

การกำจัดแอมโมเนียจากน้ำ: เปรียบเทียบระหว่างการกำจัด โดยวิธีการใช้กระแสลมกับวิธีการการกวนผสม

จรัญ บุญกาญจน์¹ สมทิพย์ ด้านธีรวิชย์² จันทิมา ชั่งสิริพร³ จรรยา อินทมณี⁴
และ เสาวภา สีสะพงษ์⁵

Abstract

Bunyakan, C.¹, Danteravanich, S.², Chungsiriporn, J.¹, Intamane, J.¹, and Sritapong, S.¹
**Ammonia removal from water: The comparison between using
the wind speed and agitation method**
Songklanakarin J. Sci. Technol., 2005, 27(1) : 65-77

Ammonia removal from skim latex is an essential step in skim block production process. In general, skim latex contains about 0.4% ammonia by weight of skim latex and needs to be reduced in order to minimize acid usage during rubber coagulation step. The method used to remove ammonia from skim latex in many concentrated rubber latex plants is ammonia volatilization by agitating skim latex using a large agitator in a mixing pool. In this research, a new method to remove ammonia from water by blowing wind over the water surface was investigated. The effects of agitation speed and wind speed on overall mass

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112 Thailand ²Faculty of Technology and Management, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus, Surat Thani, 84100 Thailand.

¹Ph.D.(Chemical Engineering), ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ³วศ.ม.(วิศวกรรมเคมี), ⁴ท.บ.(เคมี), ครูชำนาญการ ⁵นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขา วิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

²Ph.D.(Urban Engineering), ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

Corresponding e-mail: bcharun@ratree.psu.ac.th

รับต้นฉบับ 13 พฤษภาคม 2547 รับลงพิมพ์ 6 สิงหาคม 2547

transfer coefficient and removal rate of ammonia were investigated in a pilot scale experiment. The result has shown that the overall mass transfer coefficient and the ammonia removal rate increase linearly with increasing Reynolds number of air and liquid. However, the ammonia removal rate by using wind speed was much higher than that given by agitation method. The wind speed method proposed in this study is then recommended for ammonia removal from skim latex. Possible ways for applying the wind speed method for skim latex production plant are also suggested. The relationship between the wind speed or Reynolds number and the mass transfer coefficient can also be used to design the system for ammonia removal from water by using wind speed.

Key words : ammonia, volatilization, mass transfer coefficient, skim latex, ammonia removal

บทคัดย่อ

จรัญ บุญกาญจน์ สมทิพย์ ด่านธีรวินิชย์ จันทิมา ชั่งสิริพร จรรยา อินทมณี และ เสาวภา สีตะพงษ์

การกำจัดแอมโมเนียจากน้ำ: เปรียบเทียบระหว่างการกำจัดโดยวิธีการใช้กระแสลมกับวิธีการการกวนผสม

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2548 27(1) : 65-77

การกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยางเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตยางสกิม โดยทั่วไปในหางน้ำยางซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางสกิม จะมีแอมโมเนียปนเปื้อนอยู่ประมาณร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักของหางน้ำยางและต้องกำจัดแอมโมเนียออกไปให้เหลือน้อยที่สุดก่อนที่จะทำการจับตัวเนื้อยางด้วยกรด เพื่อประหยัดปริมาณกรดที่ใช้ วิธีการกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยางที่ใช้กันทั่วไปวิธีหนึ่งคือการกวนหางน้ำยางด้วยใบกวน งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางใหม่ในการกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยางโดยการใช้ลมเป่าบนผิวน้ำ จากการศึกษาผลของการใช้ลมเป่าและผลของการกวนต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมและอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำในชุดทดลองขนาดต้นแบบ พบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียและอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำแปรผันตรงกับตัวเลขเรโนลด์ในทั้งสองระบบที่ศึกษา และเมื่อเปรียบเทียบค่า K_a ที่วัดได้จากทั้งสองวิธีในช่วงของความเร็วลมและช่วงของความเร็วรอบในการกวนที่ศึกษา พบว่าการใช้ลมเป่าให้ค่า $K_{ol} a$ สูงกว่าวิธีการกวนอย่างมีนัยสำคัญตลอดช่วงของความเร็วลมและความเร็วรอบที่ศึกษา จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการใช้ลมเป่าเป็นวิธีการที่กำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำได้ดีกว่าวิธีการกวน จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยางแทนวิธีการกวนได้ แนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวได้อภิปรายไว้ในบทความนี้ นอกจากนี้แล้วความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียกับความเร็วลมหรือตัวเลขเรโนลด์ที่ได้จากการศึกษานี้ ยังสามารถใช้หาอัตราการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำเนื่องจากผลของความเร็วมวลได้ และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้กระแสลมได้อีกด้วย

ยางสกิมเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่สำคัญของโรงงานผลิตน้ำยางข้น ในการผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางสด 100 ตัน จะได้น้ำยางข้น 60% จำนวน 40 ตัน และหางน้ำยางจำนวน 60 ตัน เมื่อนำหางน้ำยางดังกล่าวไปผลิตเป็นยางสกิมจะได้ยางสกิมประมาณ 4% ของหางน้ำยาง ดังนั้นการใช้หางน้ำยางสด 100 ตันในการผลิตน้ำยางข้นจะได้ยางสกิมประมาณ 2.4 ตัน (สมทิพย์ และคณะ, 2545) การผลิต

ยางสกิมทำโดยการนำหางน้ำยางที่ได้จากขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้นมาผ่านกระบวนการกำจัดแอมโมเนีย จากนั้นจึงนำไปจับตัวด้วยกรดในบ่อจับตัว ทำการเก็บเนื้อยางจากบ่อจับตัวและนำเนื้อยางไปรีดเพื่อกำจัดน้ำออก ก่อนนำมาตัดฉีกให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปอบแห้งและอัดก้อนให้ได้น้ำหนักตามต้องการก่อนบรรจุและส่งออกจำหน่ายต่อไป ขั้นตอนการกำจัดแอมโมเนียจากหางน้ำยางจัดเป็นขั้นตอน

