

การกำจัดแอมโมเนียจากน้ำ: เปรียบเทียบระหว่างการกำจัดโดยวิธีการใช้กระแสลมกับวิธีการกวนผสม

จรัญ บุญกาญจน์¹, สมทิพย์ ด่านธีรวิชย์², จันทิมา ชั่งศิริพร³, จรรยา อินทมนต์⁴ และ เสาวภา สีตะพงษ์⁵

Abstract

Bunyakan, C., Danteravanich, S., Chungsiriporn, J., Intamane, J., and Sritapong, S.⁵

Ammonia Removal from Water: The Comparison between using the wind speed and agitation method

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 and need 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 large agitator and mixing pool. In this research, the new method to remove ammonia from water by blowing wind over the water surface is introduced. The effect of agitation speed and the effect of the wind speed on overall mass transfer coefficient and removal rate of ammonia were investigated in pilot scale experiment. The result shown that the overall mass transfer coefficient and the ammonia removal rate increased linearly with increasing Reynolds number for both cases. However, the ammonia removal rates by wind speed were 1.5 to 9 times of that given by agitation method at the same Reynolds number. The wind speed method proposed in this study is then recommended for ammonia removal from skim latex. The possible ways for using wind speed in skim latex plant is also suggested. The relationship between the wind speed or Reynolds number and mass transfer coefficient can be use to estimate the ammonia removal rate from water at various wind speed and can be used for ammonia removal system design.

Key words: Ammonia, Volatilization, Mass Transfer Coefficient, Skim Latex, Ammonia Removal

¹Ph.D. (Chemical Engineering) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี) อาจารย์ วท.บ. (เคมี) ครูชำนาญการ ⁵นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112 ²Ph.D. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ โครงการจัดตั้งวิทยาเขตสุราษฎร์ธานี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี

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

บทคัดย่อ

การกำจัดแอมโมเนียออกจากทางน้ำอาจเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตยางสกี โดยทั่วไปในทางน้ำยางซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางสกีจะแอมโมเนียปนเปื้อนอยู่ประมาณ 0.4 % ต่อน้ำหนักยาง และต้องกำจัดแอมโมเนียออกไปให้เหลือน้อยที่สุดก่อนที่จะทำการจับตัวเนื้อยางด้วยกรดเพื่อประหยัดปริมาณกรดที่ใช้ วิธีการกำจัดแอมโมเนียออกจากทางน้ำยางที่ใช้กันทั่วไปวิธีหนึ่งคือการกวนทางน้ำยางด้วยใบกวน งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางใหม่ในการกำจัดแอมโมเนียออกจากทางน้ำยางโดยการใช้ลมเป่าบนผิวน้ำ จากการศึกษาผลของการใช้ลมเป่าและผลของการกวนต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมและอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำในชุดทดลองขนาดต้นแบบ พบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียและอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำแปรผันตรงกับตัวเลขเรโนลด์ในทั้งสองระบบที่ศึกษาแต่ที่ตัวเลขเรโนลด์เท่ากันอัตราการกำจัดแอมโมเนียโดยใช้ลมเป่าสูงกว่าอัตราการกำจัดแอมโมเนียโดยวิธีการกวนถึงประมาณ 1.5 ถึง 9 เท่า ขึ้นอยู่กับช่วงของตัวเลขเรโนลด์ วิธีการใช้ลมเป่าจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับใช้กำจัดแอมโมเนียออกจากทางน้ำยาง แนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวได้อธิบายไว้ในบทความนี้ นอกจากนี้แล้วความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียกับความเร็วลมหรือตัวเลขเรโนลด์ที่ได้จากการศึกษานี้ยังสามารถใช้หาอัตราการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำเนื่องผลของความเร็วลมได้และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบกำจัดแอมโมเนียโดยใช้กระแสลมได้

บทนำ

ยางสกิมเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่สำคัญของโรงงานผลิตน้ำยางข้น ในการผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางสด 100 ตัน จะได้น้ำยางข้น 60% จำนวน 40 ตัน และหางน้ำยางจำนวน 60 ตัน เมื่อนำหางน้ำยางดังกล่าวไปผลิตเป็นยางสกิมจะได้ยางสกิมประมาณ 4% ของหางน้ำยาง ดังนั้นการใช้น้ำยางสด 100 ตันในการผลิตน้ำยางข้นจะได้ยางสกิมประมาณ 2.4 ตัน (สมทิพย์ และคณะ, 2545) การผลิตยางสกิมทำโดยการนำหางน้ำยางที่ได้จากขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้นมาผ่านกระบวนการกำจัดแอมโมเนียจากนั้นจึงนำไปจับตัวด้วยกรดในบ่อจับตัว ทำการเก็บเนื้อยางจากบ่อจับตัวและนำเนื้อยางไปรีดเพื่อกำจัดน้ำออกก่อนนำมาตัดฉีกให้เป็นชิ้นเล็กๆแล้วนำไปอบแห้งและอัดก้อนให้ได้น้ำหนักตามต้องการก่อนบรรจุและส่งออกจำหน่ายต่อไป ขั้นตอนการกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยางจัดเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่มีวัตถุประสงค์เพื่อไปหรือให้เหลือน้อยที่สุดเพื่อลดปริมาณกรดที่ใช้ในการจับตัวซึ่งถือได้ว่าเป็นต้นทุนหลักที่สำคัญในการผลิตยางสกิม โดยปริมาณของกรดที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในหางน้ำยางคือที่ความเข้มข้นแอมโมเนียในหางน้ำยางเท่ากับ 0.4% โดยน้ำหนักของหางน้ำยางจะต้องใช้กรดซัลฟูริกเท่ากับ 243 kg/ton DRC ยางสกิม และที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียในหางน้ำยางเท่ากับ 0.1% โดยน้ำหนักของหางน้ำยางจะใช้กรดซัลฟูริกเพียง 61 kg/ton DRC ดังนั้นถ้าสามารถลดปริมาณของแอมโมเนียลงจาก 0.4% ต่อน้ำหนักยางป็น 0.1% ต่อน้ำหนักยางจะสามารถลดการใช้กรดได้ 182 kg/ton DRC ยางสกิม โดยค่ากรดที่ใช้ประมาณ 3 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นการลดแอมโมเนียในน้ำยางสกิมจากค่าที่พบทั่วไปคือ 0.4% ต่อน้ำหนักยาง ให้เหลือ 0.1% ต่อน้ำหนักยางจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 546 บาท/ton DRC ยางสกิม สำหรับโรงงานที่มีกำลังการผลิต 100 ตันน้ำยางสด/วัน จะให้ผลผลิตยางสกิมเท่ากับ 2.4 ton DRC ยางสกิม/วัน ก็จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อกรดไปประมาณ 1310 บาท/วัน ดังนั้นถ้าใน 1 ปีโรงงานทำงานประมาณ 200 วันก็จะประหยัดค่ากรดได้ประมาณ 262,000บาท/ปี ดังนั้นโรงงานที่มีการผลิตยางสกิมจึงให้ความสนใจในขั้นตอนการกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยางเป็นอย่างมาก โดยพยายามใช้วิธีการที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดเพื่อลดค่าใช้จ่ายของโรงงาน วิธีการหนึ่งซึ่งง่ายและใช้กันมากคือการกวนหางน้ำยางเพื่อกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยาง ซึ่งจะมีค่าดำเนินการหลักที่สำคัญคือค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของชุดกวน ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียออกจากหางน้ำยางโดยการกวนขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญได้แก่ ความเร็วรอบที่ใช้ในการกวน ประเภทของใบกวน และลักษณะการออกแบบของถังกวน ซึ่งจะมีผลต่อการถ่ายโอนมวลของแอมโมเนียจากหางน้ำยาง อย่างไรก็ตามเนื่องจากแอมโมเนียมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีความต้านทานต่อการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำประมาณ 90% อยู่ในวัฏภาคแก๊ส (McCabe et al., 1993) การเพิ่มอัตราการระเหยต้องใช้วิธีการที่สามารถลดความต้านทานในวัฏภาคแก๊สได้ดี การกวนซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อยู่ทั่วไปนั้นเป็นการทำให้เกิดความปั่นป่วนในวัฏภาคของเหลวเป็นหลักจึงลดความต้านทานต่อการระเหยที่อยู่ในวัฏภาคของเหลวได้ดีแต่จะลดความต้านทานต่อการระเหยที่อยู่ในวัฏภาคแก๊สได้น้อย ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำโดยวิธีการกวนน่าจะต่ำกว่าการใช้วิธีการอื่นที่ทำให้เกิดความปั่นป่วนในวัฏภาคแก๊สโดยตรงเช่นการใช้กระแสลมเป่าบนผิวน้ำของเหลวเป็นต้น อย่างไรก็ตามพบว่ายังไม่ได้มีการศึกษาและเปรียบเทียบผลในเรื่องนี้อย่างจริงจัง

