดขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัด แอมโมเนียลดลงมากกว่า 10% จากทั้ง 3 ส่วน เห็นได้ว่า แมกนีเซียมและฟอสเฟต สำคัญมากต่อการตกตะกอนเป็นสตรูไวท์ แต่หากมากเกินไปจะรบกวนระบบ ทำให้ประสิทธิภาพลดลง แต่ถ้าหากน้อยจนเกินไป ความสามารถในการตกตะกอนเป็นสตรูไวท์ ก็ลดน้อยลงเช่นกัน ส่วนผมเองคิดว่า แมกนีเซียมมีผลต่อ ฟอสฟอรัสมากกว่าแอมโมเนีย ดูจากกราฟที่ 7 แล้ว เห็นได้ว่า ยิ่งแมกนีเซียมมีมากเท่าไร ยิ่งมีผลต่อ ฟอสเฟตมากกว่าแอมโมเนียมากเท่านั้นหรือ อาจจะตกตะกอนร่วมในรูปแบบอื่นที่ๆ ไม่ใช่สตรูไวท์ จึงเป็นเหตุผล ที่ทำให้การตกตะกอนสตรูไวท์ ได้อย่างไม่สมบูรณ์และลดน้อยลงไปตามลำดับ



รูปภาพที่ 6 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย ณ พีเอช 9 โดยมีอัตราส่วนโมลเท่ากับ (Mg²⁺:NH₄⁺:PO₄³⁻) 1:1.5:1 , 1:1:1.5 , 1.5:1:1 , 1:1:1

ผลของอัตราการกวนผสม ต่อการตกตะกอนเป็น สตรูไวท์

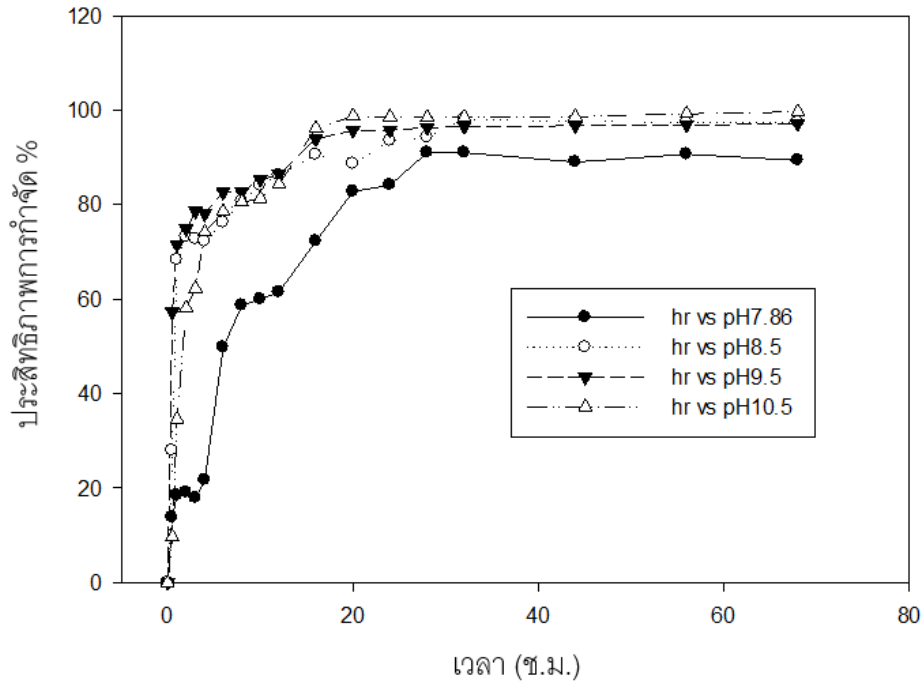
เนื่องจากน้ำเสียของเรานั้น มีความเข้มข้นของแอมโมเนียและฟอสเฟตเป็นปริมาณสูงอยู่แล้ว ง่ายต่อกระบวนการตกตะกอนเป็นสตรูไวท์ โดยเริ่มจากปรับพีเอช ให้เท่ากับ 9 แล้วเติม แมกนีเซียม เพื่อให้อัตราส่วนโมล ได้ใกล้เคียง 1:1:1 มากที่สุด จากนั้นเราจึงเร่งปฏิกิริยาด้วยการกวนผสม ดังนั้นจึงต้องศึกษา อัตราการกวนผสมที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการตกตะกอนเป็นสตรูไวท์ โดยกำหนดค่าเบื้องต้นมาทั้งหมด 3 ค่า ช้า ปานกลางและเร็วเป็นเวลา 30 นาที เพื่อความแตกต่าง แล้วพักเพื่อตกตะกอนอีก 30 นาที เพื่อสังเกต ว่าผลที่ได้ไปในทิศทางใด ดีหรือไม่ดี มีผลกระทบมากนักน้อยเพียงใด เริ่มจากส่วนที่ 1 กวนผสมความเร็วปานกลางใช้ความเร็วที่ 150 รอบต่อนาที นำมาเปรียบเทียบกับส่วนที่ 2 กวนผสมแบบช้าใช้ความเร็วรอบที่ 50 รอบต่อนาที ผลที่ได้ ประสิทธิภาพในการตกตะกอนเป็นสตรูไวท์ลดน้อยลง 3-4 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ ส่วนที่ 3 กวนผสมแบบเร็วใช้ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ผลที่ได้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 0.5 ถึง 1% จากการทดลองทั้ง 3 ส่วนเห็นได้ว่า อัตราส่วนผสม มีผลต่อการตกตะกอนเป็นสตรูไวท์อย่างมาก ยิ่งใช้อัตราส่วนผสมสูงก็ยิ่งตกตะกอนดีขึ้นมากขึ้นไปตามลำดับ



