ภาคผนวก ง

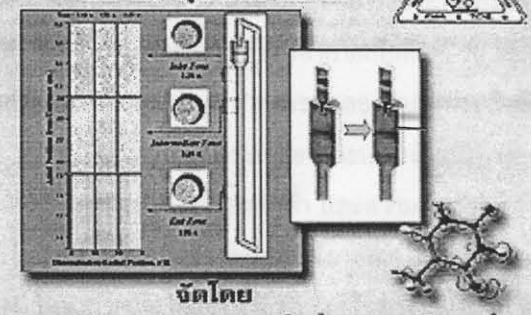
บทความทางวิชาการ

16th TICHE Conference

การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมี และเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16

โรงแรมรามา การ์เด้นส์ กรุงเทพฯ

26-27 ตุลาคม 2549



จัดโดย

สมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ร่วมกับ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การใช้น้ำซีรัมกำจัดแอมโมเนียในอากาศเสียจากโรงงานน้ำยางข้นด้วยระบบถังกวน

จันทิมา ชั่งสิริพร*[1] จรัญ บุญกาญจน์[1] และจรรยา อินทมณี[1]

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112

(juntima.c@psu.ac.th)

บทคัดย่อ

แอมโมเนีย (NH_3) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีการใช้ในปริมาณมากสำหรับการผลิตน้ำยางข้น จึงทำให้ NH_3 มีการระเหยสู่บรรยากาศในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต ซึ่งจะส่งผลกระทบและเป็นอันตรายต่อคน สัตว์ และสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก การกำจัด NH_3 ในอากาศเสียจากโรงงานน้ำยางข้นจึงมีความสำคัญ โดยทั่วไปจะมีการใช้น้ำหรือกรดเป็นสารดูดซึมในการกำจัดซึ่งจะให้ประสิทธิภาพสูงแต่มีความสิ้นเปลืองมาก สำหรับในโรงงานผลิตน้ำยางข้นซึ่งมีน้ำซีรัมเป็นน้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรด การใช้น้ำซีรัมเป็นสารดูดซึมในระบบบำบัดแทนการใช้น้ำหรือกรดจะช่วยทำให้ลดทั้งการใช้น้ำใหม่ การใช้กรด และการเกิดน้ำเสียเพิ่ม นอกจากนั้งยังช่วยลดปัญหาความเป็นกรดของน้ำซีรัมด้วยการสเทินด้วย NH_3 งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระบบการบำบัดและสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมในการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียด้วยน้ำซีรัม โดยการใช้ระบบถังกวนที่ปริมาตร 80 ลิตร ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลอง คือ pH ของน้ำซีรัมที่ 4.0–6.0 อัตราการไหลของอากาศเสียที่ 30-70 l/min ความเร็วรอบของใบกวน 0-330 rpm และความเข้มข้นของ NH_3 ในอากาศเสียที่ 100-1,400 ppm จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 สูงสุดของระบบ คือ 89% ที่ความเร็วรอบของใบกวนเป็น 132 ppm ซึ่งจากผลการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของน้ำซีรัมและอัตราการป้อนอากาศเสียต่ำ และความเร็วรอบของใบกวนเป็น 132 rpm ส่วนค่าความเข้มข้นของ NH_3 ในอากาศเสียในช่วงที่ทำการศึกษามีผลน้อยต่อประสิทธิภาพการบำบัด ซึ่งจากผลการศึกษาวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียโดยใช้น้ำซีรัมสำหรับการใช้งานในโรงงานผลิตน้ำยางข้นต่อไป