ที่สำคัญที่จะต้องลดแอมโมเนียให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อลดปริมาณกรดที่ใช้ในการจับตัวซึ่งถือได้ว่าเป็นต้นทุนหลักที่สำคัญในการผลิตยางสกิม ปริมาณของกรดที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในหางน้ำยางจากการศึกษาโดย กัลยา และคณะ (อ้างโดย คณิตตา และอภิรักษ์, 2544) พบว่าที่ความเข้มข้นแอมโมเนียในหางน้ำยางเท่ากับ 0.4% โดยน้ำหนักของหางน้ำยาง จะต้องใช้กรดซัลฟูริกเท่ากับ 243 กก./ตันของยางสกิมแห้ง และที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางเท่ากับ 0.1% โดยน้ำหนักของหางน้ำยาง จะใช้กรดซัลฟูริกเพียง 61 กก./ตันของยางสกิมแห้ง ดังนั้นถ้าสามารถลดปริมาณของแอมโมเนียลงจาก 0.4% โดยน้ำหนักของหางน้ำยางเป็น 0.1% โดยน้ำหนักของหางน้ำยาง จะสามารถลดการใช้กรดได้ 182 กิโลกรัม/ตันของยางสกิมแห้ง โดยค่ากรดที่ใช้ประมาณ 3 บาท/กิโลกรัม ดังนั้นการลดแอมโมเนียในหางน้ำยางสกิมจาก 0.4% โดยน้ำหนักของหางน้ำยางเป็น 0.1% โดยน้ำหนักของหางน้ำยาง จะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 546 บาท/ตันของยางสกิมแห้ง สำหรับโรงงานที่มีกำลังการผลิต 100 ตันน้ำยางสด/วัน จะให้ผลผลิตยางสกิมแห้งเท่ากับ 2.4 ตัน/วัน ก็จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อกรดไปประมาณ 1,310 บาท/วัน ดังนั้นถ้าใน 1 ปีโรงงานทำงานประมาณ 200 วันก็จะประหยัดค่ากรดได้ประมาณ 262,000 บาท/ปี

ดังนั้นโรงงานที่มีการผลิตยางสกิมจึงให้ความสนใจขั้นตอนของการกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยางเป็นอย่างมาก โดยพยายามใช้วิธีการที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดเพื่อลดค่าใช้จ่ายของโรงงาน วิธีการหนึ่งที่ยั่งยืนและใช้กันมากคือการกวนหางน้ำยางเพื่อกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยางซึ่งจะมีค่าดำเนินการหลักที่สำคัญคือค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของชุดกวน ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยางโดยการกวนขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญๆ ได้แก่ ความเร็วรอบที่ใช้ในการกวน ประเภทของใบกวน และการออกแบบของถังกวน ซึ่งมีผลต่อการถ่ายโอนมวลของแอมโมเนียออกจากหางน้ำยาง อย่างไรก็ตามเนื่องจากแอมโมเนียมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ความต้านทานต่อการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำประมาณ 90% อยู่ในวัฏภาคแก๊ส (McCabe *et al.*, 1993) การเพิ่มอัตราการระเหยต้องใช้วิธีการที่สามารถลดความต้านทานใน

วัฏภาคแก๊สได้ดี การกวนซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อยู่ทั่วไปนั้นเป็นการทำให้เกิดความปั่นป่วนในวัฏภาคของเหลวเป็นหลัก จึงลดความต้านทานต่อการระเหยที่อยู่ในวัฏภาคของเหลวได้ดี แต่จะลดความต้านทานต่อการระเหยที่อยู่ในวัฏภาคแก๊สได้น้อยมาก ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำโดยวิธีการกวนน่าจะต่ำกว่าการใช้วิธีอื่นที่ทำให้เกิดความปั่นป่วนในวัฏภาคแก๊สโดยตรง เช่น การใช้กระแสน้ำวนแบบวนผิวหน้าของเหลว ซึ่งพบว่ายังไม่ได้มีการศึกษาและเปรียบเทียบผลในเรื่องนี้อย่างจริงจัง

การวิจัยนี้จึงทำการศึกษาดังกล่าวถึงอิทธิพลของกระแสน้ำต่อการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำเปรียบเทียบกับวิธีการกำจัดโดยการกวนซึ่งเป็นวิธีแบบเก่าที่ใช้กันอยู่ทั่วไป วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้คือ 1) ศึกษาผลของการกวนต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียจากน้ำ 2) ศึกษาผลของความเร็วลมต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนของแอมโมเนียจากน้ำ 3) เปรียบเทียบผลการศึกษาดังกล่าวตามวัตถุประสงค์ (1) และ (2) และเสนอวิธีการหรือกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแอมโมเนียจากหางน้ำยางในกระบวนการผลิตยางสกิม

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

การกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยกระบวนการระเหย

อัตราการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำโดยกระบวนการระเหยสามารถแสดงในเทอมของผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียและความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียในน้ำ ซึ่งได้จากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีสองฟิล์มของ Whitman (อ้างโดย Treybal, 1980) โดย จรัญ และ คณะ (2546) ดังสมการ (1)

$$R_{NH_3} = K_{OL} afC_i \quad (1)$$

เมื่อ R_{NH_3} คืออัตราการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำ (mol s^{-1}) C_i คือความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียในน้ำ (mol m^{-3}) $K_{OL}a$ คือสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวม ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) และ f คือสัดส่วนของแก๊สแอมโมเนียในน้ำ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและ pH เมื่อพิจารณาจากสมการ (1) จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียในน้ำมีค่าใดค่าหนึ่ง อัตราการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับค่า $K_{OL}a$ ดังนั้นภายใต้ภาวะการดำเนินการหรือวิธีการ

โดยที่ให้ค่า $K_{OL}a$ สูง อัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยกระบวนการระเหยภายใต้สภาวะการดำเนินการหรือด้วยวิธีการดังกล่าว ก็จะสูงกว่าอัตราการกำจัดภายใต้สภาวะการดำเนินการหรือวิธีการที่มี $K_{OL}a$ ต่ำกว่า จึงสามารถใช้ $K_{OL}a$ เป็นพารามิเตอร์ในการเปรียบเทียบในเชิงของประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยวิธีการหรือสภาวะต่างๆ ได้ กล่าวคือ ที่ความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียในน้ำเท่ากันกระบวนการหรือวิธีการใดที่มี $K_{OL}a$ สูง ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียของวิธีการหรือกระบวนการนั้นก็จะสูงกว่าของวิธีการหรือกระบวนการที่มีค่า $K_{OL}a$ ต่ำกว่า

วิธีการการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวม, $K_{OL}a$

อัตราการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำ นอกจากจะหาได้โดยวิธีการดังแสดงในสมการที่ (1) แล้วยังสามารถหาได้โดยการหาค่ามวลของแอมโมเนียรอบแหล่งน้ำที่พิจารณา ซึ่งจะหาค่าอัตราการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำดังแสดงด้วยสมการ (2) (จรัญ และคณะ, 2547)

$$R_{NH_3} = -Vf \frac{dC_t}{dt} \quad (2)$$

เมื่อ R_{NH_3} คืออัตราการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำ (mol s^{-1}) V คือปริมาตรของแหล่งน้ำที่มีแอมโมเนียละลายอยู่ (m^3) C_t คือความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียในน้ำ (mol m^{-3}) f คือสัดส่วนของแก๊สแอมโมเนียในน้ำ และ t คือเวลาที่ใช้ในการระเหยของแอมโมเนีย (s) อัตราการระเหยที่แสดงด้วยสมการ (1) และสมการ (2) ต้องเท่ากัน แทนค่า R_{NH_3} จาก (2) ใน (1) จะได้

$$-Vf \frac{dC_t}{dt} = K_{OL} a f C_t$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{dC_t}{C_t} = -\frac{K_{OL} a}{V} dt \quad (3)$$