การวิจัยนี้จึงทำการศึกษาถึงอิทธิพลของกระแสลมต่อการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำเปรียบเทียบกับวิธีการกำจัดโดยวิธีการกวนซึ่งเป็นวิธีแบบเก่าที่ใช้กันอยู่ทั่วไป วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้คือ 1) ศึกษาผลของการกวนต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนของแอมโมเนียจากน้ำ 2) ศึกษาผลของความเร็วลมต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนของแอมโมเนียจากน้ำ 3) เปรียบเทียบผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ (1) และ (2) และเสนอวิธีการหรือกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดแอมโมเนียจากหางน้ำยางในกระบวนการผลิตยางสกิม

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

การกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยกระบวนการระเหย

อัตราการทำกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำโดยกระบวนการระเหยสามารถแสดงในเทอมของผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียและความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียในน้ำ ซึ่งได้จากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีสองฟิล์มที่เสนอโดย Whitman (1923) ดังสมการ (1)

$$R_{NH_3} = K_{OL} a f C_i \quad (1)$$

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 เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (5) จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียในน้ำมีค่าใดค่าหนึ่งนั้นอัตราการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับค่า $K_{OL} a$ ดังนั้นภายใต้สภาวะการดำเนินการหรือวิธีการใดที่ให้ค่า $K_{OL} a$ สูง อัตราการทำกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยกระบวนการระเหยภายใต้สภาวะการดำเนินการหรือด้วยวิธีการดังกล่าวก็จะสูงกว่าอัตราการทำกำจัดภายใต้สภาวะการดำเนินการหรือวิธีการที่มี $K_{OL} a$ ต่ำ จึงสามารถใช้ $K_{OL} a$ เป็นพารามิเตอร์สำหรับการเปรียบเทียบในเชิงของประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยวิธีการหรือสภาวะต่างๆได้ กล่าวคือที่ความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียในน้ำเท่ากันกระบวนการหรือวิธีการใดที่มี $K_{OL} a$ สูง ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียของวิธีการหรือกระบวนการนั้นก็สูงกว่าของวิธีการหรือกระบวนการที่มีค่า $K_{OL} a$ ต่ำกว่า การหาค่า $K_{OL} a$ จากกระบวนการกำจัดแอมโมเนียโดยการระเหยมีรายละเอียดข้างล่างส่วนการคำนวณและเปรียบเทียบผลการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยกระบวนการระเหยภายใต้สภาวะและวิธีการต่างๆจะกล่าวถึงในส่วนของผลการทดลองและวิจารณ์

วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวม, $K_{OL} a$

อัตราการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำนอกจากจะหาได้โดยวิธีการดังแสดงในสมการที่ (1) แล้วยังสามารถหาได้โดยการทำดุลมวลของแอมโมเนียรอบแหล่งน้ำที่พิจารณา ซึ่งจะหาค่าอัตราการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำ ดังแสดงด้วยสมการ (2) (จรัญ และ คณะ, 2546)

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

เมื่อ V คือปริมาตรของแหล่งน้ำที่มีแอมโมเนียละลายอยู่ (m^3) t คือเวลาที่ใช้ในการระเหยของแอมโมเนีย (s) อัตราการระเหยที่แสดงด้วยสมการ (1) และสมการ (2) ต้องเท่ากัน แทนค่า R_{NH_3} จาก (2) ใน (1) จะได้

$$-Vf \frac{dC_i}{dt} = K_{OL} a f C_i$$

หรือ
$$\frac{dC_i}{C_i} = \frac{-K_{OL} a}{V} dt \quad (3)$$

อินทิเกรตสมการ (3) จากเวลาเริ่มต้น t_0 ถึงเวลาใดๆ t ที่ทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำลดลงเนื่องจากการระเหย จาก C_{i0} เป็น C_i จะได้

$$\ln \frac{C_i}{C_{i0}} = \frac{-K_{OL} a}{V} t \quad (4)$$

จากสมการ (4) สามารถหาค่า $K_{OL}a$ ได้จากความชันของกราฟที่พล็อตระหว่าง $\ln(C/C_0)$ กับ t คือ