รูปภาพที่ 6.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย ณ พีเอช 9 โดยมีอัตราส่วนโมลเท่ากับ ($Mg^{2+}: NH_4^+: PO_4^{3-}$) 1:1:1 อัตราคววมผสม 50 150 300 รอบต่อนาที

การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียโดยวิธีการ เดิมอากาศ

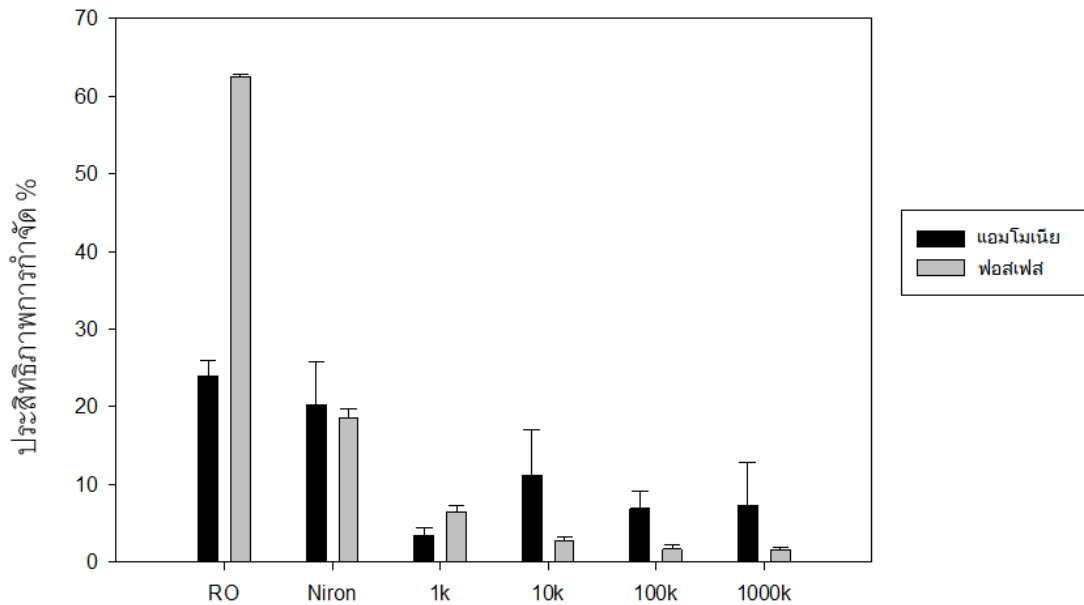
การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียโดยวิธีการเป่าอากาศนี้ เป็นวิธีที่ง่ายและประสิทธิภาพสูง รวมทั้งอุปกรณ์หาง่าย ไม่ยุ่งยาก เพียงแต่ต้องใช้เวลา โดยเริ่มจากใช้ค่า พีเอช เริ่มต้น แล้วค่อยค่อยปรับพีเอชเพิ่มขึ้น เพื่อที่จะบังคับให้แอมโมเนียเป็นแอมโมเนียอิสระ ง่ายต่อการระเหยจากนั้นทำการเร่งปฏิกิริยาโดยการใช้อากาศนำพาผ่านหัวฟู่ ด้วยความเร็ว 4.5 ลิตรต่อนาที ผลที่ได้แอมโมเนียนั้นได้ระเหยอย่างรวดเร็ว ภายใน 12 ชั่วโมงแรกและเข้าใกล้จุดยุติที่ชั่วโมงที่ 20 แล้วค่อยค่อยคงที่ จากกราฟที่ 6.4 เห็นได้ว่าอัตราเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นและแปรผันกับค่า พีเอช ในน้ำ ยิ่งพีเอชสูงมากขึ้นเท่าไรการระเหยยิ่งเกิดขึ้นเร็วมากเท่านั้นสังเกตจาก พีเอช ที่ 9.5 ครึ่งชั่วโมงแรกสามารถบำบัดได้ 57 เปอร์เซ็นต์ เข้า 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ชั่วโมงที่ 16 ทั้งหมดนี้จึงสรุปได้ว่าการกำจัดแอมโมเนียโดยวิธีการเดิมอากาศนี้ได้ผล ประสิทธิภาพค่อนข้างสูงแต่ วิธีการนี้นั้นสามารถกำจัดได้เพียงแค่สารระเหยง่ายอย่างเช่นแอมโมเนียเท่านั้นแต่หากน้ำเสียของเรานั้นประกอบด้วยสาร organic carbon และฟอสเฟตเป็นจำนวนมากยากจะจัดการต่อไป จึงไม่เหมาะต่อการประยุกต์ใช้สำหรับสถานการณ์นี้