อินทิเกรตสมการ (3) จากเวลาเริ่มต้น $t_0 = 0$ ถึงเวลาใดๆ t ที่ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำลดลงเนื่องจากการระเหยจาก C_{t_0} เป็น C_t จะได้

$$\ln \frac{C_t}{C_{t_0}} = -\frac{K_{OL} a}{V} t \quad (4)$$

จากสมการ (4) สามารถหาค่า $K_{OL} a$ ได้จากความชันของกราฟที่พล็อตระหว่าง $\ln(C_t/C_{t_0})$ กับ t คือ

$$K_{OL} a = -VS \quad (5)$$

เมื่อ S คือความชันของกราฟ (s^{-1}) ดังนั้นโดยการวัดความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมที่เวลาต่างๆ ตลอดกระบวนการระเหยภายใต้สภาวะที่สนใจ ก็จะสามารถหาค่า $K_{OL} a$ ของแอมโมเนียภายใต้สภาวะนั้นได้

อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การศึกษาการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้ลมเป่า

การศึกษากำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำโดยใช้กระแสลมเป่าบนผิวน้ำกระทำในชุดทดลองขนาดต้นแบบที่ประกอบด้วยถังระเหยขนาด ยาว 3.9 เมตร กว้าง 0.4 เมตร และสูง 0.2 เมตร ติดตั้งอยู่ที่อุโมงค์ลมรูปสี่เหลี่ยมขนาดยาว 4 เมตร กว้าง 0.5 เมตร และสูง 0.5 เมตร ที่ปลายอุโมงค์ลมติดตั้งพัดลมขนาดใหญ่ที่สามารถส่งอากาศได้สูงสุดถึง 3000 ลบ.ฟุต/นาที (CFM) โดยแอกเซอร์ของชุดการทดลองที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงใน Figure 1

ความเร็วลมเหนือผิวน้ำควบคุมโดยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนพัดลม ความเร็วลมเฉลี่ยเหนือผิวน้ำ ($U_{10\text{cm}}$) วัดที่ระยะ 10 ซม. เหนือผิวน้ำ รายละเอียดวิธีการวัดความเร็วลมเฉลี่ยบนพื้นผิวน้ำตลอดความยาวของผิวน้ำและตำแหน่งที่ทำการวัดความเร็วลมในระบบที่ใช้ทดลองนี้ ใช้วิธีที่ได้รายงานไว้ก่อนหน้านี้ (Bunyakan et al., 2001) ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระยะ 10 ซม. เหนือผิวน้ำที่ใช้ในการศึกษานี้อยู่ในช่วง 0 ถึง 4.8 เมตร/นาที อุณหภูมิของน้ำและอุณหภูมิของอากาศขณะทดลองมีค่าประมาณ $27 \pm 1^\circ\text{C}$ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการดำเนินการจริงในโรงงานอุตสาหกรรมจึงไม่มีการปรับและควบคุมค่า pH ในระหว่างการทดลอง การทดลองที่สภาวะต่างๆ จะเริ่มด้วยการเตรียมสารละลายแอมโมเนียโดยการละลายสารละลายแอมโมเนียในน้ำปริมาตร 120 ลิตร ให้มีความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียตามต้องการ (สภาวะเริ่มต้นของการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเร็วลมต่อการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้ลมเป่าแสดงใน Table 1) จากนั้นจึงปั๊มสารละลายดังกล่าวเข้าสู่ถังระเหยที่ใช้ศึกษา เปิดปั๊มหมุนเวียนของถังให้เกิดการไหลเวียนของสารละลายภายในถังเพื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมีความเข้มข้นสม่ำเสมอทั่วทั้งถัง จากนั้น

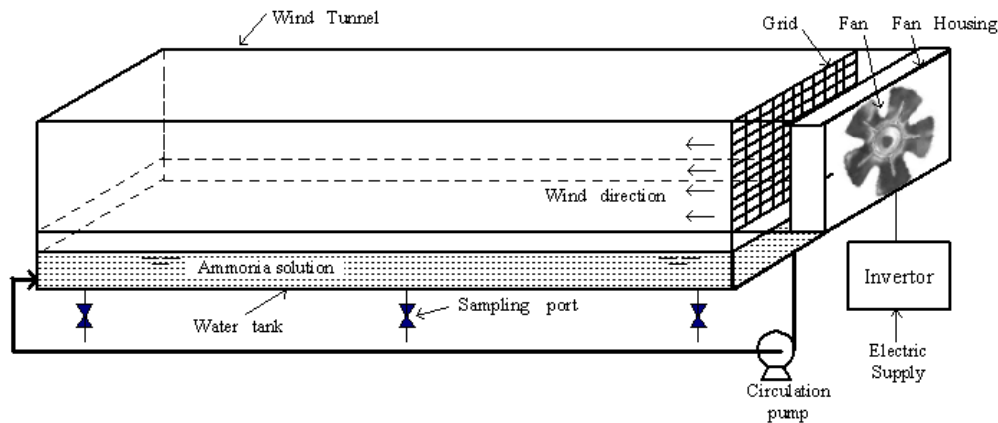


Figure 1. Schematic diagram of a wind tunnel and water tank system for ammonia volatilization study.

จึงเริ่มการทดลองโดยบันทึกเวลาเริ่มต้นและเก็บตัวอย่างสารละลายเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียที่สถานะเริ่มต้นพร้อมกับเปิดพัดลมให้มีกระแสลมเป่าไปบนผิวหน้าของแหล่งน้ำด้วยความเร็วลมที่ต้องการ ปล่อยให้แอมโมเนียระเหยจากน้ำและทำการเก็บตัวอย่างสารละลายทุก 1 ชั่วโมง เพื่อหาความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เวลาต่างๆ จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างสารละลายที่ได้ไว้ในตู้เย็นและทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียในน้ำภายในวันเดียวกันกับวันที่ทำการทดลอง การวิเคราะห์ความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียใช้วิธีมาตรฐาน Phenate method (APHA, AWWA, and WPCF, 1995) ซึ่งจะวิเคราะห์ปริมาณของแอมโมเนียรวมในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน แล้วนำข้อมูลความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียที่เปลี่ยนไป

กับเวลามาใช้หาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมตามสมการ (4) จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลของความเร็วมวลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียโดยใช้วิธีการทำการถดถอยพหุคูณ

การศึกษาการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยการกวน

การศึกษาการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยการกวนกระทำในถังกวนปริมาตร 70 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถังกวน (T) เท่ากับ 45 ซม. อัตราส่วนของส่วนประกอบต่างๆ ของถังกวนและใบกวนเทียบกับขนาดของถังกวนเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบถังกวนสำหรับสถานะการไหลเป็นแบบปั่นป่วน คือ $Z/T = 1$, $D/T = 1/3$, $B/T = 1/12$, $C/T = 1/3$ (Brodkey and Hershey, 1981) ใบกวนที่ใช้ศึกษาเป็นแบบ six-blade turbine ที่มี

Table 1. Experimental conditions for studying the influence of wind speed on ammonia removal rate from water.