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

เมื่อ S คือความชันของกราฟ ดังนั้นโดยการวัดความชันของแอมโมเนียรวมที่เวลาต่างๆตลอดกระบวนการระเหยภายใต้สภาวะที่สนใจจะสามารถหาค่า $K_{OL}a$ ของแอมโมเนียภายใต้สภาวะนั้นได้

อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การศึกษาการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้ลมเป่า

การศึกษาการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำโดยใช้กระแสลมเป่าผ่านผิวน้ำกระทำในชุดทดลองขนาดโรงงานต้นแบบที่ประกอบด้วยถังระเหยขนาด ยาว 3.9 m กว้าง 0.4 m และสูง 0.2 m ติดตั้งอยู่ใต้อุโมงค์ลมรูปสี่เหลี่ยมขนาด ยาว 4 m กว้าง 0.5 m และสูง 0.5 m ที่ปลายอุโมงค์ลมติดตั้งพัดลมขนาดใหญ่ที่สามารถส่งอากาศได้สูงสุดถึง 3000 CFM โดยจะแถมแสดงชุดการทดลองที่ใช้แสดงดัง Figure 1

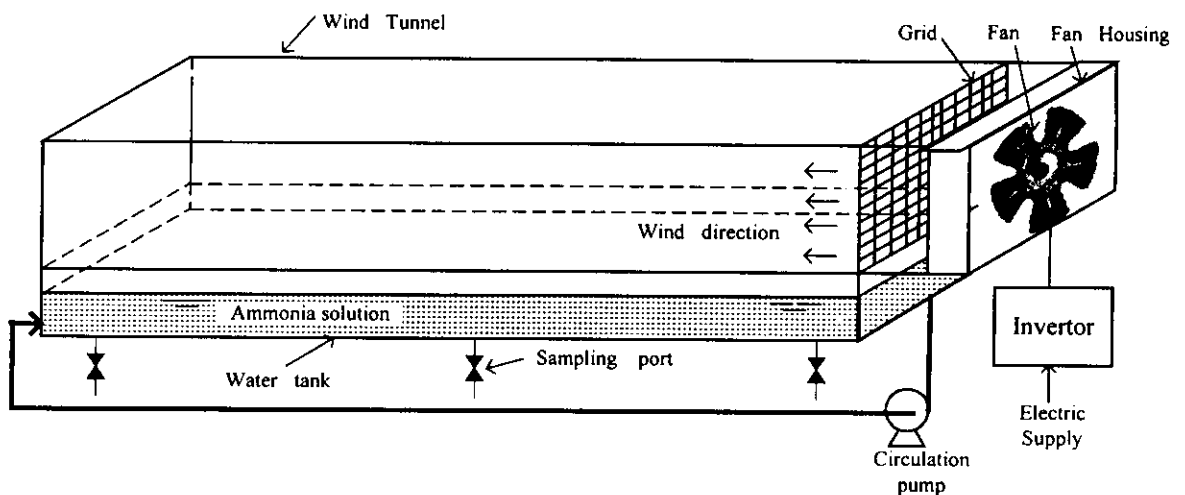


Figure 1 Schematic diagram of a wind tunnel and water tank system for ammonia volatilization study

ความเร็วลมเหนือผิวน้ำควบคุมโดยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนพัดลม ความเร็วลมเฉลี่ยเหนือผิวน้ำวัดที่ระยะ 10 cm เหนือผิวน้ำ, U_{10cm} , รายละเอียดวิธีการวัดความเร็วลมเฉลี่ยบนพื้นผิวน้ำตลอดความยาวของผิวน้ำและตำแหน่งที่ทำการวัดความเร็วลมในระบบที่ใช้ทดลองนี้ใช้วิธีที่ได้รายงานไว้ก่อนหน้านี้ (Bunyan et al., 2001) ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระยะ 10 cm เหนือผิวน้ำที่ใช้ในการศึกษานี้อยู่ในช่วง 0 ถึง 4.8 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของน้ำและอุณหภูมิของอากาศขณะทดลองมีค่าประมาณ 27 ± 1 °C เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการดำเนินการจริงในโรงงานอุตสาหกรรมจึงไม่มีการปรับและควบคุมค่า pH ในระหว่างการทดลอง การทดลองที่สภาวะต่างๆเริ่มด้วยการเตรียมสารละลายแอมโมเนียโดยการละลายสารละลายแอมโมเนียในน้ำปริมาตร 120 ลิตร ให้มีความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียตามต้องการ (สภาวะเริ่มต้นของการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเร็วมต่อการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้ลมเป่าแสดงใน Table 1) จากนั้นจึงป้อนสารละลายดังกล่าวเข้าสู่ถังระเหยที่ใช้ศึกษา เปิดปั๊มหมุนเวียนของถังให้เกิดการไหลเวียน

ของสารละลายภายในถังเพื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมีความเข้มข้นสม่ำเสมอทั่วทั้งถัง จากนั้นจึงเริ่มการทดลองโดยบันทึกเวลาเริ่มต้นและเก็บตัวอย่างสารละลายเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียที่สภาวะเริ่มต้นพร้อมกับเปิดพัดลมให้มีกระแสลมเป่าไปบนผิวน้ำของแหล่งน้ำด้วยความเร็วลมที่ต้องการ ปล่อยให้แอมโมเนียระเหยจากน้ำและทำการเก็บตัวอย่างสารละลายทุก 1 ชั่วโมง เพื่อหาความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เวลาต่างๆจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ตัวอย่างสารละลายที่ได้จะทำการเก็บไว้ในตู้เย็นและทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียในน้ำภายในวันเดียวกันกับวันที่ทำการทดลอง การวิเคราะห์ความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียใช้วิธีมาตรฐาน Phenate method (APHA, AWWA, and WPCF, 1995) ซึ่งจะวิเคราะห์ปริมาณของแอมโมเนียรวมในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน ข้อมูลความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียที่เปลี่ยนไปกับเวลาจะถูกนำมาใช้หาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมตามสมการ (4) จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลของความเร็วมต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียโดยใช้วิธีการทำการถดถอยพหุคูณ

