

# การบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียโดยใช้คอลัมน์บรรจุร่วมกับปฏิกิริยาเคมี

จรัญ บุญกาญจน์<sup>1</sup> จันทิมา ชั่งสิริพร<sup>2</sup> และ รัชฎาพร เทพไชย<sup>3</sup>

## Abstract

Bunyakarn, C., Chongsiriporn, J., Thepchai, R.

### Treatment of ammonia in waste air using packed column coupling with chemical reaction

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2007, 29(3) : 825-836

Ammonia is a common chemical used in various industries. Emission of air contaminated with ammonia to the atmosphere without any treatment causes several effects on human health and environment. A high efficiency method for ammonia removal from waste air is then necessary. In this research, an absorption coupling with chemical reaction was investigated for ammonia removal from waste air using a packed column. The packed column of 10 cm diameter and 200 cm height was packed with 1.4x1.4 cm Raschig rings. Three liquids including water, NaOCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution were used as an absorbent for the investigation. The objectives of this research were to determine a suitable absorbent and the optimum condition for ammonia removal from waste air. The packed column was operated at room temperature and atmospheric pressure. The tested conditions were as follows: the gas to liquid ratio (G:L ratio) was 35-90 m<sup>3</sup> gas/m<sup>3</sup> liquid,

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112 Thailand.

<sup>1</sup>Ph.D. (Chemical Engineering) รองศาสตราจารย์ <sup>2</sup>Ph.D. (Environmental Technology) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ <sup>3</sup>นักศึกษาหลักสูตรวศ.ม. สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail: charun.b@psu.ac.th

รับต้นฉบับ 4 เมษายน 2549

รับลงพิมพ์ 16 พฤศจิกายน 2550

the inlet concentration of ammonia was 150-500 ppm and the air flow rate was 18 m<sup>3</sup>/h. The results showed that the ammonia removal efficiency depends on type of the absorbent and the operating condition. The efficiencies increased with decreasing of G:L ratio and with increasing absorbent concentration. They were 70%, 80-92%, and 95-100% for pure water, sodium hypochlorite solution and sulphuric acid solution, respectively. The efficiency decreased with time when water was used as an absorbent while it was almost constant when NaOCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution were applied. The ammonia removal efficiency when using H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> as the absorbent was not dependent on G:L ratio and inlet ammonia concentration, in the range used in this investigation. Since H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution gave the highest removal efficiency and can reduce ammonia concentration in waste air to levels which meet the TLV-TWA standard, it is recommended as an absorbent solution for ammonia removal from waste air.

**Key words :** ammonia, packed column, absorption, sodium hypochlorite, sulfuric acid

### บทคัดย่อ

จรัญ บุญกาญจน์ จันทิมา ชั่งสิริพร และ รัชฎาพร เทพไชย

การบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียโดยใช้คอลัมน์บรรจุร่วมกับปฏิกิริยาเคมี

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2550 29(3) : 825-836

แอมโมเนียเป็นสารเคมีที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท การปล่อยอากาศเสียที่ปนเปื้อนด้วยแอมโมเนียสู่บรรยากาศโดยไม่มีการบำบัดจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมเป็นอันมาก จึงจำเป็นต้องหาวิธีการที่มีประสิทธิภาพเพื่อบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองโดยอาศัยกระบวนการดูดซึมร่วมกับปฏิกิริยาเคมี โดยใช้คอลัมน์บรรจุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. บรรจุด้วย Raschig ring ขนาด 1.4x1.4 ซม. ความสูงเบด 200 ซม. ร่วมกับสารดูดซึม 3 ชนิด ได้แก่ น้ำ สารละลาย NaOCl และสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อหาชนิดของสารดูดซึมและสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย โดยระบบดำเนินการที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ สภาวะการทดลองของตัวแปรดำเนินการที่ใช้ คือ อัตราส่วนอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลของเหลว (G:L ratio) มีค่าอยู่ในช่วง 35-90 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองที่ทางเข้าของคอลัมน์อยู่ในช่วง 150-500 ppm และอัตราการไหลของอากาศเป็น 18 ลบ.ม./ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียขึ้นอยู่กับสภาวะดำเนินการและชนิดของสารดูดซึม การลด G:L ratio และการเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซึมทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองสูงสุดภายใต้สภาวะที่ศึกษามีค่าเท่ากับ 70%, 80-92% และ 95-100% เมื่อใช้น้ำ สารละลาย NaOCl และสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เป็นสารดูดซึมตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียเมื่อให้น้ำเป็นสารดูดซึมจะลดลงกับเวลา ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียเมื่อใช้สารละลาย NaOCl และใช้สารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เป็นสารดูดซึมมีค่าเกือบคงที่ตลอดระยะเวลาดำเนินการ เมื่อพิจารณาเลือกสารดูดซึมที่เหมาะสมพบว่าสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> มีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงและสามารถลดแอมโมเนียในอากาศลงได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

แอมโมเนียเป็นสารเคมีสำคัญที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางซึ่งตั้งกระจายอยู่ทั่วภาคใต้และกำลังขยายไปสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคอื่นของประเทศ แอมโมเนียถูกใช้เป็นสารรักษาสภาพน้ำยางโดยการยับยั้งการเจริญเติบโต

ของแบคทีเรีย การใช้แอมโมเนียในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางซึ่งมีใช้ใน 3 ขั้นตอนหลักๆ คือใช้รักษาสภาพน้ำยางสดที่กรี๊ดได้ก่อนส่งโรงงาน ใช้รักษาสภาพน้ำยางสดขณะรอการปั่นแยก และใช้เพื่อรักษาคุณภาพน้ำยางชั้น จากข้อมูล

ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2546) พบว่า ปริมาณการใช้แอมโมเนียในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 14 และ 20 กก./ตันน้ำยางชั้น สำหรับการผลิตน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำและแอมโมเนียสูงตามลำดับ ดังนั้นสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นที่ผลิตน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง 100 ตัน/วันจะต้องใช้แอมโมเนียสูงถึง 2,000 กก./วัน ในกระบวนการผลิตน้ำยางชั้น แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำยางจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศได้มากใน 2 ขั้นตอน คือ ในขั้นตอนการปั่นแยกน้ำยางและในขั้นตอนการไล่แอมโมเนียออกจากน้ำยางโดยใช้รางเปิด การปล่อยแอมโมเนียสู่บรรยากาศมีผลต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของสิ่งมีชีวิต เพราะแอมโมเนียเป็นแก๊สพิษและกัดกร่อน มีอันตรายต่อร่างกาย การได้รับแอมโมเนียทางปากจะทำให้เนื้อเยื่อทางเดินอาหารถูกกัดกร่อนเกิดแผลไหม้ มีอาการคลื่นไส้ ปวดท้อง อาเจียน หมดสติ เมื่อสัมผัสแอมโมเนียทางจุก ตา ผิวหนัง จะมีอาการระคายเคือง อึดอัดหายใจไม่สะดวก เจ็บคอ แสบหน้าอก ทำให้ปอดและหลอดลมอักเสบได้ การสัมผัสกับแอมโมเนียในระดับความเข้มข้นสูงๆ มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง คลื่นไส้ อาเจียน เกร็งชัก และเสียชีวิตได้ ทั้งนี้ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมโมเนียที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศการทำงานสำหรับประเทศไทย คือ 50 ppm ดังนั้นการบำบัดแอมโมเนียในอากาศที่ปนเปื้อนด้วยแอมโมเนียให้ได้มาตรฐานก่อนปล่อยสู่บรรยากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

ในขั้นตอนการปั่นแยกน้ำยางของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นจะมีระบบดูดอากาศและไอแอมโมเนียบริเวณเครื่องปั่นไปป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดอากาศซึ่งมีลักษณะเป็น wet-scrubber ที่ใช้น้ำเป็นสารดูดซึม เนื่องจากความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศในท่อดูดอากาศจากเครื่องปั่นมีความเข้มข้นสูงระบบ wet-scrubber ที่ใช้น้ำเป็นสารดูดซึมจึงเข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็วและไม่สามารถใช้งานได้ โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นส่วนใหญ่ที่ติดตั้งระบบ wet-scrubber ดังกล่าวจึงไม่ได้เดินระบบทำให้ต้องปล่อยอากาศที่มีแอมโมเนียปนเปื้อนอยู่สู่บรรยากาศโดยตรง การหาสารดูดซึมที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้แทนน้ำในระบบบำบัดแอมโมเนียสำหรับอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็น แม้ว่านักวิจัยหลายท่าน เช่น Brettschneider และคณะ (2004) Gamisans และคณะ (2002) ได้ศึกษาถึงใช้การกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) เป็นสารดูดซึมเพื่อบำบัดแอมโมเนียในอากาศ

และพบว่าประสิทธิภาพสูง แต่ช่วงของความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศที่ศึกษาในงานวิจัยที่ผ่านมาต่ำกว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียที่พบในโรงงานน้ำยางชั้นมาก สารออกซิเดชันโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) เป็นสารออกซิเดชันที่นิยมใช้ในการบำบัดอากาศที่ปนเปื้อนด้วยแก๊สพิษและสารอินทรีย์ระเหยง่ายหลายชนิด (Chu *et al.*, 2001; Chungsiriporn *et al.*, 2006) แต่การใช้ NaOCl เพื่อบำบัดอากาศเสียที่ปนเปื้อนด้วยแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงๆ ยังไม่มีรายงานไว้เช่นกัน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศในระดับสูง โดยใช้กระบวนการดูดซึมในคอลัมน์บรรจุ โดยการใช้ น้ำ สารละลาย NaOCl และสารละลาย  $H_2SO_4$  เป็นสารดูดซึม เพื่อหาชนิดของสารดูดซึมและภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นต่อไป

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลอง ทำในคอลัมน์บรรจุ (Packed column) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. ความสูงของเบด 200 ซม. บรรจุด้วยวัสดุบรรจุ (Packing) ชนิด Raschig ring ขนาด 1.4x1.4 ซม. โดยมีสัดส่วนช่องว่างของเบดเท่ากับ 0.82 คอลัมน์บรรจุถูกต่อเชื่อมอยู่กับระบบสร้างอากาศเสียจำลองและระบบหมุนเวียนของสารดูดซึมดังแสดงใน Figure 1 สารดูดซึมที่ใช้ในการศึกษามี 3 ชนิด คือ น้ำ สารละลาย NaOCl และสารละลาย  $H_2SO_4$  ตัวแปรดำเนินการที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศ ความเข้มข้นของสารดูดซึม (ค่าความเข้มข้นของสารละลาย NaOCl และค่า pH กรณีของการใช้สารละลาย  $H_2SO_4$  เพื่อให้สะดวกในการดำเนินการจริงในโรงงาน) และอัตราส่วนของอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการไหลของสารดูดซึม (G:L ratio) ภาวะการทดลองเมื่อใช้น้ำ ใช้สารละลาย NaOCl และใช้สารละลาย  $H_2SO_4$  เป็นสารดูดซึม แสดงใน Table 1-3

การทดลองบำบัดแอมโมเนียจากอากาศเสียจำลอง เริ่มด้วยการเตรียมอากาศเสียจำลองโดยการปล่อยแก๊สแอมโมเนียจากถังแก๊สแอมโมเนียเข้าผสมกับอากาศอัดให้ได้

**Table 1. Experimental conditions for NH<sub>3</sub> removal from waste air using water (pH = 7) as an absorbent**

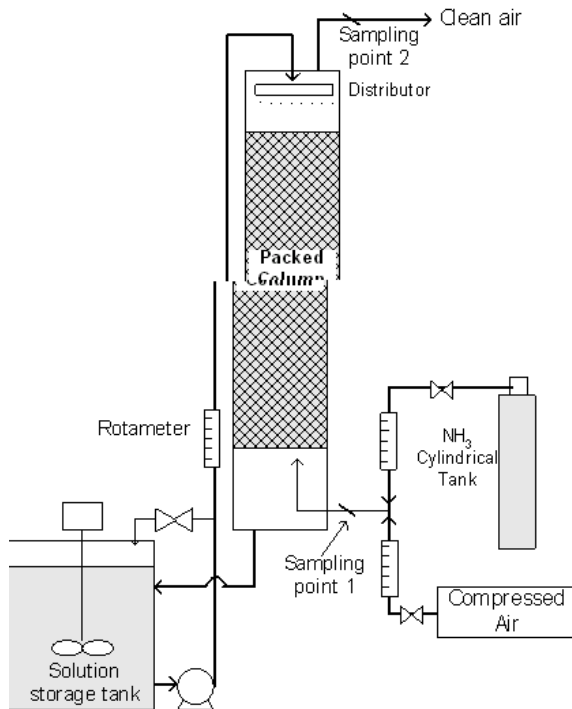
RUN	Inlet ammonia concentration (ppm)	G:L ratio
1	500	45
2	500	35
3	400	35
4	200	35
5	150	35
6	100	35

