



การบำบัดก๊าซเสียจากปล่องควันในกระบวนการอบยางแท่งโดยการดูดซึม
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุ
**Treatment of Waste Gas from Flue Gas in Rubber Drying Process by
Sodium Hydroxide and Monoethanolamine Absorption in Packed Column**

ธีรภัทร์ ตันกุลโรจน์
Teeraphat Tungulroat

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Chemical Engineering
Prince of Songkla University**

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดก๊าซเสียจากปล่องควันในกระบวนการอบยางแท่งโดยการดูดซึม
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุ
ผู้เขียน นายธีรภัทร์ ตันกุลโรจน์
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ บุญกาญจน์)

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ บุญกาญจน์)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม
เคมี

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดก๊าซเสียจากปล่องควันในกระบวนการอบยางแท่งโดยการดูดซึม
ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุ
ผู้เขียน นายธีรภัทร์ ตันกุลโรจน์
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

ปัญหาหมอกควันทางอากาศของโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งที่มีการร้องเรียนจากชุมชนบ่อยๆคือปัญหาเนื่องจากกลิ่นของก๊าซเสียที่ปล่อยจากปล่องของเตาอบยาง จากการศึกษาวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของก๊าซเสียดังกล่าวโดยใช้ GC-MS พบว่าองค์ประกอบหลักที่สามารถก่อให้เกิดกลิ่นได้คือกรดอะซิติก ดังนั้นการกำจัดกลิ่นของก๊าซเสียนี้จะต้องหาแนวทางในการบำบัดกรดอะซิติกนั่นเอง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติกในก๊าซเสียที่ปล่อยจากปล่องควันของเตาอบยางโดยกระบวนการดูดซึมทางเคมีในคอลัมน์บรรจุขนาด pilot ที่ติดตั้งที่โรงงานผลิตยางแท่งในจังหวัดพัทลุง และนำผลการศึกษาที่ได้ไปทดลองใช้งานจริงกับหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมของโรงงานดังกล่าว การศึกษาในหอดูดซึมขนาด pilot ทำการทดลองโดยใช้สารดูดซึม 2 ชนิด คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีน (MEA) โดยทำการศึกษาตัวแปรดำเนินการที่เกี่ยวข้อง 4 ตัวแปรได้แก่ ความเข้มข้นของสารดูดซึม (C) อัตราการไหลของสารดูดซึม (L) อัตราการไหลของก๊าซร้อน (G) และ อัตราส่วนของอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ (L/G) ผลการศึกษาในหอดูดซึมขนาด pilot (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm สูง 80 cm) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการการบำบัดกรดอะซิติก ในคอลัมน์บรรจุขนาด pilot คือ ความเข้มข้นของ NaOH เท่ากับ 0.7 mol/l และอัตราส่วนของอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซเท่ากับ 30 l/m³ โดยให้ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกเท่ากับ 90% และที่สภาวะเดียวกันนี้สารละลาย MEA จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกเพียง 62% สารละลาย NaOH จึงถูกเลือกเป็นสารละลายที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้กับหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมของทางโรงงาน ผลการศึกษาโดยใช้สารละลาย NaOH แทนการใช้น้ำเป็นสารดูดซึมพบว่าการเติม NaOH ในระบบในอัตรา 2 kg/hr จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกเท่ากับ 75% สูงกว่าการใช้น้ำซึ่งจะมีประสิทธิภาพเพียง 30% และเมื่อเทียบกับการเติม NaOH ในระบบในอัตรา 1 และ 3 kg/hr พบว่าการเติม NaOH ในอัตรา 2 kg/hr จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกสูงกว่ากรณีของการ

เติม 1 kg/hr ถึงประมาณ 40% และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการเติมในปริมาณ 3 kg/hr และเมื่อพิจารณาร่วมกับความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายและความคิดเห็นจากพนักงาน บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัดต่อระดับความแรงของก๊ลินเมื่อทำการบำบัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถสรุปได้ว่าการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระบบของหอคูดซึมของทางโรงงานในอัตรา 2 kg/hr เป็นแนวทางการบำบัดก๊ลินจากปล่องควันของเตาอบยางโดยวิธีทางเคมีที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้สูงที่จะใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางแท่งได้จริง

Thesis Title Treatment of Waste Gas from Flue Gas in Rubber Drying Process by Sodium Hydroxide and Monoethanolamine Absorption in Packed Column

Author Mr. Teeraphat tungulroat

Major Program Chemical Engineering

Academic Year 2009

ABSTRACT

Air pollution problem in rubber block industry, which often complained by a community, is an odor of exhaust gas released from chimney of a rubber drying kiln. The chemical compositions in such gas were analyzed by GC-MS and it was found that the main chemical resulting of odor problem is an acetic acid. Thus, in order to treat the odor of this gas, the acetic acid must be removed. This research aimed to determine the suitable conditions for acetic acid removal from the exhaust gases using a chemical absorption process in a pilot scale packed column which installed at the rubber block industry in Phatthalung province. The results will be then applied to the industrial scale wet scrubber of such factory. For the pilot scale packed column investigation, two absorption liquids, sodium hydroxide (NaOH) and monoethanolamine (MEA), were studied and four operating parameters including an absorption liquid concentration (C), a liquid flow rate (L), an exhaust gas flow rate (G) and a Liquid to gas ratio (L/G ratio) were investigated. The results of the pilot scale packed column (diameter 10 cm, height 80 cm) showed that the suitable conditions for the acetic removal were the NaOH concentration and the liquid to gas ratio of 0.7 mol/L and 30 l/m³, respectively. When the NaOH solution was used as the liquid absorption, the acetic acid removal efficiencies of 90% were obtained while at the same condition the acetic removal using MEA as the absorption liquid were only 62%. Sodium hydroxide solution was then selected as a suitable solution for using with industrial scale wet scrubber. The results of changing the absorption liquid of the industrial wet scrubber from water to NaOH solution indicated that an addition of NaOH into the system at the rate of 2 kg/hr gave the acetic removal efficiency of 75% which is higher than the case where the water was applied which only 30% acetic removal efficiency was obtained. Moreover, the acetic removal efficiency in case of using 2 kg/hr of NaOH were about 40% higher than that of using 1 kg/hr and nearly the same to

that when 3 kg/hr of NaOH was added. Thus the adding of NaOH at 2 kg/hr is economically reasonable. Moreover, odor evaluation by personnel panel technique confirmed that the addition of NaOH at 2 kg/hr into the scrubbing liquid reduced the odor intensity significantly as compared to non NaOH solution. It can be concluded that the addition of NaOH at 2 kg/hr in wet scrubber system of the industry is a possible technique for odor removal from the exhaust gas and can possibly be used as an actual odor removal system in the rubber block industry.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากการสนับสนุนและความร่วมมือเป็นอย่างดีจากบุคคลหลายๆ ท่าน ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ บุญกาญจน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ รวมทั้งให้กำลังใจและการแก้ปัญหาตลอดจนช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร กรรมการที่ปรึกษาร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำในระหว่างการทดลองรวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลื้อพงษ์ แก้วศรีจันทร์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณหน่วยวิจัย PTRU ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่จัดสรรเงินทุนสำหรับการทำวิจัย การจัดซื้อ ซ่อมอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่และเครื่องมือในการวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่และเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำการทดลองในโรงงาน รวมไปถึงพี่ๆ พนักงานทุกคนในโรงงานที่คอยให้คำปรึกษาและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณพ่อและแม่ที่ได้ให้กำลังใจทรัพยากรการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา และมหาบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมเคมี และเป็นกำลังใจให้ในศึกษาต่อ ขอขอบคุณพี่รัตนา แซ่หลี่ ครูจรรยา อินทมณี พี่ปัทมา อรุณราช ที่ช่วยให้คำแนะนำ ปรึกษาและให้กำลังใจ รวมถึงเพื่อนๆ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจนทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ที่มีส่วนช่วยเป็นกำลังใจในการทำวิจัย และให้คำแนะนำให้การจัดทำวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ธีรภัทร์ ตันกุลโรจน์

สารบัญ

| สารบัญ | หน้า |
|--|------|
| รายการตาราง | (13) |
| รายการภาพประกอบ | (20) |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 2. ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 กลิ่น (odor) | 3 |
| 2.1.1 คำจำกัดความ | 3 |
| 2.1.2 คุณสมบัติ | 3 |
| 2.1.3 มาตรฐานการระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม | 4 |
| 2.1.4 ข้อมูลสถิติการร้องเรียนของชุมชนเกี่ยวกับปัญหาหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม ที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรม | 4 |
| 2.1.5 วิธีการตรวจวัดกลิ่น | 6 |
| 2.2 กระบวนการอบยางแท่ง STR20 (Standard Thai Rubber 20) | 6 |
| 2.3 กระบวนการการดูดซึม (Absorption) | 7 |
| 2.4 ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบหอดูดซึม | 10 |
| 2.4.1 Liquid to Gas Ratio | 10 |
| 2.4.2 ความต้องการของเหลวในระบบ (Liquid Requirements) | 12 |
| 2.4.3 เส้นผ่าศูนย์กลางของหอดูดซึม (Pack Tower Diameter) | 12 |
| 2.5 ปฏิกิริยาเคมีเกี่ยวข้องระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารดูดซึม | 13 |
| 2.5.1 ปฏิกิริยาเคมีระหว่าง CO ₂ และ MEA | 13 |
| 2.5.2 ปฏิกิริยาเคมีระหว่าง CO ₂ และ NaOH | 13 |
| | (8) |

สารบัญ(ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.6 ปฏิกริยาเคมีเกี่ยวข้องกับระหว่างกรดอะซิติกกับสารดูดซึม | 14 |
| 2.6.1 ปฏิกริยาเคมีระหว่าง CH_3COOH และ NaOH | 14 |
| 2.6.2 ปฏิกริยาเคมีระหว่าง CH_3COOH และ MEA | 14 |
| 2.7งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 14 |
| 2.8 ข้อสรุปข้อมูลที่ได้จากการค้นคว้า | 20 |
| 3. วิธีการดำเนินการวิจัย | 21 |
| 3.1 สารเคมี | 21 |
| 3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารดูดซึม | 21 |
| 3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง | 21 |
| 3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดอะซิติก | 21 |
| 3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 22 |
| 3.1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง | 22 |
| 3.1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ | 22 |
| 3.2 วิธีการทดลอง | 23 |
| 3.2.1 การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หักลิ้นและการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมี ของกลิ่นในก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบยาง | 23 |
| 3.2.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุนาถา Pilot | 23 |
| 3.3 การออกแบบการทดลอง | 25 |
| 3.4 การดำเนินการประยุกต์ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับหอดูดซึม แบบเป็ยขนาดอุตสาหกรรม บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด | 30 |
| 3.4.1 ศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนในการบำบัด | 31 |
| 3.5 ชุดเก็บตัวอย่างก๊าซ | 32 |
| 3.6 วิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซ | 33 |

สารบัญ(ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| 4. ผลการทดลองและวิจารณ์ | 34 |
| 4.1 การวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีของก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยาง | 34 |
| 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากเตาอบยาง | 36 |
| 4.3 การวิเคราะห์ค่าความแม่นยำของวิธีการวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติก | 37 |
| 4.4 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัด กรดอะซิติกเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึมในคอลัมน์บรรจุ | 38 |
| 4.4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (C_{NaOH}) ต่อ ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก | 38 |
| 4.4.2 ผลของอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ (L/G ratio) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก | 40 |
| 4.4.3 การศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซและผลของอัตราการไหลของ สารดูดซึมต่อประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติก | 41 |
| 4.4.4 การศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซ (Exhaust gas flow rate, G) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดบำบัดกรดอะซิติก | 43 |
| 4.4.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยการใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ในสภาวะที่เหมาะสม | 44 |
| 4.5 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก เมื่อใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซึม | 46 |
| 4.5.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีน (C_{MEA}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก | 46 |
| 4.5.2 การศึกษาผลของอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ (L/G ratio) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก | 47 |
| 4.5.3 การศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซเสีย (Exhaust gas flow rate , G) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดบำบัดกรดอะซิติก | 48 |

สารบัญ(ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.5.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยการใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีน ในสภาวะที่เหมาะสมสำหรับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 49 |
| 4.5.5 การศึกษาเปรียบเทียบการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลาย โมโนเอทานอลเอมีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติก | 51 |
| 4.6 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | 52 |
| 4.6.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในสารดูดซึม (C_{NaOH}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | 52 |
| 4.6.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีน (C_{MEA}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | 53 |
| 4.6.3 การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนใน สภาวะที่เหมาะสม | 55 |
| 4.7 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอะซิติกเมื่อนำน้ำเป็นสารดูดซึม | 56 |
| 4.7.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำ กับเวลา | 56 |
| 4.7.2 การศึกษาการบำบัดกรดอะซิติกและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม | 57 |
| 4.8 การดำเนินการประยุกต์ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับหอดูดซึม ขนาดอุตสาหกรรม | 60 |
| 4.8.1 การทดลองวัดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบำบัด กรดอะซิติก | 60 |
| 4.8.2 การทดลองวัดค่า pH ของน้ำจากการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ | 62 |
| 4.8.3 การทดลองวัดประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกในหอดูดซึม ขนาดอุตสาหกรรมโดยใช้น้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึม | 63 |

สารบัญ(ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|--|------------|
| 4.8.4 การสำรวจและสอบถามความคิดเห็นของพนักงาน บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด ต่อระดับความแรงของกลิ่นกรณีที่ไม่ได้มีการบำบัดกลิ่นและกรณีที่มีการบำบัดกลิ่นโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 กิโลกรัม/ชั่วโมง และ 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ | 64 |
| 4.8.5 การศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนในการบำบัดกรดอะซิติกในหอดูดซึมแบบเปียก ขนาดอุตสาหกรรม | 68 |
| 5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ | 70 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 70 |
| 5.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์และ โมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot | 70 |
| 5.1.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรม | 70 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต | 71 |
| บรรณานุกรม | 72 |
| ภาคผนวก | 77 |
| ก. ข้อมูลเบื้องต้นของสารเคมี | 78 |
| ข. ผลการทดลอง | 85 |
| ค. การเตรียมสารเคมีและวิเคราะห์สารตัวอย่าง | 130 |
| ง. สภาวะการทดสอบ | 134 |
| จ. ความคิดเห็นและข้อคำถามต่อระดับความแรงของกลิ่น | 137 |
| ฉ. การคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดกรดอะซิติก | 141 |
| ประวัติผู้เขียน | 143 |

รายการตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2-1 แสดงมาตรฐานการระบายออกของกลิ่นจากโรงงานอุตสาหกรรมกฏกระทรวง ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 | 4 |
| 2-2 แสดงการประเมินความแรงของกลิ่นที่แต่ละระดับความเข้มข้น | 6 |
| 3-1 แสดงสถานะการใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซึ่ม ในการบำบัดกรดอะซิติก | 26 |
| 3-2 แสดงสถานะการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึ่ม ในการบำบัดกรดอะซิติก | 28 |
| 4-1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าความแม่นยำระหว่างวิธีการไตเตรทแบบย้อนกลับ กับวิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจากน้ำเสียโดยการไตเตรท | 37 |
| 4-2 แสดงค่าแรงดึงผิวของสารละลาย NaOH และ MEA | 56 |
| 4-3 แสดงค่า Henry's law constant ของกรดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์ | 59 |
| 4-4 แสดงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่าย | 68 |
| 4-5 แสดงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายสารเคมี | 68 |
| ก-1 ความเป็นพิษและอันตรายต่อมนุษย์ | 81 |
| ข-1.1 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH ₃ COOH และ CH ₃ COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ C _{MEA} = 0.2 mol/l และ G = 0.1 m ³ /min, L = 9 l/min | 86 |
| ข-1.2 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH ₃ COOH และ CH ₃ COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ C _{MEA} = 0.4 mol/l และ G = 0.1 m ³ /min, L = 9 l/min | 87 |
| ข-1.3 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH ₃ COOH และ CH ₃ COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ C _{MEA} = 0.5 mol/l และ G = 0.1 m ³ /min, L = 9 l/min | 87 |
| ข-1.4 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH ₃ COOH และ CH ₃ COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ C _{MEA} = 0.7 mol/l และ G = 0.1 m ³ /min, L = 9 l/min | 88 |
| ข-1.5 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH ₃ COOH และ CH ₃ COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ L = 3 l/min, G = 0.1 m ³ /min และ C _{MEA} = 0.7 mol/l | 88 |
| ข-1.6 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH ₃ COOH และ CH ₃ COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ L = 5 l/min, G = 0.1 m ³ /min และ C _{MEA} = 0.7 mol/l | 89 |

รายการตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| ข-1.7 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 8 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 89 |
| ข-1.8 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 10 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 90 |
| ข-1.9 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 0.02 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 90 |
| ข-1.10 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 0.04 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 91 |
| ข-1.11 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 0.07 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 91 |
| ข-1.12 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 0.09 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 92 |
| ข-1.13 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 0.2 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 93 |
| ข-1.14 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 0.4 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 94 |
| ข-1.15 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 0.5 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 94 |
| ข-1.16 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 95 |
| ข-1.17 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 1.0 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 95 |
| ข-1.18 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 1.4 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 96 |
| ข-1.19 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 2.0 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 96 |

รายการตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| ข-1.20 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 3 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 97 |
| ข-1.21 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 5 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 97 |
| ข-1.22 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 8 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 98 |
| ข-1.23 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 10 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 98 |
| ข-1.24 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 0.02 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 99 |
| ข-1.25 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 0.04 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 99 |
| ข-1.26 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 0.07 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 100 |
| ข-1.27 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 0.09 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 100 |
| ข-1.28 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 0.6 \text{ l/min}$, $G = 0.02 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 101 |
| ข-1.29 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 1.5 \text{ l/min}$, $G = 0.05 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 101 |
| ข-1.30 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 2.1 \text{ l/min}$, $G = 0.07 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 102 |

รายการตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| ข-1.31 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 2.7 \text{ l/min}$, $G = 0.09 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 102 |
| ข-1.32 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 4 \text{ l/min}$, $G = 0.13 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 103 |
| ข-1.33 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 103 |
| ข-1.34 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 5 \text{ l/min}$, $G = 0.166 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 104 |
| ข-1.35 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 5.5 \text{ l/min}$, $G = 0.18 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 104 |
| ข-1.36 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 105 |
| ข-1.37 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 105 |
| ข-1.38 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 4.5 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 106 |
| ข-1.39 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 4.5 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 107 |

รายการตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| ข-1.40 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ | 108 |
| ข-1.41 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ โดยใช้ น้ำ เป็น สาร ดูด ซึม | 109 |
| ข-1.42 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ ที่ ปริมาณ การ เติม NaOH 1 kg/hr | 109 |
| ข-1.43 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ ที่ ปริมาณ การ เติม NaOH 2 kg/hr | 109 |
| ข-1.44 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ ที่ ปริมาณ การ เติม NaOH 3 kg/hr | 110 |
| ข-1.45 ข้อมูล pH ของ น้ำ กับ เวลา ที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ | 110 |
| ข-1.46 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับ เวลา ที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ ที่ ปริมาณ การ เติม NaOH 1 kg/hr | 110 |
| ข-1.47 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับ เวลา ที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ ที่ ปริมาณ การ เติม NaOH 2 kg/hr | 111 |
| ข-1.48 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับ เวลา ที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ ที่ ปริมาณ การ เติม NaOH 3 kg/hr | 111 |
| ข-1.49 ข้อมูลความเข้มข้นของ สาร ละลาย โห เดียม ไฮดรอกไซด์ ในการ บำ บัด กรด อะซิติก จาก ก๊าซ เสีย ที่ ปล่ อย จาก เตา อบ ยาง ใน หอ ดูด ซึม แบบ เปียก ขนาด อุตสาหกรรม | 112 |
| ข-1.50 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับ เวลา ที่ NaOH เริ่ม ต้น 0.2 mol/l $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 113 |
| ข-1.51 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับ เวลา ที่ NaOH เริ่ม ต้น 0.4 mol/l $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 113 |
| ข-1.52 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับ เวลา ที่ NaOH เริ่ม ต้น 0.5 mol/l $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 114 |

รายการตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| ข-1.53 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 0.7 mol/l G = 0.1 m ³ /min และ L = 9 l/min | 114 |
| ข-1.54 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 1 mol/l G = 0.1 m ³ /min และ L = 9 l/min | 115 |
| ข-1.55 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 1.4 mol/l G = 0.1 m ³ /min และ L = 9 l/min | 115 |
| ข-1.56 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 2 mol/l G = 0.1 m ³ /min และ L = 9 l/min | 116 |
| ข-1.57 ข้อมูลความเข้มข้นของ MEA กับเวลาที่ MEA เริ่มต้น 0.2 mol/l G = 0.1 m ³ /min และ L = 9 l/min | 117 |
| ข-1.58 ข้อมูลความเข้มข้นของ MEA กับเวลาที่ MEA เริ่มต้น 0.4 mol/l G = 0.1 m ³ /min และ L = 9 l/min | 117 |
| ข-1.59 ข้อมูลความเข้มข้นของ MEA กับเวลาที่ MEA เริ่มต้น 0.5 mol/l G = 0.1 m ³ /min และ L = 9 l/min | 118 |
| ข-1.60 ข้อมูลความเข้มข้นของ MEA กับเวลาที่ MEA เริ่มต้น 0.7 mol/l G = 0.1 m ³ /min และ L = 9 l/min | 118 |
| ข-1.61 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 0.7 mol/l G = 0.15 m ³ /min, L = 4.5 l/min และ L/G ratio = 30 l/m ³ | 119 |
| ข-1.62 ข้อมูลความเข้มข้นของ MEA กับเวลาที่ MEA เริ่มต้น 0.7 mol/l G = 0.15 m ³ /min, L = 4.5 l/min และ L/G ratio = 30 l/m ³ | 119 |
| ข-1.63 ข้อมูล pH ของน้ำกับเวลา | 120 |
| ข-2.1 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO ₂ และ CO ₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่ C _{MEA} = 0.2 mol/l และ G = 0.1 m ³ /min, L = 9 l/min | 121 |
| ข-2.2 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO ₂ และ CO ₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่ C _{MEA} = 0.4 mol/l และ G = 0.1 m ³ /min, L = 9 l/min | 122 |

รายการตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| ข-2.3 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO ₂ และ CO ₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{MEA}} = 0.5 \text{ mol/l}$ และ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$ | 122 |
| ข-2.4 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO ₂ และ CO ₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ และ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$ | 123 |
| ข-2.5 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO ₂ และ CO ₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 0.2 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 124 |
| ข-2.6 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO ₂ และ CO ₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 0.4 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 125 |
| ข-2.7 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO ₂ และ CO ₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 0.5 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 125 |
| ข-2.8 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO ₂ และ CO ₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$ | 126 |
| ข-2.9 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO ₂ และ CO ₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 127 |
| ข-2.10 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO ₂ และ CO ₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 128 |
| ข-2.11 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO ₂ และ CO ₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 10 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ โดยใช้ ^๙ น้ำเป็นสารดูดซึม | 129 |
| จ-1 แสดงจำนวนความเห็นของบุคลากรในโรงงานต่อระดับกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัด | 139 |
| จ-2 แสดงจำนวนความเห็นของบุคลากรในโรงงานต่อระดับกลิ่นที่บำบัดแล้ว โดยการเติม NaOH ในอัตรา 1 kg/hr | 139 |
| จ-3 แสดงจำนวนความเห็นของบุคลากรในโรงงานต่อระดับกลิ่นที่บำบัดแล้ว โดยการเติม NaOH ในอัตรา 2 kg/hr | 140 |

รายการภาพประกอบ

| ภาพประกอบที่ | หน้า |
|--|------|
| 2-1 แสดงข้อมูลสถานการณ์การร้องเรียนทางด้านมลพิษสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2548 | 5 |
| 2-2 แสดงการไหลแบบสวนทางกันภายในคอลัมน์บรรจุ | 8 |
| 2-3 แสดงลักษณะหอคูดูดซับขนาดอุตสาหกรรมในแนวนอน | 9 |
| 2-4 แสดงชนิดของตัวกลางที่ใช้ในคอลัมน์บรรจุ | 10 |
| 2-5 แสดงสมมูลมวลของกระแสน้ำของเหลวและก๊าซในหอคูดูดซับแบบไหลสวนทางกัน | 11 |
| 3-1 แสดงชุดการทดลองของคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot ที่ใช้สำหรับการบำบัดกรดอะซิติกโดยติดตั้งที่ บริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด | 24 |
| 3-2 แสดงหอคูดูดซับขนาดอุตสาหกรรมในแนวนอนที่ใช้ในการบำบัดกรดอะซิติกจากก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง บริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด | 30 |
| 4-1 ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง GC-MS ของก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง | 35 |
| 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วง 0.2 – 2 mol/l ที่ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$ | 38 |
| 4-3 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{NaOH} กับเวลา ที่ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$ | 39 |
| 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของสารดูดซับต่ออัตราการไหลของก๊าซในช่วง 30 – 100 l/m ³ ที่ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ | 40 |
| 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกกับผลของอัตราการไหลของสารดูดซับและอัตราการไหลของก๊าซ เมื่อ $L = 0.6\text{-}5.5 \text{ l/min}$, $G = 0.02\text{-}0.18 \text{ m}^3/\text{min}$ ($L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$, $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$) | 42 |
| 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของก๊าซที่ $G = 0.02\text{-}0.09 \text{ m}^3/\text{min}$ ($L = 10 \text{ l/min}$, $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$) | 43 |

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบที่ | หน้า |
|---|------|
| 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับเวลาเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.7 mol/l (L = 4.5 l/min, G = 0.15 m ³ /min, L/G ratio = 30 l/m ³) | 44 |
| 4-8 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C _{NaOH} กับเวลา | 45 |
| 4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกกับความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในช่วง 0.2–0.7 mol/l (G = 0.1 m ³ /min, L = 9 l/min) | 46 |
| 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติกกับอัตราการไหลของสารดูดซับต่ออัตราการไหลของก๊าซที่ L/G ratio = 30–100 l/min (G = 0.1 m ³ /min, C _{MEA} = 0.7 mol/l) | 47 |
| 4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของก๊าซที่ G = 0.02-0.09 m ³ /min (L = 10 l/min, C _{MEA} = 0.7 mol/l) | 48 |
| 4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับเวลาเมื่อใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนที่ความเข้มข้น 0.7 mol/l (L = 4.5 l/min, G = 0.15 m ³ /min, L/G ratio = 30 l/m ³) | 49 |
| 4-13 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C _{MEA} กับเวลาที่ G = 0.15 m ³ /min, L = 4.5 l/min, L/G ratio = 30 l/m ³ , C _{MEA} = 0.7 mol/l | 50 |
| 4-14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกจากการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนเข้มข้น 0.7 mol/l (L = 4.5 l/min, G = 0.15 m ³ /min, L/G ratio = 30 l/m ³) | 51 |
| 4-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วง 0.2–0.7 mol/l (G = 0.1 m ³ /min, L = 9 l/min) | 52 |
| 4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นของโมโนเอทานอลเอมีนในช่วง 0.2–0.7 mol/l (G = 0.1 m ³ /min, L = 9 l/min) | 53 |

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบที่ | หน้า |
|--|------|
| 4-17 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{MEA} กับเวลา ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$) | 54 |
| 4-18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดการบำบัด ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์กับเวลาเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนที่ความเข้มข้น 0.7 mol/l ($L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L / G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$) | 55 |
| 4-19 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ pH ของน้ำ กับเวลา ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$) | 57 |
| 4-20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดอะซิติกและ คาร์บอน ไดออกไซด์กับเวลาเมื่อนำน้ำเป็นสารดูดซึม ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$) | 58 |
| 4-21 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเวลา | 60 |
| 4-22 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่วัดได้จากการเติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 kg/hr , 2 kg/hr และ 3 kg/hr ตามลำดับ | 61 |
| 4-23 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำที่ได้จากการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ | 62 |
| 4-24 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกโดยการดูดซึมด้วยน้ำและ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมโดยการเติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 kg/hr , 2 kg/hr และ 3 kg/hr ตามลำดับ | 63 |
| 4-25 กราฟแสดงความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัด | 65 |
| 4-26 กราฟแสดงความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่บำบัดโดยการเติม NaOH ในอัตรา 1 kg/hr | 66 |
| 4-27 กราฟแสดงความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่บำบัดโดยการเติม NaOH ในอัตรา 2 kg/hr | 67 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

อุตสาหกรรมยางแท่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในภาคใต้ของประเทศไทย ปัญหามลพิษหลักของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 คือ ปัญหากลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนบริเวณใกล้เคียงซึ่งมีจุดกำเนิดมาจากการอบยางและบริเวณที่พักของกองยางกันด้วย ในส่วนของกองยางจะเป็นจุดกำเนิดสำคัญของปัญหากลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการผลิตยางแท่ง STR20 จะประกอบด้วย การนำยางกันด้วยมาตัด ล้างทำความสะอาด บดย่อยให้มีขนาดเล็กลงแล้วนำไปอบก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนการห่อหุ้มด้วยบรรจุภัณฑ์ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตภายใต้กระบวนการผลิตเหล่านี้ ในขั้นตอนของการอบยางจะเกิดมลพิษทางอากาศโดยมีสารระเหยออกมาจากก๊าซร้อนที่มีกลิ่นเหม็นจึงก่อให้เกิดเป็นปัญหามลพิษของกลิ่นเกิดขึ้น และถึงปัจจุบันปัญหาของกลิ่นเหม็นที่เกิดจากการอบยางยังเป็นปัญหาสำคัญของโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งที่ยังไม่มีวิธีการบำบัดที่เหมาะสม (สมทิพย์ และคณะ, 2550)