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

การศึกษาการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยการกวน

การศึกษาการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยการกวนกระทำในถังกวนปริมาตร 70 L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของถังกวน (T) เท่ากับ 45 cm อัตราส่วนของส่วนประกอบต่างๆของถังกวนและใบกวนเทียบกับขนาดของถังกวนเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบถังกวนสำหรับสภาวะการไหลเป็นแบบปั่นป่วนคือ $Z/T=1$, $D/T=1/3$, $B/T=1/12$, $C/T=1/3$ (Brodkey and Hershey, 1981) ใบกวนที่ใช้ศึกษาเป็นแบบ six-blade turbine ที่มีอัตราส่วน $W/D=1/5$ เมื่อ Z คือความลึกของน้ำในถังกวน T คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังกวน D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน B คือความกว้างของแผ่นกั้น (baffle) W คือความกว้างของใบกวน และ C คือระยะที่วัดจากกันถึงถึงแนวกึ่งกลางของความกว้างของใบกวน ใบกวนถูกขับด้วยมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ควบคุมและปรับความเร็วรอบของใบกวนโดยใช้อินเวอร์เตอร์ ไดอะแกรมแสดงลักษณะของถังกวนที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงดัง Figure 2

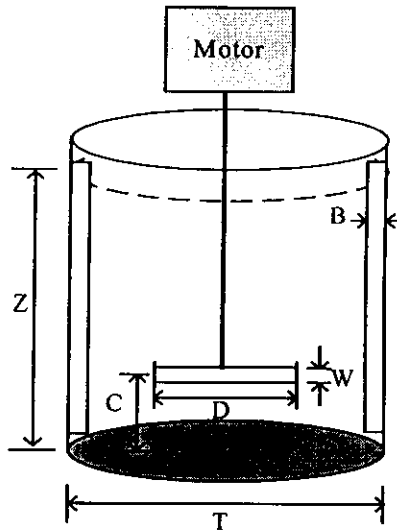


Figure 2 Schematic diagram of an agitation tank use for ammonia volatilization study

การทดลองเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยการกวน จะเริ่มด้วยการเตรียมสารละลายแอมโมเนียในน้ำโดยการผสมสารละลายแอมโมเนีย (ammonia solution 15 % by weight) ลงในน้ำปริมาตร 50 ลิตร ให้มีความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียตามต้องการ ความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียที่สภาวะเริ่มต้นอยู่ในช่วง 326-425 mg/L pH เริ่มต้นอยู่ในช่วง 10-10.5 อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 27 ± 1 °C ความเร็วรอบของการกวนที่ศึกษาอยู่ในช่วง 0-400 rpm เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการดำเนินการจริงในโรงงานอุตสาหกรรมจึงไม่มีการปรับและควบคุมค่า pH ในระหว่างการทดลอง สภาวะเริ่มต้นของการทดลองของแต่ละการทดลองแสดงไว้ใน Table 2 การทดลองเริ่มต้นโดยเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาเริ่มต้นจากนั้นจึงกวนสารละลายแอมโมเนียด้วยความเร็วรอบที่กำหนดและเก็บตัวอย่างสารละลายที่เวลาต่างๆทุก 2 ชั่วโมง ตลอดระยะเวลาการทดลอง 20 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียในตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ที่เวลาต่างๆโดยใช้วิธี Phenate method (APHA, AWWA, and WPCF, 1995) ซึ่งจะวิเคราะห์ปริมาณของแอมโมเนียรวมในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน ข้อมูลความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เปลี่ยนไปกับเวลาจะถูกนำมาใช้หาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมในวัฏภาคของเหลวของแอมโมเนียตามวิธีการที่ได้กล่าวถึงในตอนต้น จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลของความเร็วรอบในเทอมของตัวเลขเรโนลด์ต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมในวัฏภาคของเหลวของแอมโมเนียและวิเคราะห์ผลที่ได้เปรียบเทียบกับวิธีการกำจัดโดยใช้ลมเป่า

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

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของความเร็วลมและผลของการกวนต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนีย $K_{O_2}a$

สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนีย, $K_{O_2}a$, ที่สภาวะการทดลองต่างๆหาค่าได้จากการวัดความเข้มข้นรวมของแอมโมเนียในน้ำที่เวลาต่างๆแล้วทำการแปลผลจากข้อมูลของความเข้มข้นเป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมโดยใช้ทฤษฎีและสมมุติฐานที่อธิบายด้วยสมการ (2) ถึงสมการ (5) Figure 3 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของกราฟที่พล็อตระหว่าง $\ln(C/C_0)$ กับ t สำหรับการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำภายใต้สภาวะที่มีกระแสลมพัดผ่านผิวน้ำด้วยความเร็วต่างๆ จาก Figure 3 ความชันของกราฟ $\ln(C/C_0)$ 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 $K_{O_2}a$ ภายใต้สภาวะดังกล่าวซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (5) คือ $7.03 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ การหาค่า $K_{O_2}a$ ที่สภาวะการทดลองอื่นๆทั้งในกรณีของการระเหยโดยใช้ลมเป่าและโดยการกวนสามารถหาค่าได้โดยการพล็อตกราฟระหว่าง $\ln(C/C_0)$ กับ t หาค่าความชันของเส้นกราฟและคำนวณ $K_{O_2}a$ ในทำนองเดียวกันกับที่ได้แสดงข้างต้น ค่า $K_{O_2}a$ ของแอมโมเนียที่ความเร็วลมและความเร็วรอบในการกวนต่างๆแสดงใน Table 3 และ Table 4 ตามลำดับ

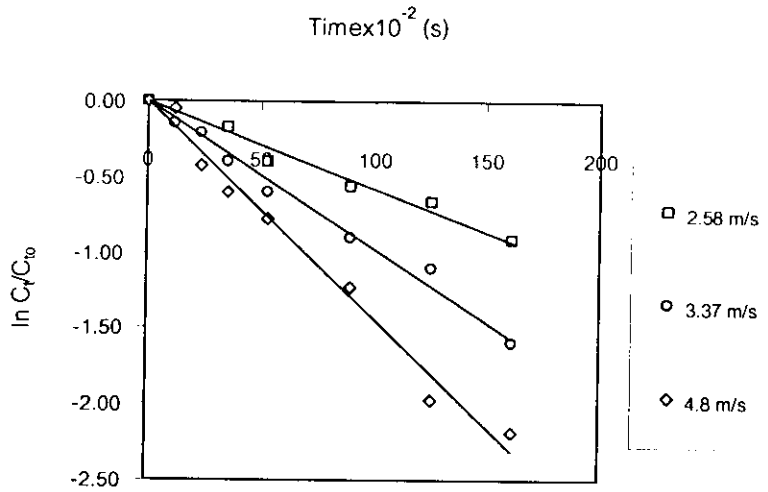


Figure 3 Typical Plot of $\ln(C_t/C_{10})$ versus t for ammonia removal by wind speed at various wind speed
(water temperature = $27 \pm 1^\circ\text{C}$)