**Table 2. Experimental conditions for NH<sub>3</sub> removal from waste air using NaOCl solution as an absorbent**

RUN	Inlet ammonia concentration (ppm)	G:L ratio	Concentration of NaOCl solution (ppm) (pH=11.5±0.2)	Optimum parameters
7	500	45	0	Concentration of NaOCl = X <sub>1</sub>
8	500	45	600	
9	500	45	800	
10	500	45	1000	
11	500	45	1200	
12	500	40	X <sub>1</sub>	G:L ratio = X <sub>2</sub>
13	500	60	X <sub>1</sub>	
14	500	90	X <sub>1</sub>	
15	100	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	Concentration of NH <sub>3</sub> = X <sub>3</sub>
16	150	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	
17	200	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	
18	400	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	
19	500	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	

**Table 3. Experimental conditions for NH<sub>3</sub> removal from waste air using H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution as an absorbent**

RUN	Inlet ammonia concentration (ppm)	G:L ratio	pH of H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> solution	Optimum parameters
20	500	45	4.0	pH of H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> solution = X <sub>6</sub>
21	500	45	6.0	
22	500	45	6.5	
23	500	45	8.0	
24	500	45	9.5	
25	500	35	X <sub>6</sub>	G:L ratio = X <sub>7</sub>
26	500	60	X <sub>6</sub>	
27	500	90	X <sub>6</sub>	
28	150	X <sub>7</sub>	X <sub>6</sub>	Concentration of NH <sub>3</sub> = X <sub>8</sub>
29	200	X <sub>7</sub>	X <sub>6</sub>	
30	400	X <sub>7</sub>	X <sub>6</sub>	
31	500	X <sub>7</sub>	X <sub>6</sub>	



**Figure 1. Schematic diagram of a packed column used for removal of NH<sub>3</sub> from waste air**

ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียและอัตราการไหลของอากาศเสียจำลองตามต้องการ อากาศเสียจำลองจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์บรรจุที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ เตรียมสารดูดซึมปริมาตร 40 ลิตร ในกรณีที่ใช้น้ำเป็นสารดูดซึมจะใช้น้ำประปาที่ผ่านการกรองเป็นสารดูดซึมสำหรับกรณีที่ใช้น้ำสารละลาย NaOCl และสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เป็นสารดูดซึม ทำการเตรียมโดยละลายสารละลาย NaOCl (10% โดยน้ำหนัก, commercial grade) และสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เข้มข้น (99% โดยน้ำหนัก) ในน้ำประปาที่ผ่านการกรองแล้วให้ได้ความเข้มข้นของสารดูดซึมตามต้องการ (ความเข้มข้นของสารละลาย NaOCl วัดจากค่าความเข้มข้นของคลอรีนและความเข้มข้นของสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> วัดในเทอมของ pH) เริ่มการทดลองโดยปั๊มสารดูดซึมด้วยอัตราการไหลที่กำหนดป้อนเข้าทางด้านบนของคอลัมน์บรรจุผ่านอุปกรณ์กระจายของเหลว (Liquid distributor) และวัสดุบรรจุลงสู่ด้านล่างของคอลัมน์ส่วนทางด้านบนของคอลัมน์บรรจุจะเกิดการสัมผัสระหว่างวัฏภาคแก๊สและของเหลวทำให้เกิดการดูดซึมและปฏิกิริยาเคมีขึ้นภายในคอลัมน์บรรจุ ทำการเก็บ

ตัวอย่างอากาศเสียจำลองที่ทางเข้าและที่ทางออกของคอลัมน์บรรจุโดยใช้ปั๊มเก็บตัวอย่าง (sampling pump) ต่อเข้ากับ gas wash bottle heads ที่บรรจุด้วยสารละลายกรดบอริก เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศก่อนและหลังการบำบัด การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอมโมเนียใช้วิธีพีเนต (phenate method) โดยใช้เครื่อง UV-Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร (APHA, AWWA and WPCF, 1971) ในระหว่างการทดลองทำการตรวจวัดความเข้มข้นของสารดูดซึม โดยการเก็บตัวอย่างสารดูดซึมจากถังบรรจุสารดูดซึมทุก ๆ 1 ชั่วโมง นำมาวัดค่าพีเอชในกรณีที่ใช้น้ำสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เป็นสารดูดซึม และวัดปริมาณความเข้มข้นของคลอรีนเมื่อใช้น้ำสารละลาย NaOCl เป็นสารดูดซึมด้วยวิธี Iodometric method (APHA, AWWA and WPCF, 1971) ทำการเติมสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> หรือ NaOCl แล้วแต่กรณีเพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารดูดซึมให้คงที่ตลอดการทดลอง

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 1. การใช้น้ำเป็นสารดูดซึม

##### 1.1 ผลของ G:L ratio ต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย

ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียจากอากาศเสียคำนวณได้จากความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทางเข้าและที่ทางออกของคอลัมน์บรรจุ ดังสมการ (1)

$$\text{Ammonia removal eff.} = \frac{C_{\text{NH}_3, \text{in}} - C_{\text{NH}_3, \text{out}}}{C_{\text{NH}_3, \text{in}}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $C_{\text{NH}_3, \text{in}}$  = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียที่ทางเข้าของคอลัมน์บรรจุ (ppm)

$C_{\text{NH}_3, \text{out}}$  = ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียที่ทางออกของคอลัมน์บรรจุ (ppm)

Ammonia removal eff.

= ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย (%)

ผลของ G:L ratio ต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเมื่อใช้น้ำเป็นสารดูดซึมแสดงใน Figure 2

พบว่า เมื่อ G:L ratio เพิ่มจาก 35 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม. ของเหลว เป็น 45 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว ประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลงประมาณ 10% และเมื่อพิจารณาที่ G:L ratio ใดๆ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมีแนวโน้มลดลง โดยประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียลดลงประมาณ 20-30% ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง ที่ศึกษา สาเหตุเพราะความเข้มข้นของแอมโมเนียในสารดูดซับซึ่งหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่นั้นมีค่าสูงขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้แรงขับเคลื่อนในการถ่ายโอนมวลจากวัฏภาคแก๊สไปสู่วัฏภาคของเหลวลดลง ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียจากอากาศจึงลดลง (Fischer *et al.*, 2004 อ้างโดย Schlegelmilch *et al.*, 2005)

**1.2 ผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย**

จากการศึกษาการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียแปรเปลี่ยนในช่วง 100-500 ppm โดยที่ G:L ratio และอัตราการไหลของอากาศคงที่ที่ 35 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม. ของเหลว และ 18 ลบ.ม./ชั่วโมง ตามลำดับ ได้ผลการทดลองแสดงดัง Figure 3 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเพิ่มจาก 100 ppm ไปเป็น 200 ppm ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่เวลา 60 นาทีหลังจากเริ่มป้อนอากาศเสียเข้าคอลัมน์มีแนวโน้มสูงขึ้นจาก 60% ไปเป็น

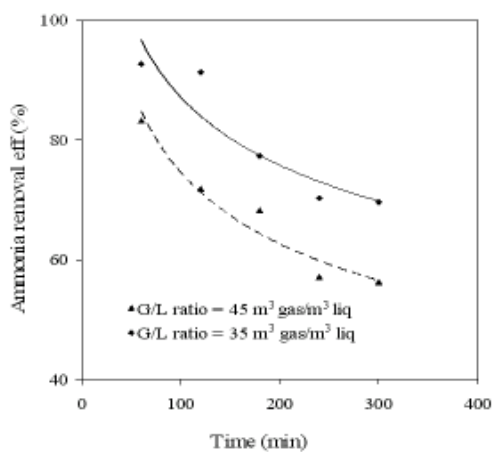


Figure 2. NH<sub>3</sub> removal efficiency vs. time using water as an absorbed liquid (inlet NH<sub>3</sub> concentration = 500 ppm and air flow rate = 18 m<sup>3</sup>/h)

90% และเมื่อความเข้มข้นสูงกว่า 200 ppm ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียที่เวลาดังกล่าวจะคงที่ที่ 90% การเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนระหว่างวัฏภาคแก๊สกับวัฏภาคของเหลว (Gamisans *et al.*, 2002) ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียจนถึงประสิทธิภาพสูงสุดของคอลัมน์บรรจุที่สภาวะนั้นๆ จากนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดแต่อย่างใด ดังจะเห็นได้อย่างชัดเจนใน Figure 3 โดยประสิทธิภาพสูงสุดของคอลัมน์บรรจุที่ดำเนินการที่ G:L ratio เท่ากับ 35 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว และอัตราการไหลของอากาศ 18 ลบ.ม./ชั่วโมง มีค่าประมาณ 90% และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่ใช้ (ประสิทธิภาพเฉลี่ยที่เวลา t = 180 ถึง 300 นาที) พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพที่ 60 นาทีแรกในทุกความเข้มข้นที่ศึกษา และถ้าใช้น้ำหมุนเวียนต่อไปอย่างต่อเนื่องประสิทธิภาพการบำบัดก็จะลดลงไปอีก

**2. การใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นสารดูดซับ**

**2.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย**

ผลการศึกษาอิทธิพลของสารละลาย NaOCl

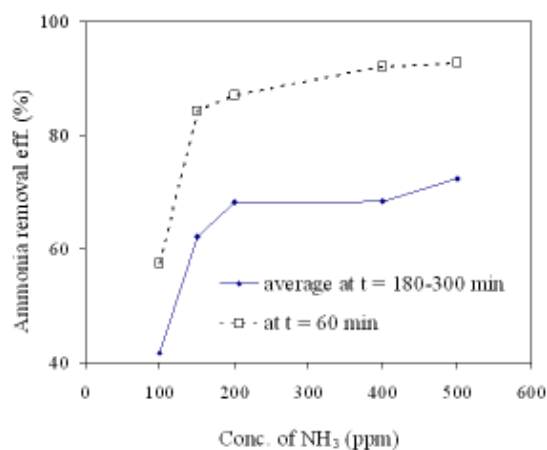
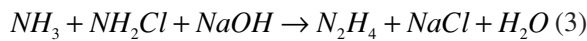
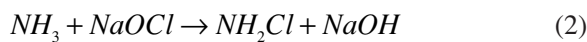


Figure 3. NH<sub>3</sub> removal efficiency vs. inlet NH<sub>3</sub> concentration using water as an adsorbed liquid (air flow rate = 18 m<sup>3</sup>/h and G:L ratio = 35 m<sup>3</sup> gas/m<sup>3</sup> liquid)

ต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย (Figure 4) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียเทียบกับเวลา พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียโดยใช้สารละลาย NaOCl มีค่าสูงในช่วงแรกๆ และลดลงเล็กน้อยก่อนจะคงที่ตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา ซึ่งแตกต่างจากกรณีที่ใช้ น้ำเป็นสารดูดซับที่ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับเวลาที่ผ่านไป ดังแสดงใน Figure 4 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ากรณีที่ใช้สารละลาย NaOCl เป็นสารดูดซับแอมโมเนียที่ถูกดูดซับในน้ำจะถูกออกซิไดซ์เป็นผลิตภัณฑ์อื่น ดังปฏิกิริยาที่แสดงในสมการ (2) และ (3) ความเข้มข้นของแอมโมเนียในสารดูดซับไม่เพิ่มขึ้นกับเวลา เมื่อหมุนเวียนสารดูดซับกลับมาใช้ใหม่จึงสามารถดูดซับแอมโมเนียได้เหมือนกับสารดูดซับใหม่สด ประสิทธิภาพของระบบจึงคงตัวอยู่ได้



นอกจากนี้แล้วจาก Figure 4 มีจุดที่น่าสนใจคือ ในช่วง 50 นาทีแรกของการบำบัด พบว่า การใช้น้ำเป็นสาร