รูปที่ 8 กราฟแสดงประสิทธิภาพและเวลาในการกำจัดแอมโมเนียของ พีเอช 7.8, 8.5, 9.5 และ 10.5 ตามลำดับ

การกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียโดยวิธี reverse osmosis

Reverse osmosis เป็น membrane ชนิดหนึ่งที่มีการใช้ที่แพร่หลาย หลักการทำงานจะใช้กรองน้ำเสียและน้ำทั่วไป โดยที่membrane ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน สก๊ตลัน สิ่งที่ไม่พึงประสงค์ มีให้ผ่านไปได้ จึงเลือกที่จะมาทำการทดสอบ การกรองสารละลายที่มี แอมโมเนียและฟอสเฟต การทดลองนี้ ใช้การเปรียบเทียบระหว่าง ชนิดของเมมเบรน และอัตราการไหลในเมมเบรนต่างๆ และผลการทดลองออกมาว่า เมมเบรนชนิดที่ดีที่สุดที่ได้นำมาทำการทดลอง ก็คือ RO รองลงมาคือ ไนลอน เปรียบเทียบจากอัตราการไหล พบว่าในอัตราที่ต่ำกว่า จะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า ดังภาพที่ 9 แต่ทั้งหมดนี้เมมเบรนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเพียงแค่ว่า 26 %-ของแอมโมเนียและ 60%ของฟอสเฟส และทุกครั้งที่ทำการบำบัด จะมีน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นสูงของสารละลายที่มาจากกระบวนการ ที่เป็นปัญหารอการบำบัดอีกต่อไป



รูปที่ 9 แสดงประสิทธิภาพของเมมเบรนชนิดต่าง

อภิปรายผล

จากการศึกษาประสิทธิภาพที่ พีเอช และ ระยะเวลาการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสีย พบว่า ค่าพีเอช ที่เหมาะสมและทำให้กำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำปฏิกลเกิดประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ พีเอชที่ 9.5 และระยะเวลาการกวนด้วย Jar test ที่เหมาะสมที่สุดคือ 30 นาที 300รอบต่อนาที ด้วยอัตราส่วนโมลเท่ากับ ($Mg^{2+}: NH_4^+ : PO_4^{3-}$) 1:1:1 เพราะเป็นค่า พีเอช ที่จะสูงที่สุดในการทดลองนี้และเป็นระยะเวลาการกวนที่นานที่สุดในการทดลองนี้ แต่ในขณะที่การตกตะกอนเป็นผลึกสตรูไวท์ที่พีเอช 7.5 จะเริ่มเกิดตกผลึกสตรูไวท์ เล็กน้อยที่ พีเอช 8.5 สามารถกำจัดแอมโมเนีย ได้ 76 % และที่ พีเอชมากกว่า 9 สามารถกำจัดฟอสเฟตได้มากกว่า 90 % จากการศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียด้วย พบว่าการกำจัดไนโตรเจนจากน้ำปฏิกลเกิดประสิทธิภาพสูงที่สุดคือที่ พีเอช 11.5 ของระบบเติมอากาศ ที่ใช้เวลาเพียง 16 ชั่วโมงในการกำจัดแอมโมเนียได้ถึง 90% แต่หากไม่กำจัดฟอสเฟตได้ ส่วนวิธีอื่นที่สามารถกำจัดได้ทั้งสองตัว คือ การกรองโดยใช้เมมเบรน RO ซึ่งสามารถทำได้เพียง 26% ในหนึ่งครั้งรอบ การตกตะกอนแผ่นสตรูไวท์ ยังคงเป็น วิธีการที่น่าสนใจที่สุด ทั้งในเรื่องประสิทธิภาพ ความสะดวก ง่ายต่อการจัดการ รวมทั้ง ประสิทธิภาพโดยรวมในการจัดการตัวต้นเหตุ ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ ยูโทรฟิเคชั่นที่เป็นปัญหาอยู่ในตอนนี้ โดยการยับยั้งตัดสารอาหารที่ช่วยในการเกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเสียไหลลงสู่ชุมชน อีกทั้งสตรูไวท์ยังมีมูลค่าทางการเกษตรใช้เป็นปุ๋ย ละลายช้าซึ่งเป็นผลดีต่อเกษตรกร ที่ต้องการลดต้นทุนทางการเกษตรแต่ ณ ตอนนี้ ยังทำประสิทธิภาพโดยรวมได้เพียง 76 % ทั้งนี้ต้องมีการพัฒนา และออกแบบการทดลองต่อหรือเพิ่มเติม เพื่อที่จะให้ได้ประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นแล้วจะได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริงต่อโรงงานและชุมชนด้วยต่อไป