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

Run No	$U_{10\text{cm}} \text{ (m s}^{-1}\text{)}$	$K_{OL}a \times 10^6 \text{ (m}^3\text{/s)}$
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

Table 4 $K_{O_2,a}$ of ammonia at various agitation speed at water temperature of $27 \pm 1^\circ\text{C}$

Run No	Agitation speed (RPM)	$K_{O_2,a} \times 10^6$ (m^3/s)
1	0	0.23
2	50	0.25
3	150	0.49
4	250	1.01
5	400	1.50

ความสัมพันธ์ระหว่าง $K_{O_2,a}$ กับความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 10 cm เหนือผิวน้ำ, U_{10cm} , และความสัมพันธ์ระหว่าง $K_{O_2,a}$ กับความเร็วรอบในการกวนแสดงในลักษณะของกราฟได้ดัง Figure 4 และ Figure 5 ตามลำดับ

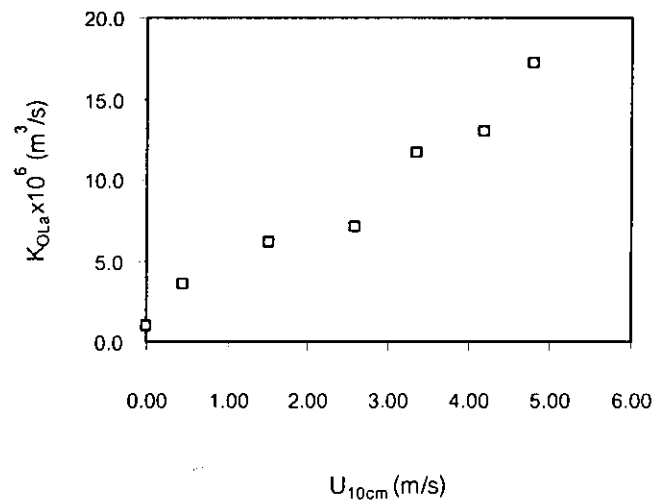


Figure 4 The effect of wind speed on mass transfer coefficient of ammonia at water temperature of $27 \pm 1^\circ\text{C}$

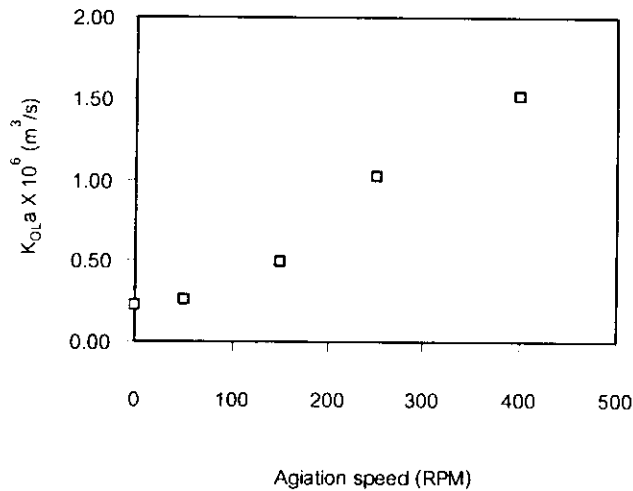


Figure 5 The effect of wind speed on mass transfer coefficient of ammonia at water temperature of $27 \pm 1^\circ \text{C}$

จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่า K_{OLa} เพิ่มขึ้นกับความเร็วลมและความเร็วรอบในการกวนตลอดช่วงที่ศึกษา และพบว่าขนาดของค่า K_{OLa} ที่ได้จากกระบวนการทั้งสองมีค่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากทั้งสองวิธีมีกลไกที่ทำให้เกิดความปั่นป่วนในระบบที่แตกต่างกันคือกระแสลมเป่าไปบนผิวน้ำทำให้เกิดความปั่นป่วนในวัฏภาคแก๊สที่อยู่เหนือผิวของเหลวเป็นหลัก ในขณะที่การกวนเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดความปั่นป่วนในวัฏภาคของเหลว ระดับของความปั่นป่วนในวัฏภาคใดๆสามารถแสดงได้ด้วยขนาดตัวเลขเรโนลด์ ความปั่นป่วนในวัฏภาคใดๆจะสูงขึ้นตามตัวเลขเรโนลด์ที่สูงขึ้น สำหรับกรณีที่ใช้ลมเป่าไปบนผิวน้ำตัวเลขเรโนลด์ที่เหมาะสมที่จะอธิบายถึงลักษณะของความปั่นป่วนของวัฏภาคแก๊สที่อยู่เหนือผิวน้ำที่ระดับความสูงที่ทำการวัดความเร็วลมตลอดระยะความยาวของผิวน้ำแสดงได้ดังสมการ (6)

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

- เมื่อ R_{e10cm} = เลขเรโนลด์เนื่องจากความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 10 cm เหนือผิวน้ำ, ไม่มีหน่วย
 U_{10cm} = ความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ระยะ 10 cm เหนือผิวน้ำตลอดความยาวของผิวน้ำ, ms^{-1} ,
 L = ความยาวของผิวน้ำ, m,
 μ_{air} = ความหนืดของอากาศ, $\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$, 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, $\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$, และ

ρ_{water} = ความหนาแน่นของน้ำ, kg m^{-3}

ตัวเลขเรโนลด์เนื่องจากกระแสลม, R_{e10cm} , และตัวเลขเรโนลด์เนื่องจากความเร็วรอบในการกวน, R_e , สามารถคำนวณได้ทันทีโดยใช้ข้อมูลความหนาแน่นและความหนืดของอากาศและน้ำที่อุณหภูมิ 27 °C ร่วมกับข้อมูลอื่นๆของระบบที่ศึกษาได้แก่ความเร็วลม ความยาวของพื้นผิวน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน และความเร็วรอบที่ใช้ในการกวน ค่า R_{e10cm} และ R_e ที่คำนวณได้จากทั้งสองกรณีแสดงไว้พร้อมกับข้อมูลอื่นๆของแต่ละการทดลองใน Table 5 และ Table 6

Table 5 Fluid properties, system characteristic, R_{e10cm} and $K_{OL}a$ of ammonia at various wind speed

RUN No.	U_{10cm} (m s^{-1})	ρ_{air} (kg m^{-3}) (at 27 °C)	μ_{air} ($\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$) (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 Fluid properties, system characteristic, R_e and $K_{OL}a$ of ammonia at various agitation speed