Run No.	U_{10cm} (m s ⁻¹)	T_{water} (°C)	Initial concentration of Ammonia in water (mg L ⁻¹)
1	0.00	27±1	399
2	0.46	27±1	342
3	1.52	27±1	379
4	2.58	27±1	492
5	3.37	27±1	514
6	4.21	27±1	433
7	4.80	27±1	415

อัตราส่วน $W/D = 1/5$ เมื่อ Z คือความลึกของน้ำในถัง กวน T คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง กวน D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน B คือความกว้างของแผ่นกั้น (baffle) W คือความกว้างของใบกวน และ C คือระยะที่วัดจากก้นถังถึงแนวกึ่งกลางของความกว้างของใบกวน การขับเคลื่อนใบกวนใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า (HP) ควบคุมและปรับความเร็วรอบของใบกวนโดยใช้อินเวอร์เตอร์ ไดอะแกรมแสดงลักษณะของถังกวนที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงดัง Figure 2

การทดลองเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยการกวน จะเริ่มด้วยการเตรียมสารละลายแอมโมเนียในน้ำโดยการผสมสารละลายแอมโมเนีย (ammonia solution 15% by weight) ลงในน้ำปริมาตร 50 ลิตร ให้มีความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียตามต้องการ ความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียที่สภาวะเริ่มต้นอยู่ในช่วง 326-425 มก./ลิตร pH เริ่มต้นอยู่ในช่วง 10-10.5 อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ $27 \pm 1^\circ\text{C}$ ความเร็วรอบของการกวนที่ศึกษาอยู่ในช่วง 0-400 rpm เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการดำเนินการจริงในโรงงานอุตสาหกรรมจึงไม่มีการปรับและควบคุมค่า pH ในระหว่างการทดลอง สภาวะเริ่มต้นของการทดลองของแต่ละการทดลองแสดงไว้ใน Table 2 การทดลองเริ่มต้นโดยเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาเริ่มต้น จากนั้นจึงกวนสารละลายแอมโมเนียด้วยความเร็ว

รอบที่กำหนด และเก็บตัวอย่างสารละลายที่เวลาต่างๆ ทุก 2 ชั่วโมง ตลอดระยะเวลาการทดลอง 20 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียในตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ที่เวลาต่างๆ โดยใช้วิธี Phenate method (APHA, AWWA, and WPCF, 1995) ซึ่งจะวิเคราะห์ปริมาณของแอมโมเนียรวมในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน นำข้อมูลความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เปลี่ยนไปกับเวลามาใช้หาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมในวัฏภาคของเหลวของแอมโมเนียตามวิธีการที่ได้กล่าวถึงในตอนต้น จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลของความเร็วยรอบในเทอมของตัวเลขเรโนลด์ต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมในวัฏภาคของเหลวของแอมโมเนีย และวิเคราะห์ผลที่ได้เปรียบเทียบกับวิธีการกำจัดโดยใช้ลมเป่า

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของความเร็วมวลและผลของการกวนต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนีย $K_{OL} a$

สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนีย ($K_{OL} a$) ที่สภาวะการทดลองต่างๆ หาค่าได้จากการวัดความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียในน้ำที่เวลาต่างๆ แล้วทำการแปลผลจากข้อมูลของความเข้มข้นเป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวม โดยใช้ทฤษฎีและสมมุติฐานที่อธิบาย

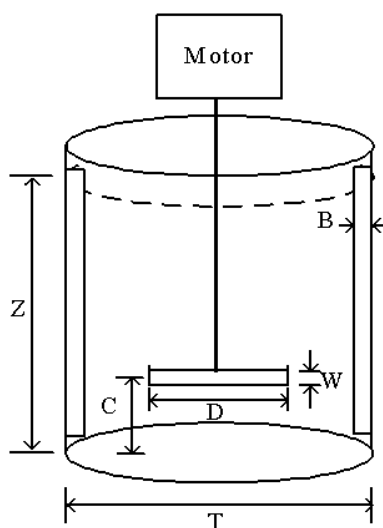


Figure 2. Schematic diagram of an agitated tank used for ammonia volatilization study.

Table 2. Experimental conditions for studying the influence of agitation speed on ammonia removal rate from water.

Run No.	Agitation speed (RPM)	T _{water} (°C)	Initial concentration of ammonia in water (mg L ⁻¹)
1	0	27±1	384
2	50	27±1	326
3	150	27±1	371
4	250	27±1	412
5	400	27±1	425

ด้วยสมการ (1) ถึงสมการ (5) Figure 3 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของกราฟที่พล็อตระหว่าง $\ln(C_t/C_{t_0})$ กับ t สำหรับการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำภายใต้สภาวะที่มีกระแสลมพัดผ่านผิวน้ำด้วยความเร็วต่างๆ จาก Figure 3 ความชันของกราฟ $\ln(C_t/C_{t_0})$ กับ t ของการทดลองที่ $U_{10cm} = 2.58 \text{ ms}^{-1}$ คือ $-5.86 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ในขณะที่ปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียในถังระเหยเท่ากับ 0.12 m^3 ดังนั้น $K_{OL}a$ ภายใต้สภาวะดังกล่าวซึ่งคำนวณจากสมการ (5) คือ $7.03 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ การหาค่า $K_{OL}a$ ที่สภาวะการทดลองอื่นๆ ทั้งในกรณีของการระเหยโดยใช้ลมเป่าและโดยการกวนใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเช่นเดียวกันกับที่ได้แสดงข้างต้น โดยแสดงค่า $K_{OL}a$ ของแอมโมเนียที่ความเร็วลมและความเร็วรอบในการกวนต่างๆ ไว้ใน Table 3 และ Table 4 ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่าง $K_{OL}a$ กับความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 10 ซม. เหนือผิวน้ำ (U_{10cm}) และความสัมพันธ์ระหว่าง $K_{OL}a$ กับความเร็วรอบในการกวนแสดงในลักษณะของกราฟได้ดัง Figure 4 และ Figure 5 ตามลำดับ

จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่า $K_{OL}a$ เพิ่มขึ้นกับความเร็วลมและความเร็วรอบในการกวนตลอดช่วงที่ศึกษา และพบว่าขนาดของค่า $K_{OL}a$ ที่ได้จากการกวนทั้งสองมีค่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากทั้งสองวิธีมีกลไกที่ทำให้เกิดความปั่นป่วนในระบบที่แตกต่างกันคือ กระแสลมเป่าไปบนผิวน้ำทำให้เกิดความปั่นป่วนในวัฏภาคแก๊สที่อยู่เหนือผิวของของเหลวเป็นหลัก ในขณะที่การกวนเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดความปั่นป่วนในวัฏภาคของเหลว ระดับของความปั่นป่วนในวัฏภาคใดๆ สามารถแสดงได้ด้วยขนาดตัวเลขเรโนลด์ ความปั่นป่วนในวัฏภาคใดๆ จะ