งานวิจัยนี้ศึกษาการบำบัดกลิ่นจากก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยางโดยการดูดซึมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนจากรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ สมทิพย์และคณะ (2550) รายงานว่าองค์ประกอบที่ก่อให้เกิดกลิ่นในกระบวนการอบยางแท่งเป็นสารจำพวกกรดอินทรีย์ระเหย งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารละลายที่เป็นเบสในการดูดซึมกลิ่นจากกระบวนการอบยาง (Schlegelmilch *et al.*, 2005) โดยใช้สารละลายเบสพื้นฐาน คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพราะราคาไม่แพง หาได้ง่าย และเป็นสารเคมีที่ทางโรงงานผลิตยางแท่งใช้ในการทำความสะอาดกระบะสำหรับบรรจุยางแท่งในขั้นตอนการอบยางอยู่แล้ว ดังนั้นถ้าสามารถพิสูจน์ได้โดยวิธีการทดลองวิจัยแล้วพบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดกลิ่นจากเตาอบยางได้ก็มีความเป็นไปได้ในการนำสารละลายดังกล่าวมาใช้ในการบำบัดกลิ่นจากเตาอบยางและจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการแก้ปัญหา ในขณะที่เดียวกันได้เลือกศึกษาการใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในการบำบัดกลิ่นด้วยเพราะเป็นสารละลายที่สามารถบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์ได้

ดังนั้นการศึกษาโดยนำสารเคมีทั้งสองมาใช้ในการบำบัดก๊าซเสียจากปล่องควันที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งในงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางและเป็นทางเลือกให้กับโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งนำไปปรับใช้เพื่อแก้ปัญหากลิ่นเหม็นของโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อระบุองค์ประกอบทางเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์กลิ่นในก๊าซเสียจากเตาอบยาง
2. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติกจากก๊าซเสียโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot
3. เพื่อประยุกต์ใช้สารดูดซึมในการบำบัดกรดอะซิติกในโรงงานอุตสาหกรรม
4. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการบำบัดกรดอะซิติกในโรงงานอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดกรดอะซิติกในก๊าซเสียที่ปล่อยจากปล่องควันของเตาอบยางโดยใช้คอลัมน์บรรจุขนาด Pilot และนำสภาวะที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมที่ใช้งานจริงในโรงงาน รวมทั้งการคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดกรดอะซิติกเพื่อเป็นแนวทางในการนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์จริงในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาแนวทางการแก้ปัญหากลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอบยางแท่งที่เหมาะสมได้
2. สามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบกระบวนการบำบัดกลิ่นในก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบยางในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กลิ่น (Odor)

2.1.1 คำจำกัดความ

กลิ่น หมายถึง ความรู้สึกซึ่งมีผลมาจากสารเคมีที่ระเหยได้ไปสัมผัสกับระบบประสาทการรับรู้กลิ่นของร่างกายและทำให้เกิดการส่งสัญญาณไปยังสมองแปรผลของการรับสัมผัสกลิ่นเกิดขึ้น และแม้ว่าความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นจะต่ำมากๆ ก็สามารถก่อให้เกิดการรับรู้กลิ่นได้หากมีการปรากฏของไอระเหยที่ก่อให้เกิดกลิ่นมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง Odor Detection Threshold ซึ่งที่ระดับนี้สมองอาจจะไม่สามารถแยกแยะความเฉพาะของกลิ่นได้ แต่ถ้าหากมีความเข้มข้นมากขึ้นระบบประสาทรับสัมผัสกลิ่นจะสามารถแยกแยะความเฉพาะของกลิ่นได้ ระดับความเข้มข้นที่สามารถแยกแยะความเฉพาะของกลิ่นเรียกว่าค่า Odor Recognition Threshold ซึ่งความแตกต่างของทั้ง 2 ค่านี้จะแตกต่างกันด้วยระดับความเข้มข้นในช่วง 2-10 เท่าของแต่ละสารระเหย โดยที่กลิ่นจัดเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ได้แก่ สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds: VOCs) และสารจำพวกกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids: VFAs) ซึ่งสารมลพิษเหล่านี้เป็นสารองค์ประกอบที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมและบริเวณที่มีน้ำเสียต่างๆ (Fakhoury *et al.*, 2000)

2.1.2 คุณสมบัติ

กลิ่นเป็นสสารที่ไม่สามารถจับต้องได้และไม่สามารถเห็นรูปของกลิ่นได้แต่สามารถเห็นรูปร่างของแหล่งที่มาของกลิ่นได้ โดยสิ่งที่ทำให้เกิดกลิ่นก็คือตัวสารเคมี (ในรูปของโมเลกุล) กลิ่นจึงเป็นโมเลกุลของสสารที่มีความไวมากจะหลุดตัวออกจากสารตั้งต้นได้ง่าย หากได้รับกลิ่นจากตัวสารมลพิษจะมีผลต่อสุขภาพ โดยผลกระทบที่ได้รับจะขึ้นอยู่กับความเป็นพิษของตัวสารมลพิษนั้น ระยะเวลาและปริมาณที่ได้รับด้วยการหายใจเข้าไป ซึ่งโดยมากจะไปกระจายเคื่องระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการปวดหัว มึนงง การมองเห็นผิดปกติ และมีผลต่อการทำงานของสมองและหากมีการสะสมในปริมาณพอเพียงก็อาจเกิดเป็นมะเร็งในอวัยวะต่างๆ ได้

2.1.3 มาตรฐานการระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตามที่กำหนดไว้ในบัญชีท้ายกฎกระทรวง (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ตัวอย่างกลิ่นจากโรงงานต้องมีความเข้มข้นไม่เกินค่าที่กำหนดและให้ใช้วิธีตรวจวัดตามที่ American Society for Testing and Materials (ASTM) หรือ Japanese Industrial Standard (JIS) (สุนารี, 2548) หรือวิธีการอื่นที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา มาตรฐานการระบายออกของกลิ่นจากโรงงานอุตสาหกรรมแสดงในตารางที่ 2-1

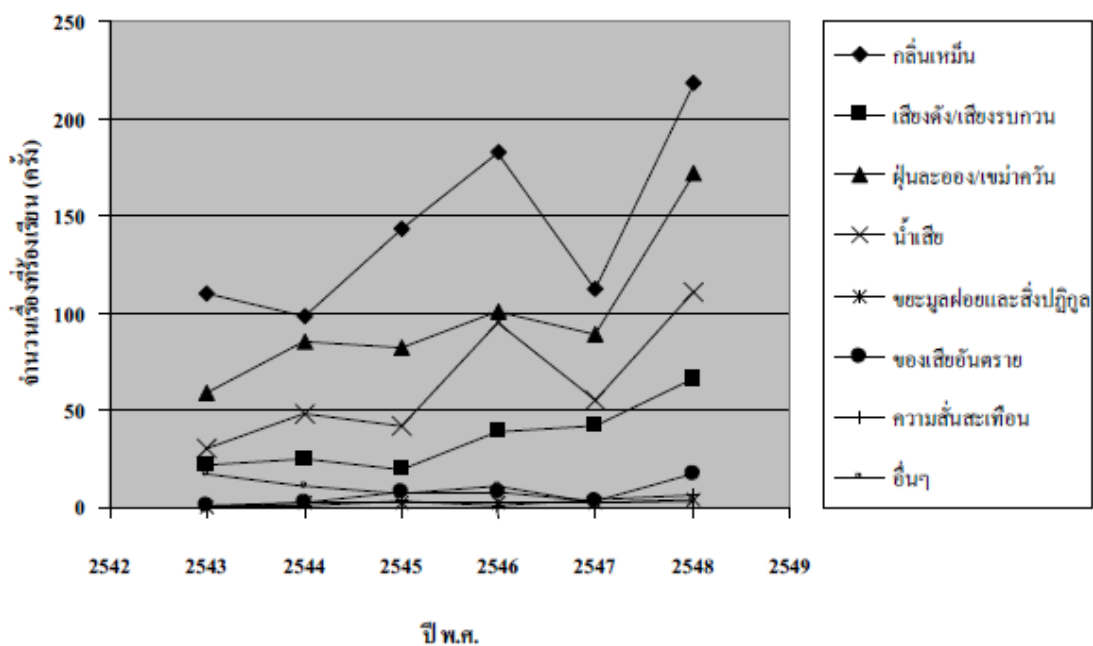
ตารางที่ 2-1 มาตรฐานการระบายออกของกลิ่นจากโรงงานอุตสาหกรรมกฎกระทรวงออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

| ที่ตั้งโรงงาน | ค่าความเข้มข้นที่บริเวณรั้วหรือขอบเขตภายในโรงงาน (Odor Unit/ m ³) | ค่าความเข้มข้นที่ปล่องระบายอากาศของโรงงาน (Odor Unit/ m ³) |
|------------------|--|---|
| เขตอุตสาหกรรม | 30 | 1,000 |
| นอกเขตอุตสาหกรรม | 15 | 300 |

ที่มา: คัดแปลงจากกฎกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 เรื่องมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบกลิ่นในอากาศจากโรงงาน ลงวันที่ 11 เมษายน 2552

2.1.4 ข้อมูลสถิติการร้องเรียนของชุมชนเกี่ยวกับปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรม

ข้อมูลสถิติการร้องเรียนของชุมชนเกี่ยวกับปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยที่รวบรวมโดยกรมควบคุมมลพิษ (2550) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2548 พบว่าในแต่ละปีมีจำนวนการร้องเรียนเฉลี่ยในเรื่องกลิ่นเหม็นมากที่สุดซึ่งคิดเป็น 144 ครั้งต่อปี ส่วนจำนวนการร้องเรียนเฉลี่ยเรื่องมลพิษทางสิ่งแวดล้อมในด้านอื่นๆ ได้แก่ ฝุ่นละออง น้ำเสีย เสียงดัง/เสียงรบกวน ของเสียอันตราย ความสิ้นสะอาดพื้น ขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล มีจำนวนการร้องเรียน 98, 64, 36, 7, 3, 2 ครั้งต่อปีตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-1 พบว่าปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนเป็นปัญหาที่มีความรุนแรงและควรให้ความสำคัญในระดับต้นๆ เมื่อเทียบกับปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมในด้านอื่นๆ



ภาพประกอบที่ 2-1 แสดงข้อมูลสถานการณ์การร้องเรียนทางด้านมลพิษสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2548 (กรมควบคุมมลพิษ (2550))

การควบคุมและแก้ไขปัญหาหากลิ่นเหม็นรบกวนมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีและในงานวิจัยนี้จะใช้ระบบคอลัมน์บรรจุแบบไหลสวนทางกันในการบำบัดกลิ่นที่เกิดจากการอบยางโดยใช้สารดูดซิมโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีน เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาหากลิ่นเหม็นรบกวนชาวบ้าน ในส่วนของการบัญญัติกฎหมายหรือมาตรฐานเพื่อควบคุมกลิ่นมีกฎหมายหรือมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมกลิ่นในประเทศไทยมีอยู่หลายฉบับ ได้แก่ พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 มาตรา 4 เรื่อง “มลพิษสิ่งแวดล้อม” พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 หมวด 5 เรื่อง “เหตุรำคาญ” พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง “กำหนดมาตรฐานและวิธีการควบคุมการปล่อยของเสีย หรือมลพิษ ” ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 4 เรื่อง “กำหนดให้โรงงานต้องกำจัดกลิ่น ” และกฎกระทรวงอุตสาหกรรม “เรื่องการกำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบกลิ่นในอากาศจากโรงงาน พ.ศ. 2548 ” เป็นต้น

2.1.5 วิธีการตรวจวัดกลิ่น

ผู้ตรวจวัดกลิ่นแต่ละคนจะต้องผ่านการทดสอบความไวในการดมกลิ่น (Freudenthal *et al.*, 2005) และวิธีการของ Japanese Industrial Standard (JIS) โดยให้ผู้ตรวจวัดกลิ่นทำการประเมินความแรงของกลิ่นที่แต่ละระดับความเข้มข้นด้วยช่วงสเกล 0-5 ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 แสดงการประเมินความแรงของกลิ่นที่แต่ละระดับความเข้มข้น (วินัยและคณะ, 2550)

| ระดับความแรงของกลิ่น | ความหมาย |
|----------------------|--|
| 0 | ปราศจากกลิ่นโดยสิ้นเชิง |
| 1 | มีกลิ่นอ่อนๆ แต่พอรู้ว่ามีกลิ่นอยู่บ้าง |
| 2 | มีกลิ่นอ่อนๆ พอแยกแยะได้ว่าเป็นกลิ่นอะไร |
| 3 | มีกลิ่นที่สามารถรับรู้ได้ง่ายดาย |
| 4 | มีกลิ่นแรง |
| 5 | มีกลิ่นที่รุนแรงมากๆ จนทนไม่ได้ |

2.2 กระบวนการอบยางแท่ง STR20 (Standard Thai Rubber 20)

อุตสาหกรรมการแปรรูปเศษยาง หรือขี้ยางเป็นผลิตภัณฑ์ยางแท่งจะมีความเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการล้างทำความสะอาดและการอบแห้งเป็นหลัก กระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการผลิตเพื่อทำการไล่ความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อยางหลังขั้นตอนการล้างทำความสะอาดรวมทั้งการอบยางให้สุกเพื่อผลในการเก็บยางและป้องกันกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพและให้ได้คุณภาพของยางแท่งเอสทีอาร์ 20 เท่ากับหรือสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

ในเตาอบแห้งวัสดุยางที่ถูกย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ จะถูกอบแห้งโดยการเป่าลมร้อนเพื่ออบและไล่ความชื้น ซึ่งสามารถแยกประเภทของเตาอบแห้งได้เป็นสองประเภทหลักๆ ที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรม ได้แก่ เตาอบแห้งโดยใช้น้ำมันดีเซล (Diesel Burner) และเตาอบแห้งที่ใช้เทคโนโลยีน้ำมันร้อน (Hot Oil Burner) โดยที่ในโรงงานส่วนใหญ่จะนิยมการใช้เตาอบแห้งชนิดใช้น้ำมันดีเซล เตาอบแห้งส่วนใหญ่จะมีการทำงานที่สามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่ใช้ในการปรับอุณหภูมิของตัวเนื้อยาง เพื่อให้ความชื้นในตัวเนื้อยางแพร่มาที่ผิวของเนื้อยางซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะลดโอกาสการเผาไหม้ของผิวเนื้อยาง

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนการอบยาง อุณหภูมิภายในเตาอบยางจะสูงที่สุดในส่วนนี้ เพื่อให้ยางได้รับความร้อนและแห้งอย่างทั่วถึงทั้งผิวหน้าและภายในของชิ้นยาง

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนปรับลดอุณหภูมิ เพื่อให้เวลาในการถ่ายเทความร้อนทั่วถึงในเนื้อยาง เนื้อยางทุกส่วนจะได้รับความร้อนที่เพียงพอแต่ไม่มีการไหม้เยิ้มที่ผิวหน้า เป็นการทำให้ยางสุกในขั้นตอนนี้

ส่วนที่ 4 เป็นส่วนดูดกลิ่นและไล่ความชื้นในกระบวนการสุดท้ายก่อนที่จะมีการบรรจุหีบห่อ

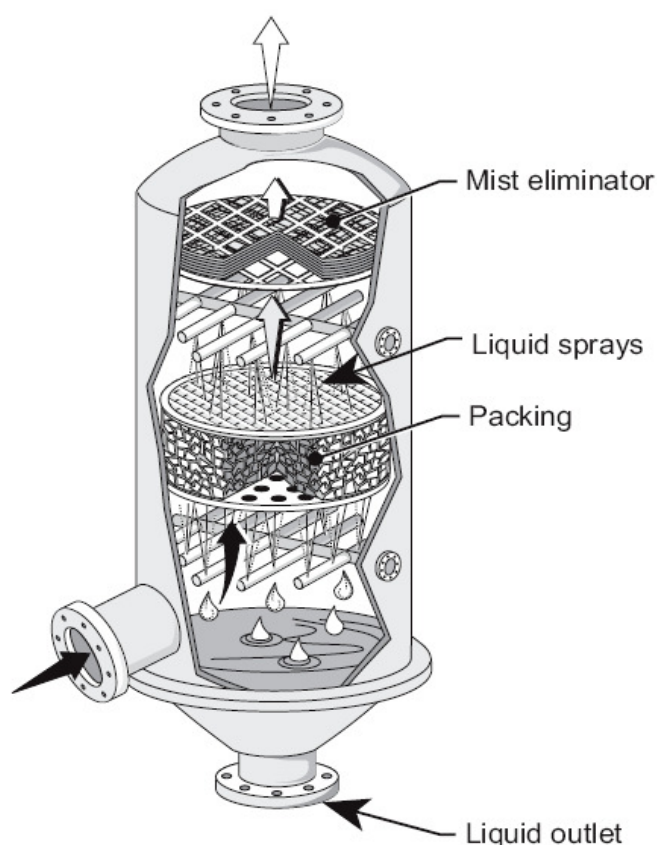
โดยหลักการในการออกแบบเตาอบยางแบ่งโดยหลักๆ จะเหมือนกันแต่แตกต่างกันที่รายละเอียด คือ จำนวนกิโลกรัมหรือความหนาของยางที่บรรจุในกระบะอบยาง ความร้อนที่ใช้ในการหมუნเวียนในแต่ละส่วน การออกแบบระบบการถ่ายเทความร้อนและเย็นในเตาอบยางแบ่งการป้อนยางเข้าเตาและชนิดและจำนวนตัวให้ความร้อนและพัดลมหมุนเวียนในเตา ตามลำดับ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม: กันยายน 2544)

2.3 กระบวนการดูดซึม (Absorption)

การดูดซึมเป็นกระบวนการถ่ายโอนมวลที่ใช้กำจัดสารมลพิษที่เป็นก๊าซออกจากกระแสอากาศโดยให้สัมผัสกับของเหลว การที่โมเลกุลสามารถถ่ายเทจากก๊าซไปยังของเหลวได้เนื่องจากทั้ง 2 เฟสนั้นมีความเข้มข้นที่ต่างกัน (Concentration Gradient) ที่บริเวณผิวหน้าของเหลวและบริเวณผิวหน้าของก๊าซเป็นแรงขับเคลื่อน (Driving Force) ให้เกิดการถ่ายโอนมวล นอกจากนี้แล้วการมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง การมีความปั่นป่วน (Turbulent) และการมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เชิงมวลสูงจะช่วยเร่งการเกิดกระบวนการดูดซึมได้ดีขึ้น

ในกระบวนการดูดซึมต้องการให้ก๊าซและของเหลวมีการสัมผัสกันมาก โดยให้ความดันลดมีค่าน้อย โดยปกติจะมีวิธีการทำให้ของเหลวแตกย่อยเป็นหยดเล็ก ๆ หรือฟิล์มบาง ๆ เพื่อให้มีพื้นที่ผิวของเหลวมาก สำหรับการถ่ายโอนมวลและให้มีฟิล์มใหม่ ๆ เป็นแรงขับเคลื่อน (Driving Force) หอดูดซึมที่ใช้มากที่สุดคือ Packed Tower, Plate Tower, Spray Tower เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ Packed Tower หรือ Packed Column ซึ่งเป็นคอลัมน์บรรจุที่ให้ก๊าซสัมผัสกับของเหลวและมีการถ่ายโอนมวลอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้คอลัมน์บรรจุเนื่องจาก การออกแบบคอลัมน์ทำได้ง่าย สามารถใช้ได้กับของเหลวที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนสูง วัสดุหาง่าย และราคาไม่สูง ลักษณะของคอลัมน์บรรจุแสดงในภาพประกอบที่ 2-2 ซึ่งเป็นคอลัมน์

บรรจุแบบไหลสวนทางกัน โดยที่ก๊าซเสียจะไหลเข้าสู่ส่วนล่างของคอลัมน์บรรจุ และก๊าซเสียที่ผ่านการบำบัดจะไหลออกทางด้านบน ของเหลวสะอาดเข้ามาทางส่วนบนของคอลัมน์บรรจุ ในขณะที่ของเหลวที่สกปรกจะไหลออกทางด้านล่าง

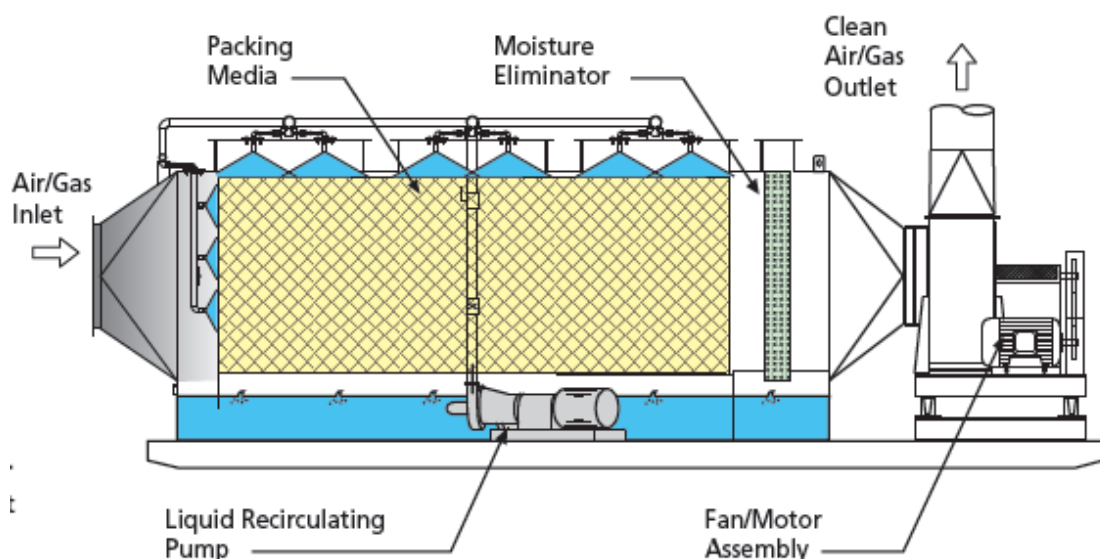


ภาพประกอบที่ 2-2 แสดงการไหลแบบสวนทางกันในคอลัมน์บรรจุ

(Joseph and David, 1998)

โรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 มีการใช้หอดูดซึมสำหรับการบำบัดก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยาง ระบบนี้ทำงานภายใต้หลักการดูดซึมเอาสารมลพิษในอากาศที่ระบายออกมาจากเตาอบยางโดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม ซึ่งในสภาพการดำเนินงานจริงโรงงานยางแท่ง STR20 ส่วนใหญ่จะมีการนำน้ำเสียหลังการบำบัดแล้วมาใช้เป็นสารดูดซึม ระบบหอดูดซึมที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 จะเป็นระบบที่ภายในมีการบรรจุตัวกลาง (Packed bed Absorber) ซึ่งผลทำให้ของเหลวที่เป็นสารดูดซึมเกิดการกระจายตัวได้ดีบนตัวกลางที่บรรจุอยู่ภายในระบบ ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างก๊าซและของเหลวซึ่งเป็นสารดูดซึมได้มากยิ่งขึ้น และระบบหอดูด

ซึมที่ใช้จะเป็นระบบที่มีลักษณะการไหลเข้าของก๊าซในแนวขวาง (Cross-flow Absorber) แล้วมีการสเปรย์สารดูดซึมซึ่งเป็นน้ำจากด้านบนมากระทบตัวกลางที่บรรจุไว้ (สมทิพย์และคณะ, 2550) หอดูดซึมที่ใช้กันในอุตสาหกรรมยางแท่งโดยทั่วไปมีลักษณะ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-3

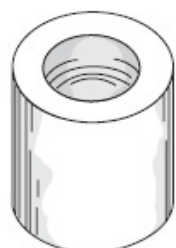


ภาพประกอบที่ 2-3 แสดงลักษณะหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมในแนวนอน

(ที่มา: www.mon-env.com)

ตัวกลางที่บรรจุภายในระบบจะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสและการถ่ายโอนมวลมากขึ้น ตัวกลางที่พบว่ามีการใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 รวมถึงที่ใช้ที่ บริษัท สยามอินโด รับเบอร์ จำกัด มีลักษณะเป็นตัวกลางพลาสติกประเภท Pall ring ซึ่งเป็นพลาสติกประเภท Polyethylene และไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารดูดซึมและก๊าซเสีย ลักษณะเป็นตัวกลางแบบ Pall ring แสดงดังภาพประกอบที่ 2-4 ซึ่งจะออกแบบให้พื้นที่ผิวของฟิล์มของเหลวมีค่ามากขึ้น ตัวกลางจะทำจากวัสดุต่าง ๆ เช่น เซรามิก พลาสติก (โพลีเอทิลีน และโพลีโพรพิลีน) เหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดของตัวกลางอื่นๆ ได้แก่ Raschig rings เป็นชนิดที่พบมากที่สุด Paddles ทำให้การสัมผัสมีประสิทธิภาพ และมีค่าความดันลดต่ำ แต่ราคาค่อนข้างแพงกว่า Raschig rings ตัวกลางประเภทนี้ ทำจากเซรามิก Pall rings ให้อัตราการถ่ายโอนมวลสูงกว่า Raschig และ Lessig ring แต่แพงกว่า และต้องทำด้วยโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อน Tellerette Packing และ Pall rings ทำจากพลาสติกนั้น ใช้ได้ถ้าอุณหภูมิไม่เกิน 355-360 เคลวิน ตัวกลางเหล่านี้อาจบรรจุในหอดูดซึมแบบเปียกโดยวิธี Randomly หรือค้อยเรียงเป็นแถว (Stacked Packing) ซึ่งการใส่ตัวกลางแบบ Random นี้จะให้พื้นที่

ผิวการสัมผัสสูงกว่าและค่าความดันลดสูงกว่า ส่วนแบบเรียงแถวนี้ จะให้ความดันลดต่ำ แต่ค่าติดตั้งสูง



Raschig™ ring



Pall ring



Berl saddle



Intalox saddle



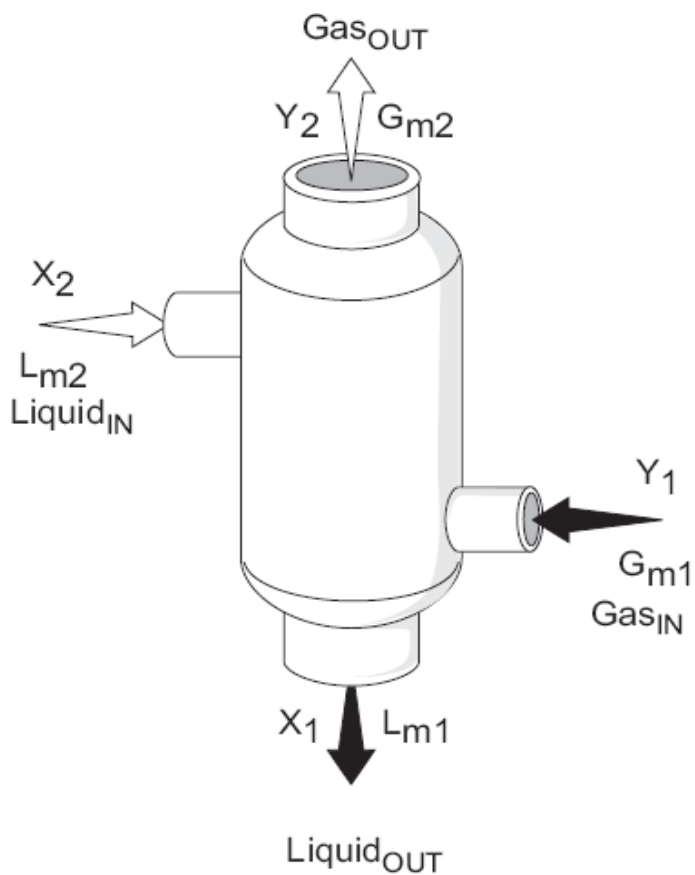
Tellerette™

ภาพประกอบที่ 2-4 แสดงชนิดของตัวกลางที่ใช้ในคอลัมน์บรรจุ

2.4 ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบหอดูดซึม

2.4.1 Liquid to Gas Ratio

สิ่งที่ควรพิจารณาเป็นลำดับแรกในการออกแบบคือ อัตราการไหล และองค์ประกอบของกระแสก๊าซที่จะไหลเข้าสู่ระบบ คู่มือสารเป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้เพื่อพิจารณาอัตราการไหลและองค์ประกอบในแต่ละกระแสน้ำของของไหลที่เข้าสู่และออกจากระบบ ดังภาพประกอบที่ 2-5



ภาพประกอบที่ 2-5 แสดงควมวของกระแสของเหลวและก๊าซในหอดูดซึมแบบไหลสวนทางกัน (Manyele, 2008)

ควมวรวมของระบบ;

$$G_{m1} + L_{m2} = G_{m2} + L_{m1} \quad (2-1)$$

ควมวขององค์ประกอบในระบบ;

$$Y_1 \cdot G_{m1} + X_2 \cdot L_{m2} = Y_2 \cdot G_{m2} + X_1 \cdot L_{m1} \quad (2-2)$$

เมื่อ:

X = สัดส่วนเชิงโมลของสารมลพิษในตัวทำละลาย

Y = สัดส่วนเชิงโมลของสารมลพิษในกระแสก๊าซ

L_m = อัตราการไหลของสารดูดซึมที่เข้า (โมล/หน่วยเวลา)

G_m = อัตราการไหลเชิงโมลของก๊าซที่เข้า (โมล/หน่วยเวลา)

2.4.2 ความต้องการของเหลวในระบบ (Liquid Requirements)

ในการออกแบบหอดูดซึมจะต้องทราบอัตราการไหลของก๊าซเสียที่ต้องการบำบัด (G_m) ทราบความเข้มข้นก๊าซเสียที่เข้า (Y_1) และต้องทราบความเข้มข้นของสารดูดซึมก่อนเข้าระบบ (X_2) หรือสามารถประมาณค่าให้เท่ากับศูนย์ถ้าไม่มีการนำของเหลวที่กลับมาใช้ใหม่และต้องระบุค่าความเข้มข้นของก๊าซเสียหลังผ่านการบำบัด (Y_2)

จากหลักการสมดุลของมวลทำให้สามารถประมาณอัตราการไหลของของเหลวที่ต้องการใช้น้อยที่สุดในการดูดซึมก๊าซเสียได้โดยให้ความเข้มข้นอยู่ในมาตรฐาน (Y_2) สำหรับการใช้งานจริงนั้นจะไม่ใช่สัดส่วนอัตราการไหลของสารดูดซึมต่อก๊าซที่ต่ำสุด (L_m / G_m) แต่จะเพิ่มเมื่ออัตราการไหลของสารดูดซึมให้มากกว่าค่าต่ำสุดดังกล่าวโดยทั่วไปนั้นอัตราการไหลของสารดูดซึมจะเพิ่มขึ้น 25 ถึง 100% จากค่าความต้องการต่ำสุด เช่น 1.5 เท่าของค่าอัตราส่วนของอัตราการไหลของเหลวต่อก๊าซต่ำสุด (Joseph and Beachler, 1981)