RUN No.	Agitation speed (RPM)	ρ_{water} (kg m^{-3}) (at 27 °C)	μ_{water} ($\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$) (at 27 °C)	D (m)	$R_e \times 10^{-4}$ (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

จาก Table 4 เมื่อนำข้อมูล $K_{OL}a$ และ Re_{10cm} มาแสดงในเชิงของกราฟจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $K_{OL}a$ กับ Re_{10cm} ดังแสดงใน Figure 6 และเมื่อทำพหุคูณถดถอยบนชุดข้อมูลดังกล่าวพบว่ามีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นตามสมการ (8) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.96

$$K_{OL}a = 1.183 \times 10^{-11} Re_{10cm} + 1.191 \times 10^{-6} \quad (8)$$

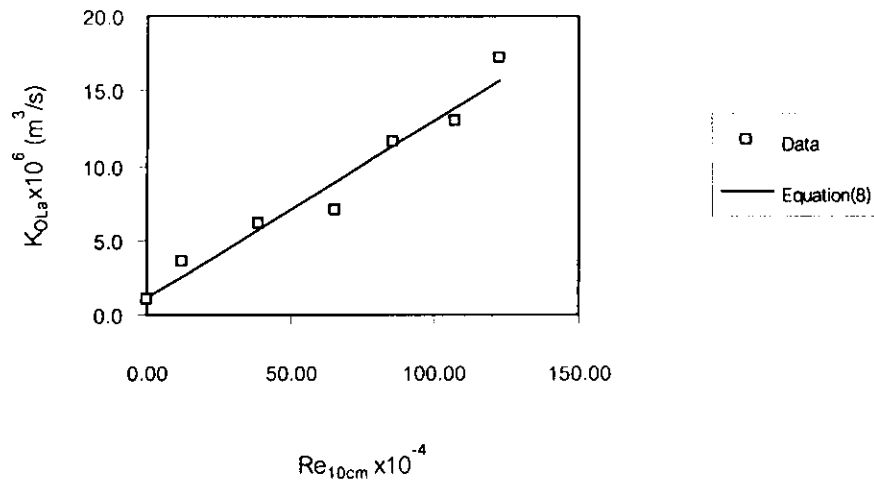


Figure 6 The $K_{OL}a$ of ammonia as a function of Re_{10cm} at water temperature of $27 \pm 1^\circ\text{C}$

จาก Table 5 เมื่อนำข้อมูล $K_{OL}a$ และ Re_c มาดำเนินการในลักษณะเดียวกันจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $K_{OL}a$ กับ Re_c ดังแสดงใน Figure 7 และเมื่อทำพหุคูณถดถอยบนชุดข้อมูลดังกล่าวพบว่ามีสัมพันธ์แบบเชิงเส้นเช่นกันดังแสดงในสมการ (9) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.97

$$K_{OL}a = 7.990 \times 10^{-12} Re_c + 1.247 \times 10^{-7} \quad (9)$$

จากสมการ (8) และ (9) แม้ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง $K_{OL}a$ กับตัวเลขเรโนลด์ของทั้งสองกรณีมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้นที่มีค่า R^2 อยู่ในระดับสูงเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาจากความชันของสมการเส้นตรงที่แสดงในสมการ (8) และสมการ (9) พบว่าความชันของกรณีที่ใช้ลมเป่ามีค่าเท่ากับ $1.183 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ในขณะที่ความชันของสมการเส้นตรงที่ได้จากกรณีที่ใช้วิธีการกวนมีค่าเพียง $7.990 \times 10^{-12} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ แสดงให้เห็นว่าความปั่นป่วนในวัฏภาคแก๊สมีผลทำให้แอมโมเนียระเหยจากน้ำได้เร็วกว่าความปั่นป่วนในของเหลว ผลการศึกษานี้สนับสนุนความจริงที่ว่ากระบวนการการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำถูกควบคุมโดยฟิล์มแก๊สที่อยู่เหนือผิวสัมผัสระหว่างผิวน้ำกับอากาศ การเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวลของแอมโมเนียจากน้ำสู่อากาศภายใต้สภาวะดังกล่าวจะต้องลดความหนาของฟิล์มแก๊สลงซึ่งวิธีการที่จะลดฟิล์มแก๊สได้โดยตรงคือการทำให้เกิดความปั่นป่วนของชั้นอากาศ การใช้กระแสลมเป่าบนผิวน้ำในการศึกษานี้เป็นการทำให้เกิดความปั่นป่วนในชั้นของอากาศโดยตรงส่งผลให้ความหนาของฟิล์มแก๊สที่ปกคลุมอยู่ลดลงในทิศทางที่สอดคล้องกับความปั่นป่วนของอากาศที่เพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนการเพิ่มของ $K_{OL}a$ ต่อการเพิ่มของตัวเลขเรโนลด์สูงกว่าในกรณีของการกวนซึ่งเป็นการลดขนาดของฟิล์มแก๊สโดยทางอ้อม กล่าวคือสำหรับในการกวนนั้นพลังงานกลจากใบกวนจะถูกถ่ายโอนไปยังวัฏภาคของเหลวก่อนดังนั้นพลังงาน

ส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการทำให้เกิดความปั่นป่วนในวัฏภาคของเหลวและมีพลังงานเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ถูกถ่ายโอนต่อไปยังฟิล์มแก๊สที่อยู่ติดกับผิวของเหลวซึ่งก็จะนำไปสู่ความปั่นป่วนในวัฏภาคแก๊สและทำให้เกิดการลดขนาดของฟิล์มแก๊สได้ในที่สุด กระบวนการดังกล่าวจัดได้ว่าเป็นกระบวนการการลดขนาดของฟิล์มแก๊สทางอ้อมที่ต้องมีถ่ายโอนพลังงานในหลายขั้นตอน เนื่องจากมีพลังงานเพียงบางส่วนที่ถูกถ่ายโอนจากวัฏภาคของเหลวไปยังฟิล์มแก๊สการลดลงของฟิล์มแก๊สจึงไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับพลังงานที่ใส่เข้าไปในวัฏภาคของเหลว สัดส่วนการเพิ่มของ K_{OLa} ต่อการเพิ่มของตัวเลขเรโนลด์ของของเหลวจึงต่ำและต่ำกว่าของกรณีที่ใช้พลังงานเข้าไปยังวัฏภาคแก๊สโดยใช้กระแสลมเป่าโดยตรง