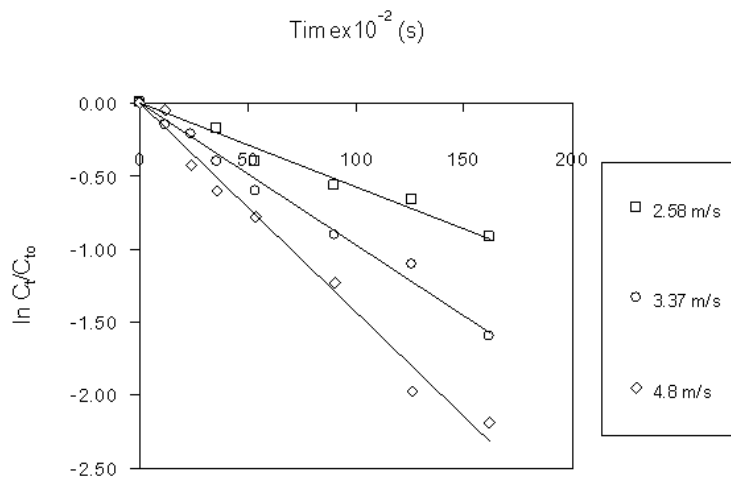


Figure 3. Typical plot of $\ln(C_t/C_{t_0})$ versus t for ammonia removal at different wind speed. (water temperature = $27 \pm 1^\circ\text{C}$)

Table 3. K_{OL} a of ammonia at various wind speed at water temperature of $27\pm 1^\circ\text{C}$

Run No	U_{10cm} (m s ⁻¹)	$K_{OL} a \times 10^6$ (m ³ /s)
1	0.00	1.00
2	0.46	3.53
3	1.52	6.17
4	2.58	7.03
5	3.37	11.59
6	4.21	12.97
7	4.80	17.14

สูงขึ้นตามตัวเลขเรโนลด์ที่สูงขึ้น สำหรับกรณีที่ใช้ลมเป่าไปบนผิวน้ำตัวเลขเรโนลด์ที่เหมาะสมที่จะอธิบายถึงลักษณะของความปั่นป่วนของวัฏภาคแก๊สที่อยู่เหนือผิวน้ำที่ระดับความสูงที่ทำให้การวัดความเร็วลมตลอดระยะความยาวของผิวน้ำแสดงได้ตั้งสมการ (6)

$$R_{e10cm} = \frac{\rho_{air} U_{10cm} L}{\mu_{air}} \quad (6)$$

เมื่อ R_{e10cm} = เลขเรโนลด์เนื่องจากความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 10 ซม.เหนือผิวน้ำ, ไม่มีหน่วย

U_{10cm} = ความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ระยะ 10 ซม.เหนือผิวน้ำตลอดความยาวของผิวน้ำ, ms⁻¹,

L = ความยาวของผิวน้ำ, m,

μ_{air} = ความหนืดของอากาศ, kg m⁻¹s⁻¹, และ

ρ_{air} = ความหนาแน่นของอากาศ, kg m⁻³

ในขณะที่ระดับของความปั่นป่วนในวัฏภาคของเหลวเนื่องจากการกวนสามารถแสดงด้วยขนาดของตัวเลขเรโนลด์ที่สามารถคำนวณได้จากสมการ (7) (Brodkey and Hershey, 1988)

$$R_e = \frac{\rho_{water} ND^2}{\mu_{water}} \quad (7)$$

เมื่อ R_e = ตัวเลขเรโนลด์เนื่องจากความเร็วรอบในการกวน, ไม่มีหน่วย,

N = ความเร็วรอบในการกวน, rps,

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน, m,

μ_{water} = ความหนืดของน้ำ, kg m⁻¹s⁻¹, และ

ρ_{water} = ความหนาแน่นของน้ำ, kg m⁻³

Table 4. K_{OL} a of ammonia at various agitation speed at water temperature of $27\pm 1^\circ\text{C}$

Run No	Agitation speed (RPM)	$K_{OL} a \times 10^6$ (m ³ /s)
1	0	0.23
2	50	0.25
3	150	0.49
4	250	1.01
5	400	1.50

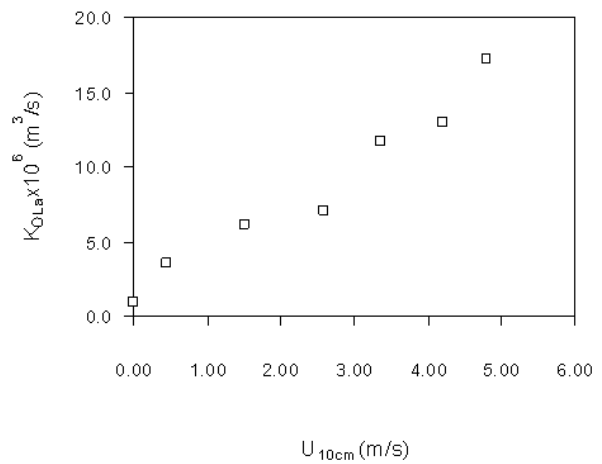


Figure 4. The effect of wind speed on mass transfer coefficient of ammonia at water temperature of $27\pm 1^\circ\text{C}$

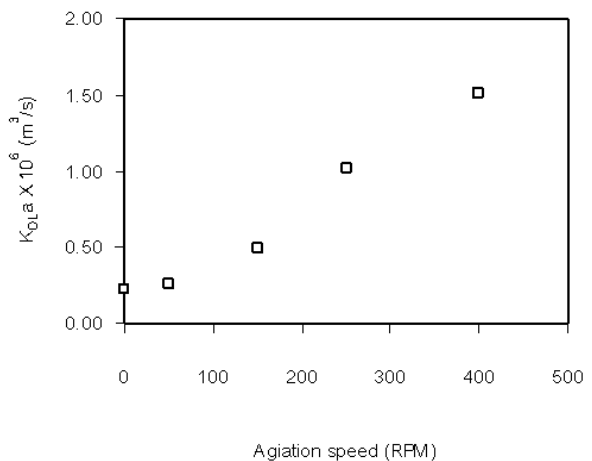


Figure 5. The effect of agitation speed on mass transfer coefficient of ammonia at water temperature of $27\pm 1^\circ\text{C}$

Table 5. The overall mass transfer coefficient of ammonia at different R_{e10cm} .