2.4.3 เส้นผ่าศูนย์กลางของหอดูดซึม (Pack Tower Diameter)

หลังจากคำนวณหาอัตราการไหลของสารดูดซึมได้ จะต้องประมาณขนาดของหอดูดซึมที่เหมาะสมกับสภาวะการไหลของของเหลวและก๊าซ ซึ่งโดยปกติจะการออกแบบเพื่อให้เล็กที่สุดแต่ทำงานได้เพื่อที่จะมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด แต่การลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลง (เพื่อให้หอดูดซึมมีขนาดเล็กลง) นั้นผลที่ตามมาคือ ความเร็วของอากาศที่มีทิศทางจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของหอจะสูงขึ้น และเมื่อถึงความเร็วหนึ่งจะสูงจนกระทั่งสารละลายดูดซึมถูกกระแสน้ำดันไหลย้อนขึ้นทางด้านบนของหอดูดซึม ความเร็วนี้เรียกว่า “Flooding Velocity” ซึ่งจะไม่สามารถใช้งานหอดูดซึมโดยใช้ความเร็วเท่ากับหรือเกินกว่า Flooding Velocity ได้ ดังนั้นโดยหลักการแล้วเส้นผ่าศูนย์กลางของหอจะถูกเลือกเพื่อให้ได้ความเร็วของอากาศในหอมีค่าต่ำเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการไหลย้อนของของเหลวในหอดูดซึม ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ค่าความเร็วที่ 50-75% ของ Flooding Velocity เป็นเกณฑ์ในการออกแบบค่า Flooding Velocity ขึ้นกับอัตราส่วนของอัตราการไหลของเหลวต่อก๊าซ ความหนืดของของเหลว คุณสมบัติของตัวกลาง เช่น ประเภท ขนาด การเปียกน้ำ และพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของตัวกลางที่ใช้ (Richard, 1981)

2.5 ปฏิกริยาเคมีเกี่ยวข้องระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารดูดซึม

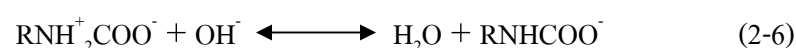
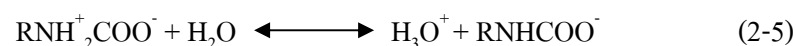
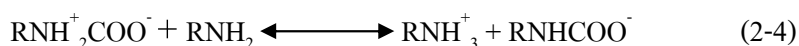
2.5.1 ปฏิกริยาเคมีระหว่าง CO₂ และ MEA (Aboudheir *et al.*, 2003; Maceiras *et al.*, 2008; Danckwerts, 1979)

เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับโมโนเอทานอลเอมีน สามารถแสดงขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาได้ ดังนี้

การเกิดสารประกอบไอออนเชิงซ้อน Zwitterion จากการทำปฏิกิริยาของ MEA และ CO₂ แสดงดังสมการที่ (2-3)



การเกิดสารประกอบคาร์บาเมตโดยกระบวนการ Deprotonation ของสารประกอบ Zwitterion แสดงดังสมการที่ (2-4) ถึง (2-6)



กระบวนการ Carbamate Reversion แสดงดังสมการที่ (2-7)



อัตราการเกิดปฏิกิริยา แสดงดังสมการที่ (2-8)

$$r = k_1[\text{CO}_2][\text{RNH}_2] \quad (2-8)$$

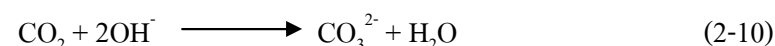
เมื่อพิจารณาสารผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างโมโนเอทานอลเอมีนกับคาร์บอนไดออกไซด์พบว่าเกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบที่เรียกว่า Zwitterion ซึ่งเป็นสารประกอบไอออนเชิงซ้อน

2.5.2 ปฏิกริยาเคมีระหว่าง CO₂ และ NaOH (Watten *et al.*, 2004; Aroonwilas *et al.*, 2003)

เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้ผลิตภัณฑ์คือ Na₂CO₃ และน้ำ แสดงดังสมการที่ (2-9)



ปฏิกิริยาเคมีระหว่าง CO₂ และ OH⁻ แสดงดังสมการที่ (2-10) และ (2-11)



อัตราการเกิดปฏิกิริยา

$$r = k_2[\text{CO}_2][\text{OH}^-] \quad (2-11)$$

2.6 ปฏิริยาเคมีเกี่ยวข้องระหว่างกรดอะซิติกกับสารดูดซึ่ม

2.6.1 ปฏิริยาเคมีระหว่าง CH_3COOH และ NaOH

ปฏิริยาระหว่างกรดอะซิติกกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังสมการที่ (2-12)



สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิริยากันระหว่างกรดอะซิติกกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์จากสมการที่ (2-12) นั้นพบว่าเกิดสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกลือโซเดียมอะซิเตตและน้ำ (http://www.m2c3.com/c104oc/Lab/Lab1_LabReports/labreport.htm)

2.6.2 ปฏิริยาเคมีระหว่าง CH_3COOH และ MEA (Xie *et al.*, 2003)

ปฏิริยาระหว่างกรดอะซิติกกับ โมโนเอทานอลเอมีนเกิดสารผลิตภัณฑ์เป็น Acetamide Monoethanolamine แสดงดังสมการที่ (2-13)



2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการบำบัดกลิ่นในก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบยางแท่งโดยการดูดซึ่มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และ โมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุได้ ทำการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการทดลองเลือกสารที่ต้องการศึกษา และพารามิเตอร์สำหรับศึกษา ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

Chen *et al.* (2003) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ Spay Dyer โดยพิจารณาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิดของสารดูดซึ่มที่ผสมกับ $\text{Ca}(\text{OH})_2$, อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง, ความเข้มข้นของสารดูดซึ่ม และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทางเข้าจากการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 150°C และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทางเข้าเท่ากับ 10% เป็นสภาวะที่เหมาะสม การใช้สารละลาย 10% NaOH + 5% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เป็นสารดูดซึ่ม โดยใช้อัตราการไหลของสารดูดซึ่มต่ออัตราการไหลของก๊าซ 2.82 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเท่ากับ 48%

Godini *et al.* (2008) ศึกษาค่า Selectivity ของการดูดซึ่มก๊าซ CO_2 และ H_2S โดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซึ่มในคอลัมน์บรรจุพบว่าการดูดซึ่ม CO_2 โดยใช้ MEA จะมีปริมาณน้อยกว่า H_2S ที่ดูดซึ่มโดยใช้ MEA โดยเฉพาะการเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซและลด L/G ratio การปรับลดพารามิเตอร์ดังกล่าวทำให้ค่า Selectivity เพิ่มขึ้น ขนาดของ Packing ที่ทำการศึกษาคือ 0.5 และ 1 นิ้ว โดยพบว่าค่า Relative Efficiency เพิ่มขึ้น 5% เมื่อใช้ขนาด Packing

1 นิ้ว แทนที่ขนาด Packing 0.5 นิ้ว ขณะที่ค่า Absolute Efficiency ลดลงและการเตรียมสภาวะที่เหมาะสมอีกทางหนึ่งโดยใช้ปริมาณ CO₂ น้อยๆ ทำให้ค่า Selectivity ของการดูดซึมเพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของ MEA สูงขึ้น, L/G ratio เพิ่มขึ้นและขนาด Packing ลดลง หมายถึง การเพิ่มขึ้นของค่าการดูดซึมต่อปริมาตร ซึ่งค่า Selectivity ลดลง พารามิเตอร์ที่ปรับปรุงพบว่า การลดลงของช่วง L/G ratio ที่สังเกตได้พบว่า Relative Efficiency เพิ่มขึ้นเกือบ 5% ขณะที่ Absolute Efficiency ลดลง

Maceiras *et al.* (2008) ศึกษาผลของอุณหภูมิกับสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลเชิงปริมาตรโดยศึกษาตลอดช่วงกระบวนการดูดซึม CO₂ ด้วยสารละลาย MEA โดยการศึกษาใน Bubble Column ในการคำนวณค่าอุณหภูมิดำเนินการโดยใช้ความเข้มข้นของ MEA และอัตราการไหลของ CO₂ ที่ต่างกัน และค่าอุณหภูมิที่ได้ออกมาไม่คงที่ (Non-isothermal) จากการทดลองพบว่าค่าอุณหภูมิจะสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ MEA สูง โดยการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลเชิงปริมาตร ($k_L a$) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของเอมีน ถ้าค่าอุณหภูมิและความเข้มข้นของ MEA เพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลเชิงปริมาตรจะเพิ่มขึ้น และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง MEA กับ CO₂ จะเกิดการรวมตัวขึ้นกลายเป็น Zwitterions ซึ่งเกิดขึ้นจากการลดลงของโปรตอนจากเบสจะได้สารผลิตภัณฑ์คือ Zwitterions

Setameteekul *et al.* (2008) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ในกระบวนการกับประสิทธิภาพของการดูดซึม CO₂ โดยการใช้สารดูดซึมที่เป็น MEA และ MEA/MDEA พารามิเตอร์ที่มีผลกับกระบวนการดูดซึม CO₂ โดยอาศัย Factorial Design Analysis โดยประสิทธิภาพในการบำบัด CO₂ หรือ K_{Ga} กับพารามิเตอร์อีก 5 ตัว ได้แก่ อัตราการไหลเวียนของสารดูดซึม, ความดันส่วนที่ทางเข้าของ CO₂, ความเข้มข้นของสาร Alkanolamine, อุณหภูมิ, CO₂ loading ของสารละลาย จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวม (K_{Ga}) จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อัตราการไหลเวียนของของเหลวเพิ่มขึ้น และจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มค่าความดันส่วนของ CO₂ ส่วนพารามิเตอร์อีก 3 ตัวที่ทำการทดลองได้แก่ ความเข้มข้นของ MEA, อุณหภูมิ และ CO₂ loading พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นแบบ Non-linear กับค่า K_{Ga} ซึ่งสามารถเขียนเป็น Empirical Correlation ได้ โดยที่พารามิเตอร์ที่มีผลในการทดลองกับพารามิเตอร์อื่นมากที่สุดคือ อุณหภูมิกับค่า K_{Ga}

Pei *et al.* (2008) ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพในการนำสารละลาย 2-amino-2-methyl-1-propanol กลับมาใช้ใหม่โดยการดูดซึม CO₂ เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการหมุนเวียนนำสารดูดซึมน้ำกลับมาใช้ใหม่ภายใต้สภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน สารละลายประเภท Sterical Hindered AMP มีประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายเอมีนประเภทอื่นๆ พบว่าเมื่อใช้สารละลาย 2-amino-2-methyl-1-propanol เป็นสารดูดซึมจะให้ประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่มีค่าสูงขึ้นตั้งแต่ 86.2-98.3% เมื่อทำการศึกษาอุณหภูมิในช่วงตั้งแต่ 358-383 เคลวิน พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่คือ 383 เคลวิน นอกจากนี้หลังจากการดูดซึมและการนำกลับมาใช้ใหม่ 6 รอบ ประสิทธิภาพยังคงสูงอยู่ถึง 94% โดยที่ผลจากการเป็น Sterical Hinding ของ AMP มีผลทำให้ Carbamate มีความเสถียรน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับสาร MEA (Primary Alkanolamine) ดังนั้นลำดับของปริมาณการดูดซึมที่เอมีนต่างกันคือ DETA>AMP>MEA>DEA>MDEA โดย AMP จะมีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเนื่องจากใช้ความดันส่วนที่สูง พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่จาก Reboiler ต่ำลง นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่สูงและสามารถดูดซึมได้ดี

Schlegelmilch *et al.* (2005) ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นโดยใช้ทางเลือกที่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่กระบวนการที่มักจะนำมาใช้ในการบำบัดกลิ่น ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางเคมี และกระบวนการทางชีวภาพ โดยที่กระบวนการดูดซับจะใช้สารดูดซับต่างชนิดกัน เช่น Activated Carbon, Activated Alumina, Silica gels และ Zeolites เป็นต้น กระบวนการดูดซึม ได้แก่ กระบวนการดูดซึมทางกายภาพและกระบวนการดูดซึมทางเคมี กระบวนการบำบัดกลิ่นทางชีวภาพ ได้แก่ Bioscrubbers Biotrickling Filter และ Biofilters การบำบัดกลิ่นโดยใช้ความร้อน ได้แก่ Thermal Afterburners Catalytic Incinerators และ Regeneration Thermal Oxidation (RTO) กระบวนการออกซิเดชันแบบไม่ใช้ความร้อน ได้แก่ Ozone UV และ Non-thermal Plasma การทดสอบระบบบำบัดกลิ่น 2 ระบบ ได้แก่

1. Static Test System เป็นระบบที่ใช้ถุงพลาสติกที่ใช้ใน Olfactometry กับ Treatment Media เช่น Adsorbent scrubbing liquids และ Biofilter

2. Dynamic Test System ใช้ในกระบวนการบำบัดกลิ่นที่ประกอบด้วย Unit ต่างๆ เช่น Test Units, Air Pump, Recirculation Pumps และ Flowmeters การจัดการกลิ่นสามารถสรุปได้เป็น Odour Problem, Odour Management Handbook, Odour Assessment, Chemical Analysis Data Base, Test System, Test Plant และ Full-Scale Plant

Freudenthal *et al.* (2005) ศึกษาการบำบัดกลิ่นในก๊าซเสียโดยใช้ Waste Gas Scrubber โดยใช้กระบวนการดูดซึมซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุดสำหรับการบำบัดกลิ่นในก๊าซเสีย การปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวดักจับก๊าซสามารถทำได้โดยใช้ Washing Liquid วิธีการ Screening Test ถูกนำมาใช้เพื่อลดค่าเครื่องมือสำหรับ Washing Liquid ในการบำบัดกลิ่นในก๊าซเสีย ดัชนีของกลิ่นเป็นการบ่งชี้ถึงกลิ่นที่มีลักษณะจำเพาะและสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการดูดซึมของ Washing Liquids ได้ง่ายขึ้นโดยวิธีการนี้ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์และการกลั่นน้ำมัน

สมทิพย์ และคณะ (2550) ศึกษาการใช้สารดูดซึมสำหรับดักจับแบบเปียกให้เหมาะสม โดยสามารถใช้น้ำที่ปรับ pH ระหว่าง 8-10 หรือน้ำที่เติมสาร Oxidizing Agent เช่น ใช้ Sodium Hypochlorite หรือ Potassium Permanganate ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 10 mg/l จากผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซก่อนเข้าและออกจากระบบดักจับเปียกของโรงงานยางแท่ง STR20 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดแต่ละประเภทของกรดไขมันระเหยของระบบดักจับแบบเปียกของโรงงานซึ่งภายในบรรจุด้วยตัวกลางพลาสติกมีค่าระหว่าง 19-100%

สมทิพย์ และคณะ (2550) ศึกษาการจำแนกสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 โดยผลจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่ากรดไขมันระเหยที่ระเหยออกจากการอบยางก้อนด้วยโดยการดูดซึมในน้ำกลั่นสามารถคำนวณได้ว่าอยู่ในช่วง 0.031-0.235 มก.ของอะซีติก/กรัมยางแห้งและ 0.031-0.055 มก.ของอะซีติก/กรัมยางแห้งของตัวอย่างยางก้อนที่เก็บไว้ในสภาวะเปียกจะสามารถให้กรดไขมันระเหยซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหากลิ่นเหม็นได้มากกว่าการเก็บในสภาวะแห้ง การจำแนกถึงสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ตัวอย่างก๊าซที่ระเหยจากการอบยางก้อนด้วยทั้งในห้องปฏิบัติการและจากการอบยางในโรงงานยางแท่ง STR20 ได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ GC-MS ในการวิเคราะห์ และทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแต่ละประเภทของกรดไขมันระเหยในเทอมของกรดอะซีติก กรดพรอพิโนอิก กรดบิวทิริก กรดไอโซบิวทิริก กรดวาเลริก และกรดไอโซวาเลริก โดยใช้ GC ในการวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบ 25 ชนิดของสารประกอบอินทรีย์ในตัวอย่างดังกล่าวข้างต้น และสารอินทรีย์ที่เด่นซึ่งพบในทุกตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้แก่ กรดอะซีติก กรดบิวทิริก กรดไอโซวาเลริก กรดเฮกซาเดคานอิก กรดโอเลอิก และเมทิลเอสเทอร์ของกรดโอเลอิก

สมทิพย์ และคณะ (2550) ศึกษาผลการทดลองบำบัดกลิ่นโดยใช้ตัวกรองทางชีวภาพที่เป็นส่วนผสมของวัสดุปฏิกิริยา เปลือกมะพร้าวและขี้เถ้า ภายใต้สภาวะแตกต่างกันของอัตราการป้อนของก๊าซที่ต้องการบำบัดซึ่งมาจากแหล่งที่แตกต่างกัน ระบบตัวกรองทางชีวภาพมีประสิทธิภาพการบำบัดโดยเฉลี่ยมีค่าระหว่าง 26-63%, 0.1-16%, 2-10%, 8-35% และ 5-35% สำหรับการบำบัดกรดอะซีติก กรดพรอพิโนอิก กรดไอโซบิวทิริก กรดบิวทิริก และกรดไอโซ

วาเลริก ในก๊าซที่ระบายออกจากที่อบยางกันด้วย และมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดในช่วง 29-65%, 42-59% และ 50% สำหรับการบำบัดกรดอะซิติก กรดบิวทิริก กรดไอโซวาเลริก ในก๊าซที่ระบายออกจากระบบดักจับแบบเปียก ระบบตัวกรองทางชีวภาพสามารถลดค่า VFAs ในก๊าซที่ระบายออกมาจากที่อบยางกันด้วย และก๊าซที่ระบายจากระบบดักจับแบบเปียกของโรงงานยางแท่ง STR20 ได้ แต่จะสามารถให้ประสิทธิภาพการบำบัดในก๊าซที่ออกมาจากระบบดักจับแบบเปียกได้ดีกว่าการใช้กับก๊าซที่ระบายออกจากที่อบยางโดยตรง

Aroonwilas *et al.* (1999) ศึกษาการทดลองบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการดูดซึมในหอดูดซึม 3 ขนาด ได้แก่ ระดับห้องทดลอง ระดับ pilot ระดับอุตสาหกรรม เป็นต้น และใช้ตัวกลางในการดูดซึมประเภท Sulzer EX, Gempak 4A และ Sulzer BX โดยใช้สารดูดซึมโซเดียมไฮดรอกไซด์ โมโนเอทานอลเอมีน และ AMP ประสิทธิภาพในการบำบัดอธิบายในเทอมของสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลเชิงปริมาตร พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราการไหลของก๊าซ ความดันส่วนของ CO_2 อัตราการไหลของของเหลว อุณหภูมิของของเหลว ความเข้มข้นของสารดูดซึม ชนิดของสารดูดซึม และชนิดของตัวกลาง ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าอัตราการไหลของก๊าซไม่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทดลอง คือ ความดันส่วนของ CO_2 อัตราการไหลของของเหลว อุณหภูมิของของเหลว ความเข้มข้นของสารดูดซึม ชนิดของสารดูดซึม และชนิดของตัวกลาง โดยที่ระบบ CO_2 -NaOH จะมีสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลเชิงปริมาตรสูงกว่าการใช้ระบบ CO_2 -AMP แต่ระบบ CO_2 -NaOH จะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลเชิงปริมาตรต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ CO_2 -MEA เนื่องจาก NaOH มีค่าแรงดึงผิวที่ต่ำกว่า MEA ทำให้ในระบบ CO_2 -NaOH จะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลเชิงปริมาตรสูงกว่า

Sakdapipanich *et al.* (2006) ทำการศึกษาวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของกลิ่นจากยางตัวอย่าง โดยใช้เทคนิค Head Space ในการเก็บตัวอย่างก๊าซจากการนำตัวอย่างอบโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซโดยใช้ GC-MS ในการวิเคราะห์ พบว่าสำหรับยาง STR20 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากยางกันด้วยซึ่งเป็นวัตถุดิบโดยส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบของกรดไขมันระเหยที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ได้แก่ กรดอะซิติก กรดพรอพิโอนิก กรดไอโซบิวทิริก และสารประกอบเอสเทอร์ ซึ่งเกิดขึ้นมาจากกระบวนการหมักคาร์โบไฮเดรตและเกิดจากการหมักในน้ำเป็นเวลานานหลายชั่วโมงเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดมาด้วยยางกันด้วย เอสเทอร์และแอลกอฮอล์นั้นเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา Microbial Esterification ของกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์

จรรยา (2546) อธิบายถึงวิธีการวัดปริมาณกรดไขมันระเหยหรือวีโอเอฟเอ (Volatile fatty acid, VFA) ที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 6 สามารถละลายน้ำได้และสามารถลั่นได้ที่ความดันบรรยากาศโดยวิธีการ ไตเตรท ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้เวลาในการทดสอบสั้นกว่าวิธีอื่นๆ นอกจากนั้น

วิธีการในการไตเตรทสามารถหาสภาพต่าง (Alkalinity) ทั้งหมดได้โดยการหาค่าสภาพต่างทั้งหมดที่ pH 4 โดยวิธีการไตเตรทแบบโพเทนชิโอเมตริก (Potentiometric Titration) และนำมาต้มเพื่อได้กรดออก ไทเทรตกลับจาก pH 4 เป็น pH 7 เพื่อการหาสภาพต่างของเบสและกรดไขมันระเหยง่าย แล้วจึงคำนวณหาค่า VFA ต่อไป

วินัย และคณะ (2550) ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่มีกลิ่นที่มักจะทำให้ออกปัญหาหากกลิ่นรบกวนอยู่เสมอ รวม 9 ชนิดกับระดับความแรงของกลิ่นโดยการดม (Sensory Test) สารที่เลือกมาศึกษา ได้แก่ กรดพรอพิโอนิก แอมโมเนีย นอร์มอลบิวทิลอะซีเตท ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมทานอล เมทิลเมอร์แคปเทน สไตรีน โทลูอิน และไซลีน ซึ่งพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่มีกลิ่นทั้ง 9 ชนิดกับความแรงของกลิ่นสอดคล้องกับสมการล็อกการิทึมของเวเบอร์เฟชเนอร์ (Weber-fechner Logarithmic Equation) ที่ระดับนัยสำคัญน้อยกว่า 0.01 โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับช่วงของความแรงของกลิ่นในระดับที่ก่อให้เกิดปัญหาหากกลิ่นรบกวน คือช่วงความแรงของกลิ่นเท่ากับ 2.5-3.5 ซึ่งช่วงของความเข้มข้นนี้อาจนำไปใช้ในการกำหนดค่ามาตรฐานเพื่อควบคุมสารที่มีกลิ่นเป็นรายชนิดที่บริเวณรั้วหรือขอบเขตภายในโรงงาน โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้

Boonyakan *et al.* (2006) ศึกษาการใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮโป คลอไรท์ ในการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสีย พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทางเข้า อัตราการไหลของก๊าซ G:L ratio และ pH ตามลำดับ พบว่าเมื่อใช้สารดูดซับเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์อยู่ในช่วงค่า pH 8-12 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียในอากาศเสียจำลองน้อยกว่าการใช้น้ำเป็นสารดูดซับ และการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และการใช้น้ำเป็นสารดูดซับในระบบ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่ได้ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในระบบ

Chasanis *et al.* (2010) ทำการศึกษาการดูดซับ CO_2 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใน Falling film contactor โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราการไหลของก๊าซ อัตราการไหลของสารดูดซับ สัดส่วนเชิงโมลของก๊าซที่ทางเข้า ความเข้มข้นของ NaOH ผลจากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด CO_2 จะสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของก๊าซลดลง ผลของอัตราการไหลของสารดูดซับพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารดูดซับในช่วง 5-15 ml/hr ประสิทธิภาพการบำบัด CO_2 จะสูงขึ้น ความเข้มข้นของ CO_2 ที่ทางเข้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการบำบัด CO_2 จะลดลง และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการบำบัด CO_2 จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นมากกว่า 2 mol/l ประสิทธิภาพในการบำบัด CO_2 มีแนวโน้มที่จะลดลง

Lin *et al.* (2010) ศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 1-10 mol% ใน Rotating Packed Bed โดยใช้สารดูดซับ 3 ชนิด คือ NaOH, MEA, AMP และรายงานผลของประสิทธิภาพในการบำบัด CO₂ เป็นสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตร โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเร็วรอบของการหมุน อัตราการไหลของก๊าซ อัตราการไหลของเหลว ความเข้มข้นของสารดูดซับ ความเข้มข้นของ CO₂ และเปรียบเทียบผลของค่า K_{Ga} ที่ได้ระหว่างทำการทดลองใน Rotating Packed Bed กับ Tower ที่บรรจุตัวกลางชนิด EX ในการศึกษา โดยใช้สารละลาย NaOH เป็นสารดูดซับพบว่าค่า K_{Ga} เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ความเร็วรอบในการหมุน ในช่วง 375-1,000 rpm อัตราการไหลของสารดูดซับเพิ่มขึ้นค่า K_{Ga} เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการป้อนของก๊าซต่ออัตราการป้อนของของเหลวค่า K_{Ga} ลดลง

2.8 ข้อสรุปข้อมูลที่ได้จากการค้นคว้า

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบยางแท่งจะมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นกรดไขมันระเหย โดยเฉพาะกรดไขมันระเหยง่ายที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ ซึ่งได้แก่ กรดอะซิติก กรดพรอพิโอนิก กรดบิวทิริก กรดไอโซบิวทิริก กรดวาเลริก และกรดไอโซวาเลริก เป็นต้น และวิธีการในวัดกรดไขมันระเหยจากน้ำเสียเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้วัดปริมาณของกรดไขมันระเหยที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ ในก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยางได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการบำบัดก๊าซเสียที่เกิดจากการอบยางโดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ อัตราการไหลของสารดูดซับต่ออัตราการไหลของก๊าซ อัตราการไหลของก๊าซ ความเข้มข้นของสารดูดซับ และสถานะที่ได้จากการทดลองในระดับ Pilot จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดกลิ่นจากก๊าซเสียที่เกิดจากการอบยางในหอดูดซับขนาดอุตสาหกรรมต่อไป

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 สารเคมี

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารดูดซึม

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (AGC, 98%)
- โมโนเอทานอลเอมีน (Dow, 99%)
- น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Lab Scan, 99%)

3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดอะซิติก

- กรดไฮโดรคลอริก (Merck, 99.8%)
- ฟีนอล์ฟทาลีน
- เมทิลออเรนจ์
- กรดซัลฟิวริก (Merck, 99.8%)
- กรดอะซิติก (BDH, 99.5%)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Lab Scan, 99%)

3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- หอคูดซิมที่บรรจุแพคกิ้ง (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm บรรจุด้วย PVC Raschig rings ขนาด 1.3×1.3 cm ส่วนสูง packing ที่บรรจุภายในคอลัมน์ 80 cm)
- Rotameter
- Storage tank
- Pump
- กระจกบอดววง

3.1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

- Sampling pump (Aircheck Sampler รุ่น Model 224-PCXR8)
- สายยางซิลิโคน
- บีกเกอร์
- กระจกบอดววง
- Impinger

3.1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

- เครื่องวัดพีเอช
- เครื่องวัดค่าความเร็วลม
- อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- เครื่องมือวัด CO₂
- นาฬิกาจับเวลา
- เครื่องชั่ง
- เต้าไฟฟ้า
- เครื่องกวนแม่เหล็ก
- ปิเปต
- บิวเรต
- หลอดหยด

3.2 วิธีการทดลอง

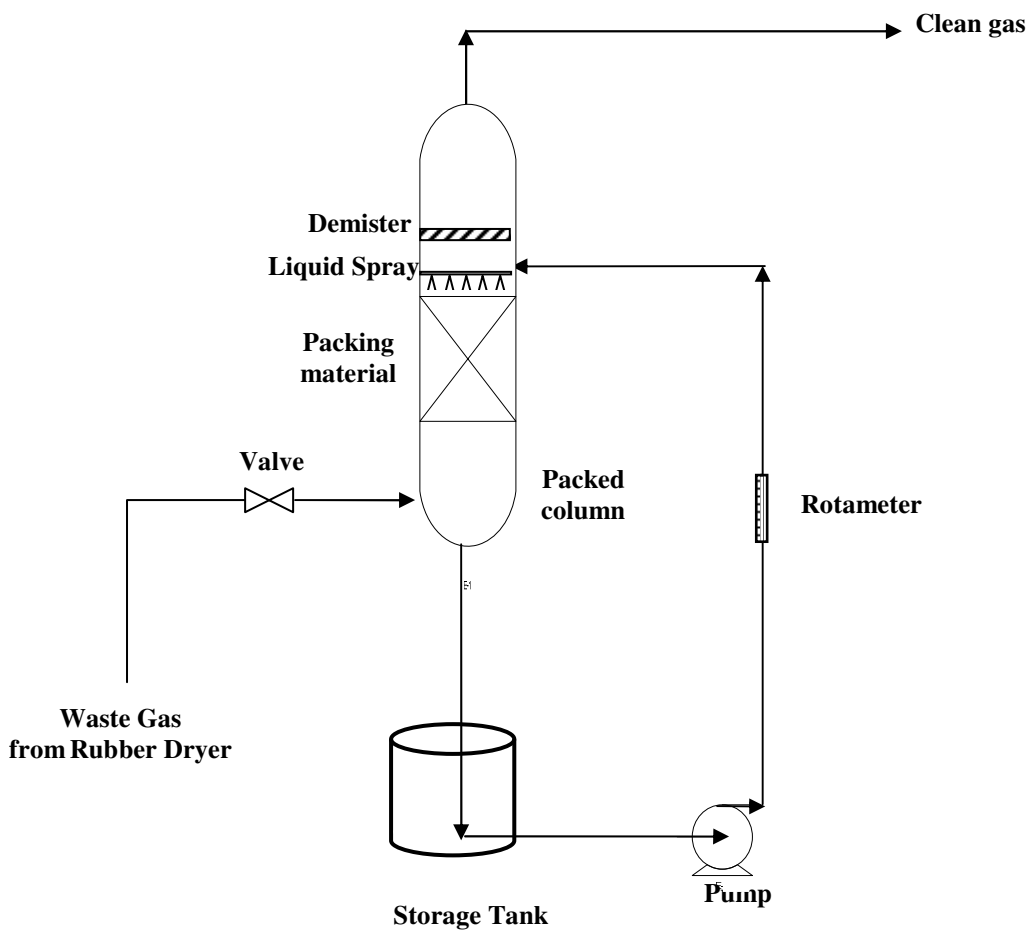
3.2.1 การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ห้กลิ่นและการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของกลิ่นในก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบยาง

ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซเสียที่ปล่อยจากปล่องของเตาอบยาง โดยใช้ถุงเก็บตัวอย่างอากาศและส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ด้วยเครื่องมือ Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) โดยมีสถานะที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ง และจากผลการวิเคราะห์ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1

การพัฒนาการวิเคราะห์ห้กลิ่นนั้นทำการศึกษาใน 3 วิธี คือ วิธีการไตเตรทแบบย้อนกลับเพื่อหาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในเทอมของกรดอะซิติก วิธีการไตเตรทหาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจากน้ำเสีย และวิธีการวิเคราะห์ห้หากรดอะซิติกมาตรฐาน ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการในการวิเคราะห์ห้ในภาคผนวก ค

3.2.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot

การทดลองศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนดำเนินการในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm บรรจุด้วย PVC Raschig rings ขนาด 1.3×1.3 cm ส่วนสูงของเบดที่บรรจุตัวกลางสูง 80 cm ซึ่งได้ทำการติดตั้งที่ บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด ดังภาพประกอบที่ 3-1



ภาพประกอบที่ 3-1 แสดงชุดการทดลองของคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot ที่ใช้ในการบำบัดกรดอะซิติกโดยติดตั้งที่ บริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด

การทดลองจะดำเนินการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้คอลัมน์บรรจุขนาด Pilot เริ่มต้นโดยเตรียมสารดูดซึมน้ำที่มีความเข้มข้นของสารดูดซึมตามต้องการลงในถังบรรจุสารละลาย และเก็บตัวอย่างสารดูดซึมเพื่อนำไปวัดค่าความเข้มข้นของสารดูดซึมที่ใช้ (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโมโนเอทานอลเอมีน) เมื่อได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของสารดูดซึมที่ต้องการแล้วจะทำการปั๊มสารดูดซึมให้ไหลเข้าทางด้านบนของคอลัมน์บรรจุผ่านอุปกรณ์การกระจายของเหลว (Liquid distributor) ด้วยอัตราการไหลที่กำหนด หลังจากนั้นจึงทำการป้อนก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากปล่องควันของเตาอบยางเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์บรรจุด้วยอัตราการไหลของก๊าซที่กำหนด ก๊าซเสียและสารดูดซึมจะไหลสวนทางกันผ่านตัวกลาง (Packing Media) ภายในคอลัมน์บรรจุ และเกิดการสัมผัสกันระหว่างเฟสก๊าซและเฟสของเหลวทำให้เกิดการดูดซึมและเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นระหว่างสารดูดซึมกับก๊าซเสีย ก๊าซเสียที่ผ่านการบำบัดจะ

ถูกปล่อยสู่บรรยากาศทางด้านบน ส่วนสารดูดซึ่มจะไหลผ่านคอลัมน์บรรจุลงสู่ถังบรรจุสารละลาย และทำการเติมสารเคมีใหม่สดเพื่อหมุนเวียนกลับไปใช้ใหม่ และทำการวัดค่าความเข้มข้นของกรดอะซิดิก โดยวัดความเข้มข้นที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์บรรจุและเก็บตัวอย่างสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโมโนเอทานอลเอมีนในถังบรรจุสารละลายไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโมโนเอทานอลเอมีนที่เหลืออยู่ในถังที่เวลาต่างๆ ตามเวลาที่กำหนด จนถึงสิ้นสุดการทดลอง โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของสารดูดซึ่ม (MEA หรือ NaOH) (mol/l) อัตราการไหลของก๊าซ (m^3/min) และ L/G ratio (l/m^3)

3.3 การออกแบบการทดลอง

ในการศึกษาการบำบัดกรดอะซิดิกในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot นั้นได้ออกแบบการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลองโดยแบ่งตามชนิดของสารดูดซึ่มดังแสดงในตารางที่ 3-1 และตารางที่ 3-2 ซึ่งแต่ละชุดการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิดิก และหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการบำบัดกรดอะซิดิกในหอดูดซึ่มขนาดอุตสาหกรรมของบริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด ต่อไป

ตารางที่ 3-1 แสดงสภาวะการใช้สารละลายสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซึ่มในการบำบัดกรดอะซิติก

| RUN | Exhaust gas flow rate (m ³ /min) | Liquid flow rate (l/min) | L/G ratio (l/m ³) | MEA Concentration (mol/l) | Inlet Acetic (mg/l) | Acetic Removal (%) | Optimum parameters |
|-----|---|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|---|
| 1 | 0.1 | 9 | 90 | 0.2 | actual | measure | MEA = X1 mol/l |
| 2 | 0.1 | 9 | 90 | 0.4 | actual | measure | |
| 3 | 0.1 | 9 | 90 | 0.5 | actual | measure | |
| 4 | 0.1 | 9 | 90 | 0.7 | actual | measure | |
| 5 | 0.1 | 3 | 30 | X1 | actual | measure | L/G ratio = X2 l/min |
| 6 | 0.1 | 5 | 50 | X1 | actual | measure | |
| 7 | 0.1 | 8 | 80 | X1 | actual | measure | |
| 8 | 0.1 | 10 | 100 | X1 | actual | measure | |
| 9 | 0.02 | 0.02X2 | X2 | X1 | actual | measure | Exhaust gas flow rate = X3 m³/min |
| 10 | 0.05 | 0.05X2 | X2 | X1 | actual | measure | |
| 11 | 0.07 | 0.07X2 | X2 | X1 | actual | measure | |
| 12 | 0.09 | 0.09X2 | X2 | X1 | actual | measure | |

การทดลองที่ 1-4 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก โดยกำหนดให้ค่า L/G ratio คงที่ ทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในช่วงความเข้มข้น 0.2-0.7 mol/l ในการทดลองดังกล่าวนี้ ใช้ค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ทางเข้าที่วัดได้จริงและทำการวัดค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ทางออกเพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกที่สภาวะต่างๆ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกกับความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีน จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบค่าความเข้มข้นของสารดูดซึ่มที่เหมาะสมต่อการดำเนินการ โดยกำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนที่เหมาะสมเท่ากับ X1 ซึ่งค่า X1 จะถูกนำไปใช้ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรอื่นในชุดการทดลองต่อไป

การทดลองที่ 5-8 เป็นการทดลองเพื่อหา L/G ratio ที่เหมาะสมทำการทดลองโดยใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนที่เหมาะสมเท่ากับ X1 คงที่ตลอดการทดลองทำการเปลี่ยนแปลงค่า L/G ratio ในช่วง 30-100 l/m³ และใช้ค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ทางเข้าที่วัดได้จริงและวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติกในก๊าซเสียหลังการบำบัดที่ค่า L/G ratio ต่างๆ และคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับค่า L/G ratio จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบค่า L/G ratio ที่เหมาะสมต่อการดำเนินการ โดยกำหนดให้ค่า L/G ratio ที่เหมาะสมในการทดลองเท่ากับ X2 ซึ่งค่า X2 จะถูกนำไปใช้ในการทดลองเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมในการดำเนินการขั้นต่อไป

การทดลองที่ 9-12 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก โดยการกำหนดให้ค่า L/G ratio และความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนคงที่เท่ากับ X1 และ X2 ตามลำดับ ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของก๊าซในช่วงอัตราการไหล 0.02-0.09 m³/min ทำการวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ทางเข้าและที่ทางออกของคอลัมน์บรรจุในแต่ละค่าของอัตราการไหลของก๊าซ นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกและพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของก๊าซและพิจารณาหาค่าอัตราการไหลของก๊าซที่เหมาะสมต่อการดำเนินการ โดยกำหนดให้ค่าอัตราการไหลของก๊าซที่เหมาะสมเท่ากับ X3

ตารางที่ 3-2 แสดงสภาวะการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึ่มในการบำบัดกรดอะซิติก

| RUN | Exhaust gas flow rate (m ³ /min) | Liquid flow rate (l/min) | L/G ratio (l/m ³) | NaOH Concentration (mol/l) | Inlet Acetic (mg/l) | Acetic Removal (%) | Optimum parameters |
|-----|---|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|---|
| 13 | 0.1 | 9 | 90 | 0.2 | actual | measure | NaOH = X4 mol/l |
| 14 | 0.1 | 9 | 90 | 0.4 | actual | measure | |
| 15 | 0.1 | 9 | 90 | 0.5 | actual | measure | |
| 16 | 0.1 | 9 | 90 | 0.7 | actual | measure | |
| 17 | 0.1 | 9 | 90 | 1.0 | actual | measure | |
| 18 | 0.1 | 9 | 90 | 1.4 | actual | measure | |
| 19 | 0.1 | 9 | 90 | 2.0 | actual | measure | |
| 20 | 0.1 | 3 | 30 | X4 | actual | measure | L/G ratio = X5 l/min |
| 21 | 0.1 | 5 | 50 | X4 | actual | measure | |
| 22 | 0.1 | 8 | 80 | X4 | actual | measure | |
| 23 | 0.1 | 10 | 100 | X4 | actual | measure | |
| 24 | 0.02 | 0.02X5 | X5 | X4 | actual | measure | Exhaust gas flow rate = X6 m³/min |
| 25 | 0.05 | 0.05X5 | X5 | X4 | actual | measure | |
| 26 | 0.07 | 0.07X5 | X5 | X4 | actual | measure | |
| 27 | 0.09 | 0.09X5 | X5 | X4 | actual | measure | |

การทดลองที่ 13-19 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก โดยกำหนดให้ค่า L/G ratio คงที่ ทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วงความเข้มข้น 0.2-2.0 mol/l ในการทดลองดังกล่าวนี้ ใช้ค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ทางเข้าที่วัดได้จริงและทำการวัดค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ทางออกเพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกที่สภาวะต่างๆ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

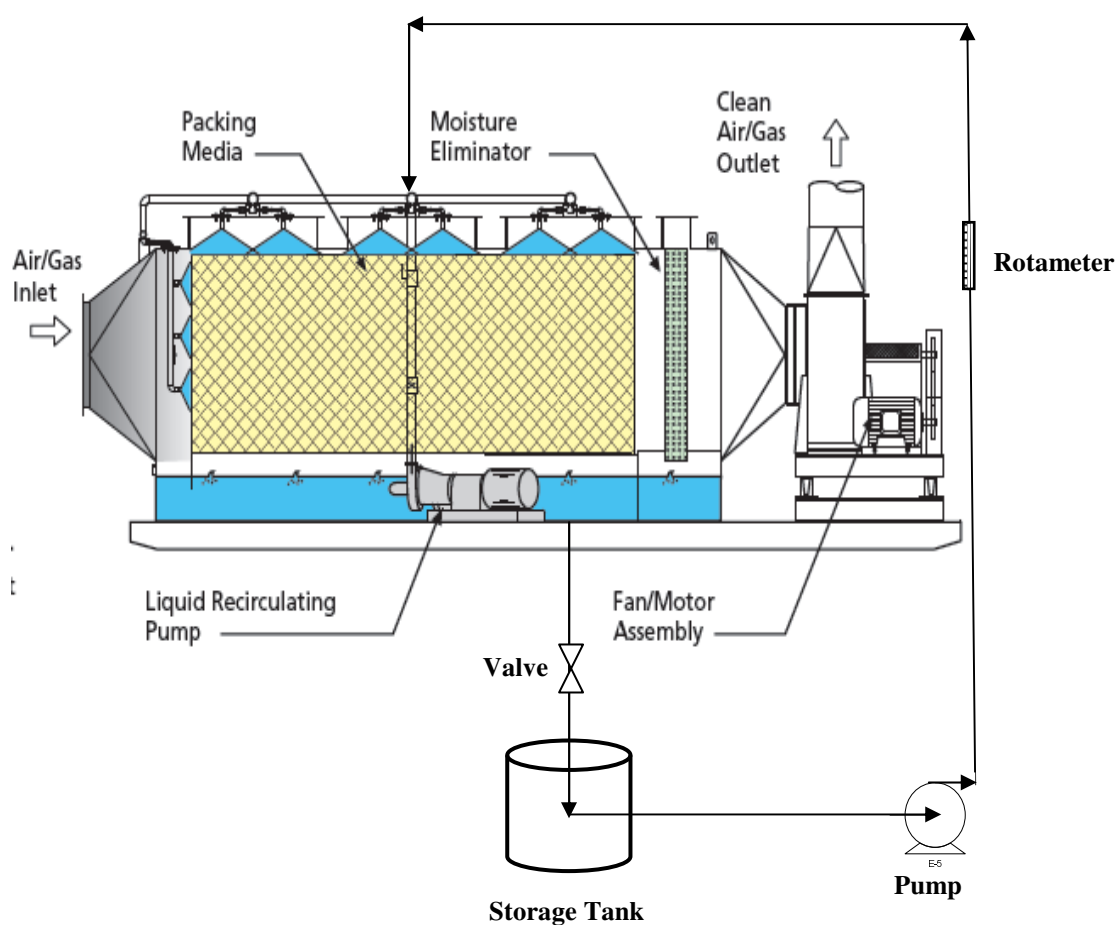
จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบค่าความเข้มข้นของสารดูดซึมที่เหมาะสมต่อการดำเนินการ โดยกำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมเท่ากับ X4 ซึ่งค่า X4 จะถูกนำไปใช้ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรอื่นในชุดการทดลองต่อไป

การทดลองที่ 20-23 เป็นการทดลองเพื่อหา L/G ratio ที่เหมาะสมทำการทดลองโดยใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมเท่ากับ X4 คงที่ตลอดการทดลอง ทำการเปลี่ยนแปลงค่า L/G ratio ในช่วง 30-100 l/m³ และใช้ค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ทางเข้าที่วัดได้จริงและวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติกในก๊าซเสียหลังการบำบัดที่ค่า L/G ratio ต่างๆ และคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับค่า L/G ratio จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบค่า L/G ratio ที่เหมาะสมต่อการดำเนินการ โดยกำหนดให้ค่า L/G ratio ที่เหมาะสมในการทดลองเท่ากับ X5 ซึ่งค่า X5 จะถูกนำไปใช้ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการขั้นต่อไป

การทดลองที่ 24-27 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก โดยการกำหนดให้ค่า L/G ratio และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คงที่เท่ากับ X4 และ X5 ตามลำดับ ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของก๊าซในช่วงอัตราการไหล 0.02-0.09 m³/min ทำการวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ทางเข้าและที่ทางออกของคอลัมน์บรรจุในแต่ละค่าของอัตราการไหลของก๊าซ นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกและพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของก๊าซและพิจารณาหาค่าอัตราการไหลของก๊าซที่เหมาะสมต่อการดำเนินการ โดยกำหนดให้ค่าอัตราการไหลของก๊าซที่เหมาะสมเท่ากับ X6

3.4 การดำเนินการประยุกต์ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรม บริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด

หอดูดซึมที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 เพื่อการควบคุมปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากเตาอบยางเป็นระบบที่อาศัยหลักการดูดซึมเพื่อดูดซึมสารมลพิษในอากาศเสียที่ปล่อยจากเตาอบยางโดยการใช้น้ำเป็นสารดูดซึม หอดูดซึมของบริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด แสดงดังภาพประกอบที่ 3-2



ภาพประกอบที่ 3-2 แสดงหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมในแนวนอนที่ใช้ในการบำบัดกรดอะซิติกที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง บริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด

จากภาพประกอบที่ 3-2 หอดูดซึมที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 เพื่อการควบคุมปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากเตาอบยาง และเป็นระบบที่มีการทำงานหลักภายใต้การดูดซึมสารมลพิษทางอากาศจากเตาอบยางโดยการใช้น้ำเป็นสารดูดซึมในการบำบัดกลิ่น การดำเนินการเพื่อบำบัดกลิ่นจากก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยางของ บริษัท สยามอินโด รับเบอร์ จำกัด ซึ่งมีสถานะการดำเนินการของระบบ ดังนี้ ก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยางใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm ผ่านท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เมตร หรืออัตราการไหลของก๊าซเสีย 6,390 m³/min และมีอัตราการไหลของสารดูดซึม 66 l/min ดังนั้นจึงมีอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซเท่ากับ 0.01 l/m³ การทดลองบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึมในหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมของบริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด เริ่มต้นโดยการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้นของสารดูดซึมตามต้องการลงถังบรรจุสารละลาย และเก็บตัวอย่างสารดูดซึมเพื่อนำไปวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของสารดูดซึมที่ต้องการแล้วจึงป้อนสารดูดซึมให้ไหลเข้าทางด้านบนของหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมผ่านอุปกรณ์การกระจายของเหลว (Liquid distributor) ด้วยอัตราการไหลของสารดูดซึม 66 l/min จากนั้นก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากปล่องควันของเตาอบยางจะไหลเข้าหอดูดซึมแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรมในแนวนอน ด้วยอัตราการไหลของก๊าซเสีย 6390 m³/min ก๊าซเสียและสารดูดซึมโซเดียมไฮดรอกไซด์จะไหลผ่านตัวกลาง (Packing Media) ภายในหอดูดซึมและเกิดการสัมผัสกันระหว่างก๊าซและของเหลวเกิดการดูดซึมและปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารดูดซึมกับสารประกอบในก๊าซเสีย ก๊าซเสียที่ผ่านการบำบัดจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศทางปล่องควัน ส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไหลผ่านหอดูดซึมจะลงสู่ถังบรรจุสารละลายและหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซที่ทางเข้าและที่ทางออกของหอดูดซึมเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดอะซิติกในก๊าซก่อนและออกจากหอดูดซึมและเก็บตัวอย่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในถังบรรจุสารละลายไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลืออยู่ในถังที่เวลาต่างๆ ตามเวลาที่กำหนดจนสิ้นสุดการทดลอง

3.4.1 ศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนในการบำบัด

วิเคราะห์ต้นทุนด้านค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารเคมีในการดำเนินการนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

3.5 ชุดเก็บตัวอย่างก๊าซ

การเก็บตัวอย่างก๊าซเสียทำโดยใช้ชุดเก็บตัวอย่างก๊าซ โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับชุดเก็บตัวอย่างก๊าซเสีย ประกอบด้วย

3.5.1 อิมพิงค์เจอร์ เป็นขวดแก้วทรงกระบอกที่ประกอบด้วย ท่อก๊าซทางเข้า ท่อก๊าซทางออก และมีหัวกระจายก๊าซ ภายในขวดแก้วบรรจุสารละลาย NaOH 0.002 N ปริมาตร 25 ml โดยก๊าซเสียจะไหลเข้าสู่ท่อทางเข้าของอิมพิงค์เจอร์ผ่านหัวกระจายก๊าซซึ่งช่วยให้ก๊าซสามารถดูดซึมลงในสารละลาย NaOH หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ CH_3COOH ด้วยวิธีการไตเตรทแบบย้อนกลับ (Back Titration) โดยการไตเตรทด้วยสารละลาย 0.002 N HCl

3.5.2 ปัมป์เก็บตัวอย่างก๊าซ (Sampling Pump) ใช้เก็บตัวอย่างก๊าซจากท่อก๊าซที่ทางเข้าและที่ทางออกของคอลัมน์บรรจุ เพื่อส่งก๊าซตัวอย่างลงในอิมพิงค์เจอร์ ปัมป์อากาศจะต้องปรับอัตราการไหลของก๊าซเสียและกำหนดเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างตามค่าความเข้มข้นของ CH_3COOH ในก๊าซ ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการเก็บตัวอย่างก๊าซที่อัตราการไหลเท่ากับ 1 L/min โดยใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างก๊าซเสียเป็นเวลา 2 นาที

3.5.3 Gilibrator Air Flow Calibration ใช้สำหรับการตรวจสอบค่าของอัตราการไหลของก๊าซที่ไหลผ่านปั๊มเก็บตัวอย่าง

3.5.4 สายยางซิลิโคน ใช้เป็นท่อทางไหลของก๊าซเสียที่ต่อกันของชุดอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างและท่อเก็บตัวอย่างจากคอลัมน์บรรจุ

3.6 วิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซ

การเก็บตัวอย่างก๊าซและการวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดอะซิติกในระหว่างการดำเนินการทดลองบำบัดกลิ่นทำโดยใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศชนิด Aircheck Sampler Model 224-PCXR8 ปั๊มก๊าซเสียจากจุดเก็บตัวอย่างที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์บรรจุด้วยอัตราการไหลและเวลาที่ต้องการลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่บรรจุในอิมพิงค์เจอร์ กรดอะซิติกในก๊าซเสียจะถูกดูดซึมไว้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดอะซิติกโดยใช้วิธีการไตเตรทแบบย้อนกลับ หลังจากนั้นคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติก ดังสมการที่ (3-1)

$$\% \text{CH}_3\text{COOH Removal} = \frac{C_{\text{CH}_3\text{COOH},in} - C_{\text{CH}_3\text{COOH},out}}{C_{\text{CH}_3\text{COOH},in}} \times 100 \quad (3-1)$$

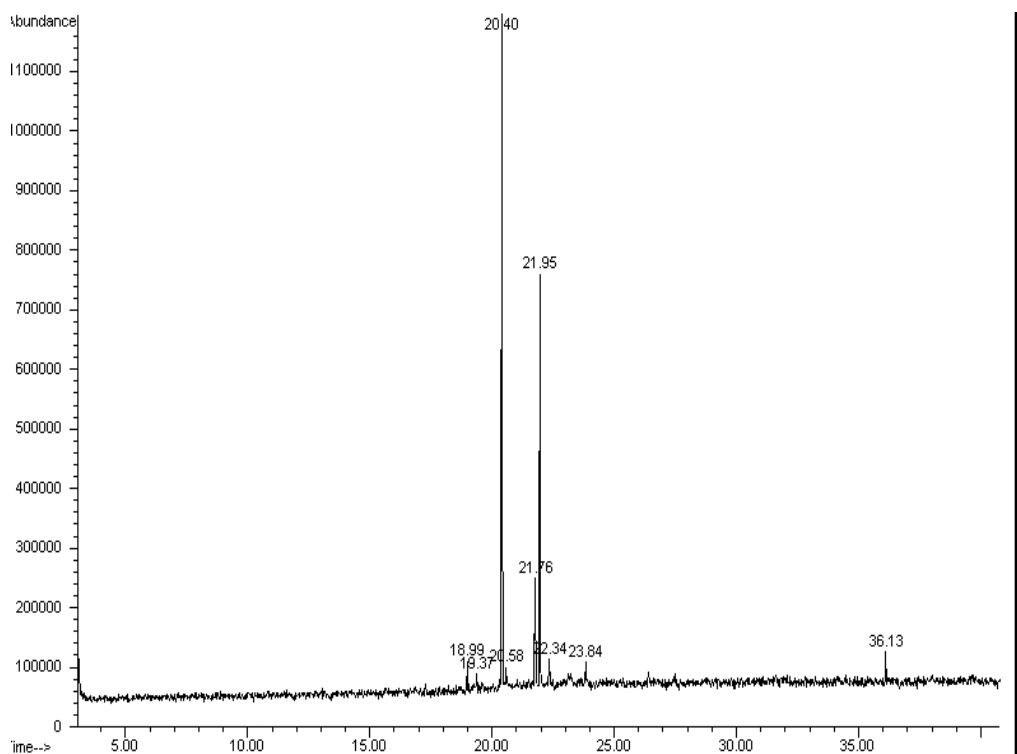
บทที่ 4

ผลการทดลองและบทวิจารณ์

ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดกรดอะซิติกจากก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบยางแท่งโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีน สามารถแบ่งการอภิปรายผลการศึกษาออกเป็น 6 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากปล่องควันของเตาอบยาง ตอนที่ 2, 3, 4, และ 5 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้น้ำ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซับในคอลัมน์บรรจุขนาด pilot และตอนที่ 6 เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกในหอดูดซับขนาดอุตสาหกรรมของโรงงานโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายและการลงทุน รวมถึงการสำรวจความคิดเห็นและความพึงพอใจต่อระดับความแรงของกลิ่นก่อนและหลังการบำบัดภายในโรงงาน

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของก๊าซเสียที่ปล่อยจากปล่องควันเตาอบยาง

ผลการวิเคราะห์ก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยางโดยใช้ Gas Chromatograph-Mass Selective Detector ได้ผลดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-1



ภาพประกอบที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง GC-MS ของก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง

ภาพประกอบที่ 4-1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง โดยใช้ GC-MS จาก Chromatogram พบว่าก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยางมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวกกรดไขมันระเหยที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ กรดไขมันระเหยเหล่านั้น ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริก กรดพอฟีโอนิก กรดไอโซบิวทิริก กรดบิวทิริก กรดวาเลริก และกรดไอโซวาเลริก ตามลำดับ นอกจากนี้กรดไขมันระเหยแล้วยังพบว่ามีสารประกอบอินทรีย์อื่นที่ปรากฏอีก คือ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยตรวจพบเมทิลปาล์มิเตท ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สอดคล้องกับการรายงานของนักวิจัยท่านอื่น Isa (1991); Ugwuanyi (2005) ซึ่งระบุว่ากรดไขมันระเหยในเทอมของกรดอะซิติก กรดบิวทิริก กรดพอฟีโอนิก กรดไอโซบิวทิริก กรดบิวทิริก กรดวาเลริก และกรดไอโซวาเลริก จะเป็นสารอินทรีย์หลักที่พบในก๊าซเสียที่ระบายออกจากที่อบยาง และจากการศึกษายังพบอีกว่าองค์ประกอบทางเคมีที่เด่นชัดในก๊าซเสียที่ระบายออกจากที่อบยาง คือ กรดอะซิติก โดยการศึกษาของ Galli *et al.* (2002) พบว่ากรดอะซิติกที่พบในก๊าซเสียที่ระบายออกจากเตาอบยางนั้นเกิดขึ้นจากกระบวนการหมักของคาร์โบไฮเดรตและการแช่อย่างก้นถ้วยในน้ำเป็นเวลานานจะทำให้มีปริมาณกรดอะซิติกสูงขึ้น

(Sakdapipanich and Insom, 2006) และจากการรายงานของสมทิพย์และคณะ (2550) ได้ระบุค่า Odour Recognition Threshold ของกรดอะซิติกไว้ว่ากรดอะซิติกมีค่า Odour Recognition Threshold เท่ากับ 1 ppm โดยปริมาตรอากาศ และมีลักษณะที่แยกแยะของกลิ่นว่าเป็นกลิ่นเหม็นเปรี้ยว (Hesketh and Cross, 1989) ในขณะที่เมทิลปาร์มีเตทนั้นจะมีค่า Odour Recognition Threshold > 1 ppm โดยปริมาตรอากาศ (Moretti *et al.*, 2008) การที่กรดอะซิติกมีค่า Odour Recognition Threshold น้อยกว่าเมทิลปาร์มีเตทแสดงว่าจะสามารถรับรู้กลิ่นของกรดอะซิติกได้ก่อนเมทิลปาร์มีเตท และเนื่องจากกรดอะซิติกมีจุดเดือดที่ต่ำกว่าเมทิลปาร์มีเตท ดังนั้นกรดอะซิติกสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ดีกว่าเมทิลปาร์มีเตท นอกจากนั้นแล้วกรดอะซิติกยังมีความสามารถในการแพร่ในอากาศได้ดีกว่าเมทิลปาร์มีเตทเนื่องจากกรดอะซิติกมีมวลโมเลกุลน้อยกว่ามวลโมเลกุลของเมทิลปาร์มีเตท ดังนั้นจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นทำให้สามารถระบุได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยางและทำให้รับรู้ได้ว่ามีกลิ่นเหม็น คือกรดอะซิติก การวิจัยนี้จึงวิเคราะห์ความรุนแรงของกลิ่นจากความเข้มข้นของกรดอะซิติกซึ่งวัดได้จากการหาปริมาณของกรดไขมันระเหยในเทอมของกรดอะซิติก

4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากเตาอบยาง

ก๊าซเสียอีกชนิดหนึ่งที่ถูกปล่อยออกมาพร้อมๆ กับกรดอะซิติก คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซเสียโดย Gas Chromatograph ที่ใช้ดีเทคเตอร์ชนิด Thermal Conductivity ในการวิเคราะห์พบว่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากปล่องควันของเตาอบยางประมาณ $0.08 \pm 0.001\%$ โดยปริมาตรอากาศ หรือประมาณ 800 ppm และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับข้อมูลจากการรายงานของ Jonathan *et al.* (2008) ซึ่งระบุว่ามาตรฐานของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ 0.5% โดยปริมาตรอากาศ หรือ 5,000 ppm โดยเฉลี่ยในระยะเวลา 8 ชั่วโมง แสดงว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากเตาอบยางยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 800 ppm ยังถือว่ามีปริมาณที่สูงกว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศอยู่ ดังนั้นการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงเป็นผลพลอยได้จากการบำบัดกรดอะซิติกไปด้วย

4.3 การวิเคราะห์ค่าความแม่นยำของวิธีการวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติก

ในการวิเคราะห์ค่าความแม่นยำของวิธีการวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติกระหว่างวิธีการไตเตรทแบบย้อนกลับกับวิธีการไตเตรทกรดไขมันระเหยง่ายจากน้ำทำโดยการตรวจวัดกรดอะซิติกโดยใช้วิธีการดังกล่าวและเปรียบเทียบผลกับค่ากรดอะซิติกมาตรฐาน โดยมีการดำเนินการดังนี้