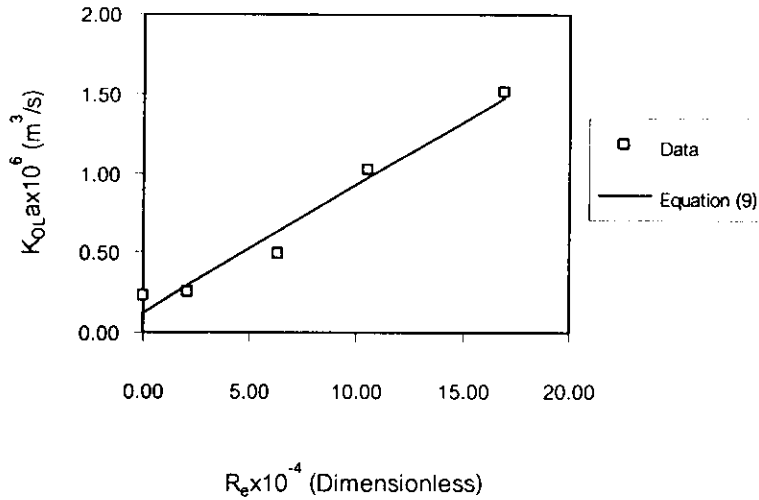


Figure 7 The K_{OLa} of ammonia as a function of R_e at water temperature of $27 \pm 1^\circ C$

เปรียบเทียบอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้กระแสลมเป่าและโดยการกวน

อัตราการกำจัดแอมโมเนียสามารถคำนวณได้จากสมการ (1) โดยการแทนค่า K_{OLa} จากสมการ (8) และ (9) ลงในสมการ (1) จะได้อัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้ลมเป่าและโดยการกวนดังแสดงด้วยสมการ (10) และ (11) ตามลำดับ

$$R_{NH_3}(wind) = (1.183 \times 10^{-11} R_{e10cm} + 1.191 \times 10^{-6}) fC, \quad (10)$$

$$R_{NH_3}(agitated) = (7.990 \times 10^{-12} R_e + 1.247 \times 10^{-7}) fC, \quad (11)$$

เมื่อ f คือสัดส่วนของแอมโมเนียที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระ ในน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับ pKa และ pH ดังสมการ (12)

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

และ pKa คือค่าคงที่สมดุลของกรดซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิตามสมการ (13) (Aquatext, 2003)

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

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

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

รวมสมการ (14) กับ สมการ (10) จะได้สมการที่สามารถใช้ประมาณอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้กระแสลมเป่าบนผิวน้ำของน้ำดังแสดงด้วยสมการ (15)

$$R_{NH_3}(wind) = (1.183 \times 10^{-11} R_{e10cm} + 1.191 \times 10^{-6}) \left(\frac{1}{1 + 10^{\left(\frac{0.09018 + \frac{2729.92}{T+273} - pH\right)}} \right) C_t \quad (15)$$

ในทำนองเดียวกันโดยการแทนค่า f จาก สมการที่ (14) ลงในสมการ (11) จะได้อัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยการกวนดังแสดงด้วยสมการ (16)

$$R_{NH_3}(agitated) = (7.990 \times 10^{-12} R_e + 1.247 \times 10^{-7}) \left(\frac{1}{1 + 10^{\left(\frac{0.09018 + \frac{2729.92}{T+273} - pH\right)}} \right) C_t \quad (16)$$

สมการที่ (15) และ (16) สามารถใช้คำนวณอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำ ที่อุณหภูมิ pH และตัวเลขเรโนลด์ ใดๆที่สนใจได้ จากสมการที่ (15) และ (16) ถ้านำไปประยุกต์ใช้กับแหล่งน้ำที่สภาวะเดียวกัน จะได้ว่า

$$\frac{R_{NH_3}(wind)}{R_{NH_3}(agitated)} = \frac{1.183 \times 10^{-11} R_{e10cm} + 1.191 \times 10^{-6}}{7.990 \times 10^{-12} R_e + 1.247 \times 10^{-7}} \quad (17)$$

จากสมการที่ (17) ถ้าสมมติให้ ตัวเลขเรโนลด์ในทั้งสองระบบมีค่าเท่ากันและมีค่าต่างๆดังแสดงใน Table 7 จะสามารถคำนวณหาอัตราส่วน $\frac{R_{NH_3}(wind)}{R_{NH_3}(agitated)}$ ที่ตัวเลขเรโนลด์ต่างๆได้ ผลการคำนวณแสดงใน Table 7 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนอัตราการกำจัดแอมโมเนียโดยใช้ลมเป่าต่ออัตราการกำจัดแอมโมเนียโดยการกวนกับตัวเลขเรโนลด์แสดงใน Figure 8

Table 7 The comparison of ammonia removal rate by wind to that by agitation

$(R_{e10cm} = R_e) \times 10^{-4}$ (dimensionless)	$\frac{R_{NH_3}(wind)}{R_{NH_3}(agitated)}$ (dimensionless)
0.1	9.06
1	6.40
10	2.57
30	1.88
50	1.72
70	1.66
100	1.60
300	1.52
500	1.51
700	1.50

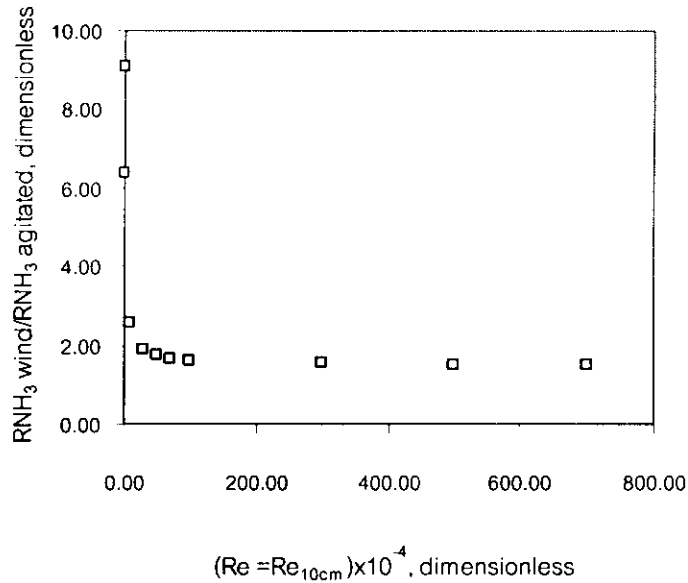


Figure 8 The comparison of ammonia removal rate between wind speed and agitation methods