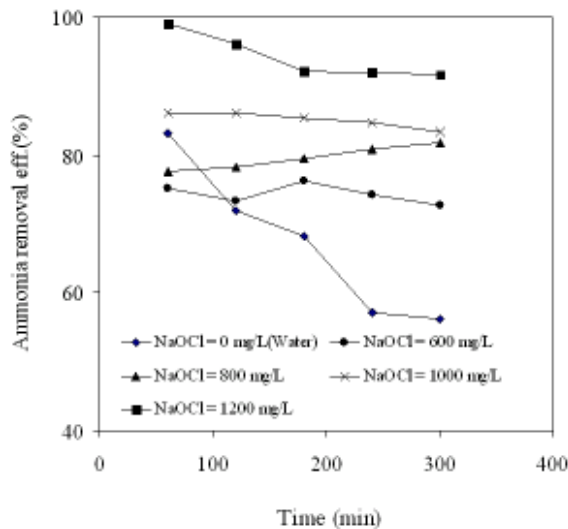


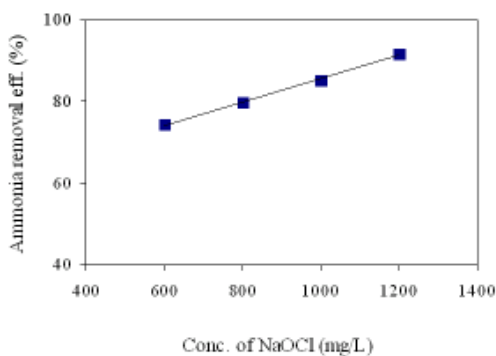
Figure 4.  $NH_3$  removal efficiency vs. time using sodium hypochlorite as an adsorbed liquid (inlet  $NH_3$  concentration = 500 ppm and air flow rate of  $18 \text{ m}^3/\text{h}$ )

ดูดซับให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้สารละลาย NaOCl ที่ความเข้มข้นต่ำๆ (600 และ 800 มก./ลิตร) ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างแอมโมเนียกับ NaOCl ที่ความเข้มข้นของ NaOCl ดังกล่าวอาจจะไม่เพียงพอ การดูดซับของแอมโมเนียในน้ำบริสุทธิ์จึงเกิดได้ดีกว่าการดูดซับในสารละลาย NaOCl เมื่อเวลาผ่านไปแอมโมเนียถูกดูดซับเข้าไปในสารละลาย NaOCl เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง แม้ว่าความเข้มข้น NaOCl จะต่ำแต่ก็สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เพราะอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของแอมโมเนียและความเข้มข้นของ NaOCl ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียเมื่อใช้ NaOCl สูงกว่าการใช้น้ำและมีค่าคงที่ตลอดเวลาในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียเมื่อใช้น้ำเป็นสารดูดซับลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนที่ความเข้มข้นของ NaOCl สูงกว่า 800 มก./ลิตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่ากรณีที่ใช้ น้ำตั้งแต่ช่วงแรก แสดงว่าที่ความเข้มข้นของ NaOCl สูงกว่า 800 มก./ลิตร นั้น ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นได้ทันทีแม้จะมีแอมโมเนียในสารดูดซับต่ำ ดังนั้นประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศจึงสูงกว่าการใช้น้ำและมีค่าคงที่ตลอดเวลา

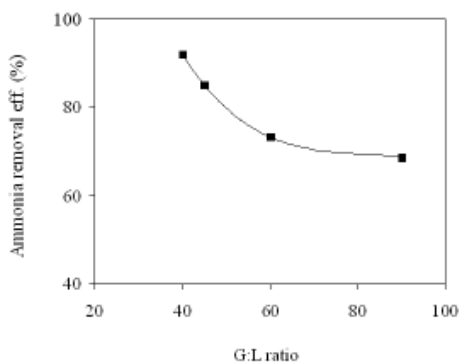
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียกับความเข้มข้นของสารละลาย NaOCl พบว่าประสิทธิภาพมีค่าสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย NaOCl ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Figure 5 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย NaOCl เพิ่มขึ้นจาก 600 เป็น 1200 มก./ลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นจาก 75 เป็น 92% ทั้งนี้เพราะอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างแอมโมเนียและ NaOCl สูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย NaOCl แม้ว่าที่ความเข้มข้นของสารละลาย NaOCl เท่ากับ 1200 มก./ลิตร จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดถึง 92% แต่จากการทดลองพบว่าที่สภาวะนี้ระบบเกิดการคายความร้อนและเกิดควันขึ้นแสดงว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างแอมโมเนียกับ NaOCl ที่ความเข้มข้นของ NaOCl สูงเกิดขึ้นรุนแรง ที่ความเข้มข้นนี้จึงไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน ความเข้มข้นของสารละลาย NaOCl ที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง คือ 1000 มก./ลิตร โดยให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 85% ซึ่งสูงกว่าในกรณีที่ใช้ น้ำใหม่สดถึงประมาณ 20%

**2.2 ผลของ G:L ratio ต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย**

ผลของ G:L ratio ต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองเมื่อใช้สารละลาย NaOCl เป็นสารดูดซับแสดงดัง Figure 6 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองมีค่าเป็น 92% ที่ G:L ratio เท่ากับ 40 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว และลดลงเหลือเพียง



**Figure 5.** Average NH<sub>3</sub> removal efficiency vs. NaOCl concentration using NaOCl solution as an absorbed liquid (inlet NH<sub>3</sub> concentration = 500 ppm, air flow rate = 18 m<sup>3</sup>/h, G:L ratio = 45 m<sup>3</sup> gas/m<sup>3</sup> liquid and average removal eff. at t = 180-300 min)



**Figure 6.** Average NH<sub>3</sub> removal efficiency vs.G:L ratios using NaOCl solution as an absorbed liquid (inlet NH<sub>3</sub> = 500 ppm, air flow rate = 18 m<sup>3</sup>/h, NaOCl concentration = 1000 mg/L and average removal eff. at t = 180-300 min)

68% เมื่อ G:L ratio เพิ่มขึ้นเป็น 90 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว เนื่องจากในการศึกษานี้ควบคุมอัตราการไหลของอากาศเสียให้คงที่ที่ 18 ลบ.ม./ชั่วโมง ค่า G:L ratio ที่ต่ำลงแสดงถึงการไหลของเหลวดูดซับด้วยอัตราการไหลสูง เป็นผลให้ปริมาณสารดูดซับและพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคแก๊สและวัฏภาคของเหลวในระบบเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงเมื่อ G:L ratio มีค่าสูงขึ้น นั่นคือ เมื่อเพิ่ม G:L ratio จาก 40 เป็น 90 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว อัตราการไหลของสารดูดซับมีค่าน้อยลงประสิทธิภาพการบำบัดจึงลดลง จาก Figure 6 เมื่อพิจารณาแนวโน้มของประสิทธิภาพการบำบัด เมื่อ G:L ratio เพิ่มขึ้นจาก 35 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว เป็น 45 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศลดลงประมาณ 10% ซึ่งสอดคล้องกับกรณีที่ใช้ น้ำเป็นสารดูดซับ (Figure 2) ที่พบว่าเมื่อ G:L ratio เพิ่มขึ้น 10 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว (จาก 35 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว เป็น 45 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.) ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศจะลดลงประมาณ 10% เช่นกัน แสดงว่าความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเมื่อเปลี่ยนแปลง G:L ratio ในทั้งสองระบบมีค่าใกล้เคียงกัน เพียงแต่ระบบที่ใช้สารละลาย NaOCl เป็นสารดูดซับจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้น้ำ