คำสำคัญ: น้ำซีรัม น้ำยางข้น แอมโมเนีย กรดซัลฟูริก อากาศเสีย

1. บทนำ

แอมโมเนีย (NH_3) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น การผลิตน้ำยางข้นมีการใช้ NH_3 ในการรักษาสภาพน้ำยางข้นให้คงตัวไม่จับตัวเป็นก้อน โดยมีการเติม NH_3 ในน้ำยางสดตั้งแต่ขั้นตอนหลังการกรีดน้ำยางสดโดยชาวสวน การเก็บรักษาน้ำยางสดก่อนทำการผลิตในโรงงาน และมีการเติม NH_3 ในน้ำยางข้นเพื่อรักษาสภาพน้ำยางก่อนนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากยางธรรมชาติ ซึ่งการระเหยของ NH_3 จะเกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของกระบวนการในโรงงานผลิตน้ำยางข้น นั่นคือ ตั้งแต่ในขั้นตอนการเตรียมสารละลาย NH_3 ขั้นตอนการปั่นแยกน้ำยางข้น การล้างดิสก์ของเครื่องเหวี่ยงแยก การไหลของน้ำยางในรางระหว่างการขนถ่ายน้ำยาง และขั้นตอนการเตรียมหางน้ำยางเพื่อการผลิตยางสกิม (Skim Latex) ซึ่งเป็นขั้นตอนการลดความเข้มข้นของแอมโมเนียที่อยู่ในหางน้ำยางก่อนการเติมกรด โดยการทำให้เกิดการไหลผ่านรางเปิดหรือการกวนด้วยใบกวน ปัญหาที่เกิดจากการปล่อย NH_3 สู่บรรยากาศเป็นปัญหาที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต (Krupa. 2003) เนื่องจาก NH_3 มีสภาพเป็นด่าง มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และสามารถถ่ายโอนไปยังที่ต่างๆ ได้หลายเส้นทาง เช่น ทางน้ำ อากาศ ดิน พืช และสัตว์ หาก NH_3 เข้าสู่ร่างกายคนและสัตว์จะทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก โดยจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ตา และปอด การสัมผัสกับ NH_3 ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 300 ppm เป็นเวลานานจะทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยหรือถึงตายได้ จึงได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อหาแนวทางการกำจัด NH_3 ที่ปนเปื้อนในอากาศ

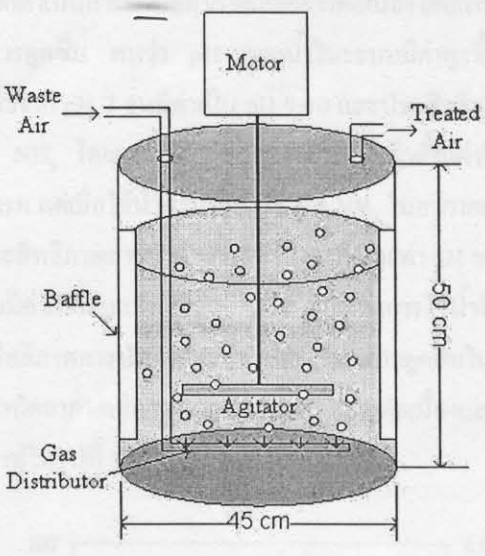
และมีการพัฒนาเทคนิคต่างๆ อย่างต่อเนื่อง (Fabrizioli et al. (2002), Chung et al. (2000), and Melse et al. (2006))

น้ำชีรัมเป็นน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตยางสกิมโดยการเติมกรดซัลฟูริกลงในหางน้ำยางด้วยปริมาณที่เหมาะสมเพื่อทำให้เนื้อยางจับตัวและแยกตัวออกจากน้ำชีรัม ซึ่งน้ำชีรัมที่ได้จะมีค่าความเป็นกรดสูง pH ประมาณ 4-6 เนื่องจากมีการตกค้างของกรดซัลฟูริกในปริมาณมาก น้ำชีรัมถูกส่งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ทำให้เกิดก๊าซ H_2S จากระบบบำบัดซึ่งจะส่งกลิ่นเหม็นเป็นอย่างมาก การทำให้น้ำชีรัมเป็นกลางก่อนส่งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียจึงเป็นสิ่งจำเป็น แนวทางที่มีความเป็นไปได้ในการลดปัญหานี้และมีประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม คือ การใช้ความเป็นกรดของน้ำชีรัมในการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียของโรงงานผลิตน้ำยางข้น จากงานวิจัยของ Chungsiriporn *et al.* (2005) ได้ทำการทดลองการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียโดยการใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเป็นสารดูดซึมและเกิดปฏิกิริยาการสเทินของ NH_3 ด้วยกรด พบว่าการใช้สารละลายกรดซัลฟูริกในช่วง pH 4-6 ในการกำจัด NH_3 จะทำให้มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึง 95-99% ดังนั้นน้ำชีรัมซึ่งมีช่วง pH เดียวกันนี้จึงน่าจะสามารถนำมาใช้ในการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียของโรงงานผลิตน้ำยางข้นได้ดี แต่ด้วยลักษณะทางกายภาพของน้ำชีรัมที่มีความหนืดสูงและมีเศษยางผสมอยู่บ้าง จึงทำให้ต้องมีการออกแบบระบบที่เหมาะสมเพื่อป้องกันปัญหาจากความหนืดและการอุดตันของเศษยางในระบบ การใช้น้ำชีรัมซึ่งเป็นของเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในการกำจัด NH_3 ในอากาศเสีย จะทำให้ช่วยลดปัญหาการปล่อย NH_3 สู่บรรยากาศ โดยไม่ต้องมีการใช้น้ำใหม่หรือมีการใช้สารละลายกรดเป็นสารดูดซึม ซึ่งจะทำให้เกิดมีน้ำเสียเพิ่มและมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น

ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น โดยการใช้น้ำชีรัมจากกระบวนการผลิตยางสกิมเป็นสารดูดซึม (Absorbent) ในระบบถังกวนที่มีการดำเนินการแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch) ซึ่งการทดลองนี้จะมุ่งเน้นการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด NH_3 ในอากาศเสีย สำหรับใช้เป็นแนวทางในการออกแบบกระบวนการที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียของโรงงานผลิตน้ำยางข้น

2. วิธีการทดลอง

การทดลองการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียของโรงงานผลิตน้ำยางข้น ดำเนินการโดยใช้น้ำชีรัมเป็นสารดูดซึมในระบบถังกวนเปรียบเทียบกับการใช้น้ำ ซึ่งน้ำชีรัมได้มาจากกระบวนการผลิตยางสกิมในโรงงานผลิตน้ำยางข้น การกำจัด NH_3 ในอากาศเสียดำเนินการโดยใช้ชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยถังกวนขนาด 80 ลิตร ใบกวนและบัฟเฟิล (Baffles) โดยมีรายละเอียดการออกแบบถังกวน คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถังกวน (T) เท่ากับ 45 cm ความสูง 50 cm ภายในถังมีบัฟเฟิลจำนวน 4 อัน มีความกว้างของบัฟเฟิลเท่ากับ T/12 ใบกวนที่ใช้ในการศึกษาเป็นแบบ Six flat blade มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (D) เท่ากับ T/3 ใบกวนถูกขับด้วยมอเตอร์ขนาด 1 hp ซึ่งควบคุมความเร็วรอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบให้มีค่าตามกำหนด การกวนจะทำเพื่อให้เกิดการผสม การดูดซึม และการเกิดปฏิกิริยาการสเทินของ NH_3 ในน้ำชีรัมอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 ชุดทดลองกำจัด NH_3 ในอากาศเสียโดยใช้น้ำชีรัมในระบบถังกวน

อากาศเสียที่ใช้ในงานวิจัย เป็นอากาศเสียจำลองที่สร้างขึ้นจากการผสมก๊าซ NH_3 จากถังบรรจุก๊าซกับอากาศอัด (Compressed Air) ให้มีความเข้มข้นของ NH_3 และมีอัตราการไหลตามต้องการ อากาศเสียจำลองจะถูกปล่อยผ่านตัวกระจาย (Distributor) ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อเจาะรูขนาดเล็กจำนวนมากติดตั้งที่ก้นถัง เพื่อทำให้อากาศเสียกระจายตัวเข้าสู่ถังกวน

อย่างทั่วถึง และเกิดการสัมผัสกับน้ำซีรัมเป็นอย่างดี การทดลองเริ่มจากการกรองน้ำซีรัมเพื่อแยกเศษยางที่ติดมาและป้อนเข้าสู่ถังกวนด้วยปริมาตร 50 ลิตร ทำการป้อนอากาศที่ปนเปื้อนด้วย NH_3 เข้าถังกวนอย่างต่อเนื่องทางด้านล่างของถังด้วยอัตราการไหลคงที่ตามค่ากำหนด อากาศจะไหลผ่านน้ำซีรัมและออกจากผิวหน้าของน้ำซีรัม ไหลออกทางด้านบนของถังที่ท่อทางออกด้านฝาบนของถัง

เมื่อการดำเนินการของระบบชุดทดลองการบำบัดอากาศเสียเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอ (Steady state) จะเริ่มทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่ทางเข้าและทางออกของถังกวนโดยใช้ Gas Sampling pump ที่ต่อเข้ากับ Gas wash bottle heads และทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของ NH_3 ด้วยวิธีฟีเนต (Phenate method) โดยใช้เครื่อง UV-Spectrophotometer ในแต่ละสภาวะการทดลองจะทำการเก็บตัวอย่างซ้ำ 2 ครั้ง โดยเก็บตัวอย่างห่างกัน 10 นาที จากผลการวิเคราะห์นำมาใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียตามสมการ (1)

$$\%\,\text{eff.} = \frac{\text{inlet conc.} - \text{outlet conc.}}{\text{inlet conc.}} \times 100 \quad \text{--- (1)}$$