1.เตรียมสารละลายอะซิติกมาตรฐานความเข้มข้น 0.05, 0.005 และ 0.0005 mol/l ตามลำดับ

2.ทำการหาค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกโดยวิธีการไตเตรทแบบย้อนกลับและวิธีการไตเตรทหาปริมาณกรดระเหยง่ายจากน้ำเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกมาตรฐาน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าความแม่นยำระหว่างวิธีการไตเตรทแบบย้อนกลับกับวิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจากน้ำเสียโดยการไตเตรท

| วิธีการวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติก | ค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ได้จากการวิเคราะห์ (mol/l) | ค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกมาตรฐาน (mol/l) | ความแม่นยำ (%) |
|---|--|--|----------------|
| การไตเตรทแบบย้อนกลับ (Back Titration) | 5.3×10^{-2} | 5×10^{-2} | 94 |
| | 4.7×10^{-3} | 5×10^{-3} | 94 |
| | 5.6×10^{-4} | 5×10^{-4} | 93 |
| การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายโดยการไตเตรท | 6×10^{-2} | 5×10^{-2} | 80 |
| | 5.6×10^{-3} | 5×10^{-3} | 93 |
| | 6×10^{-4} | 5×10^{-4} | 80 |

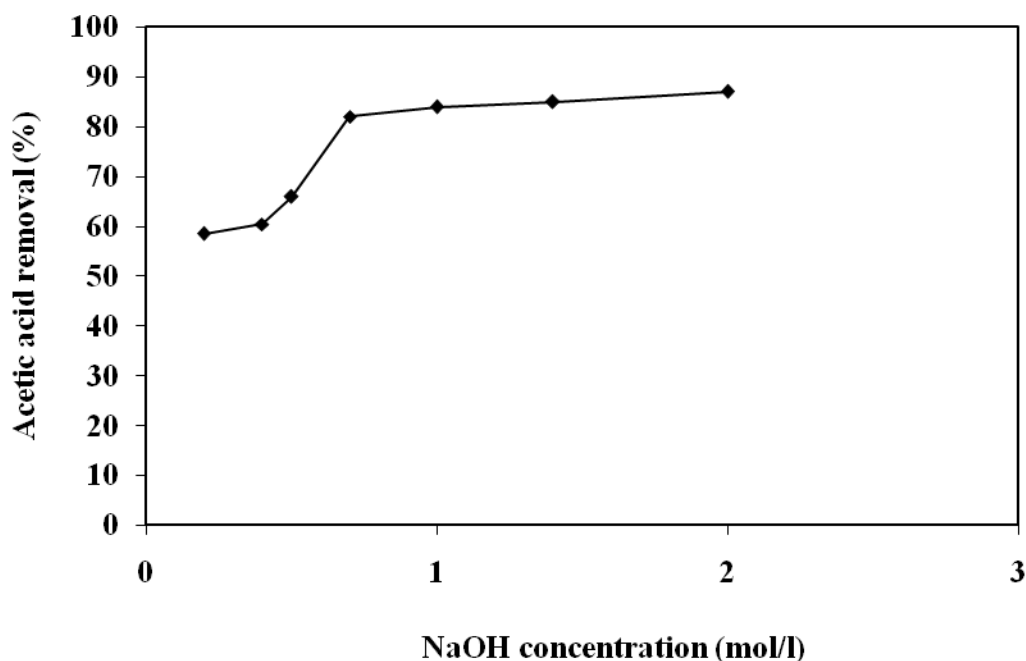
จากตารางที่ 4-1 เมื่อเปรียบเทียบค่าความแม่นยำระหว่างวิธีการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายโดยการไตเตรทแบบย้อนกลับและการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจากน้ำโดยการไตเตรทพบว่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ได้จากการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายโดยการไตเตรทแบบย้อนกลับจะมีความแม่นยำสูงกว่าวิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย

จากน้ำโดยการไคเตรท ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการไคเตรทแบบย้อนกลับในการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายในเทอมของกรดอะซิติก

4.4 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot

4.4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (C_{NaOH}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก

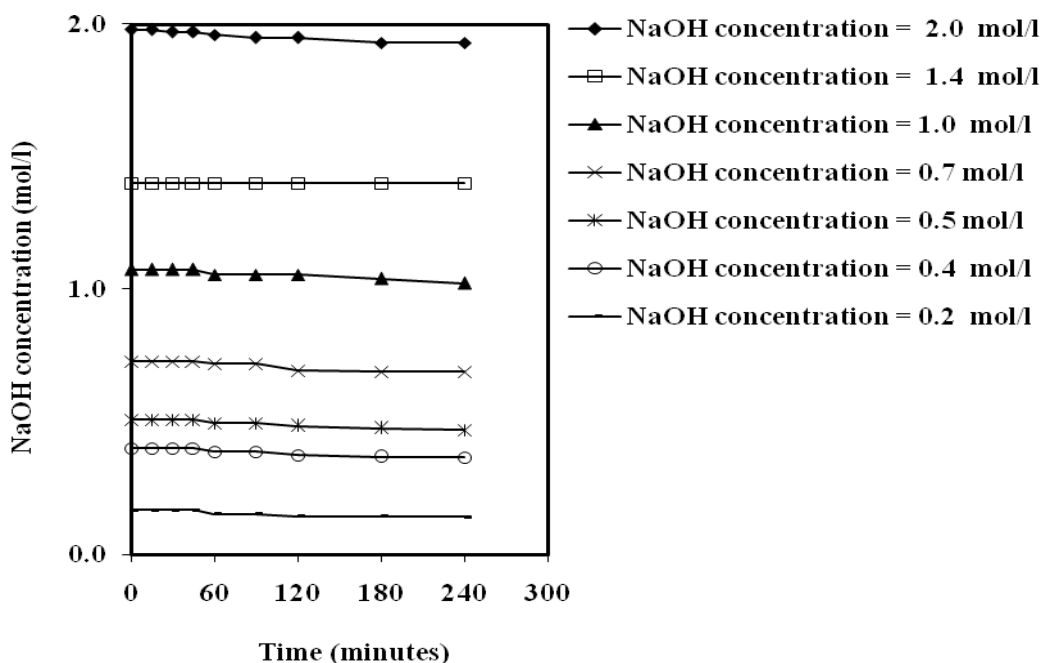
ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก เมื่อควบคุมให้อัตราการไหลของสารดูดซับ และอัตราการป้อนก๊าซคงที่ ดังภาพประกอบที่ 4-2



ภาพประกอบที่ 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วง 0.2 – 2.0 mol/l ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$)

จากภาพประกอบที่ 4-2 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีแรงขับเคลื่อนใน

เฟสของเหลวที่สูงขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 2.0 mol/l ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกมีค่าสูงถึง 87% และลักษณะทางกายภาพของระบบที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง คือ เกิดฟองอากาศจำนวนมากในคอลัมน์บรรจุ และมึกลิ่นฉุนรุนแรงเนื่องจากปริมาณของเบสที่ใช้สูง และสำหรับการทดลองบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ำลงมาเป็น 1.4 mol/l นั้นพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกลดลงจาก 87% เป็น 85% และยังคงเกิดฟองอากาศรวมถึงกลิ่นฉุนของเบส ในขณะที่การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.7 mol/l จะเกิดฟองอากาศภายในคอลัมน์บรรจุ น้อยมากเมื่อเทียบกับการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.4 mol/l และ 2.0 mol/l ตามลำดับ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกสูงถึง 82% ดังนั้นหากพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายและให้สามารถดำเนินการได้อย่างไม่มีปัญหาของฟองอากาศจึงควรเลือกใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.7 mol/l ในการบำบัดกรดอะซิติกเพราะที่ความเข้มข้นดังกล่าวประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกจะสูงใกล้เคียงกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1, 1.4 และ 2.0 mol/l แต่มีผลข้างเคียงจากการเกิดฟองอากาศและกลิ่นฉุนน้อยกว่าการใช้ความเข้มข้นในช่วง 1-2 mol/l การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาเมื่อใช้ความเข้มข้นของ NaOH ในช่วง 0.2-2.0 mol/l ดังภาพประกอบที่ 4-3

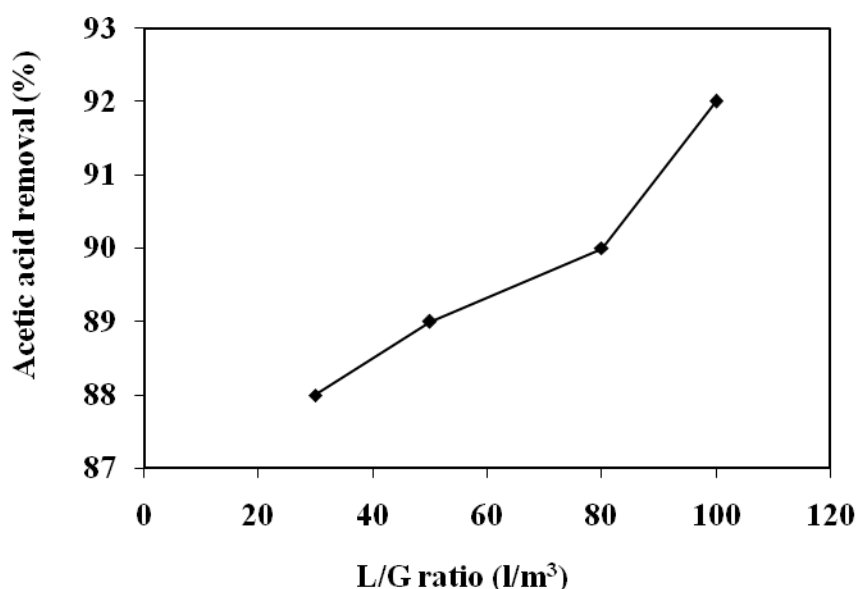


ภาพประกอบที่ 4-3 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{NaOH} กับเวลา
($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l}/\text{min}$)

จากภาพประกอบที่ 4-3 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่มีแนวโน้มคงที่ตลอดเวลาในทุกความเข้มข้นที่ศึกษาแสดงว่าในทุกสภาวะยังคงมีปริมาณของ NaOH มากเกินพอสำหรับการทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก

4.4.2 ผลของอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ (L/G ratio) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติก

ผลของอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ (L/G ratio) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติก เมื่อควบคุมให้อัตราการไหลของก๊าซและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-4



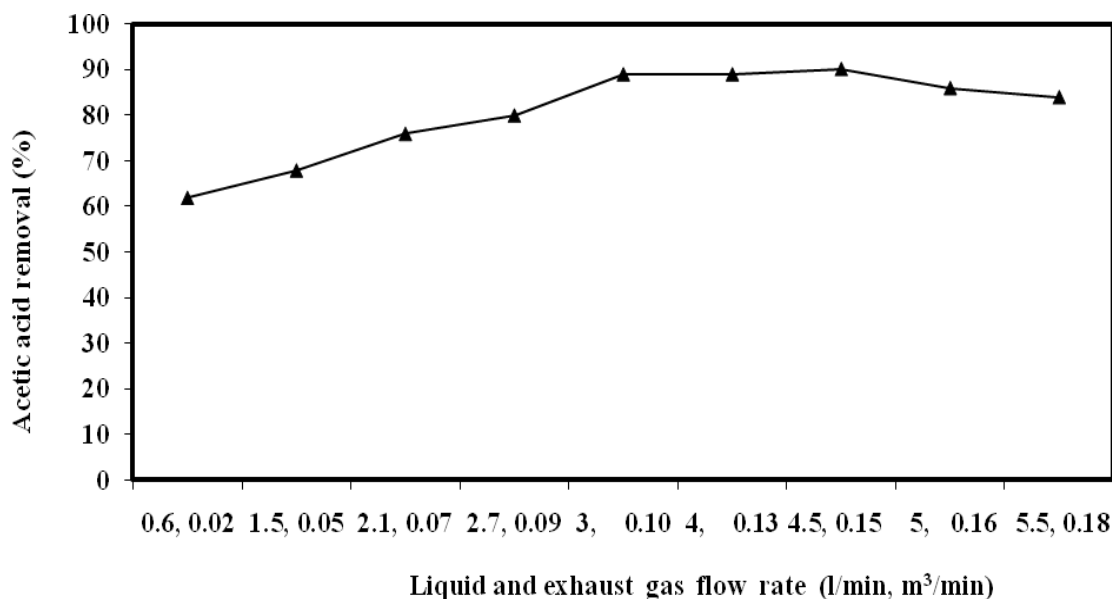
ภาพประกอบที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซในช่วง 30 – 100 l/m³
($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$)

จากภาพประกอบที่ 4-4 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกจะสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่ม L/G ratio เป็นการเพิ่มความสามารถในการดักจับอนุภาคของกรดอะซิติก และเป็นการเพิ่มปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เข้าทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกให้มากขึ้น (Lin *et al.*, 2008) และพบว่าที่ค่า

L/G ratio = 30 l/m³ จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกับที่ค่า L/G ratio = 50 l/m³ และ 80 l/m³ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกมีค่าอยู่ในช่วง 88-90% ในขณะที่การเพิ่ม L/G ratio เป็น 100 l/m³ จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นจาก L/G ratio = 80 l/m³ อีกเพียง 2% และสูงกว่าที่ L/G ratio = 30 l/m³ เพียง 4% ดังนั้นจึงเลือกใช้ L/G ratio = 30 l/m³ ในการดำเนินการเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายซึ่งการใช้ L/G ratio = 30 l/m³ นั้นถ้าสามารถควบคุมความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้คงที่ตลอดเวลาได้ก็จะยังคงให้ประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกสูงถึง 88%

4.4.3 การศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซและผลของอัตราการไหลของสารดูดซึ่มต่อประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติก

การศึกษาผลของอัตราการไหลของสารดูดซึ่ม (L) และอัตราการไหลของก๊าซ (G) ทำการศึกษาโดยควบคุมให้อัตราการไหลของสารดูดซึ่มต่ออัตราการไหลของก๊าซเท่ากับ 30 l/m³ และความเข้มข้นของสารดูดซึ่ม 0.7 mol/l ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ผ่านมา ผลของ L และ G ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก แสดงในภาพประกอบที่ 4-5



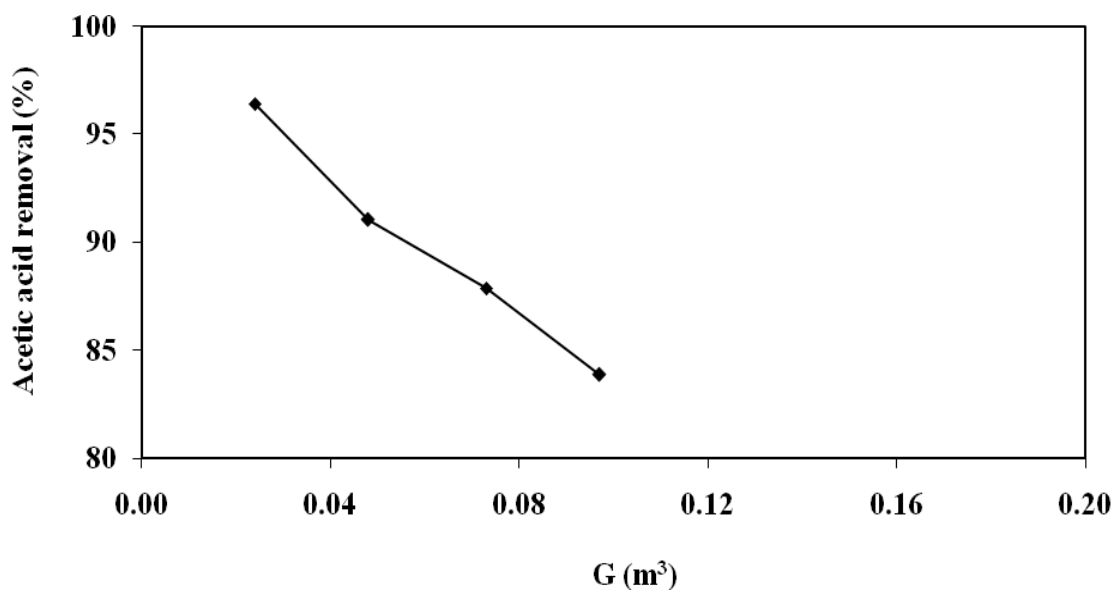
ภาพประกอบที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกกับผลของอัตราการไหลของสารดูดซึมและอัตราการไหลของก๊าซ เมื่อ $L = 0.6-5.5$ l/min, $G = 0.02-0.18$ m³/min (L/G ratio = 30 l/m³, $C_{NaOH} = 0.7$ mol/l)

จากภาพประกอบที่ 4-5 สามารถอธิบายผลของอัตราการไหลของสารดูดซึมและอัตราการไหลของก๊าซต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกออกเป็น 3 ช่วง คือช่วงที่หนึ่งเป็นช่วงที่ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มทั้งอัตราการไหลของสารดูดซึมและอัตราการไหลของก๊าซ คือในช่วงที่อัตราการไหลของของเหลวเพิ่มขึ้นในช่วง $0.6 \leq L < 3$ l/min และอัตราการไหลของก๊าซเพิ่มขึ้นในช่วง $0.02 \leq G < 0.1$ m³/min โดยมี L/G ratio คงที่ 30 l/m³ การดำเนินการดังกล่าวมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของสารดูดซึมและอัตราการไหลของก๊าซมากขึ้นมีผลต่อการถ่ายโอนมวลในเฟสก๊าซและเฟสของเหลว โดยที่การเพิ่มอัตราการไหลของสารดูดซึมเป็นการลดความต้านทานในการถ่ายโอนมวลในเฟสของเหลวซึ่งเมื่อความต้านทานลดลงจะเกิดการถ่ายโอนจากเฟสก๊าซไปสู่ของเหลวได้มากขึ้น ในขณะที่ผลจากการป้อนก๊าซเข้าสู่ระบบมากขึ้นจะเกิดการลดลงของความต้านทานการถ่ายโอนมวลในเฟสของเหลวส่งผลให้เกิดผลดีต่อการดูดซึมกรดอะซิติก (Lin *et al.*, 2003) ช่วงที่สองเป็นช่วงที่ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกคงที่ที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการเพิ่มอัตราการไหลของสารดูดซึมในช่วง $3 \leq L \leq 4.5$ l/min และอัตราการไหลของก๊าซในช่วง $0.1 \leq G \leq 0.15$ m³/min ตามลำดับ ในช่วงดังกล่าวการถ่ายโอนมวลยังเกิดขึ้นดี แต่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดคงที่

เพราะถูกจำกัดด้วยปฏิกิริยาเคมีระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับกรดอะซิติก และช่วงที่สามเป็นช่วงที่ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกเริ่มลดลงคือในช่วงที่ $4.5 < L \leq 5.5$ l/min และในช่วงที่ $0.15 < G \leq 0.18$ m³/min แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของ L และ G ในช่วงดังกล่าวทำให้ความสามารถในการถ่ายโอนมวลลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกลดลง ดังนั้นผลของอัตราการไหลของก๊าซและผลของอัตราการไหลของสารดูดซับที่เหมาะสมจากภาพประกอบที่ 4-5 คือ ช่วงที่ $3 \leq L \leq 4.5$ l/min และในช่วง $0.1 \leq G \leq 0.15$ m³/min ตามลำดับ เนื่องจากที่สภาวะในช่วงดังกล่าวเป็นจุดที่มีประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกสูงสุด

4.4.4 การศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซ (Exhaust gas flow rate, G) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดบำบัดกรดอะซิติก

ผลของอัตราการไหลของก๊าซต่อประสิทธิภาพในการบำบัดบำบัดกรดอะซิติก เมื่อควบคุมให้อัตราการไหลของสารดูดซับและความเข้มข้นของสารดูดซับคงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-6

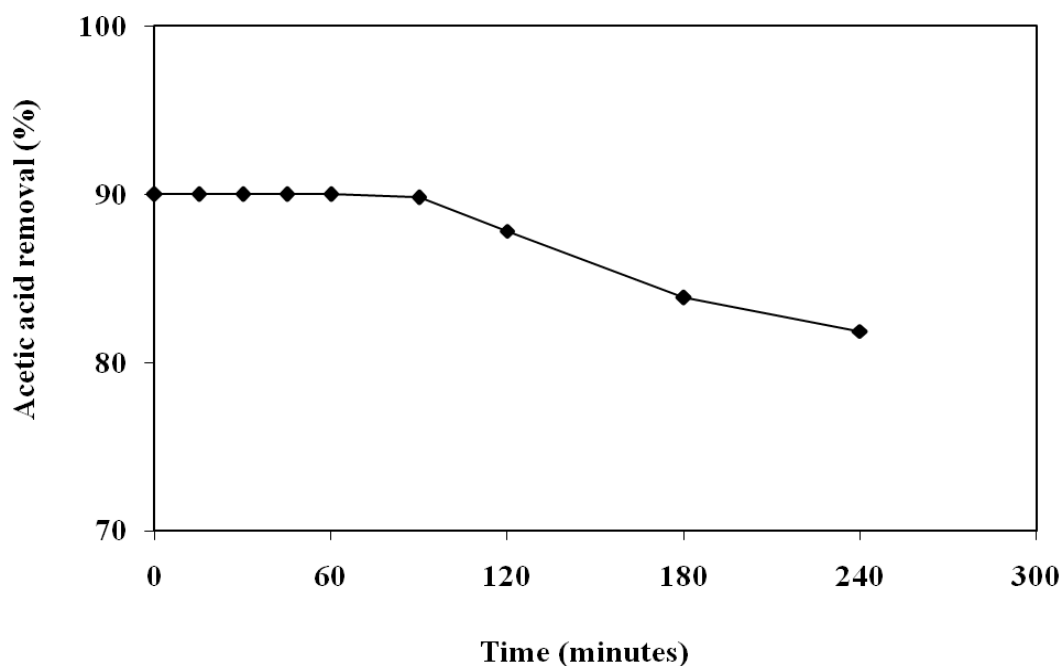


ภาพประกอบที่ 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของก๊าซที่ $G = 0.02-0.09$ m³/min ($L = 10$ l/min, $C_{\text{NaOH}} = 0.7$ mol/l)

จากภาพประกอบที่ 4-6 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอัตราการไหลของก๊าซที่สูงขึ้น มีผลกับการลดลงของ Contact time และเกิดการจำกัดการดูดซึมก๊าซเนื่องจากอัตราการไหลของ ก๊าซที่สูงขึ้นจะต้านการไหลของสารดูดซึม (Lin *et al.*, 2008)

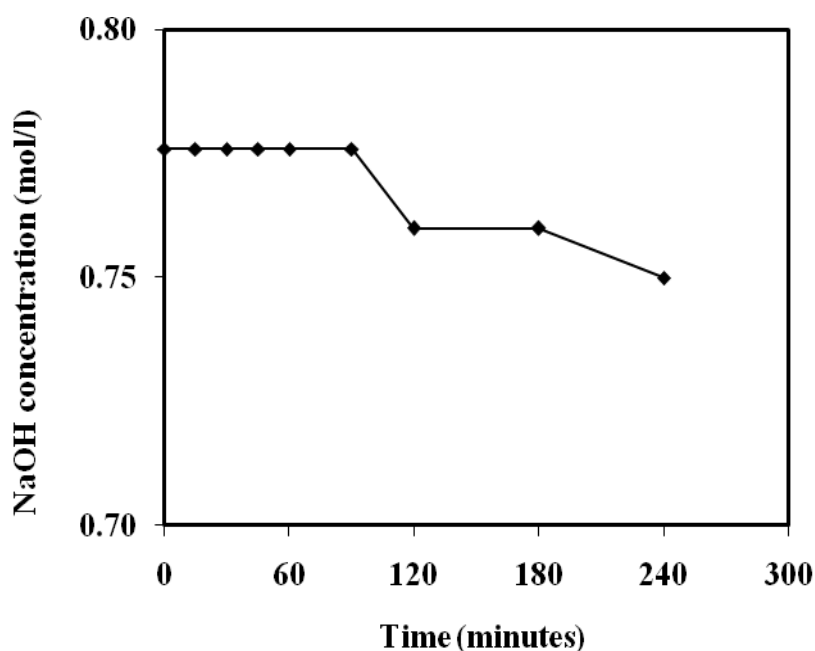
4.4.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใน สภาวะที่เหมาะสม

สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการศึกษาในหัวข้อก่อนหน้านี้ คือ $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$, $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$, $3 \leq L \leq 4.5 \text{ l/min}$ และ $0.1 \leq G \leq 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$ ตามลำดับ ผลการศึกษาการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สภาวะที่เหมาะสม $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ ได้ผลการบำบัดกรดอะซิติก แสดงดังภาพประกอบที่ 4-7



ภาพประกอบที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับ เวลาเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.7 mol/l ($L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$)

จากภาพประกอบที่ 4-7 พบว่าการทดลองใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.7 mol/l ในสภาวะที่เหมาะสมจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกสูงถึง 90% และพบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพในการบำบัดจะคงที่ตลอดช่วงเวลาของการทดลอง 90 นาที แต่หลังจากเวลา 90 นาทีเป็นต้นไป ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกจะมีแนวโน้มลดลงสอดคล้องกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ลดลง ดังภาพประกอบที่ 4-8



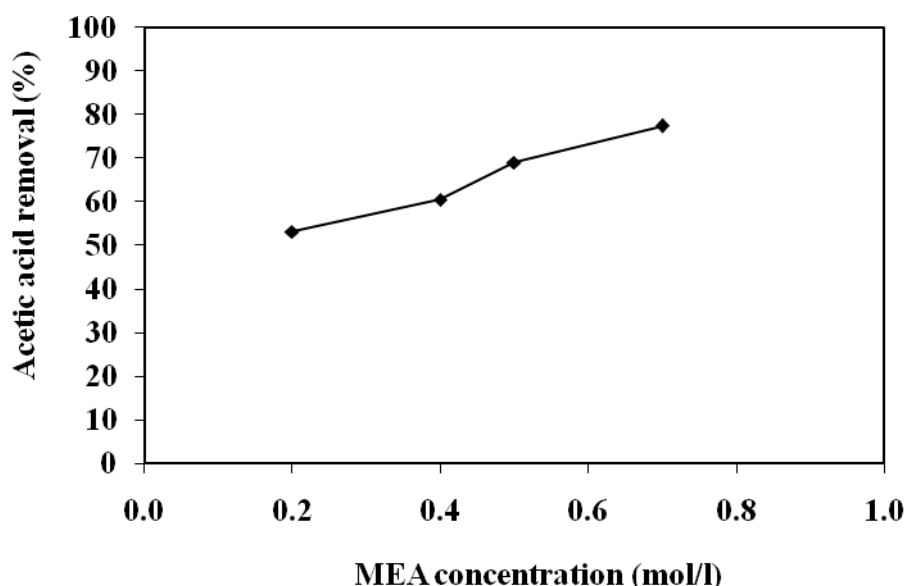
ภาพประกอบที่ 4-8 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{NaOH} กับ เวลา

จากภาพประกอบที่ 4-8 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มคงที่ในช่วงเวลา 90 นาทีแรก และหลังจากช่วงเวลา 90 นาทีเป็นต้นไป ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้นการทดลองนำสภาวะที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้จะต้องมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าสู่ระบบให้คงที่เท่ากับ 0.7 mol/l ตลอดเวลา ดังนั้นในการศึกษากับหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมของบริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด จะทำการศึกษาโดยควบคุมความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้คงที่ที่ 0.7 mol/l ตลอดเวลา

4.5 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกเมื่อใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซึม

4.5.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีน (C_{MEA}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก

ผลของความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก เมื่อควบคุมให้อัตราการไหลของก๊าซและอัตราการไหลของสารดูดซึมคงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-9



ภาพประกอบที่ 4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกกับ

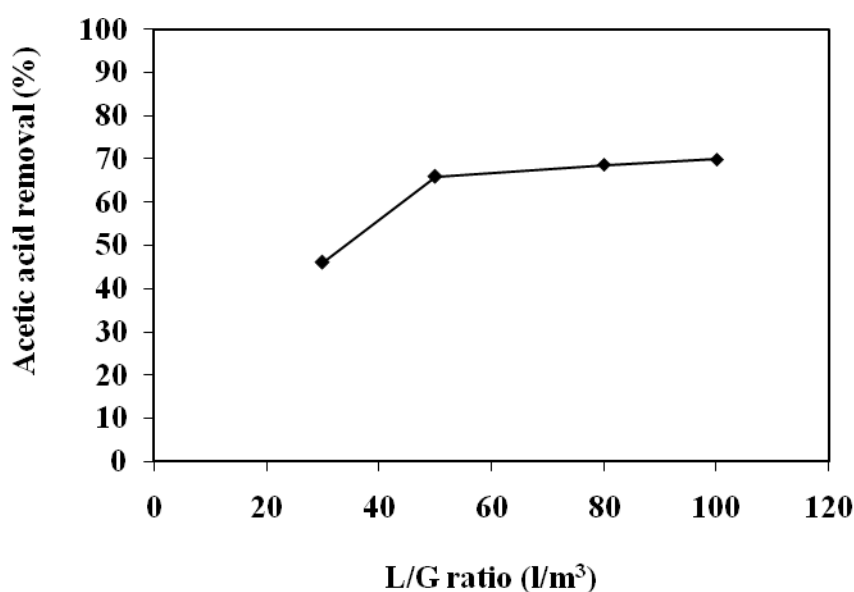
ความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในช่วง 0.2–0.7 mol/l

($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l}/\text{min}$)

จากภาพประกอบที่ 4-9 พบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนสูงขึ้นพบว่าที่ความเข้มข้นของ MEA 0.7 mol/l ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นสูงสุดของ MEA ที่ศึกษา จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกเท่ากับ 78.8%

4.5.2 การศึกษาผลของอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ (L/G ratio) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก

ผลของอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ (L/G ratio) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก เมื่อควบคุมให้อัตราการไหลของก๊าซและความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนคงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-10