จาก Table 7 และ Figure 8 สำหรับกรณีที่กำหนดให้ R_e มีค่าเท่ากับ R_{e10cm} พบว่าในช่วงของ R_e และ R_{e10cm} อยู่ในช่วง $1 \times 10^3 - 7 \times 10^6$ อัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้ลมเป่ามีค่าสูงกว่าอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยวิธีการกวนสูงสุดถึงประมาณ 9 เท่า โดยความแตกต่างนี้จะมากเมื่อ R_e และ R_{e10cm} มีค่าน้อย ในทางปฏิบัติ R_e จะต่ำกว่า R_{e10cm} มาก (เพราะ R_e คำนวณจากคุณสมบัติของน้ำตามสมการ (7) ในขณะที่ R_{e10cm} คำนวณจากคุณสมบัติของอากาศตามสมการ (6)) ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากสมการ (15), (16) และ (17) จะพบว่าอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้ลมเป่าจะมีค่าสูงกว่าอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยการกวนและอัตราส่วนของอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้ลมเป่าต่ออัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยการกวนจะสูงกว่าค่าที่ได้แสดงไว้ใน Table 7 ซึ่งเป็นกรณีที่สมมติให้ $R_e = R_{e10cm}$ จากผลการทดลองที่กล่าวถึงในหัวข้อก่อนหน้านี้อันและจากผลของการจำลองการคำนวณในหัวข้อนี้สามารถยืนยันได้ว่าการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยใช้ลมเป่าจะให้ผลที่ดีกว่าการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำโดยการกวนอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำวิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้สำหรับการกำจัดแอมโมเนียจากทางน้ำยางแทนการกำจัดโดยการกวนที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป โดยแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการใช้ลมเป่าบนผิวหน้าของทางน้ำยางเพื่อไล่แอมโมเนียนั้นสามารถดำเนินการได้โดยการนำกระแสลมร้อนที่ถูกปล่อยทิ้งจากปล่องของเตาอบยางซึ่งมีความเร็วสูงพอมาล่องเข้าไปในรางส่งทางน้ำยางที่ต้องทำเป็นรางปิดและปล่อยกระแสลมออกที่ปลายอีกด้านหนึ่งของรางซึ่งอาจต่อเชื่อมอยู่กับระบบดักจับแอมโมเนียอย่างง่าย เช่นหลอดดูดซึมแบบพ่นฝอยเป็นต้น ละอองน้ำจะดูดซึมแอมโมเนียออกจากอากาศเสียก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ แนวทางการประยุกต์ใช้กระแสลมจากปล่องของเตาอบยางเพื่อไล่แอมโมเนียออกจากทางน้ำยางนั้นนอกจากจะกำจัดแอมโมเนียออกจากทางน้ำยางได้แล้ววิธีการดังกล่าวยังถือได้ว่าเป็นการอนุรักษ์และรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วยเพราะเป็นการนำพลังงานที่ปล่อยทิ้งมาใช้ประโยชน์และการกำจัดแอมโมเนียโดยให้แอมโมเนียระเหยในรางปิดและปล่อยอากาศเสียสู่ระบบบำบัดที่เหมาะสมจะช่วยลดมลภาวะทางอากาศทั้งภายในโรงงานและในบรรยากาศโดยทั่วไปได้

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการใช้ลมเป่าและผลของการกวนต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมและอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำในชุดทดลองขนาดต้นแบบ พบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียและอัตราการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำแปรผันตรงกับตัวเลขเรโนลด์ในทั้งสองระบบที่ศึกษาแต่ที่ตัวเลขเรโนลด์เท่ากันอัตราการกำจัดแอมโมเนียโดยใช้ลมเป่าสูงกว่าอัตราการกำจัดแอมโมเนียโดยวิธีการกวนถึงประมาณ 1.5 ถึง 9 เท่า โดยขึ้นอยู่กับช่วงของตัวเลขเรโนลด์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ลมเป่าเป็นวิธีที่สามารถใช้กำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อกำจัดแอมโมเนียออกจากทางน้ำยางในกระบวนการผลิตยางสีกิมได้ โดยแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการใช้ลมเป่าบนผิวหน้าของทางน้ำยางเพื่อไล่แอมโมเนียนั้นสามารถดำเนินการได้โดยการนำกระแสลมร้อนที่ถูกปล่อยทิ้งจากปล่องของเตาอบยางซึ่งมีความเร็วสูงพอมายกเข้าไปในรางส่งทางน้ำยางที่ต้องทำเป็นรางปิดและปล่อยกระแสลมออกที่ปลายอีกด้านหนึ่งของรางซึ่งอาจต่อเชื่อมอยู่กับระบบดักจับแอมโมเนียจากอากาศก่อนปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศต่อไปแนวทางการประยุกต์ใช้กระแสลมจากปล่องของเตาอบยางเพื่อไล่แอมโมเนียออกจากทางน้ำยางนั้นนอกจากจะกำจัดแอมโมเนียออกจากทางน้ำยางได้แล้วยังสามารถรักษาสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วยเพราะเป็นการนำพลังงานที่ปล่อยทิ้งมาใช้ประโยชน์และการกำจัดแอมโมเนียโดยให้แอมโมเนียระเหยในรางปิดและปล่อยอากาศเสียสู่ระบบบำบัดที่เหมาะสมจะช่วยลดมลภาวะทางอากาศทั้งภายในโรงงานและในบรรยากาศโดยทั่วไปได้ นอกจากนี้แล้วความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมของแอมโมเนียกับตัวเลขเรโนลด์ที่ได้จากการศึกษานี้ยังสามารถใช้หาอัตราการระเหยของแอมโมเนียจากน้ำเนื่องผลของความเร็วมวลและผลของการกวนผสมได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2545 ของขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือวิเคราะห์ สารมาตรฐานโคค ทำให้การวิจัยดำเนินไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

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

สมทิพย์ ด้านธีรวิชัย เจตจรรย์ ศิริวงศ์ อุดมผล พิษไพบุลย์ จรัญ บุญกาญจน์ และ เสาวลักษณ์ รุ่งตะวันเรืองศรี. 2545. การตรวจสอบการจัดการของเสียของโรงงานน้ำยางชั้น. รายงานวิจัยภายใต้ชุดโครงการวิจัยเรื่อง การจัดการของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม 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. Agitation. 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.

McCabe, W.L., Smith, J.C., and Harriott, P. 1993. Gas Absorption. Unit Operations of Chemical Engineering. Fifth Edition. McGraw-Hill, Inc. 686-737.

Whitman, W.G. 1923. Chem. Met. Eng. 29: 146.