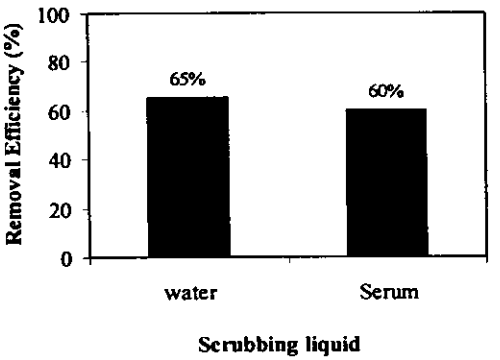
การศึกษาทดลองในขั้นต้น ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียด้วยการใช้น้ำและน้ำซีรัมเป็นสารดูดซึม เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำซีรัมในงานวิจัย หลังจากนั้นได้ทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของการใช้น้ำซีรัม โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบด้วย pH ของน้ำซีรัม อัตราการป้อนอากาศเสีย และความเร็วรอบของการกวนด้วยใบกวน ซึ่งช่วงดำเนินการของตัวแปรที่ศึกษาทดลอง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงดำเนินการทดลองการกำจัด NH_3 ในอากาศเสีย

สภาวะ	ช่วงดำเนินการ
pH ของน้ำซีรัม	pH 4-6
อัตราการป้อนอากาศเสีย	30-70 l/min
ความเร็วรอบของการกวน	0-330 rpm
ความเข้มข้นของ NH_3 ในอากาศเสีย	100-1,400 ppm

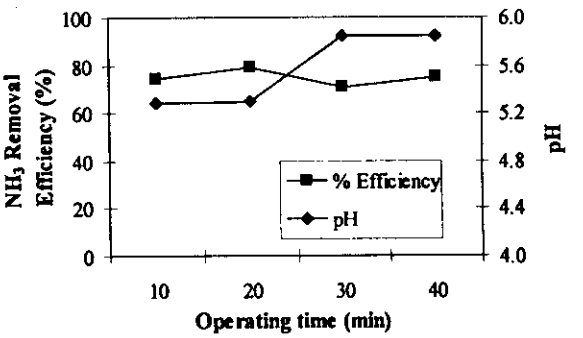
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองของงานวิจัยนี้ เป็นการใช้น้ำซีรัมซึ่งเป็นน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตยางสกิมสำหรับเป็นสารดูดซึมในการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียแทนการใช้น้ำ โดยในขั้นต้นได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียโดยการใช้น้ำกับน้ำซีรัม พบว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้น้ำจะสูงกว่าการใช้น้ำซีรัมเล็กน้อยในช่วงแรกของการดำเนินการ ดังแสดงตามกราฟในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เปรียบเทียบผลของการใช้น้ำและน้ำซีรัมต่อประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในระบบถังกวน ในช่วง 10 นาทีแรกของการดำเนินการ ที่ Air flow rate = 30 l/min และ Agitator speed = 330 rpm

เมื่อดำเนินการบำบัดอากาศเสียอย่างต่อเนื่องโดยการใช้น้ำเป็นสารดูดซึม พบว่า pH ของน้ำในระบบมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจาก pH 7 จนมีค่าเป็น pH 9-10 และประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 โดยการใช้น้ำจะลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ช่วง 20 นาทีแรก แต่เมื่อใช้น้ำซีรัมในการกำจัด NH_3 ในอากาศเสีย จะได้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ค่อนข้างคงที่ และค่า pH ของสารดูดซึมมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อย ซึ่งผลของการใช้น้ำซีรัมต่อประสิทธิภาพการบำบัดและค่า pH ของสารดูดซึมในระบบการบำบัดอากาศเสียด้วยการดำเนินการอย่างต่อเนื่องแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 3



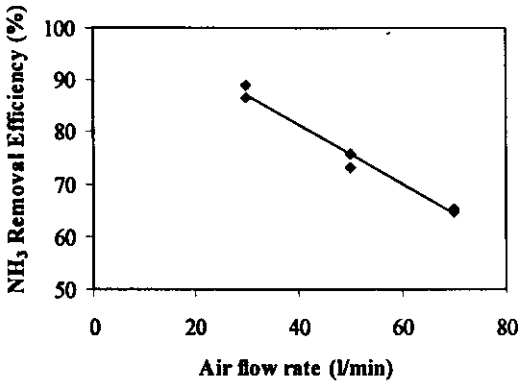
รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดNH_3 ในถังกวน ด้วยการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ที่ Agitator speed = 132 rpm, Air feed flow rate = 30 l/min

จากกราฟรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาการดำเนินการของระบบบำบัดอากาศเสีย 40 นาที จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดอากาศเสียค่อนข้างจะคงที่ และค่า pH ของน้ำซีรัมจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย คือ เพิ่มจาก pH 5.2 ไปเป็น pH 5.8 ดังนั้นถึงแม้ว่าการใช้น้ำซีรัมในระบบการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียจะให้ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าการใช้น้ำเป็นสารดูดซึมในช่วงเริ่มต้นการทดลอง แต่การใช้น้ำซีรัมจะให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่คงที่ และสามารถใช้งานในระบบการดูดซึม NH_3 ได้ในช่วงเวลาที่นานกว่า โดยในการนำระบบนี้ไปใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรมต้องมีการออกแบบทั้งขนาดของถังกวนและสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมกับอัตราการป้อนของอากาศเสีย

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการ ของการกำจัด NH_3 ในอากาศเสีย โดยการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรดำเนินการต่างๆ สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

3.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศเสียเข้าระบบถังกวนต่อประสิทธิภาพการกำจัด NH_3

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราการป้อนอากาศเสียเข้าระบบถังปฏิกรณ์ที่บรรจุด้วยน้ำซีรัม ต่อประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในอากาศเสีย จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลของอัตราการป้อนอากาศเสียต่อประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในถังกวน ที่ Agitator speed = 132 rpm

จากกราฟในรูปที่ 4 เป็นการพล็อตระหว่างอัตราการไหลของอากาศเสียกับประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศเสียจาก 30 l/min ไปเป็น 70 l/min มีผลทำให้ประสิทธิภาพของการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียลดลงถึง 24% โดยลดลงจาก 89% ไปเป็น 65% ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอัตราการป้อนของอากาศเสียเป็นตัวบ่งบอกถึงระยะเวลาที่อากาศเสียจะอยู่ในระบบ (Retention time) ซึ่งสามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ (2)

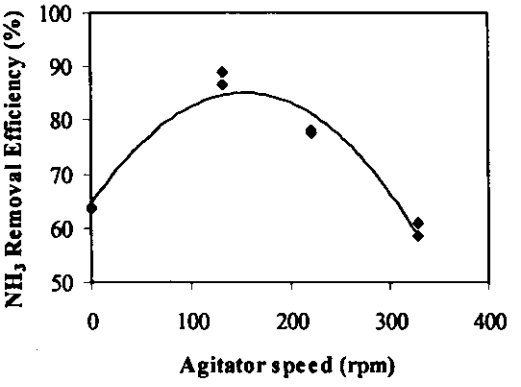
$$R_t = \frac{V}{Q} \qquad (2)$$

เมื่อ R_t เป็น Retention time (min), V เป็นปริมาตรของถังกวน (l) และ Q เป็นอัตราการไหลของอากาศเสีย (l/min)

หากค่า Retention time ของอากาศเสียในระบบต่ำจะทำให้มีเวลาในการสัมผัสของอากาศเสียกับน้ำซีรัมน้อย ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นถ้าต้องการให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงกว่า 80% จึงควรจะป้อนอากาศเสียเข้าระบบด้วยอัตราการไหลที่ต่ำกว่า 40 l/min ซึ่งจะทำให้มีค่า Retention time มากกว่า 1.25 min

3.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบของใบกวนต่อประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในอากาศเสีย

จากการศึกษาผลของความเร็วรอบของใบกวนที่ใช้กวนน้ำซีรัมในถังกวนต่อประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในอากาศเสีย สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลของความเร็วรอบของใบกวนต่อประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียด้วยถังกวน ที่ Air flow rate = 30 l/min

จากรูปที่ 5 เป็นการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของใบกวนกับประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในอากาศเสีย พบว่าเมื่อไม่มีการกวนผสมภายในถังกวน จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัด NH_3 ต่ำ เนื่องจากฟองของ