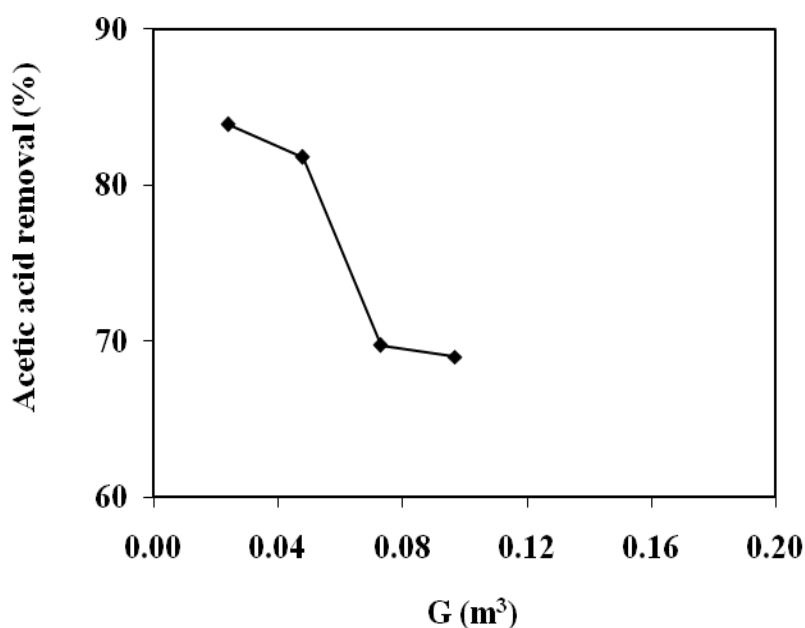


ภาพประกอบที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติกกับอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซที่ L/G ratio = 30–100 l/min ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$)

เมื่อพิจารณาผลของ L/G ratio กับประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติกจากภาพประกอบที่ 4-10 พบว่าเมื่อเพิ่ม L/G ratio สูงขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติกจะสูงขึ้นเนื่องจากมีปริมาณของโมโนเอทานอลเอมีนต่อเวลาในคอลัมน์บรรจุสูงขึ้น ทำให้สารดูดซึมมีความสามารถในการดูดซึมกรดอะซิติกได้ดี (Demontigny, 1998) และสอดคล้องกับรายงานของ Park *et al.* (2004) ซึ่งระบุว่าเมื่อ L/G ratio สูงขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซเสียในหอดูดซึมจะสูงขึ้น

4.5.3 การศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซเสีย (Exhaust gas flow rate, G) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดบำบัดกรดอะซิติก

ผลของอัตราการไหลของก๊าซต่อประสิทธิภาพในการบำบัดบำบัดกรดอะซิติก เมื่อควบคุมอัตราการไหลของสารดูดซึม และความเข้มข้นของสารดูดซึมให้คงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-11

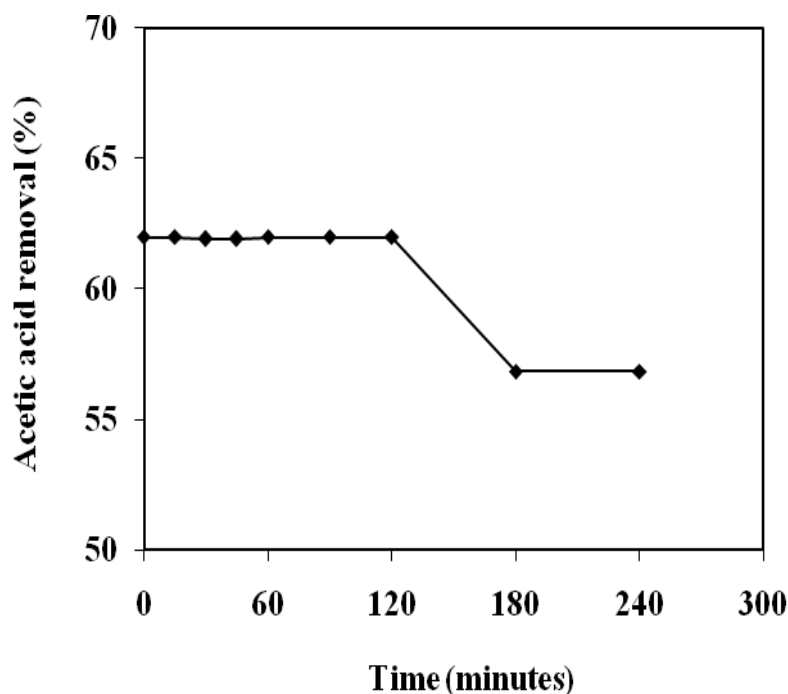


ภาพประกอบที่ 4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของก๊าซที่ $G = 0.02-0.09 \text{ m}^3/\text{min}$ ($L = 10 \text{ l}/\text{min}$, $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol}/\text{l}$)

จากภาพประกอบที่ 4-11 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกจะมีแนวโน้มลดลงตามอัตราการไหลของก๊าซที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซจะทำให้ Retention time ลดลง การดูดซึมจึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่าที่อัตราการไหลของก๊าซต่ำ

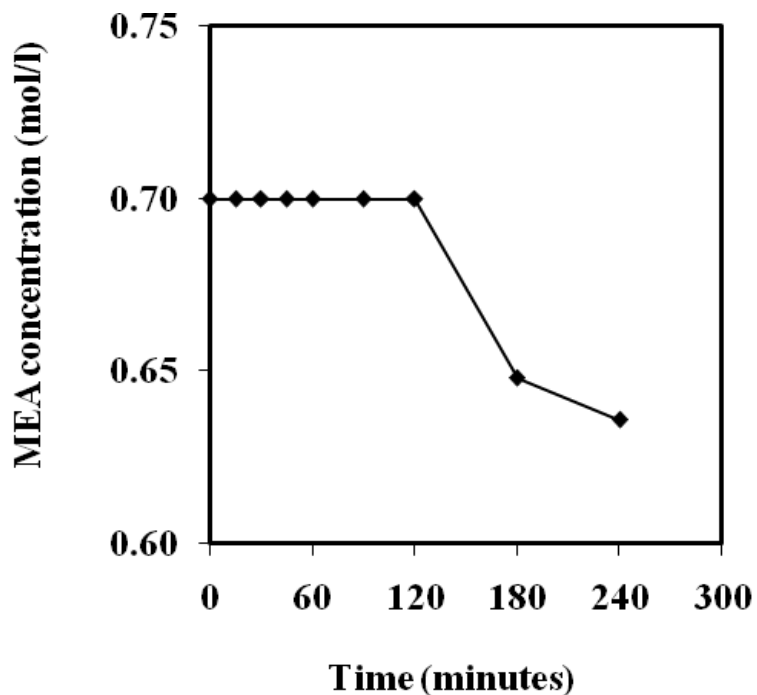
4.5.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในสภาวะที่เหมาะสมสำหรับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากผลจากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติกของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติก คือ $L = 4.5$ l/min, $G = 0.15$ m³/min, L/G ratio = 30 l/m³ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7$ mol/l ตามลำดับ และเมื่อนำสภาวะดังกล่าวมาใช้กับ MEA จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับเวลา ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-12



ภาพประกอบที่ 4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับเวลาเมื่อใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีน 0.7 mol/l ($L = 4.5$ l/min, $G = 0.15$ m³/min, L/G ratio = 30 l/m³)

จากภาพประกอบที่ 4-12 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกที่สภาวะข้างต้นมีแนวโน้มคงที่ตลอดช่วงเวลาของการทดลองจนถึงเวลา 120 นาที และหลังจาก 120 นาที เป็นต้นไป ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกมีแนวโน้มลดลงสอดคล้องกับความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในระบบที่ลดลง ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-13



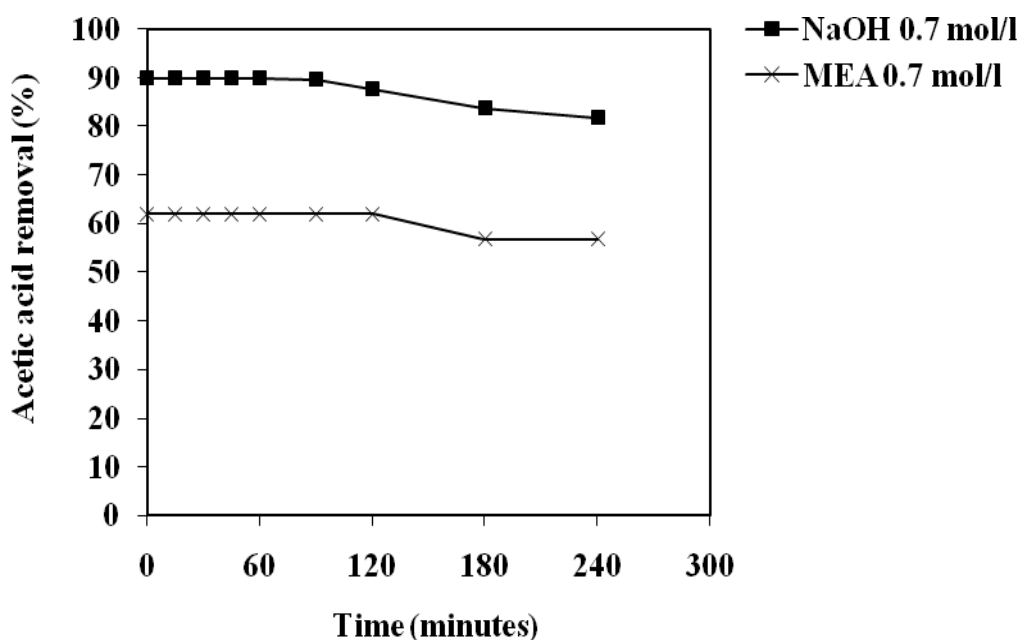
ภาพประกอบที่ 4-13 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{MEA} กับเวลาที่

$$G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}, L = 4.5 \text{ l}/\text{min}, L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l}/\text{m}^3, C_{MEA} = 0.7 \text{ mol}/\text{l}$$

จากภาพประกอบที่ 4-13 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนมีแนวโน้มคงที่ในช่วงเวลา 120 นาทีแรก และหลังจากช่วงเวลา 120 นาทีเป็นต้นไปความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนจะมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกลดลง

4.5.5 การศึกษาเปรียบเทียบการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติก

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนที่สภาวะเดียวกัน คือ $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{MEA, NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-14



ภาพประกอบที่ 4-14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกจากการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนเข้มข้น 0.7 mol/l ($L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$)

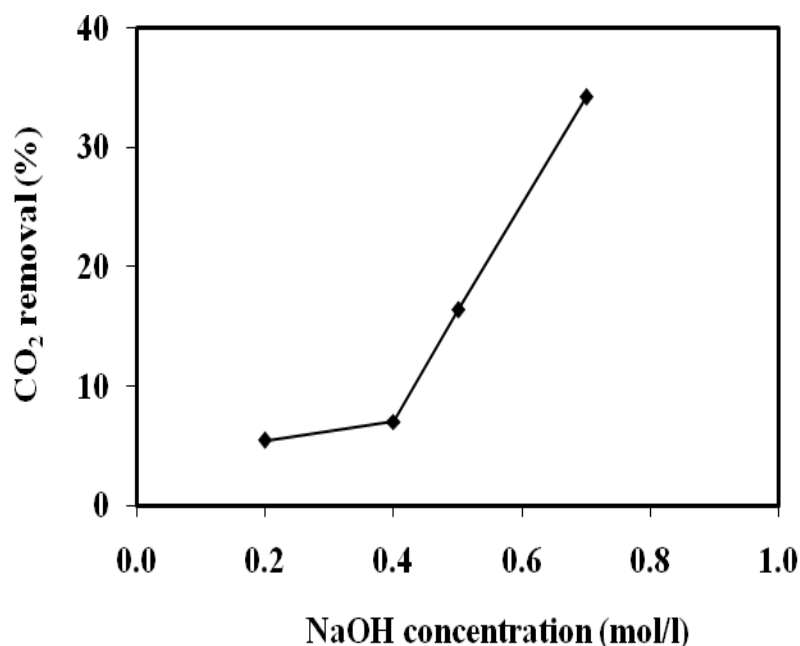
จากภาพประกอบที่ 4-14 แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะเดียวกันการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับในการบำบัดกรดอะซิติกจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกสูงกว่าเมื่อใช้โมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซับถึงประมาณ 30% และเมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในเรื่องของค่าสารเคมีที่สภาวะดังกล่าวพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่ายมากกว่าสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 4.8.5

4.6 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

นอกเหนือจากผลการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกแล้ว ยังมีก๊าซเสียที่เป็นผลพลอยได้และถูกบำบัดไปพร้อมกับกรดอะซิติก คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.6.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในสารดูดซึม (C_{NaOH}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาต่างๆ เมื่อควบคุมให้อัตราการไหลของก๊าซและอัตราการไหลของสารดูดซึมคงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-15



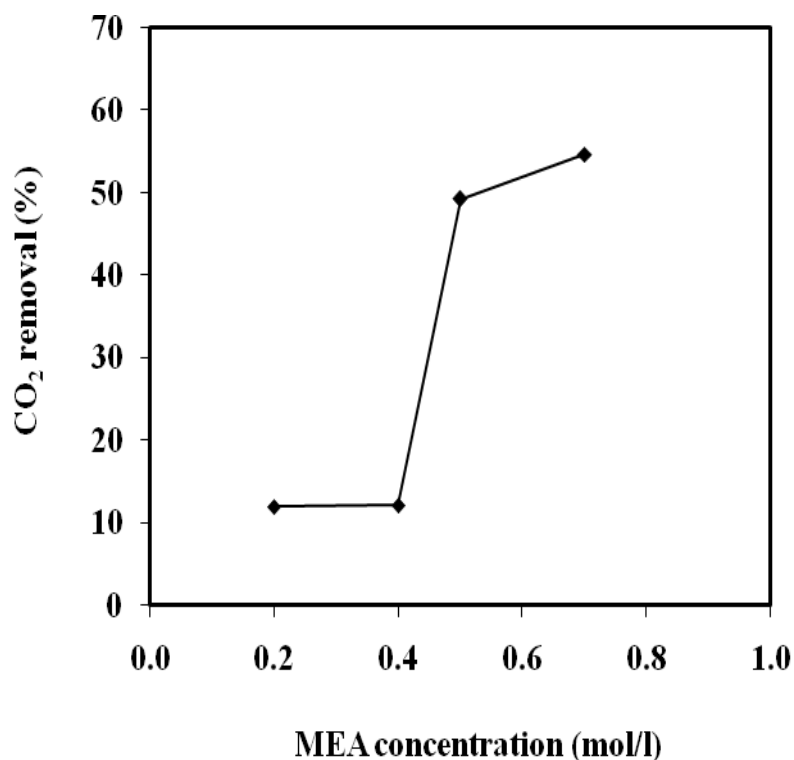
ภาพประกอบที่ 4-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วง 0.2–0.7 mol/l
($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$)

จากภาพประกอบที่ 4-15 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด CO_2 สูงขึ้นตามความเข้มข้นของ NaOH ที่สูงขึ้น (Chen *et al.*, 2003) และจากผลการศึกษาของ Chasanis *et al.* (2010)

รายงานว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH ให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัด CO₂ จะมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จะทำให้มีปริมาณของ OH⁻ ต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น และทำปฏิกิริยากับ CO₂ ได้มากขึ้น (Lin *et al.*, 2008) และปริมาณของไอออนของ OH⁻ ที่เพิ่มขึ้นยังมีผลต่อการดูดซึมก๊าซที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นของ OH⁻ มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา (Taghizadeh *et al.*, 2001; Yi *et al.*, 2009)

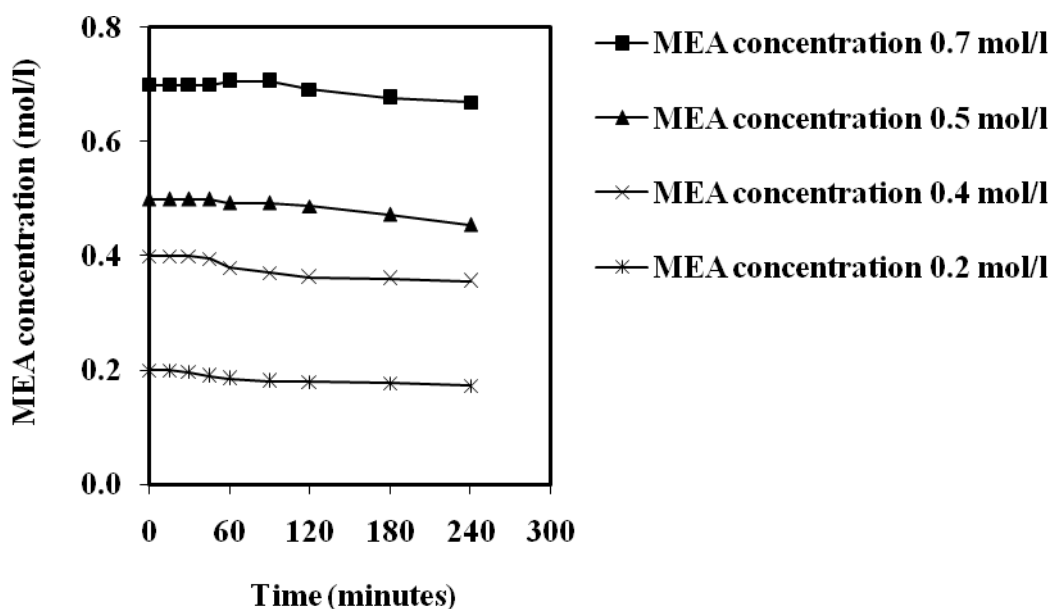
4.6.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีน (C_{MEA}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผลของความเข้มข้นของ MEA ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาต่างๆ เมื่อควบคุมให้ อัตราการไหลของก๊าซและอัตราการไหลของสารดูดซึมคงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-16



ภาพประกอบที่ 4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นของโมโนเอทานอลเอมีนในช่วง 0.2–0.7 mol/l (G = 0.1 m³/min, L = 9 l/min)

จากภาพประกอบที่ 4-16 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ MEA ในช่วง 0.4-0.7 mol/l ประสิทธิภาพในการบำบัด CO₂ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นชัดเจนสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Kuntz *et al.*, 2008) เนื่องจากที่ความเข้มข้นดังกล่าวเป็นช่วงที่มีความสามารถในการดูดซึมสูง (Setameteekul *et al.*, 2008) นอกจากนี้แล้วการเพิ่มความเข้มข้นของ MEA เป็นการเพิ่มปริมาณของ MEA ที่จะแพร่ไปยังอินเตอร์เฟซระหว่างเฟสก๊าซและเฟสของเหลวทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับ CO₂ ได้มากขึ้น (Demontigny, 1998) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนที่เวลาต่างๆ ในระหว่างการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-17



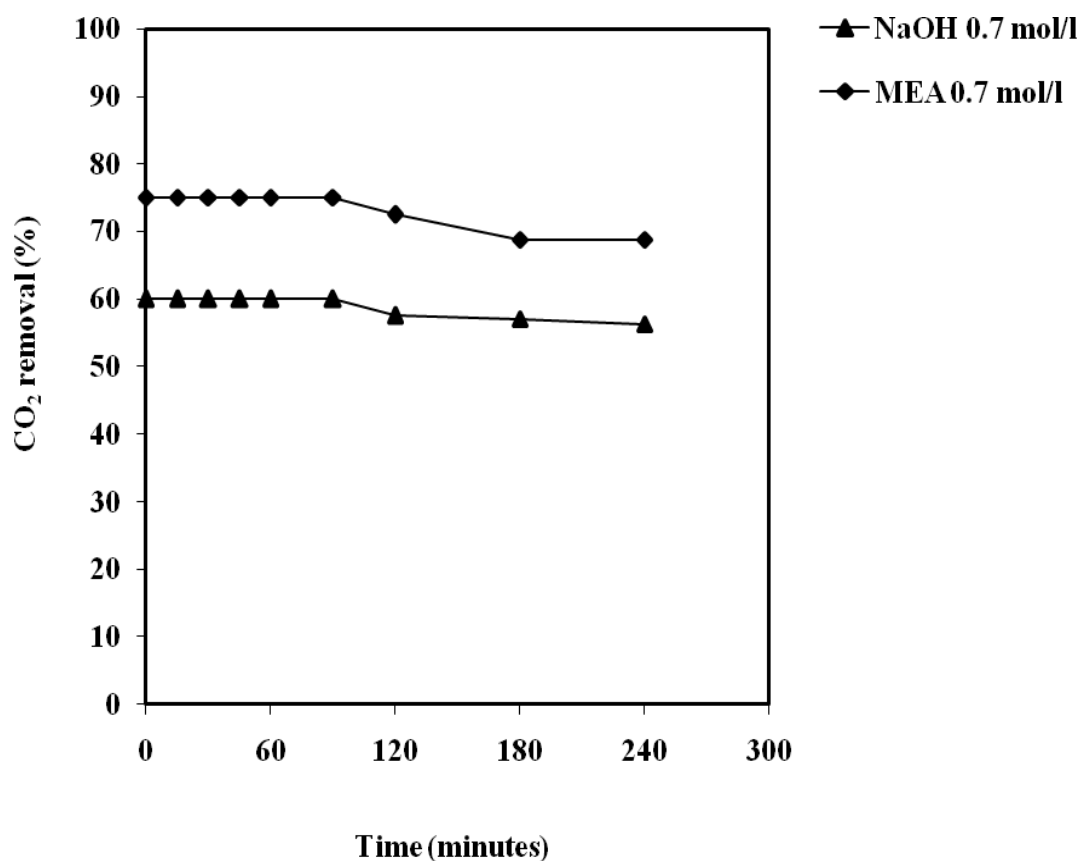
ภาพประกอบที่ 4-17 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{MEA} กับเวลา

$$(G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}, L = 9 \text{ l}/\text{min})$$

จากภาพประกอบที่ 4-17 พบว่าแนวโน้มของความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในระหว่างการทดลองมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่าปริมาณของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกยังมีมากเกินพอ แต่ที่ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกไม่เพิ่มขึ้นเพราะมีการเกิดสารประกอบ (n-(2-hydroxyethyl) ethylenediamine) หรือเรียกว่า สารประกอบ HEED ซึ่งเกิดขึ้นขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยา (Supap, 1999)

4.6.3 การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในสถานะที่เหมาะสม

ผลจากการศึกษาการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนภายใต้สถานะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติก คือ $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ เมื่อควบคุมให้อัตราการไหลของสารดูดซึม, อัตราการไหลของก๊าซ และความเข้มข้นของสารดูดซึมคงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-18



ภาพประกอบที่ 4-18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลาเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีน 0.7 mol/l

จากภาพประกอบที่ 4-18 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับการใช้โมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซึมที่สภาวะการทดลอง ความเข้มข้นของสารดูดซึม 0.7 mol/l $L = 4.5 \text{ l/min}$ $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึมจะมีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้โมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซึมอยู่ประมาณ 10% ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนมีแรงดึงผิวที่ต่ำกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังแสดงในตารางที่ 4-2 โดยที่ค่าแรงดึงผิวที่ต่ำกว่ามีผลต่อความสามารถในการกระจายตัวของของเหลวบนพื้นผิวของตัวกลางได้มากกว่าจึงให้ประสิทธิภาพในการบำบัด CO_2 สูงกว่า (Aroonwilas *et al.*, 1999)

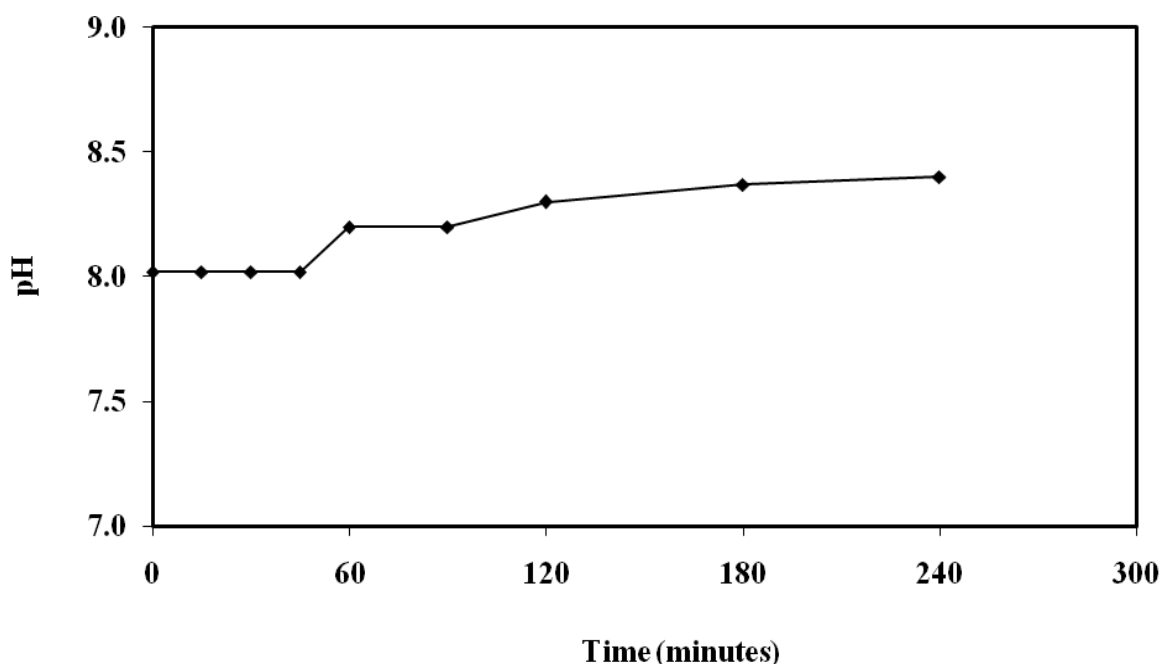
ตารางที่ 4-2 แสดงค่าแรงดึงผิวของสารละลาย NaOH และ MEA

| parameter | NaOH solution | MEA solution |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Surface tension at 30°C, N/m | 70.9×10^{-3} | 61.8×10^{-3} |

4.7 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอะซิติกเมื่อนำเป็นสารดูดซึม

4.7.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำ กับเวลา

การเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำในระหว่างการบำบัดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-19



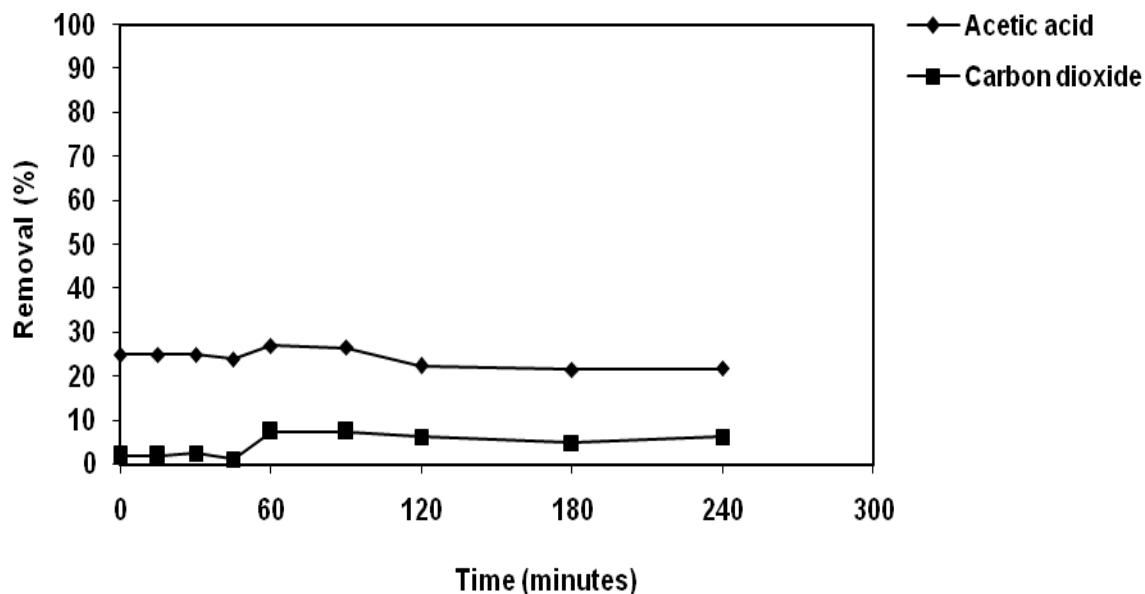
ภาพประกอบที่ 4-19 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ pH ของน้ำ กับเวลา

($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l}/\text{min}$)

จากภาพประกอบที่ 4-19 พบว่าแนวโน้ม pH ของน้ำที่ใช้ในการบำบัดกรดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์ จะเพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลาที่ทดลอง 4 ชั่วโมง เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดกรดคาร์บอนิกซึ่งละลายอยู่ในน้ำและกรดคาร์บอนิกจะแตกตัวให้โปรตอน (ซึ่งแสดงความเป็นกรด) และไบคาร์บอเนตโดยกรดคาร์บอนิก เมื่อโดนความร้อนจากไอร้อนในก๊าซเสียจะสลายตัวให้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปก๊าซซึ่งจะระเหยออกไปทำให้ pH สูงขึ้น และมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์โดยทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดคงที่หรือสูงขึ้นเล็กน้อย

4.7.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม

ประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกรดอะซิติกที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้น้ำเป็นสารดูดซึมและควบคุมให้อัตราการไหลของก๊าซและอัตราการไหลของสารดูดซึมให้คงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-20



ภาพประกอบที่ 4-20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลาเมื่อใช้น้ำเป็นสารดูดซึม ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l}/\text{min}$)

จากภาพประกอบที่ 4-20 เมื่อใช้น้ำเป็นสารดูดซึมในการบำบัดกรดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์นั้นพบว่าในช่วง 45 นาทีแรกประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มคงที่ แต่หลังจาก 45 นาทีเป็นต้นไปจะสังเกตเห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเนื่องจากมี pH สูงขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว ในการบำบัดก่อนที่จะเริ่มมีแนวโน้มลดลงและคงที่อีกครั้งที่ค่าอื่นเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 120 นาที เนื่องจากความสามารถในการดูดซึมกรดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์จะขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการละลายน้ำ (Bunyakan, 2006) โดยที่ค่าความสามารถในการดูดซึมด้วยน้ำจะสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายของสารแต่ละชนิด โดยสารที่สามารถละลายน้ำได้ดีก็จะสามารถดูดซึมในน้ำได้มากกว่าสารที่ละลายในน้ำได้น้อย ซึ่งความสามารถในการละลายในน้ำของสารพิจารณาได้จากค่า Henry's law constant ซึ่งถ้าค่า Henry's law constant สูงหมายถึงสารนั้นสามารถละลายในน้ำได้น้อย ค่า Henry's law constant ของกรดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 แสดงค่า Henry's law constant ของกรดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์

| compound | Chemical formula | Henry's law constant at 25 °C (atm m ³ mol ⁻¹) |
|----------------|----------------------|--|
| Acetic acid | CH ₃ COOH | 1.0×10 ⁻⁷ |
| Carbon dioxide | CO ₂ | 2.94×10 ⁻² |