RUN No.	U_{10cm} (m s ⁻¹)	ρ_{air} (kg m ⁻³) (at 27°C)	μ_{air} (kg m ⁻¹ s ⁻¹) (at 27°C)	L (m)	$R_{e10cm} \times 10^{-4}$ (dimensionless)	$K_{OL} a \times 10^6$ (m ³ /s)
1	0.00	1.177	1.8×10^{-5}	3.9	0.00	1.00
2	0.46	1.177	1.8×10^{-5}	3.9	11.73	3.53
3	1.52	1.177	1.8×10^{-5}	3.9	38.76	6.17
4	2.58	1.177	1.8×10^{-5}	3.9	65.79	7.03
5	3.37	1.177	1.8×10^{-5}	3.9	85.94	11.59
6	4.21	1.177	1.8×10^{-5}	3.9	107.36	12.97
7	4.80	1.177	1.8×10^{-5}	3.9	122.40	17.14

Table 6. The overall mass transfer coefficient of ammonia at different R_e .

RUN No.	Agitation speed (RPM)	ρ_{water} (kg m ⁻³)	μ_{water} (kg m ⁻¹ s ⁻¹) (at 27°C)	D (m) (at 27°C)	$R_e \times 10^{-4}$ (dimensionless)	$K_{OL} a \times 10^6$ (m ³ /s)
1	0	997	8.88×10^{-4}	0.15	0.00	0.23
2	50	997	8.88×10^{-4}	0.15	2.11	0.25
3	150	997	8.88×10^{-4}	0.15	6.34	0.49
4	250	997	8.88×10^{-4}	0.15	10.56	1.01
5	400	997	8.88×10^{-4}	0.15	16.90	1.50

ตัวเลขเรโนลด์ต์เนื่องจากกระแสลม (R_{e10cm}) และตัวเลขเรโนลด์ต์เนื่องจากความเร็วรอบในการกวน (R_e) สามารถคำนวณได้ทันทีโดยใช้ข้อมูลความหนาแน่นและความหนืดของอากาศและน้ำที่อุณหภูมิ 27°C ร่วมกับข้อมูลอื่นๆ ของระบบที่ศึกษา ได้แก่ ความเร็วลม ความยาวของพื้นผิวน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน และความเร็วรอบที่ใช้ในการกวน ค่า R_{e10cm} และ R_e ที่คำนวณได้จากทั้งสองกรณีแสดงไว้พร้อมกับข้อมูลอื่นๆ ของแต่ละการทดลองใน Table 5 และ Table 6

จาก Table 5 เมื่อนำข้อมูล $K_{OL} a$ และ R_{e10cm} มาแสดงในเชิงของกราฟจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $K_{OL} a$ กับดังแสดงใน Figure 6 และเมื่อทำพหุคูณถดถอยบนชุดข้อมูลดังกล่าวพบว่ามีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นตามสมการ (8) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.96

$$K_{OL} a = 1.18 \times 10^{-11} R_{e10cm} + 1.19 \times 10^{-6} \quad (8)$$

จาก Table 6 เมื่อนำข้อมูล $K_{OL} a$ และ R_e มาดำเนินการในลักษณะเดียวกันจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $K_{OL} a$ กับ R_e ดังแสดงใน Figure 7 และเมื่อทำพหุคูณ

ถดถอยบนชุดข้อมูลดังกล่าวพบว่ามีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นเช่นกันดังแสดงในสมการ (9) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.97

$$K_{OL} a = 7.99 \times 10^{-12} R_e + 1.25 \times 10^{-7} \quad (9)$$

จากสมการ (8) และ (9) แม้ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง $K_{OL} a$ กับตัวเลขเรโนลด์ต์ของทั้งสองกรณีมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้นที่มีค่า R^2 อยู่ในระดับสูงเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาจากความชันของสมการเส้นตรงที่แสดงในสมการ (8) และสมการ (9) พบว่าความชันของกรณีที่ใช้ลมเป่ามีค่าเท่ากับ $1.18 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ในขณะที่ความชันของสมการเส้นตรงที่ได้จากกรณีที่ใช้วิธีการกวนมีค่าเพียง $7.99 \times 10^{-12} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ แสดงให้เห็นว่าความปั่นป่วนในวัฏภาคแก๊สมีผลทำให้แอมโมเนียระเหยจากน้ำได้เร็วกว่าความปั่นป่วนในของเหลว ผลการศึกษานี้สนับสนุนความจริงที่ว่ากระบวนการการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำถูกควบคุมโดยฟิล์มแก๊สที่อยู่เหนือผิวสัมผัสระหว่างผิวน้ำกับอากาศ การเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวลของแอมโมเนียจากน้ำสู่อากาศภายใต้สภาวะดังกล่าวจะต้องลดความหนาของฟิล์มแก๊สลง ซึ่งวิธีการที่จะลดฟิล์มแก๊สได้โดยตรงคือการทำให้เกิดความปั่นป่วน

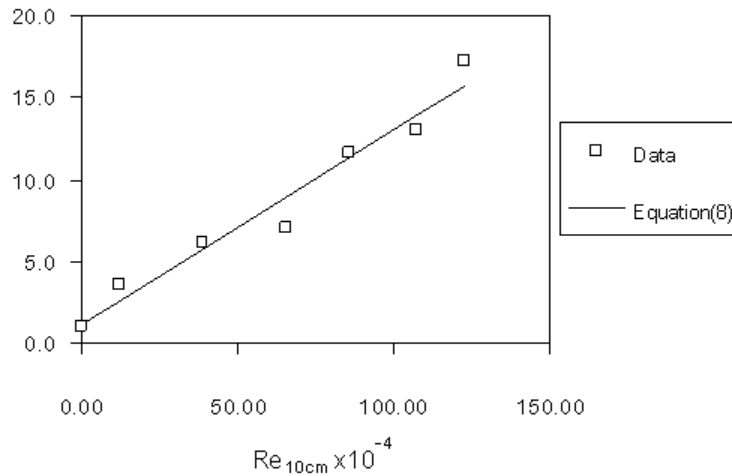


Figure 6. The K_{OL} of ammonia as a function of Re_{e10cm} at water temperature of $27 \pm 1^\circ C$

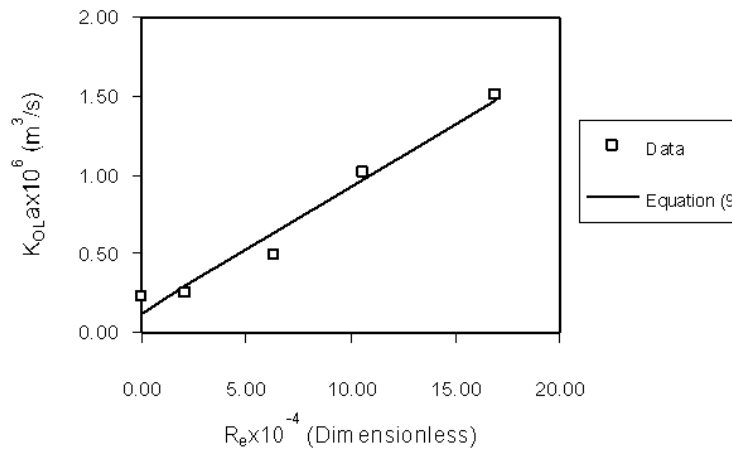


Figure 7. The K_{OL} of ammonia as a function of Re_e at water temperature of $27 \pm 1^\circ C$