**2.3 ผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย**

ผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทางเข้าของคอลัมน์บรรจุที่แปรเปลี่ยนในช่วง 100-500 ppm ต่อประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อใช้สารละลาย NaOCl เป็นสารดูดซับที่ความเข้มข้นของสารละลาย NaOCl อัตราการไหลของอากาศ และ G:L ratio เท่ากับ 1000 มก./ลิตร 18 ลบ.ม./ชั่วโมง และ 45 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว ตามลำดับ แสดงดัง Figure 7 พบว่าในช่วงที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มจาก 100 เป็น 200 ppm ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียสูงขึ้นตามความเข้มข้นของแอมโมเนียที่สูงขึ้น การเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนในการถ่ายโอนมวลจากวัฏภาคแก๊สเข้าสู่วัฏภาคของเหลว รวมทั้งเป็นการเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดในช่วงที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มจาก 100 เป็น 200 ppm เพิ่มขึ้นตามความ



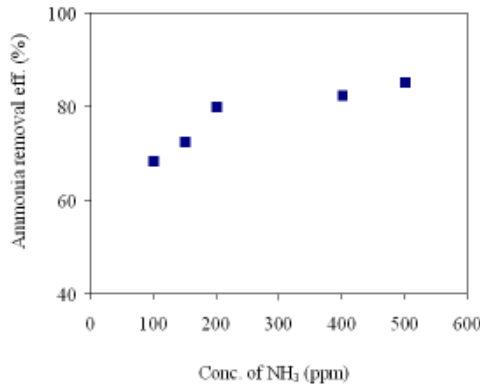


Figure 7. Average NH<sub>3</sub> removal efficiency vs. inlet NH<sub>3</sub> concentration using NaOCl solution as adsorbed liquid (air flow rate = 18 m<sup>3</sup>/h, G:L ratio = 45 m<sup>3</sup> gas/m<sup>3</sup> liquid, NaOCl concentration = 100-500 ppm and average removal eff. at t = 180-300 min)

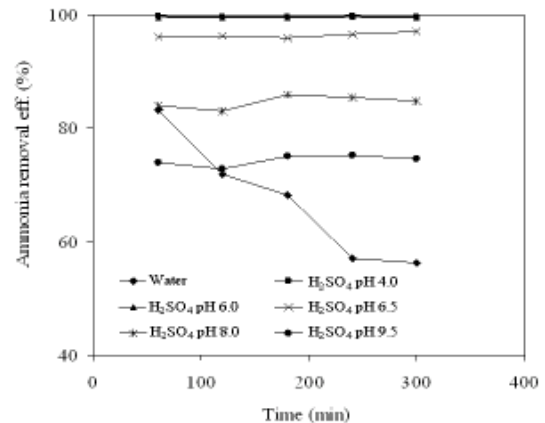


Figure 8. NH<sub>3</sub> removal efficiency vs. time using H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution as adsorbed liquid (inlet NH<sub>3</sub> concentration = 500 ppm, air flow rate = 18 m<sup>3</sup>/h and G:L ratio = 45 m<sup>3</sup> gas/m<sup>3</sup> liquid).

เข้มข้นของแอมโมเนียอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 200 ppm ประสิทธิภาพการบำบัดจะคงตัวและไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไปซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับกรณีที่ใช้ น้ำ เป็นสารดูดซับ การเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศให้สูงขึ้นแม้จะเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาแต่จะไม่สามารถเพิ่มอัตราเร็วรวมของระบบได้เพราะถูกจำกัดด้วยปริมาณแอมโมเนียที่สามารถดูดซับได้ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าคงตัว ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่ากลไกการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียโดยใช้การดูดซับร่วมกับปฏิกิริยาเคมีนั้นจะเกิดการดูดซับและปฏิกิริยาต่อเนื่องกันเป็นแบบอนุกรม กลไกการบำบัดแอมโมเนียจากอากาศในกรณีที่ใช้สารละลาย NaOCl เป็นสารดูดซับ คือ เกิดการถ่ายโอนมวลของแอมโมเนียจากวัฏภาคแก๊สไปยังวัฏภาคของเหลวก่อน แล้วจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ NaOCl ตามมาเป็นอนุกรม จากการศึกษาที่ยังพบว่าขั้นตอนการถ่ายโอนมวลเป็นขั้นตอนควบคุมอัตราเร็วรวมของระบบ การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดจะต้องปรับตัวแปรดำเนินการที่มีผลต่อการถ่ายโอนมวล คือ อัตราการไหลของอากาศ และ G:L ratio ให้เหมาะสม

### 3. การใช้สารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เป็นสารดูดซับ

#### 3.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย

ผลของความเข้มข้นของสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียแสดงใน Figure 8 พบว่าการใช้สารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เป็นสารดูดซับที่ pH ต่างๆ นั้นจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในอากาศสูงกว่าการใช้น้ำและมีประสิทธิภาพคงที่ตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา ทั้งนี้เพราะเกิดจากกลไกร่วมระหว่างกลไกการดูดซับและกลไกการเกิดปฏิกิริยาสะเทินระหว่างแอมโมเนียและสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> โดยแอมโมเนียจากวัฏภาคแก๊สจะถ่ายโอนเข้าสู่วัฏภาคของเหลวและถูกสะเทินด้วยกรด H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ตามสมการ (4) ทำให้ไม่มีแอมโมเนียเหลืออยู่ในสารดูดซับจึงสามารถนำสารดูดซับหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ตลอดเวลา ดำเนินการโดยที่ประสิทธิภาพการบำบัดคงที่



เมื่อพิจารณาผลของ pH ของสารดูดซับต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย พบว่า