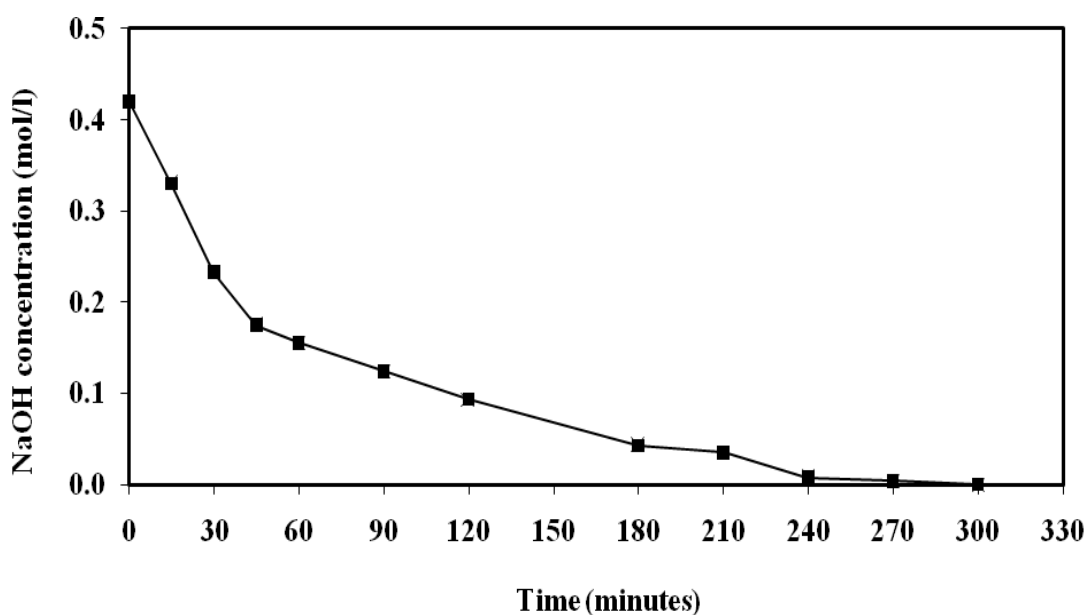
(<http://www.arb.ca.gov>; <http://en.wikipedia.org>)

จากตารางที่ 4-3 เมื่อเปรียบเทียบค่า Henry's law constant ของกรดอะซิติกกับคาร์บอนไดออกไซด์พบว่าค่า Henry's law constant ของกรดอะซิติกมีค่าน้อยกว่าค่า Henry's law constant ของคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นเมื่อนำน้ำเป็นสารดูดซับจึงมีประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกสูงกว่าการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะกรดอะซิติกมีความสามารถในการละลายในน้ำได้ดีกว่าคาร์บอนไดออกไซด์

4.8 การดำเนินการประยุกต์ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมในโรงงาน

4.8.1 การทดลองวัดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบำบัดกรดอะซิติก

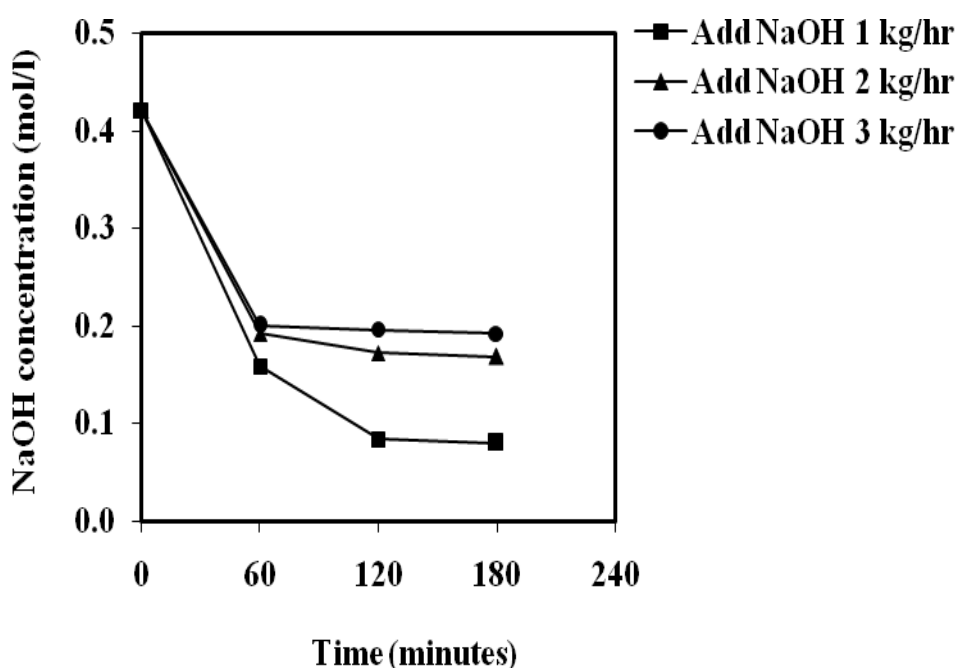
ผลการทดลองวัดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยที่ไม่มีการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-21



ภาพประกอบที่ 4-21 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเวลา

ข้อมูลความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่แสดงในภาพประกอบที่ 4-21 ได้จากการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.42 โมล/ลิตร และป้อนเข้าสู่ระบบหอดูดซึมเพื่อบำบัดกรดอะซิติก หลังจากนั้นทำการวัดความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระบบโดยที่ไม่มีการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อตรวจสอบแนวโน้มการลดลงกับเวลาของสารดูดซึม พบว่าในช่วง 15 นาทีแรกของการทดลองความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีแนวโน้มที่จะลดลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งที่เวลา 5 ชั่วโมงของการทดลองพบว่าไม่มีปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เหลืออยู่ในระบบ จากผลการทดลองพบว่าอัตราการลดลงของความเข้มข้นของสารดูดซึมต่อเวลาในช่วง 15 นาทีแรกเท่ากับ 0.006 โมล/นาที หรือในอัตรา 14.4 กรัม/ชั่วโมง ดังนั้นถ้าต้องการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ให้คงที่ที่ 0.42 โมล/ลิตร ในเบื้องต้นควรเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าสู่ระบบในอัตรา 14.4 กรัม/ชั่วโมง แต่ในการทดลองพบว่าการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าสู่ระบบในอัตรา 14.4 กรัม/ชั่วโมง นั้นมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการควบคุมความเข้มข้นให้คงที่ที่ 0.42 โมล/ลิตรได้ ดังนั้นจึงดำเนินการทดลองโดยเพิ่มปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมเข้าสู่ระบบให้มากขึ้นเป็น 1 กิโลกรัม/ชั่วโมง 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง และ 3 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-22



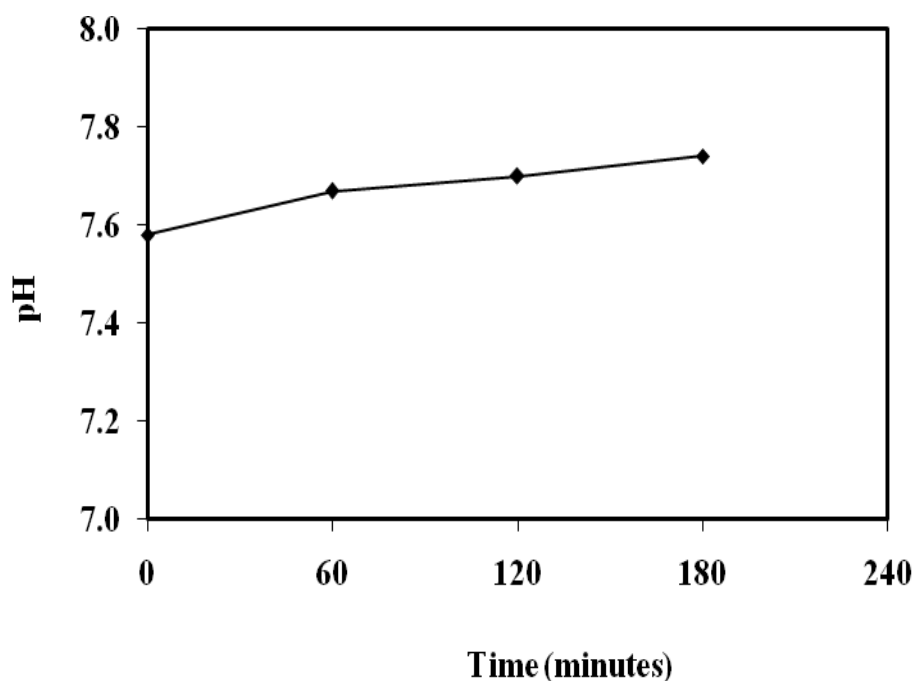
ภาพประกอบที่ 4-22 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่วัดได้จากการเติม ในปริมาณ 1 kg/hr, 2 kg/hr และ 3 kg/hr ตามลำดับ

จากภาพประกอบที่ 4-22 เริ่มต้นการทดลองโดยการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.7 โมล/ลิตรและทำการวัดความเข้มข้นของสารดูดซึมเริ่มต้นหลังจากการไหลเวียนในระบบพบว่ามีการดูดซึมไหลเวียนอยู่ในระบบที่ความเข้มข้น 0.42 โมล/ลิตร เนื่องจากในหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมและชั้นพักน้ำมีของเหลวค้างก่อนการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.7 โมล/ลิตรในระบบจำนวน 100 ลิตรจึงทำให้ความเข้มข้นของสารดูดซึมเจือจางลงและทำการวัดความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาต่างๆที่มีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 กิโลกรัม/ชั่วโมง 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง และ 3 กิโลกรัม/ชั่วโมงตามลำดับ

พบว่าที่ระดับการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณ 1 กิโลกรัม/ชั่วโมง ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ลดลงในช่วง 1 ชั่วโมงแรกเนื่องจากมีของเหลวติดค้างไปกับตะกอนจากตัวกลาง หลังจากนั้นพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นค่อนข้างจะคงที่ที่ 0.1 โมล/ลิตร และที่ระดับการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้นเป็น 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ลดลงในช่วง 1 ชั่วโมงแรกเช่นกันและหลังจากนั้นจะมีแนวโน้มคงที่ที่ 0.2 โมล/ลิตร ในขณะที่ระดับการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 3 กิโลกรัม/ชั่วโมง จะมีการลดลงใน 1 ชั่วโมงแรกในลักษณะเดียวกัน หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มคงที่ที่ความเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร เช่นกัน จากผลการศึกษาค้นคว้าสามารถควบคุมความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้คงที่ได้ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เพียง 0.2 โมล/ลิตร โดยไม่มีปัญหาการเกิดฟองอากาศ จึงทดลองใช้ความเข้มข้นดังกล่าวในการบำบัดกลิ่นต่อไป

4.8.2 การทดลองวัดค่า pH ของน้ำจากการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่

การใช้งานหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมของโรงงานจะใช้น้ำบาดาลเป็นของเหลวหอดูดซึมจากการตรวจสอบ pH ของน้ำที่เวลาต่างๆ ได้ผลการตรวจวัดดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-23

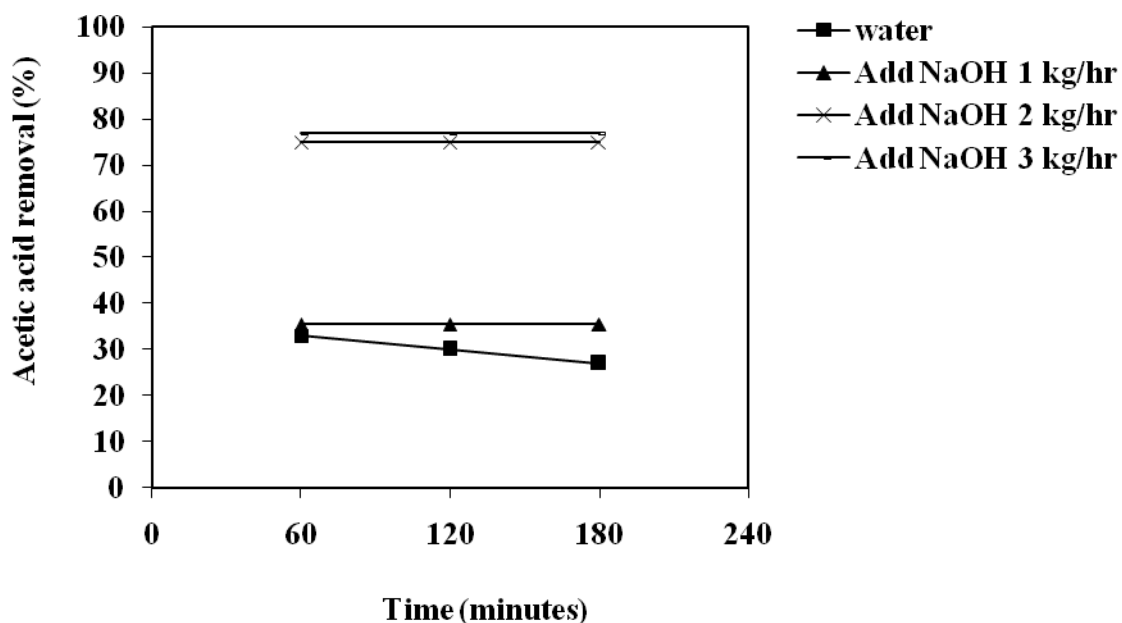


ภาพประกอบที่ 4-23 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำที่ได้จากการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่

จากภาพประกอบที่ 4-23 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดกรดคาร์บอนิก ซึ่งละลายอยู่ในน้ำและกรดคาร์บอนิกจะแตกตัวให้โปรตอน (ซึ่งแสดงความเป็นกรด) และไบคาร์บอเนตโดยกรดคาร์บอนิก เมื่อโดนความร้อนจากเตาอบยางจะสลายตัวให้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปก๊าซซึ่งจะระเหยออกไปทำให้ pH สูงขึ้น การควบคุม pH ของน้ำให้ลดลงทำได้โดยการเติมสารพวกกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก แอมโมเนียซัลเฟต เป็นต้น แล้วตรวจวัดด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์

4.8.3 การทดลองวัดประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารดูดซึมที่เป็นน้ำและการดูดซึมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอดูดซึมแบบเปียก

ผลของการทดลองวัดประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึมเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึมโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 กิโลกรัม/ชั่วโมง 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง และ 3 กิโลกรัม/ชั่วโมง แสดงดังภาพประกอบที่ 4-24



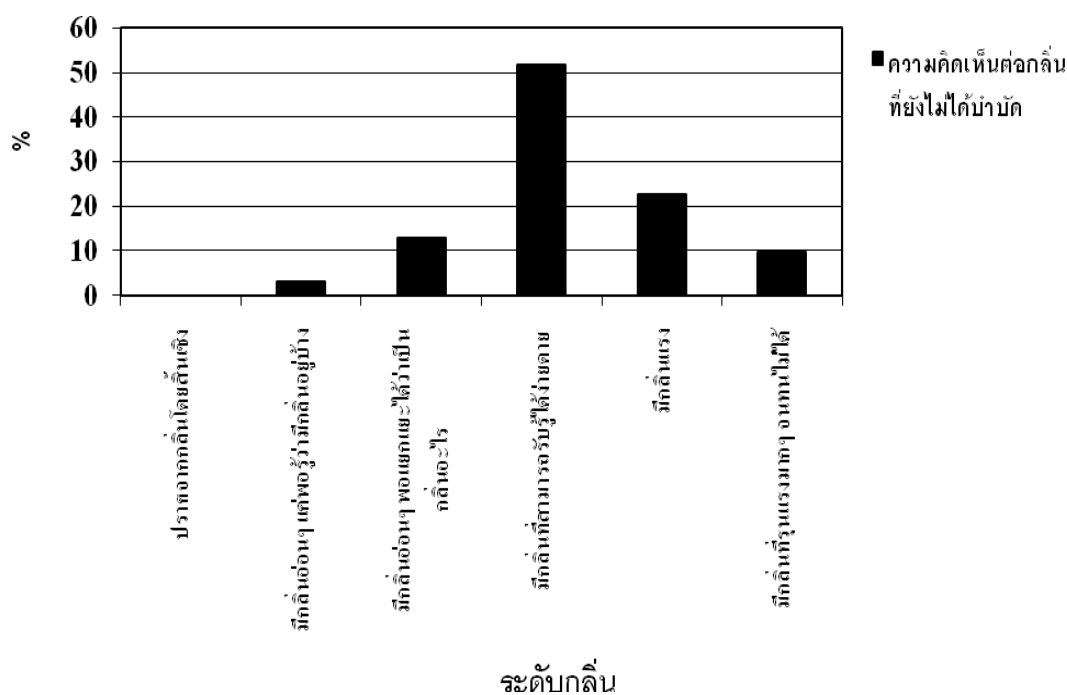
ภาพประกอบที่ 4-24 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกโดยการดูดซึมด้วยน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอดูดซึมแบบเปียกโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1 kg/hr, 2 kg/hr และ 3 kg/hr ตามลำดับ

จากภาพประกอบที่ 4-24 พบว่าที่เวลาเริ่มต้นของการเก็บตัวอย่าง (ที่ 60 นาที) ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกที่สภาวะดังกล่าวเมื่อใช้น้ำเป็นสารดูดซึมเท่ากับ 30% และมีแนวโน้มลดลงกับเวลา เนื่องจากน้ำมีความสามารถในการดูดซึมกรดอะซิติกได้น้อยลงแม้ว่าค่า pH เพิ่มขึ้นจากการเกิดเกลือของกรดอะซิติกก็ตาม และเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึม โดยการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.7 โมล/ลิตร และเริ่มทำการวัด ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกที่เวลา 60 นาทีและเมื่อเวลาผ่านไปตลอดเวลาการทดลอง 3 ชั่วโมงพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกของกรณีที่มีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 กิโลกรัม/ชั่วโมง เท่ากับ 35% คงที่ที่ค่าดังกล่าวตลอดเวลา และเมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าสู่ระบบในปริมาณที่มากขึ้นคือในอัตรา 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกจะสูงขึ้นและคงที่ที่ 75% ในขณะที่เมื่อเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 3 กิโลกรัม/ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกจะอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง คือ 77% ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ข้างต้น และพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายสารเคมีแล้วควรเลือกบำบัดกรดอะซิติกโดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าสู่ระบบดูดซึมของโรงงานในอัตรา 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง

4.8.4 การสำรวจและสอบถามความคิดเห็นของพนักงาน บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด ต่อระดับความแรงของกลิ่นกรณีที่ไม่ได้มีการบำบัดกับกลิ่นและกรณีที่มีการบำบัดโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 กิโลกรัม/ชั่วโมง และ 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ

การสำรวจและสอบถามความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นกรณีที่ไม่ได้มีการบำบัดและกรณีที่มีการบำบัดกลิ่นโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 กิโลกรัม/ชั่วโมง และ 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ ทำการศึกษาโดยการแจกแบบสอบถามให้กับพนักงาน บริษัท สยามอินโด รับเบอร์ จำกัด จำนวน 20 คน โดยจะให้พนักงานกรอกแบบสอบถามในช่วงเวลา 1 วัน โดยการสอบถามความคิดเห็นในช่วงเช้าและบ่ายช่วงละ 1 ครั้ง ซึ่งนำเสนอข้อมูลจากการสำรวจไว้ใน ภาคผนวก จ ได้ผลการสำรวจในกรณีต่างๆ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-25 ถึง 4-27

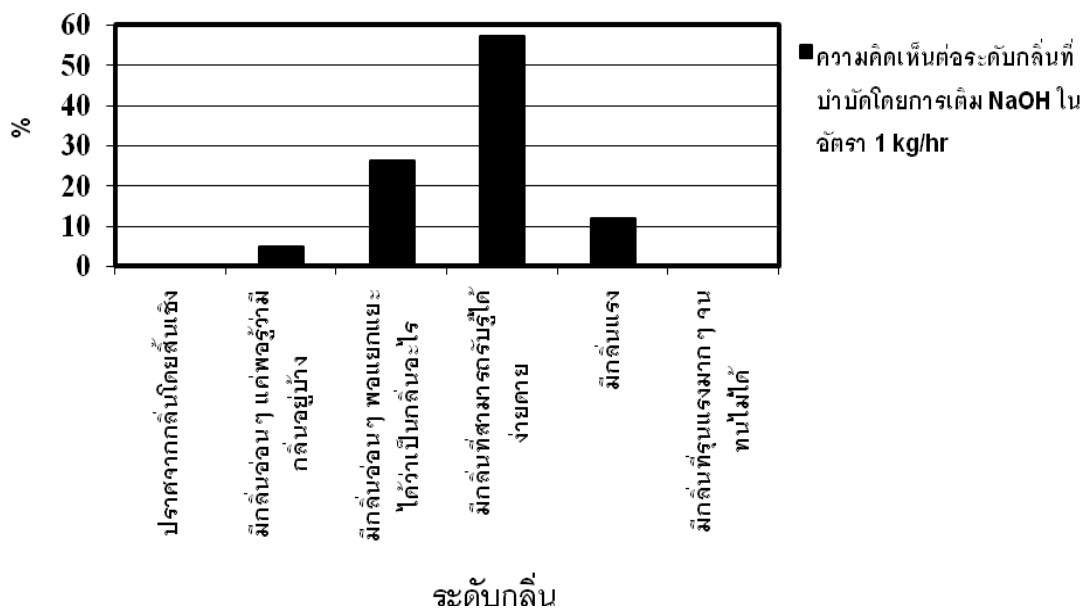
ผลการสำรวจความคิดเห็นของบุคลากรในโรงงานต่อระดับความแรงของกลิ่นตลอดวัน โดยที่ไม่มีการบำบัดด้วยสารเคมี แสดงดังภาพประกอบที่ 4-25



ภาพประกอบที่ 4-25 กราฟแสดงความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัด

จากภาพประกอบที่ 4-25 พบว่าความคิดเห็นต่อระดับกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัดพบว่า โดยส่วนใหญ่ร้อยละ 50 เห็นว่ามีกลิ่นที่สามารถรับรู้ได้ง่ายๆ และไม่มีความคิดเห็นว่าปราศจากกลิ่นโดยสิ้นเชิง อย่างไรก็ตามมีความเห็นว่ามีกลิ่นแรงและมีกลิ่นรุนแรงมากจนทนไม่ได้ 25% และ 10% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วแสดงว่าความคิดเห็นต่อความแรงของกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัด จะมีกลิ่นแรงถึงรุนแรงมากๆ จนทนไม่ได้ถึงประมาณ 35%

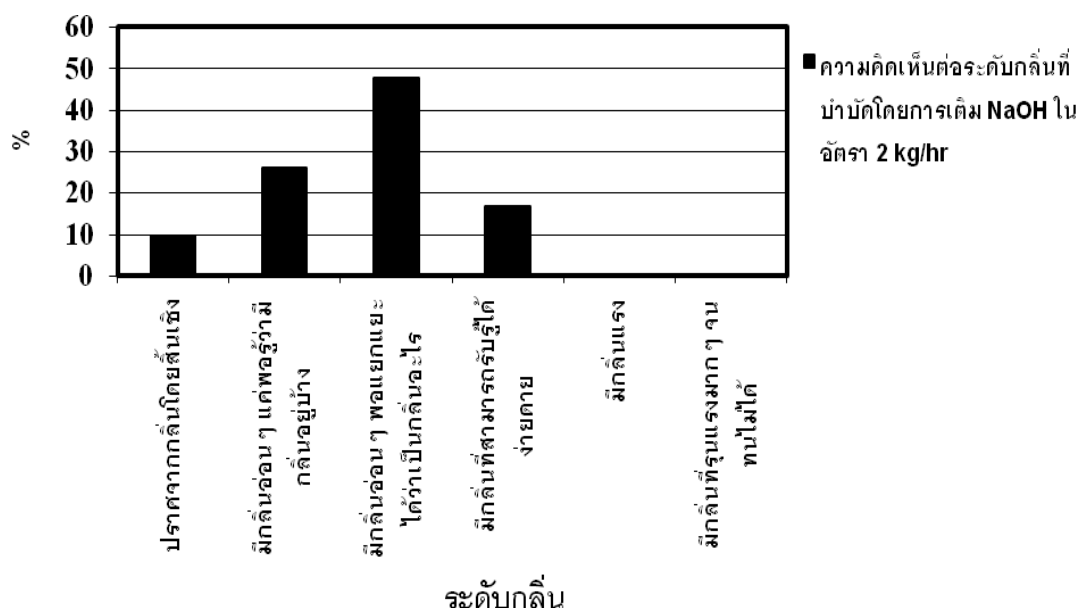
ผลการสำรวจความคิดเห็นของบุคลากรในโรงงาน เมื่อทำการบำบัดก๊าซเสียจากปล่องควันโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 กิโลกรัม/ชั่วโมง แสดงดังภาพประกอบที่ 4-26



ภาพประกอบที่ 4-26 กราฟแสดงความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่บำบัดโดยการเติม NaOH 1 kg/hr

จากภาพประกอบที่ 4-26 พบว่าความคิดเห็นต่อระดับกลิ่นที่บำบัดโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยส่วนใหญ่ร้อยละ 57 เห็นว่าระดับของกลิ่นนั้นมีกลิ่นที่สามารถรับรู้ได้ง่ายดาย และเริ่มมีความเห็นว่ามีกลิ่นอ่อนๆ แต่พอรู้ว่ามีกลิ่นบ้างอยู่เล็กน้อยประมาณ 5% และความเห็นว่ายังมีกลิ่นแรงอยู่นั้นลดลงลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัดถึง 15%

ผลการสำรวจความคิดเห็นของบุคลากรในโรงงาน เมื่อทำการบำบัดก๊าซเสียจากปล่องควันโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง แสดงดังภาพประกอบที่ 4-27



ภาพประกอบที่ 4-27 กราฟแสดงความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่บำบัดโดยการเติม NaOH 2 kg/hr

จากภาพประกอบที่ 4-27 พบว่าความคิดเห็นต่อระดับกลิ่นที่บำบัดโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยส่วนใหญ่ประมาณ 45% เห็นว่าระดับของกลิ่นลดลงจนมีกลิ่นอ่อนๆ พอแยกแยะออกได้ว่าเป็นกลิ่นอะไร และมีความเห็นว่ามีกลิ่นในระดับที่ปราศจากกลิ่นโดยสิ้นเชิงและมีกลิ่นอ่อนๆ แคพอู้อ่างกลิ่นอยู่บ้างเพิ่มขึ้นประมาณ 10% และ 25 % ตามลำดับ และไม่มีความคิดเห็นว่ามีกลิ่นแรงหรือมีกลิ่นรุนแรงมากๆ จนทนไม่ได้ แสดงว่าการบำบัดโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง สามารถลดความรุนแรงของกลิ่นได้เป็นอย่างดี โดยที่บุคลากรส่วนใหญ่ประมาณ 45% เห็นว่าไม่มีกลิ่นถึงมีกลิ่นอ่อนๆ

4.8.5 การศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนในการบำบัดกรดอะซิติคในหอดูดซึมแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรม

ในการดำเนินการทดลองบำบัดกลิ่นโดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึมในหอดูดซึมแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรมจะพิจารณาถึงราคาของสารเคมีแต่ละตัวเพื่อความสะดวกในการพิจารณาเลือกใช้สารเคมีเพื่อควบคุมค่าในการลงทุนดังแสดงในตารางที่ 4-4 และ 4-5

ตารางที่ 4-4 แสดงค่าสารดูดซึมเมื่อใช้น้ำเป็นสารดูดซึม

| สารดูดซึม | บาท/ลูกบาศก์เมตร |
|-----------|------------------|
| น้ำ | 3.5 |

ตารางที่ 4-5 แสดงค่าสารดูดซึมเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซึม

| สารเคมี | บาท/กิโลกรัม |
|---|--------------|
| โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Commercial grade) | 20 |
| โมโนเอทานอลเอมีน (Commercial grade) | 187 |

จากตารางที่ 4-4 และตารางที่ 4-5 หากประเมินถึงความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายเบื้องต้นควรเลือกใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบำบัดกรดอะซิติคจากก๊าซเสีย เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายโมโนเอทานอลเอมีน และมีราคาแพงกว่าการใช้น้ำเป็นสารดูดซึมแต่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติคที่สูงกว่า

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดกรดอะซิติค

ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดกรดอะซิติคซึ่งอธิบายรายละเอียดการคำนวณไว้ในภาคผนวก จ เนื่องจากบริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด มีอัตราการผลิตยางแท่งต่อเตาเท่ากับ 7 ตัน/ชั่วโมง และในการบำบัดกรดอะซิติคมีการลงทุนใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 2 กิโลกรัม/ชั่วโมงต่อเตา หรือคิดเป็นค่าใช้จ่าย 40 บาท/ชั่วโมง ต่อเตาข้างแท่ง 1 เตา ดังนั้น

จะมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดกลิ่นเท่ากับ 6 บาท/ตันยางแห้ง และถ้าทางโรงงานสามารถเพิ่มอัตราการผลิตต่อเตาให้สูงขึ้นค่าสารเคมีที่ใช้ต่อตันยางแห้งจะลดลง

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot

จากการศึกษาการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้ NaOH และ MEA ในคอลัมน์บรรจุขนาด pilot มีข้อสรุป คือ ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในก๊าซเสียที่เกิดจากการอบยางพบว่าองค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดกลิ่น คือ กรดอะซิติก จึงสามารถวิเคราะห์ความเข้มข้นของกลิ่นในก๊าซเสียได้โดยใช้วิธีการไตเตรทแบบย้อนกลับ และในการทดลองบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับในคอลัมน์บรรจุขนาด pilot พบว่าการใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนจะให้ประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกสูงสุดเท่ากับ 87% ในขณะที่เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับจะได้ประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกสูงสุดถึง 96% ดังนั้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับที่สามารถบำบัดกรดอะซิติกได้ดีกว่าสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนโดยสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติก คือ $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$ ตามลำดับ

5.1.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอดูดซับขนาดอุตสาหกรรม

จากการศึกษาการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้ NaOH ในหอดูดซับขนาดอุตสาหกรรม มีข้อสรุป คือ ในการทดลองบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้น้ำเป็นสารดูดซับในหอดูดซับขนาดอุตสาหกรรมพบว่าสามารถบำบัดกรดอะซิติกได้สูงสุดเพียง 30% และการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตราการเติมสารเคมี 1, 2 และ 3 kg/hr ตามลำดับสามารถบำบัดกรดอะซิติกได้ 35.5, 75 และ 77% ตามลำดับ โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 2 kg/hr จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกสูงพอและเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงและเมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายและความคิดเห็นจาก

พนักงาน บริษัท สยามอินโด รีบเบอร์ จำกัดต่อระดับความแรงกลิ้งก่อนและหลังการบำบัด สามารถสรุปได้ว่าการบำบัดกรดอะซิติคโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึ่มใน หอดูดซึ่มแบบเปียก (Wet Scrubber) โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณ 2 kg/hr เป็น สถานะที่เหมาะสมที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

5.2.1 ศึกษาถึงวิธีการในการปรับปรุงระบบการบำบัดกรดอะซิติค

5.2.2 ศึกษาวิธีการดูดกลืนภายในโรงงาน

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2550. สืบค้นจาก. <http://www.pcd.go.th>
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กันยายน 2544. หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา: อุตสาหกรรมน้ำยางขึ้น อุตสาหกรรมยางแท่ง มาตรฐานเอสทีอาร์ 20.
- กฎกระทรวงอุตสาหกรรม. 2548. เรื่องมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบกลิ่นในอากาศจากโรงงาน คณะกรรมการวิชาการสาขาสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2545-2546 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤษภาคม 2545. 187-196.
- จรรยา อินทมณี. 2546. การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียเบื้องต้น. สงขลา:มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วินัย นุตมากุล อุษณีย์ อุษะเสถียร เทวัญ ฉวางวงสานุกุล และ ไกรชาติ ตันตระการอาภา. 2550. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่มีกลิ่นกับความแรงของกลิ่น. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ Environment and Natural Resources Journal. 5(2): 101-108.
- สมทิพย์ ด้านธีรวินิชย์ สุนิดา ช่องเหล่ายุ่ง พรทิพย์ ศรีแดง และ สุวลักษณ์ วิสุนทร. 2550. ประเด็นสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ในภาคใต้ของไทย. โครงการวิจัยปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 1-13.
- สมทิพย์ ด้านธีรวินิชย์ สุนิดา ช่องเหล่ายุ่ง พรทิพย์ ศรีแดง สุวลักษณ์ วิสุนทร และ พิมพ์พิมล เพ็ญจรรย์. 2550. การจำแนกสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20. โครงการวิจัยปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 25-35.
- สมทิพย์ ด้านธีรวินิชย์ สุนิดา ช่องเหล่ายุ่ง พรทิพย์ ศรีแดง สุวลักษณ์ วิสุนทร และ พิมพ์พิมล เพ็ญจรรย์. 2550. การตรวจสอบเบื้องต้นของการบำบัดกรดไขมันระเหยในระบบดักจับแบบเปียกของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20. โครงการวิจัยปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 36-45.