ของชั้นอากาศ การใช้กระแสลมเป่าบนผิวน้ำในการศึกษา นี้เป็นการทำให้เกิดความปั่นป่วนในชั้นของอากาศโดยตรง ซึ่ง จะส่งผลให้ความหนาของฟิล์มแก๊สที่ปกคลุมอยู่ลดลงใน ทิศทางที่สอดคล้องกับความปั่นป่วนของอากาศที่เพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนการเพิ่มของ K_{OL} ต่อการเพิ่มของตัวเลข เรโนลด์สูงกว่าในกรณีของการกวนซึ่งเป็นการลดขนาด ของฟิล์มแก๊สโดยทางอ้อม กล่าวคือ สำหรับการกวนนั้น พลังงานกลจากใบกวนจะถูกถ่ายโอนไปยังวัฏภาคของเหลว ก่อน ดังนั้นพลังงานส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการทำให้เกิดความ ปั่นป่วนในวัฏภาคของเหลว และมีพลังงานเพียงบางส่วน

เท่านั้นที่จะถูกถ่ายโอนต่อไปยังฟิล์มแก๊สที่อยู่ติดกับผิว ของเหลว ซึ่งก็จะนำไปสู่ความปั่นป่วนในวัฏภาคแก๊สและ ทำให้เกิดการลดขนาดของฟิล์มแก๊สได้ในที่สุด กระบวนการ ดังกล่าวจัดได้ว่าเป็นกระบวนการการลดขนาดของฟิล์ม แก๊สทางอ้อมที่ต้องมีถ่ายโอนพลังงานในหลายขั้นตอน เนื่องจากมีพลังงานเพียงบางส่วนที่ถูกถ่ายโอนจากวัฏภาค ของเหลวไปยังฟิล์มแก๊ส ดังนั้นการลดลงของฟิล์มแก๊สจึง ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับพลังงานที่ใส่เข้าไปในวัฏภาค ของเหลว สัดส่วนการเพิ่มของ K_{OL} ต่อการเพิ่มของตัวเลข เรโนลด์ของของเหลวจึงต่ำและต่ำกว่าของกรณีที่ใช้พลังงาน

เข้าไปยังวัฏภาคแก๊สโดยใช้กระแสลมเป่าโดยตรง

เปรียบเทียบอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้
กระแสลมเป่าและโดยการกวน

อัตราการกำจัดแอมโมเนียสามารถคำนวณได้จาก
สมการ (1) โดยการแทนค่า $K_{OL}a$ จากสมการ (8) และ (9)
ลงในสมการ (1) จะได้อัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำ
โดยใช้ลมเป่าและโดยการกวนดังแสดงด้วยสมการ (10)
และ (11) ตามลำดับ

$$R_{NH_3}(wind) = (1.18 \times 10^{-11} R_{e10cm} + 1.19 \times 10^{-6}) f C_i \quad (10)$$

$$R_{NH_3}(agitated) = (7.99 \times 10^{-12} R_e + 1.25 \times 10^{-7}) f C_i \quad (11)$$

เมื่อ f คือสัดส่วนของแอมโมเนียที่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย
อิสระในน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับ pKa และ pH ดังสมการ (12)

$$f = \frac{1}{1 + 10^{pKa - pH}} \quad (12)$$

และ pKa คือค่าคงที่สมดุลของกรดซึ่งมีความสัมพันธ์กับ
อุณหภูมิตามสมการ (13) (Aquatext, 2003)

$$pKa = 0.09018 + \frac{2729.92}{T + 273} \quad (13)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ ($^{\circ}C$) รวมสมการ (12) และ (13) จะได้

$$f = \frac{1}{1 + 10^{(0.09018 + \frac{2729.92}{T + 273} - pH)}} \quad (14)$$

รวมสมการ (14) กับ สมการ (10) จะได้สมการที่สามารถ
ใช้ประมาณอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้
กระแสลมเป่าบนผิวหน้าของน้ำดังแสดงด้วยสมการ (15)

$$R_{NH_3}(wind) = (1.18 \times 10^{-11} R_{e10cm} + 1.19 \times 10^{-6}) \left(\frac{1}{1 + 10^{(0.09018 + \frac{2729.92}{T + 273} - pH)}} \right) C_i \quad (15)$$

ในทำนองเดียวกันโดยการแทนค่า f จากสมการที่ (14) ลง
ในสมการ (11) จะได้อัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดย
การกวนดังแสดงด้วยสมการ (16)

$$R_{NH_3}(agitated) = (7.99 \times 10^{-12} R_e + 1.25 \times 10^{-7}) \left(\frac{1}{1 + 10^{(0.09018 + \frac{2729.92}{T + 273} - pH)}} \right) C_i \quad (16)$$

สมการที่ (15) และ (16) สามารถใช้คำนวณอัตราการ
กำจัดแอมโมเนียจากน้ำ ที่อุณหภูมิ pH และตัวเลขเรโนลด์
ใดๆ ที่สนใจได้ จากสมการที่ (15) และ (16) ถ้านำไป
ประยุกต์ใช้กับแหล่งน้ำที่สภาวะเดียวกัน จะได้ว่า

$$\frac{R_{NH_3}(wind)}{R_{NH_3}(agitated)} = \frac{1.18 \times 10^{-11} R_{e10cm} + 1.19 \times 10^{-6}}{7.99 \times 10^{-12} R_e + 1.25 \times 10^{-7}} = \frac{K_{OL}a(wind)}{K_{OL}a(agitated)} \quad (17)$$

จากสมการที่ (17) การเปรียบเทียบอัตราการกำจัดแอม-
โมเนียระหว่างวิธีการใช้ลมเป่ากับวิธีการกวนเมื่อใช้กับ
แหล่งน้ำเดียวกันจึงสามารถเปรียบเทียบได้โดยพิจารณา
เปรียบเทียบจากค่า $K_{OL}a$ ค่า $K_{OL}a$ ของแอมโมเนีย
สำหรับการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำโดยวิธีการใช้ลม
เป่าเปรียบเทียบกับวิธีการกวน ดังแสดงใน Table 7

Table 7. The comparison between $K_{OL}a$ for volatilization of ammonia by using wind speed and agitation methods.