อากาศเสียไม่มีการกระจายตัวในของเหลว มีแต่เพียงการไหลในแนวขึ้นด้านบน และไม่เกิดการแตกของฟองอากาศเป็นฟองขนาดเล็ก ซึ่งจะทำให้การสัมผัสระหว่างฟองของอากาศเสียกับน้ำซีรัมเกิดขึ้นได้ไม่ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซึม NH_3 ต่ำ นั่นคือ มีประสิทธิภาพเพียง 64% และเมื่อให้มีการกวนที่ความเร็วรอบ 132 rpm จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ของระบบสูงขึ้นเป็น 89% ซึ่งที่สภาวะการกวนนี้จะทำให้เกิดการผสมและการแตกของฟองก๊าซจนทำให้การสัมผัสและการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของการกวนของระบบสูงขึ้นมากกว่า 132 rpm พบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ของระบบลดต่ำลง เนื่องจากที่สภาวะนี้ทำให้เกิดความปั่นป่วนในเฟสของเหลวมากเกินไป จนทำให้ฟองอากาศอยู่ในของเหลวในระยะสั้น และจะหลุดออกมาอยู่ในสถานะก๊าซด้านบนผิวหน้าอย่างรวดเร็ว อันจะทำให้ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างฟองอากาศเสียและน้ำซีรัมลดลง ทำให้การถ่ายโอนมวลสารระหว่างเฟสก๊าซและของเหลวเกิดขึ้นได้ไม่ดี ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของการกำจัด NH_3 ในอากาศเสีย จึงเป็นการกวนที่ความเร็วรอบ 132 rpm

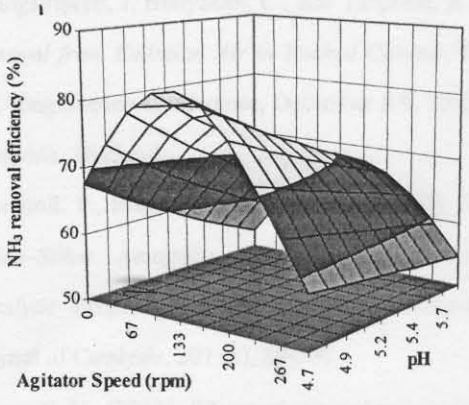
3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) และกราฟพื้นผิว (Surface Plots) สำหรับการกำจัด NH_3 ในอากาศเสีย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สร้างขึ้นโดยการใช้ข้อมูลจากการทดลองและใช้ Microsoft Excel Statistical Package ในการหาแบบจำลอง โดยแบบจำลองที่ได้จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการทดลองที่ศึกษาซึ่งเป็นตัวแปรอิสระ (Process Variable) กับประสิทธิภาพของระบบ (%Eff) ซึ่งเป็นตัวแปรตาม (Response) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการศึกษานี้แสดงได้ดังสมการที่ 3 ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.974$ และเทอมที่มีผลต่อค่า %Eff ในสมการมากที่สุด (Significant) หรือมี P Value ต่ำสุด คือ เทอมที่ 4 ซึ่งเป็นเทอมของความเร็วรอบของใบกวน

$$\%Eff = -0.00176 + 0.00281x(1) + 4.0421x10^{-7}x(2)x(3) + 1.7064x10^{-7}x(3)^2 - 9.2512x10^{-6}x(3)x(1) - 1.517x10^{-5}x(3) + 9.798x10^{-4}x(2) \quad ---(3)$$

เมื่อ x(1) คือ pH ของน้ำซีรัม, x(2) คือ อัตราการไหลของอากาศเสีย (l/min) และ x(3) คือ ความเร็วรอบของใบกวน (rpm)

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ในสมการที่ (3) สามารถนำมาพล็อตกราฟพื้นผิว (Surface Plot) ได้ดังรูปที่ 6 โดยกราฟพื้นผิวจะเป็นกราฟ 3 มิติ ที่แสดงผลของตัวแปรดำเนินการและความสัมพันธ์ของตัวแปร (Interaction Parameter) ต่อประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในอากาศเสีย โดยแนวโน้มของค่า %Eff ที่ได้จากแบบจำลองและกราฟนี้ให้ผลที่สอดคล้องกับกราฟของผลการทดลองในรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 6 กราฟพื้นผิวแสดงผลของการใช้น้ำซีรัมต่อประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียในถังกวนที่มีการป้อนอากาศเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง

จากกราฟในรูปที่ 6 แสดงถึงผลของค่า pH ของน้ำซีรัมต่อประสิทธิภาพของการกำจัด NH_3 โดยผลการทดลองของค่า pH นี้ไม่สามารถนำมาพล็อตในกราฟ 2 มิติได้ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมค่าการดำเนินการของตัวแปร pH ของน้ำซีรัมให้เป็นค่าคงที่ตามต้องการได้ เพราะตัวอย่างน้ำซีรัมที่ได้รับมาจากกระบวนการผลิตยางสกิมมีค่า pH ที่แตกต่างกันในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง ซึ่งจากรูปพบว่าที่ pH ของน้ำซีรัมมีค่าสูง จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียลดต่ำลง ดังนั้นช่วง pH ที่ทำให้เกิดการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียได้ดี คือ pH 4-5 โดยในช่วงที่ความเร็วรอบของใบกวนต่ำจะให้ผลของค่า pH ต่อประสิทธิภาพการบำบัดที่มากกว่าในขณะที่ความเร็วรอบของใบกวนสูง

สำหรับการนำระบบการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียโดยใช้น้ำซีรัมเป็นสารดูดซึม เพื่อการประยุกต์ใช้งานในโรงงาน

อุตสาหกรรม มีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบการกำจัด คือ ควรมีการออกแบบระบบถังกวนด้วยการดำเนินการแบบต่อเนื่อง (Continuous process) ในถังปฏิกรณ์แบบ Continuous Stir Tank Reactor (CSTR) โดยให้มีการไหลอย่างต่อเนื่องของทั้งกระแสอากาศเสียและน้ำซีรัมเข้าระบบ ซึ่งการดำเนินการด้วยระบบนี้จะทำให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียมีคงที่ตลอดเวลา และเป็นการดำเนินการที่ไม่ยุ่งยาก สำหรับในการออกแบบระบบบำบัดสามารถใช้ข้อมูลพื้นฐานจากผลของงานวิจัยนี้ และต้องมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมของระบบ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียด้วยการใช้สารดูดซึมเป็นน้ำซีรัมซึ่งเป็นน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตยางสกิมในโรงงานผลิตน้ำยางข้น ด้วยการดำเนินการในระบบถังกวนที่มีการดำเนินการแบบกึ่งแบทช์ สามารถสรุปได้ว่าน้ำซีรัมสามารถใช้เป็นสารดูดซึมในการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประสิทธิภาพการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียสูงสุดในการดำเนินการนี้ คือ 89% และตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพมากที่สุด คือ ความเร็วรอบของการกวนในถังกวน สภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการ คือ การป้อนอากาศเข้าระบบด้วยอัตราการป้อนอากาศที่ต่ำ นั่นคือ มีค่า Retention time ที่สูงกว่า 1.25 นาที มีค่า pH ของน้ำซีรัมที่ 4-5 และมีอัตราการกวนด้วยความเร็วรอบ 132 rpm จากประสิทธิภาพในการดำเนินการจึงอาจกล่าวได้ว่าวิธีการกำจัด NH_3 ในอากาศเสียโดยใช้น้ำซีรัมมีความเป็นไปได้สูงในการนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เครื่องมือวิเคราะห์ สาธารณูปโภค ขอขอบคุณทีมวิจัย HPRG ที่ให้ความสนับสนุนกิจกรรมวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Chung, Y.C., Huang, C., Tseng. C.P., and Pan, J.R. (2000), *Biotreatment of H_2S- and NH_3-containing waste gases by co-immobilized cells biofilter*, Chemosphere, 41 (3), 329-336.

Chungsiriporn, J. Bunyakan, C., and Thepchai, R. *Ammonia Removal from Emission Air in Packed Column*, The Fourth PSU Engineering Conference, December 8-9, 2005, Hat Yai, Songkhla, Thailand.

Fabrizioli, P., Bürgi, T., and Baiker. A. (2002), *Manganese Oxide–Silica Aerogels: Synthesis and Structural and Catalytic Properties in the Selective Oxidation of NH_3*, Journal of Catalysis, 207 (1), 88-100.

Krupa, S. V., (2003), *Effects of atmospheric ammonia (NH_3) on terrestrial vegetation: a review*, Environmental Pollution, 124 (2), 179-221.

Melse, R.W., van Wagenberg, A.V. and Mosquera, J. (2006), *Size Reduction of Ammonia Scrubbers for Pig and Poultry Houses: Use of Conditional Bypass Vent at High Air Loading Rates*, Biosystems Engineering, 95 (1), 69-82.