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียจากอากาศลดลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Figure 9 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hung และคณะ (2003) จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 4.0 เป็น 9.5 ประสิทธิภาพในการบำบัดจะลดลงจากประมาณ 100% เหลือเพียง 74% และในช่วง pH เท่ากับ 4.0-6.0 จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดถึงประมาณ 100% และเมื่อพิจารณาจากค่ามาตรฐาน TLV-TWA สำหรับประเทศไทยซึ่งกำหนดความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศในบรรยากาศการทำงานไว้ไม่เกิน 50 ppm (กรมโรงงาน

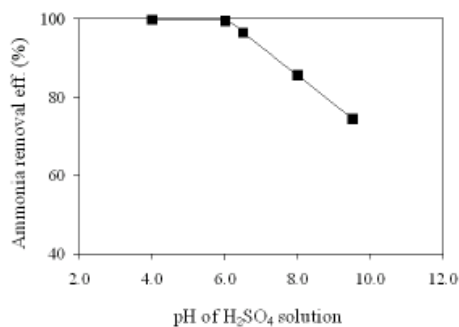


Figure 9. Average NH<sub>3</sub> removal efficiency vs. pH of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution (inlet NH<sub>3</sub> concentration = 500 ppm air flow rate = 18 m<sup>3</sup>/h, G:L ratio = 45 m<sup>3</sup> gas/m<sup>3</sup> liquid and average removal eff. at t = 180-300 min)

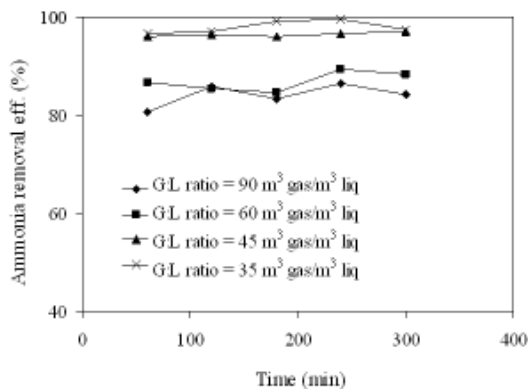


Figure 10. NH<sub>3</sub> removal efficiency vs. time using H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution as adsorbed liquid (inlet NH<sub>3</sub> concentration = 500 ppm, air flow rate = 18 m<sup>3</sup>/h and pH = 6.5 ± 0.5).

อุตสาหกรรม, 2546) จะได้ว่าค่า pH ของสารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ในช่วง 4.0-6.5 ก็เพียงพอที่จะบำบัดแอมโมเนียในอากาศให้ผ่านมาตรฐาน TLV-TWA ได้

### 3.2 ผลของ G:L ratio ต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย

ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียจากอากาศเสียกับเวลาที่ G:L ratio ต่างๆ เมื่อใช้สารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เป็นสารดูดซับแสดงดัง Figure 10 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียที่ G:L ratio ใดๆ มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาดำเนินการ เพราะการบำบัดแอมโมเนียเกิดจากกลไกร่วมของการดูดซับกับปฏิกิริยาสะเทินดังอธิบายไว้ในหัวข้อ 3.1

อิทธิพลของ G:L ratio ต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาดำเนินการสำหรับกรณีที่ใช้สารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เป็นสารดูดซับแสดงดัง Figure 11 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียกับ G:L ratio เป็นไปในลักษณะเดียวกับกรณีที่ใช้สารละลาย NaOCl คือประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศจะลดลงกับ G:L ratio ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ NaOCl เป็นสารดูดซับซึ่งได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้แล้ว พบว่าการแปรเปลี่ยนของ G:L ratio ในกรณีที่ใช้สารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เป็นสารดูดซับมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียน้อยกว่ากรณีที่ใช้ NaOCl ดังจะเห็นได้จาก Figure 11 เมื่อ G:L ratio เพิ่มขึ้นจาก 35 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว เป็น 45 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศลดลงเพียงประมาณ 3% ในขณะที่การแปรเปลี่ยนของ G:L ratio ในช่วงเดียวกันเมื่อใช้ NaOCl จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงถึง 10% และเมื่อพิจารณาการแปรเปลี่ยนของ G:L ratio ตลอดช่วงที่ศึกษาคือ เพิ่มจาก 35 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว เป็น 90 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียเมื่อใช้สารละลาย H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> เป็นสารดูดซับลดลงเพียงประมาณ 10% แสดงว่าปฏิกิริยาการสะเทินกรดมีประสิทธิภาพสูงกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จึงสามารถใช้ของเหลวดูดซับในอัตราการใช้ที่น้อยกว่าโดยยังคงให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูง

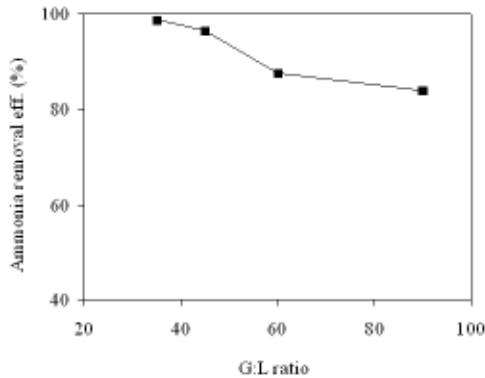


Figure 11. Average  $\text{NH}_3$  removal efficiency vs. G:L ratio (inlet  $\text{NH}_3$  concentration = 500 ppm, air flow rate =  $18 \text{ m}^3/\text{h}$ , pH =  $6.5 \pm 0.5$ , and average removal eff. at  $t = 180\text{-}300 \text{ min}$ )

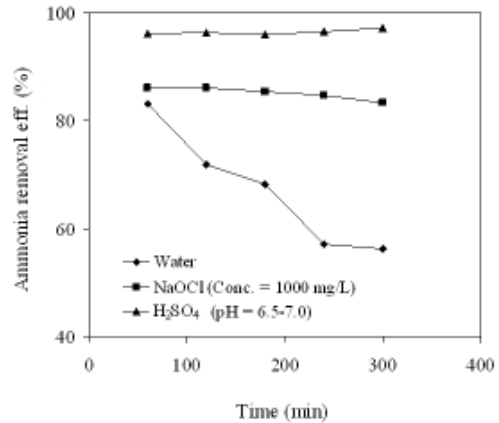


Figure 13.  $\text{NH}_3$  removal efficiency vs. time for various adsorbed liquids (inlet  $\text{NH}_3$  concentration = 500 ppm, air flow rate =  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  and G:L ratio =  $45 \text{ m}^3 \text{ gas}/\text{m}^3 \text{ liquid}$ )