Wind			Agitation		
Wind Speed, U_{10cm} (m/s)	$R_{e10cm} \times 10^{-4}$ (-)	$K_{OL}a \times 10^6$ (m^3/s)	Agitation speed (RPM)	$R_e \times 10^{-4}$ (-)	$K_{OL}a \times 10^6$ (m^3/s)
0.00	0.00	1.00	0	0.00	0.23
0.46	11.73	3.53	50	2.11	0.25
1.52	38.76	6.17	150	6.36	0.49
2.58	65.79	7.03	250	10.56	1.01
3.37	85.94	11.59	400	16.90	1.50
4.21	107.36	12.97			
4.80	122.40	17.14			

จาก Table 7 การกวนของเหลวด้วยความเร็วรอบสูงสุดที่ศึกษาคือ 400 รอบ/นาที ซึ่งให้ค่าตัวเลขเรโนลด์ที่สอดคล้องกับความเร็วดังกล่าวเท่ากับ 1.69×10^5 แสดงว่าระบบมีความปั่นป่วนในระดับสูงมากเนื่องจากโดยทั่วไปสำหรับการกวนของเหลวในของเหลวภายในระบบจะเริ่มมีรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วนเมื่อตัวเลขเรโนลด์ มีค่าประมาณ 1×10^3 เท่านั้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่า K_{OLa} ที่วัดได้จากการกวนของเหลวด้วยความเร็วดังกล่าวกับค่า K_{OLa} ที่ได้จากวิธีการใช้ลมเป่า พบว่าการกวนด้วยความเร็วรอบ 400 รอบ/นาที นั้น ให้ค่า K_{OLa} ต่ำกว่าการใช้ลมเป่าด้วยความเร็วลมต่ำสุดที่ศึกษาคือ 0.46 เมตร/วินาที ถึงประมาณ 2.4 เท่า และเมื่อพิจารณาจากแนวโน้มของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง พบว่าโอกาสที่จะทำการกวนของเหลวเพื่อให้ได้ค่า K_{OLa} สูงกว่าหรือเท่ากับวิธีการใช้ลมเป่าเป็นไปได้ยากมาก ถ้าทำได้ก็ต้องใช้พลังงานสูงกว่าเป็นอย่างมาก จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการใช้ลมเป่าเป็นวิธีการที่กำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำได้ดีกว่าวิธีการกวน จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำอย่างแทนวิธีการกวนได้

โดยแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการใช้ลมเป่าบนผิวหน้าของหางน้ำยางเพื่อไล่แอมโมเนียนั้นสามารถดำเนินการได้โดยการนำกระแสลมร้อนที่ถูกปล่อยทิ้งจากปล่องของเตาอบยางมาปล่อยเข้าไปในรางส่งหางน้ำยางที่ต้องทำเป็นรางปิด และปล่อยกระแสลมออกที่ปลายอีกด้านหนึ่งของรางซึ่งอาจต่อเชื่อมอยู่กับระบบดักจับแอมโมเนียจากอากาศก่อนปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศต่อไป แนวทางการประยุกต์ใช้กระแสลมจากปล่องของเตาอบยางเพื่อไล่แอมโมเนียออกจากหางน้ำยางนั้นนอกจากจะกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยางได้แล้วยังสามารถรักษาสีแอมโมเนียได้อีกด้วยเพราะเป็นการนำพลังงานที่ปล่อยทิ้งมาใช้ประโยชน์ และการกำจัดแอมโมเนียโดยให้แอมโมเนียระเหยในรางปิดและปล่อยอากาศเสียสู่ระบบบำบัดที่เหมาะสมจะช่วยลดมลภาวะทางอากาศทั้งภายในโรงงานและในบรรยากาศโดยทั่วไปได้

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการใช้ลมเป่าและผลของการกวนต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมและอัตราการ

กำจัดแอมโมเนียจากน้ำในชุดทดลองขนาดต้นแบบ พบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียและอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำแปรผันตรงกับตัวเลขเรโนลด์ในทั้งสองระบบที่ศึกษา อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่า K_{OLa} ที่วัดได้จากทั้งสองวิธีในช่วงของความเร็วมวลและช่วงของความเร็วดังกล่าวในการกวนที่ศึกษา พบว่าการใช้ลมเป่าให้ค่า K_{OLa} สูงกว่าวิธีการกวนอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาจากแนวโน้มของข้อมูลที่ได้จากการทดลองพบว่าโอกาสที่จะทำการกวนของเหลวเพื่อให้ได้ค่า K_{OLa} สูงกว่าหรือเท่ากับวิธีการใช้ลมเป่าเป็นไปได้ยากมากถ้าทำได้ก็ต้องใช้พลังงานสูงกว่าเป็นอย่างมาก จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการใช้ลมเป่าเป็นวิธีการที่กำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำได้ดีกว่าวิธีการกวนมาก จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยางแทนวิธีการกวนได้ นอกจากนี้แล้วความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียกับตัวเลขเรโนลด์ที่ได้จากการศึกษานี้ยังสามารถใช้หาอัตราการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำเนื่องผลของความเร็วมวลและผลของการกวนผสมได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2545 ของขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เครื่องมือวิเคราะห์ สาธารณูปโภค ทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

จรัญ บุญกาญจน์ สมทิพย์ ด่านธีรวินชัย จันทิมา ชั่งสิริพร และ จรรยา อินทมณี. 2547. แบบจำลองอย่างง่ายสำหรับทำนายการระเหยของแอมโมเนียจากแหล่งน้ำ: ผลของอุณหภูมิและพีเอช. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 26(2): 233-243.

คณิตดา วิเศษสุวรรณ และ อภิลักษณ์ เอียดเอื้อ. 2544. ปริมาณที่เหมาะสมของแอมโมเนียในหางน้ำยางที่ใช้ในการบวนการผลิตยางสีกม. โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 26-26.

- สมทิพย์ ด้านธีรวณิชย์ เจ็ดจรรยา ศิริวงศ์ อุดมผล พีชไพบุลย์
จรัญ บุญกาญจน์ และ เสาวลักษณ์ รุ่งตะวันเรืองศรี.
2545. การตรวจสอบการจัดการของเสียของโรงงาน
น้ำยางชั้น. รายงานวิจัยภายใต้ชุดโครงการวิจัยเรื่อง
การจัดการของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น. คณะการ
จัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- APHA, AWWA and WPCF. 1995. Standard Methods
for Examination of Water and Wastewater, 19th
edition.
- American Public Health Association. Washington D.C.
Brodkey, R.S., and Hershey, H.C. 1981. Agita-
tion. Transport Phenomena A Unified Approach.
McGraw-Hill Book Company. 359-398.
- Bunyakan, C., Tongsoy, P., and Tongurai, C. 2001. Film
mass transfer coefficient for the prediction of
volatile Organic compound emission rate from
water basin. Songklanakarin J. Sci. Technol. 23
(4): 563-577.
<http://www.aquatext.com/tables/amminia.htm>. [28
August 2003]
- McCabe, W.L., Smith, J.C., and Harriott, P. 1993. Gas
Absorption. Unit Operations of Chemical Engi-
neering. Fifth Edition. McGraw-Hill, Inc. 686-
737.
- Treybal, R.E., 1980. Mass Transfer Operations,
McGraw-Hill International Editions, McGraw-
Hill Book Company, Singapore.