การศึกษาครั้งนี้เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง พบว่า เมื่อ พีเอช ระยะเวลา และความเข้มข้นมีผลเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียและฟอสฟอรัสมาก ทั้งนี้อาจจะมีผลกระทบจากตัวแปรอื่น ๆ ที่ทำให้การแตกตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และ แมกนีเซียม ไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) ที่อยู่ในน้ำเสียเกิดปฏิกิริยารบกวนตามมา จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำปฏิกลได้น้อยลง(Nelson, 2009)



กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมภายใต้โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท จาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) (รหัสโครงการ R2558A120) และขอขอบคุณบริษัทไทยวาสตาร์ช จำกัด มหาชน สำหรับข้อมูล และ ตัวอย่างน้ำ พร้อมการสนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ดร.ปิยาภรณ์ สมสมิตร(2012) *โครงการศึกษาการเพิ่มมูลค่าน้ำ ที่ผ่านการบำบัดจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มสุกรตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง, กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ปานยจิตต์ พลับใจบุญ(2556) การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยวิธีตกตะกอนเป็นสตรูไวต์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*

ภาณุพงศ์ จิ่งแสงสถิตพร.(2548).ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนด้วยเกลือแมกนีเซียมในถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบด.วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Li, Z., X. Ren, J. Zuo, Y. Liu, E. Duan, J. Yang, P. Chen and Y. Wang. 2012. precipitation for ammonia nitrogen removal in 7-Aminocephalosporanic acid wastewater. *Molecules* 17: 2126–2139

Li, Z., X. Ren, J. Zuo, Y. Liu, E. Duan, J. Yang, P. Chen and Y. Wang. 2012. Struvite precipitation for ammonia nitrogen removal in 7-Aminocephalosporanic acid wastewater. *Molecules* 17: 2126–2139.

Liu, Y., J.H. Kwag, J.H. Kim and C. Ra. 2011. Recovery of nitrogen and phosphorus by struvite crystallization from swine wastewater. *Desalination* 277: 364–369.

P. Battistoni¹, G. Fava², P. Pavan³, A. Musacco³, F. Cecchi⁴. Phosphate removal in anaerobic liquors by struvite crystallization without addition of chemicals: Preliminary results

Ryu, H.D. and S.I. Lee. 2010. Application of struvite precipitation as a pretreatment in treating swine wastewater. *Process Biochemistry* 45: 563–572.

Shin, H.S. and S. Lee. “Removal of Nutrients in Wastewater by Using Magnesium Salt,” *Env. Tech.* 19 : 283–290, 1997.

Warmadewanthi, J.C.L. 2009. Recovery of phosphate and ammonium as struvite from semiconductor wastewater. *Separation and Purification Technology* 64: 368–373

Zhang, T., L. Ding and H. Ren. 2009. Pretreatment of ammonium removal from landfill leachate by chemical precipitation. *Journal of Hazardous Materials* 166: 911–915.

Kim, D., H.D. Ryu, M.S. Kim, J. Kim and S.L. Lee. 2007. Enhancing struvite precipitation potential for ammonia nitrogen removal in municipal landfill leachate. *Journal of Hazardous Material* 146: 81–85.

Nelson, N.O., L.M. Robert and L.H. Dean. 2003. Struvite precipitation in anaerobic swine lagoon liquid: effect of pH and Mg:P ratio and determination of rate constant. *Bioresource Technology* 89: 229–236

Miles, A. and T. G. Ellis. 2001. Struvite precipitation potential for nutrient recovery from anaerobically treated wastes. *Water Science Technology* 43(11): 259–66.