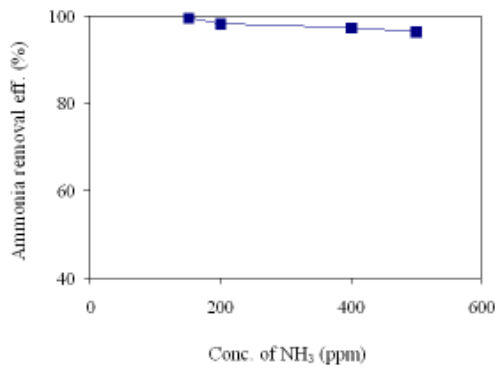


Figure 12. Average  $\text{NH}_3$  removal efficiency vs. inlet  $\text{NH}_3$  concentration using  $\text{H}_2\text{SO}_4$  solution as an adsorbed liquid (air flow rate =  $18 \text{ m}^3/\text{h}$ , G:L =  $45 \text{ m}^3 \text{ gas}/\text{m}^3 \text{ liquid}$ , pH =  $6.5 \pm 0.5$  and average removal eff. at  $t = 180\text{-}300 \text{ min}$ )

### 3.3 ผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศเสียต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย

ผลของความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทางเข้าของคอลัมน์บรรจุที่แปรเปลี่ยนในช่วง 150-500 ppm ต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียเมื่อใช้สารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เป็นสารดูดซับที่มี pH ของสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  อัตราการไหลของอากาศ และ G:L ratio เท่ากับ  $6.5 \pm 0.5$  18 ลบ.ม./ชั่วโมง และ 45 ลบ.ม.แก๊ส/ลบ.ม.ของเหลว ตามลำดับ แสดง

ดัง Figure 12 พบว่าการแปรเปลี่ยนของความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทางเข้าในช่วง 150-500 ppm มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการบำบัดน้อยมาก (ประมาณ 3%) ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาสะเทินแอมโมเนียด้วยกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียสูงมาก การแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทางเข้าในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษาจึงมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้อย

### 4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียเมื่อใช้น้ำ สารละลาย NaOCl และสารละลาย $\text{H}_2\text{SO}_4$ เป็นสารดูดซับ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียเมื่อใช้น้ำ สารละลาย NaOCl และสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เป็นสารดูดซับที่สภาวะดำเนินการเดียวกัน แสดงดัง Figure 13 จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการใช้สารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เป็นสารดูดซับในระบบ จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศสูงสุด รองลงมาคือ การใช้สารละลาย NaOCl ส่วนการใช้น้ำจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำสุด ดังนั้นการใช้สารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เป็นสารดูดซับโดยควบคุม pH ในช่วง  $6.5 \pm 0.5$  จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบำบัดแอมโมเนียจากอากาศ ส่วนการใช้สารละลาย NaOCl เป็นสารดูดซับแม้จะให้ประสิทธิภาพสูง

แต่จะเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการการบำบัดต่อ จึงเป็นทางเลือกที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้กรด  $H_2SO_4$  ส่วนการใช้ น้ำเพียงอย่างเดียวไม่นั้นไม่ควรพิจารณาเนื่องจากมีประสิทธิภาพต่ำและถ้าต้องการให้ประสิทธิภาพของระบบคงตัวอยู่ได้เป็นระยะเวลานาน จะต้องใช้น้ำปริมาณมากซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาในการจัดการน้ำเสียตามมาได้

### บทสรุป

การศึกษาการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียโดยใช้คอลัมน์บรรจุที่ใช้น้ำ สารละลาย NaOCl และสารละลาย  $H_2SO_4$  เป็นสารดูดซับ ทำการศึกษาปัจจัยหลักๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศ ได้แก่ G:L ratio ความเข้มข้นของสารดูดซับ และความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศที่ทางเข้าของคอลัมน์บรรจุ จากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าคอลัมน์บรรจุสามารถใช้บำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียได้ดี การใช้สารละลาย NaOCl และการใช้สารละลาย  $H_2SO_4$  เป็นสารดูดซับจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าการใช้น้ำอย่างชัดเจน โดยสามารถควบคุมประสิทธิภาพการบำบัดให้คงที่ตลอดระยะเวลาของการดำเนินการได้ เมื่อพิจารณาเลือกสารดูดซับที่เหมาะสม พบว่าสารละลาย  $H_2SO_4$  เป็นสารดูดซับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย เพราะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียในอากาศสูงสุดและประสิทธิภาพการบำบัดเปลี่ยนแปลงกับการแปรเปลี่ยนของตัวแปรดำเนินการน้อยมาก

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณทีมวิจัย HPRG ที่สนับสนุนการวิจัยบางส่วน ขอขอบคุณ คุณจรรยา อินทมณี ที่ให้คำปรึกษาการวิเคราะห์ตัวอย่างตลอดการศึกษาวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2546. หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขาทางพารา.
- APHA, AWWA. and WPCF. 1971. Standard methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, Inc. New York. 107-111, 232-233.
- Brettschneider, O., Thiele, R., Faber, R. and Wozny, G. 2004. Experimental investigation and simulation of the chemical absorption in a packed column for system  $NH_3-CO_2-H_2S-NaOH-H_2O$ . Sep. Purif. Technol. 39: 139-159.
- Chu, H., Chien, T.W. and Li, S.Y. 2007. Simultaneous absorption of  $SO_2$  and NO from flue gas with  $KMnO_4/NaOH$  solutions. The Science of The Total Environ. 275: 127-135.
- Hung, C.M., Lou, J.C. and Lin, C.H. 2003. Removal of ammonia solutions used in catalytic wet oxidation processes. Chemosphere. 52: 989-995.
- Gamisans, X., Sarra, M., and Javier Lafuente, F.J. 2002. Gas pollutants removal in a single- and two-stage ejector-venturi scrubber. J. Hazard. Mater. 90: 251-266.
- Tsai, C-J., Chang, C-T., Liu, T-W., Huang, C-C., Chien, C-L., and Chien, H.M. 2004. Emission characteristics and control efficiency of acidic and basic gases and aerosols from packed tower. Atmos. Environ. 38: 643-646.