- สมทิพย์ คำนธีรวิชย์ เถลิงพงษ์ อินทร์แก้ว พรทิพย์ ศรีแดง สุวลักษณ์ วิสุนทร และ พิมพ์พิมล เพ็ญจำรัส. 2550. การบำบัดกรดไขมันระเหยจากก๊าซที่ระบายออกมาจากที่อบยางกันด้วยของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ด้วยระบบตัวกรองทางชีวภาพ. โครงการวิจัยปัญหาหมลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 46-57.
- สุนารี ดิลกานนท์. 2548. การวิเคราะห์ห้กลิ่นด้วยการดม (sensory test) ตามวิธีการของ JIS. สำนักเทคโนโลยีน้ำและการจัดการมลพิษโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม วารสารโรงงาน 29-46.
- ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ กรมควบคุมมลพิษ. 2544. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (MSDS). สืบค้นจาก. <http://msds.pcd.go.th>
- Aboudheir, A., Tontiwachwuthikul, P., Chakma, A. and Idem, R. 2003. Kinetics of the reactive absorption of carbon dioxide in high CO₂-loaded, concentrated aqueous monoethanolamine solutions. *Chemical Engineering Science*. 58: 5195-5210.
- APHA, AWWA and WEF. 1992. *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*, 18th ed., American Public Health Association, New York.
- Aroonwilas, A., Chakma, A., Tontiwachwuthikul, P. and Veawab, A. 2003. Mathematical modelling of mass-transfer and hydrodynamics in CO₂ absorbers packed with structured packings. *Chemical Engineering Science*. 58: 4037-4053.
- Aroonwilas, A., Veawab, A. and Tontiwachwuthikul, P. 1999. Behavior of the Mass-Transfer coefficient of structured packing in CO₂ absorbers with chemical reactions. *Ind. Eng. Chem. RES*. 38: 2044-2050.
- Bunyan, C., Thepchai, R. and Chungsiriporn, J. 2006. Optimum Condition of Ammonia Removal from Waste Air by Packed Column coupling with Chemical Reaction. Master of Engineering Thesis. Chemical Engineering. Prince of Songkla University.
- Chasanis, P., Lautenschleger, A. and Kenig, E.Y. 2010. Numerical investigation of carbon dioxide absorption in a falling-film micro-contactor. *Chemical engineering science*. 65: 1125-1153.
- Chen, J.C., Fang, G.C. and Tag, J.T. 2003. Removal of carbon dioxide by a spray dryer. *Chemosphere*. 59: 99-105.
- Danckwerts, P.V. 1979. The Reaction of CO₂ with Ethanolamine. *Chemical Engineering Science*. 34: 443-446.

- Demontigny, D. 1998. Carbon dioxide absorption studies using ultra-highly concentrated monoethanolamine solutions. A thesis of master of applied science in industrial systems engineering. University of regina. Canada.
- Dilallo, R. and Albertson, O. 1961. Volatile fatty acids by direct titration. *Journal WPCF*, 33(4): 356-365.
- Fakhoury, K.J., Heber, A.J. and Ni, J.Q. 2000. Correlation of odor detection threshold with concentrations of hydrogen sulfide, Ammonia and trace gases emitted from swine manure. ASAE Annual international Meeting Sponsored by ASAE. 1-12.
- Freudenthal, K., Otterpohl, R. and Behrendt, J. 2005. Absorption of odourous substances using selective gas-liquid separation processes. *Waste Management*. 25(9): 975-984.
- Galli, V., Olmo, N. and Barbas, C. 2002. *Journal of Chromatography*. 949(1-2): 367.
- Godini, H.R. and Mowla, D. 2007. Selectivity study of H₂S and CO₂ absorption from gaseous mixtures by MEA in packed beds. *Chemical engineering research and design*. 86: 401-409.
- Hesketh, H.E. and Cross, F.L. 1989. *Odor Control Including Harzardous Toxic Odors*. Technomic Publishing CO.,Inc., USA.
- Isa, Z. 1991. Air and solid waste pollution control in the rubber industry. Handout in ASEAN/UNDP Workshop on pollution control in the palm oil and rubber industries. 7-18 Jan, 1991.
- Jonathan, L., David, G. and Randal, J. 2008. Occupational hazards of carbon dioxide exposure. *Journal of Chemical Health and Safety of the American Chemical Society*. 16(2): 18-22.
- Joseph, G.T. and Beachler, D.S. 1981. *Control of Gaseous Emission: Student Manual* New York, Northrop Service.
- Joseph, G.T. and David, S. 1998. "Scrubber System Operation Review" ATPI Course SI:412C.
- Kuntz, J. and Aroonwilas, A. 2008. Performance of spray column for CO₂ capture application. *Ind. Eng. Chem. Res.* 47(1): 145-153.
- Lin, C.C. and Chen, B.C. 2008. Characteristics of cross-flow rotating packed beds. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 14: 322-327.

- Lin, C.C., Chen, B.C., Chen, Y.S. and Hsu, S.K. 2008. Feasibility of a cross-flow rotating packed bed in removing carbon dioxide from gaseous streams. *Separation and Purification Technology*. 62: 507–512.
- Lin, C.C., Lin, Y.H. and Tan, C.S. 2010. Evaluation of alkanolamine solutions for carbon dioxide removal in cross flow rotating packed beds. *Journal of Hazardous Material*. 175: 344-351.
- Lin, C.C., Liu, W.T. and Tan, C.S. 2003. Removal of carbon dioxide by absorption in a rotating packed bed. *Industrial&Engineering Chemistry Research*. 42: 2381-2386 .
- Maceiras, R., Alvarez, E.M. and Cancela, A. 2008. Effect of temperature on carbon dioxide absorption in monoethanolamine solutions. *Chemical engineering Journal*, 138: 295-300.
- Manyele, S.V. 2008. Toxic acid gas absorber design consideration for air pollution control in process industries. (On-line). Available: <http://www.academicjournals.org/ERR>. (30 ธันวาคม 2552).
- Mcgraw-Hill. 1999. *Genium's Handbook of safety, health, and environmental data for common hazardous substances*. Genium Publishing Corporation. 2: 3144-3145.
- Moretti, V., Caprino, F., Bellagamba, F., Turchini, G., Busetto, M., Giani, I., Paleari, M. and Pazzaglia, M. 2008. Fatty acid composition and volatile compounds of caviar from farmed white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Analytica Chimica Acta*. 617: 139-147.
- Park, S.Y., Min, B.M., Lee, J.S., Nam, S.C., Han, K.H. and Hyun, J.S. 2004. Absorption characteristic of continuous CO₂ absorption. *Chem. Soc., Div. Fuel Chem*. 49(1): 249-250.
- Pei, Z., Yao, S., Jianwen, W., Wei, Z. and Qing, Y. 2008. Regeneration of 2-amino-2-methyl-1-propanol used for carbon dioxide absorption. *Journal of Environmental Sciences*, 20 : 39-44.
- Richards, J. 1981. *Control of Gaseous Emission*, 2nd edition, North Carolina State University. USA.
- Sakdapipanich, J.T. and Insom, K. 2006. High-resolution gas chromatography-mass spectrometry: Characterization and mechanism to generate the obnoxious odor in natural rubber. *Kautschuk Gummi Kunststoffe*. 6: 382-387.
- Schlegelmilch, M., Streese, J. and Stegmann, R. 2005. Odour management and treatment technologies. *Waste Management*. 25: 928-939.

- Setameteekul, A., Aroonwilas, A. and Veawab, A. 2008. Statistical factorial design analysis for parametric interaction and empirical correlations of CO₂ absorption performance in MEA and blended MEA/MDEA processes. *Separation and Purification Technology*. 64: 16-25.
- Supap, T. 1999. Kinetic study of oxidative degradation in gas treating unit using aqueous monoethanolamine solution. A thesis of Master of Science in Special Arrangement (Engineering and Chemistry). p.12-13.
- Taghizadeh, M., Jallut, C., Tayakout-Fayolle, M. and Lieto, J. 2001. Non-isothermal gas-liquid absorption with chemical reaction studies Temperature measurements of a spherical laminar film surface and comparison with a model for the CO₂/NaOH system. *Chemical Engineering Journal*. 82: 143-148.
- Ugwuanyi, J., Harvey, L.M. and McNeil, B. 2005. Effect of digestion temperature and pH on treatment efficiency and evolution of volatile fatty acids during thermophilic aerobic digestion of model high strength agricultural waste. *Bioresource Technology*. 96: 707-719.
- Watten, B.J., Sibrell, P.L., Montgomery, G.A. and Tsukuda, S.M. 2004. Modification of pure oxygen absorption equipment for concurrent stripping of carbon dioxide. *Aquacultural Engineering*. 32: 183-208.
- Xie, D., Pan, W. and Shi, H. 2003. Synthesis and characterization of Sr_{1-x}Ba_xBi₄Ti₄O₁₅ ferroelectric materials. *Materials Science and Engineering*. B99: 352- 355.
- Yi, F., Zou, H.K., Chu, G.W., Shao, L. and Chen, J.F. 2009. Modeling and experimental studies on absorption of CO₂ by Benfield solution in rotating packed bed. *Chemical Engineering Journal*
- _____.(2552).(On-line) .Avilable: <http://www.mon-env.com> (15 ตุลาคม 2552)
- _____(2552).(On-line).Avilable:<http://www.arb.ca.gov> (10 ธันวาคม 2552)
- _____(2552).(On-line) .Avilable: <http://en.wikipedia.org> (10 ธันวาคม 2552)
- _____(2552).(On-line) .Avilable: <http://msds.pcd.go.th> (10 ธันวาคม 2552)
- _____(2552).(On-line).Avilable:<https://fscimage.fishersci.com> (10 ธันวาคม 2552)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลเบื้องต้นของสารเคมี

ก-1 โม่โนเอทานอลเอมีน (Monoethanolamine) (MSDS, 2001)

| | |
|-----------------------------|---|
| สูตรโมเลกุล | : $\text{H NCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ |
| น้ำหนักโมเลกุล | : 61.08 g/mol |
| ชื่อเรียกอื่น | : Ethanolamine, Beta-aminoethanol, Ethylolamine, Aminoethanol |
| สถานะ | : ของเหลว |
| สี | : ใส ไม่มีสี |
| กลิ่น | : กลิ่นแอมโมเนีย |
| จุดเดือด | : 170 °C |
| จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง | : 10 °C |
| ความถ่วงจำเพาะ | : 1.02 |
| ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | : 12.1 ที่ 20 °C |
| ข้อมูลทางกายภาพและเคมีอื่นๆ | : ละลายได้ในแอลกอฮอล์ |
| ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม | : สารนี้สามารถเกิดการสลายตัวทางชีวภาพได้ สารนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อระบบน้ำทิ้ง หากมีการใช้และจัดการสารเคมีอย่างเหมาะสม |

ก-2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) (Mcgraw-Hill., 1999)

| | |
|--------------------------|---|
| สูตรโมเลกุล | : NaOH |
| น้ำหนักโมเลกุล | : 40.01 g/mol |
| ชื่อเรียกอื่น | : Caustic Soda, Lewis-red devil lye, Natriumhydroxyde, Sodium hydrate |
| จุดเดือด | : 1,390 °C |
| จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง | : 318.4 °C |
| ความถ่วงจำเพาะ | : 2.13 ที่ 25 °C |

| | |
|-----------------------------|--|
| ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | :0.05% wt/wt solution about 12 |
| ข้อมูลทางกายภาพและเคมีอื่นๆ | :ละลายได้ในกลีเซอรอล, ไม่สามารถละลายได้ในอะซิโตนและอีเทอร์ |
| ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม | :ห้ามทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ น้ำเสีย หรือดิน สารนี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ |
| ข้อมูลอื่นๆ | :สารนี้เป็นพิษต่อปลา และแพลงก์ตอน ซึ่งส่งผลเป็นอันตรายเนื่องจากเปลี่ยนแปลงพีเอช อาจทำให้ปลาตายได้ |
| | :วิธีวิเคราะห์ใช้ acid - base titration อัตราการไหลสำหรับเก็บตัวอย่าง 1 ถึง 4 ลิตรต่อนาที ปริมาตรเก็บตัวอย่างต่ำสุด-สูงสุด ต่ำสุด 70 ลิตร สูงสุด 1000 ลิตร |

ก-3 กรดอะซิติก (Acetic Acid) (MSDS, 2001)

| | |
|--------------------------|--|
| สูตรโมเลกุล | : CH_3COOH |
| น้ำหนักโมเลกุล | :60 g/mol |
| ชื่อเรียกอื่น | :Methanecarboxylic acid Glacial acetic acid ; Ethylic acid; Vinegar acid |
| จุดเดือด | :118.10°C |
| จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง | :62°C |
| ความถ่วงจำเพาะ | :1.05 |
| ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | :2.5 ที่ 20°C |

ตารางที่ ก-1 ความเป็นพิษและอันตรายต่อมนุษย์ (<http://msds.pcd.go.th>)

| | |
|--------------------------------|---|
| สัมผัสทางหายใจ | การหายใจเอาไอ ละอองหรือฝุ่นเข้าไปทำให้แสบไหม้จมูก คอและตา ไอ แน่นหน้าอก และหายใจติดขัด การสัมผัสเป็นเวลานานทำให้มีอาการ cyanosis (ผิวหนังและริมฝีปากเป็นสีเขียวคล้ำ) โรคปอดอักเสบ ทำลายปอดหรือ เสียชีวิตได้ |
| สัมผัสทางผิวหนัง | การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคือง เจ็บปวด เป็นผื่นแดง และบวม มีอาการแสบไหม้ เกิดเป็นตุ่มตามผิวหนัง และเนื้อเยื่อถูกทำลาย |
| กินหรือกลืนเข้าไป | การกลืนกินเข้าไปทำให้แสบไหม้ปาก คอ และปวดท้อง เจ็บหน้าอก คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ระบายน้ำ อ่อนเพลีย และเป็นแผลในท้อง ทำให้อาเจียน และทำลายปอด |
| สัมผัสถูกตา | การสัมผัสถูกตาจะทำให้เกิดการระคายเคือง เจ็บปวด น้ำตาไหล ทำให้ตาบวม เป็นผื่นแดง และ แสบไหม้ตา ถ้ารุนแรงอาจทำให้ตาบอดได้ |
| การก่อมะเร็ง ความผิดปกติอื่น ๆ | การหายใจเอาสารเข้าไปนานๆ จะทำลายปอด ถ้าถูกผิวหนังเป็นเวลาดิติดต่อกันทำให้เป็นโรคผิวหนัง เป็นโรคหลอดเลือดอักเสบ โรคปอด ทำลายฟัน ไต |

ผลกระทบของกรดอะซิติคต่อสิ่งแวดล้อม

กรดอะซิติคสามารถเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้สูง และสามารถกำจัดได้อย่างง่ายดายแต่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ส่งผลเป็นอันตรายเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพีเอชแม้ในสภาพเจือจาง จะไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการใช้และจัดการผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสม

ก-4 คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) (MSDS, 2001)

| | |
|-----------------------------|---|
| สูตรโมเลกุล | :CO ₂ |
| น้ำหนักโมเลกุล | :44.01 g/mol |
| ชื่อเรียกอื่น | :Dry ice; Mark carbon dioxide; Carbonic anhydride |
| ค่ามาตรฐานและความเป็นพิษ | :พรบ. คุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2541 เฉลี่ย 8 ชั่วโมง 5,000 ppm |
| สถานะ | :ของเหลว |
| สี | :ไม่มีสี |
| กลิ่น | :ไม่มีกลิ่น |
| จุดเดือด | :-79°C |
| จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง | :-70°C |
| ความถ่วงจำเพาะ | :1.101 |
| ข้อมูลทางกายภาพและเคมีอื่นๆ | :ละลายได้ในไฮโดรคาร์บอน, ตัวทำ ละลายอินทรีย์ |
| ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม | :ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบ นิเวศน์ หากมีการใช้และจัดการกับ ผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสม |
| ข้อมูลอื่น ๆ | :การปฐมพยาบาล หายใจเข้าไป : ถ้าหายใจเข้าไปให้ เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกสู่บริเวณที่มี อากาศบริสุทธิ์ ถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจให้ ช่วยผายปอดรักษาร่างกายให้อบอุ่น นำส่งไปพบแพทย์ กินหรือกลืนเข้าไป : ถ้ากลืนหรือกิน เข้าไป นำส่งไปพบแพทย์ทันที สัมผัสผิวหนัง : - ถ้าสัมผัสถูก ผิวหนัง ถ้ามีอาการเย็นจัดเหมือนถูก |

น้ำแข็งกัด ให้ล้างด้วยน้ำอุ่น หรือห่มผ้า
ห่ม ไปพบแพทย์ทันที
สัมผัสถูกตา : ถ้าสัมผัสถูกตา ให้ฉีด
ล้างตาทันทีด้วยน้ำปริมาณมาก เปิด
เปลือกตาขึ้น และลงขณะล้างจนกว่า
สารเคมีจะออกหมด ควรใช้สารละลาย
saline ล้างตาขณะนำส่งโรงพยาบาล
ปิดด้วยผ้าพันแผล นำไปพบแพทย์
ทันที

ก-5 โซเดียมอะซิเตท (Sodium acetate) (MSDS, 2001)

| | |
|-----------------------------|--|
| สูตรโมเลกุล | : $C_2H_3NaO_2$ |
| น้ำหนักโมเลกุล | :82 g/mol |
| ชื่อเรียกอื่น | :Sodium salt; Acetic acid, sodium salt (1:1); Sodium ethanoate |
| ค่ามาตรฐานและความเป็นพิษ | :LD ₅₀ = 6,891 mg/kg |
| สถานะ | :ของเหลว |
| สี | :ขาว |
| กลิ่น | :กรดอะซิติกเจือจาง |
| จุดเดือด | :123°C |
| จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง | :58°C |
| ความถ่วงจำเพาะ | :1.45 |
| ข้อมูลทางกายภาพและเคมีอื่นๆ | :อุณหภูมิสลายตัวที่ >120°C |
| ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม | :ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบ นิเวศน์ หากมีการใช้และจัดการกับ ผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสม |
| ข้อมูลอื่น ๆ | :ความคงตัวทางเคมี สารนี้จะสลายตัวเมื่อสัมผัสกรดเข้มข้น เมื่อมีความร้อน |

สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว
: ไรระเหยของกรดอะซิติกมีฤทธิ์กัด
กร่อนขึ้น

ก-6 เมทิลปาล์มิเตท (Methyl palmitate) (<https://fscimage.fishersci.com>)

| | |
|-----------------------------|---|
| สูตรโมเลกุล | : $C_{17}H_{34}O_2$ |
| น้ำหนักโมเลกุล | : 270.456 g/mol |
| ชื่อเรียกอื่น | : Sodium salt; Acetic acid, sodium salt (1:1); Sodium ethanoate |
| ค่ามาตรฐานและความเป็นพิษ | : $LD_{50} = 6,891$ mg/kg |
| สถานะ | : ของเหลว |
| สี | : ขาว |
| กลิ่น | : กรดอะซิติกเจือจาง |
| จุดเดือด | : $211.5^{\circ}C$ (30 mmHg) |
| จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง | : $28^{\circ}C$ |
| ความถ่วงจำเพาะ | : 0.85 |
| ข้อมูลทางกายภาพและเคมีอื่นๆ | : ไม่สามารถละลายน้ำได้ |
| ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม | : ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ หากมีการใช้และจัดการกับผลิตภัณฑ์อย่าง สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว เหมาะสม |

ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

ข-1 ผลการทดลองศึกษาพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก

ข-1.1 ศึกษาพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติกโดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซึม

ตารางที่ ข-1.1 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $C_{\text{MEA}} = 0.2 \text{ mol/l}$ และ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 0.92 | 0.44 | 52.17 |
| 15 | 0.92 | 0.44 | 52.17 |
| 30 | 0.92 | 0.43 | 53.26 |
| 45 | 0.92 | 0.42 | 54.34 |
| 60 | 0.92 | 0.43 | 53.26 |
| 90 | 0.92 | 0.42 | 54.34 |
| 120 | 0.92 | 0.41 | 55.43 |
| 180 | 0.92 | 0.43 | 53.26 |
| 240 | 0.92 | 0.47 | 48.91 |
| Average | | 0.43 | 53.26 |

ตารางที่ ข-1.2 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $C_{\text{MEA}} = 0.4 \text{ mol/l}$ และ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 0.79 | 0.37 | 53.16 |
| 15 | 0.79 | 0.37 | 53.16 |
| 30 | 0.79 | 0.36 | 54.43 |
| 45 | 0.79 | 0.34 | 56.96 |
| 60 | 0.79 | 0.30 | 62.02 |
| 90 | 0.79 | 0.30 | 62.02 |
| 120 | 0.79 | 0.28 | 64.55 |
| 180 | 0.79 | 0.28 | 64.55 |
| 240 | 0.79 | 0.28 | 64.55 |
| Average | | 0.31 | 60.75 |

ตารางที่ ข-1.3 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $C_{\text{MEA}} = 0.5 \text{ mol/l}$ และ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 0.88 | 0.29 | 67.04 |
| 15 | 0.88 | 0.28 | 68.18 |
| 30 | 0.88 | 0.28 | 68.18 |
| 45 | 0.88 | 0.28 | 68.18 |
| 60 | 0.88 | 0.28 | 68.18 |
| 90 | 0.88 | 0.26 | 70.45 |
| 120 | 0.88 | 0.26 | 70.45 |
| 180 | 0.88 | 0.25 | 71.59 |
| 240 | 0.88 | 0.25 | 71.59 |
| Average | | 0.27 | 69.31 |

ตารางที่ ข-1.4 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ และ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 0.89 | 0.21 | 76.40 |
| 15 | 0.89 | 0.21 | 76.40 |
| 30 | 0.89 | 0.21 | 76.40 |
| 45 | 0.89 | 0.22 | 75.28 |
| 60 | 0.89 | 0.21 | 76.40 |
| 90 | 0.89 | 0.19 | 78.65 |
| 120 | 0.89 | 0.19 | 78.65 |
| 180 | 0.89 | 0.19 | 78.65 |
| 240 | 0.89 | 0.20 | 77.52 |
| Average | | 0.20 | 77.52 |

ตารางที่ ข-1.5 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $L = 3 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.26 | 0.75 | 40.47 |
| 15 | 1.26 | 0.70 | 44.44 |
| 30 | 1.26 | 0.70 | 44.44 |
| 45 | 1.26 | 0.65 | 48.41 |
| 60 | 1.26 | 0.69 | 45.23 |
| 90 | 1.26 | 0.64 | 49.20 |
| 120 | 1.26 | 0.62 | 50.79 |
| 180 | 1.26 | 0.69 | 45.23 |
| 240 | 1.26 | 0.72 | 42.85 |
| Average | | 0.68 | 46.03 |

ตารางที่ ข-1.6 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $L = 5 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.21 | 0.32 | 73.55 |
| 15 | 1.21 | 0.32 | 73.55 |
| 30 | 1.21 | 0.33 | 72.72 |
| 45 | 1.21 | 0.32 | 73.55 |
| 60 | 1.21 | 0.32 | 73.55 |
| 90 | 1.21 | 0.32 | 73.55 |
| 120 | 1.21 | 0.43 | 64.46 |
| 180 | 1.21 | 0.42 | 65.28 |
| 240 | 1.21 | 0.45 | 62.80 |
| Average | | 0.36 | 65.28 |

ตารางที่ ข-1.7 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $L = 8 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 0.80 | 0.27 | 66.25 |
| 15 | 0.80 | 0.25 | 68.75 |
| 30 | 0.80 | 0.25 | 68.75 |
| 45 | 0.80 | 0.27 | 66.25 |
| 60 | 0.80 | 0.27 | 66.25 |
| 90 | 0.80 | 0.29 | 63.75 |
| 120 | 0.80 | 0.28 | 65.00 |
| 180 | 0.80 | 0.26 | 67.50 |
| 240 | 0.80 | 0.28 | 65.00 |
| Average | | 0.27 | 66.25 |

ตารางที่ ข-1.8 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $L = 10 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.36 | 0.41 | 69.85 |
| 15 | 1.36 | 0.41 | 69.85 |
| 30 | 1.36 | 0.45 | 66.91 |
| 45 | 1.36 | 0.37 | 72.79 |
| 60 | 1.36 | 0.36 | 73.52 |
| 90 | 1.36 | 0.40 | 70.58 |
| 120 | 1.36 | 0.47 | 65.44 |
| 180 | 1.36 | 0.47 | 65.44 |
| 240 | 1.36 | 0.47 | 65.44 |
| Average | | 0.42 | 69.11 |

ตารางที่ ข-1.9 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $G = 0.02 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.36 | 0.25 | 81.61 |
| 15 | 1.36 | 0.25 | 81.61 |
| 30 | 1.36 | 0.25 | 81.61 |
| 45 | 1.36 | 0.21 | 84.55 |
| 60 | 1.36 | 0.18 | 86.76 |
| 90 | 1.36 | 0.24 | 82.35 |
| 120 | 1.36 | 0.23 | 83.08 |
| 180 | 1.36 | 0.20 | 85.29 |
| 240 | 1.36 | 0.21 | 84.55 |
| Average | | 0.22 | 83.82 |

ตารางที่ ข-1.10 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $G = 0.04 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 0.92 | 0.17 | 81.52 |
| 15 | 0.92 | 0.17 | 81.52 |
| 30 | 0.92 | 0.19 | 79.34 |
| 45 | 0.92 | 0.12 | 86.95 |
| 60 | 0.92 | 0.15 | 83.69 |
| 90 | 0.92 | 0.19 | 79.34 |
| 120 | 0.92 | 0.16 | 82.60 |
| 180 | 0.92 | 0.17 | 81.52 |
| 240 | 0.92 | 0.19 | 79.34 |
| Average | | 0.17 | 81.52 |

ตารางที่ ข-1.11 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $G = 0.07 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 0.92 | 0.28 | 69.56 |
| 15 | 0.92 | 0.28 | 69.56 |
| 30 | 0.92 | 0.29 | 68.47 |
| 45 | 0.92 | 0.26 | 71.73 |
| 60 | 0.92 | 0.27 | 70.65 |
| 90 | 0.92 | 0.26 | 71.73 |
| 120 | 0.92 | 0.29 | 68.47 |
| 180 | 0.92 | 0.29 | 68.47 |
| 240 | 0.92 | 0.28 | 69.56 |
| Average | | 0.28 | 69.56 |

ตารางที่ ข-1.12 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $G = 0.09 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.31 | 0.42 | 67.93 |
| 15 | 1.31 | 0.42 | 67.93 |
| 30 | 1.31 | 0.42 | 67.93 |
| 45 | 1.31 | 0.42 | 67.93 |
| 60 | 1.31 | 0.42 | 67.93 |
| 90 | 1.31 | 0.42 | 67.93 |
| 120 | 1.31 | 0.42 | 67.93 |
| 180 | 1.31 | 0.42 | 67.93 |
| 240 | 1.31 | 0.42 | 67.93 |
| Average | | 0.42 | 67.93 |

ข-1.1 ศึกษาพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึม

ตารางที่ ข-1.13 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 0.2 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|---------------------------|---|--|---|
| 0 | 1.89 | 0.79 | 58.20 |
| 15 | 1.89 | 0.79 | 58.20 |
| 30 | 1.89 | 0.76 | 59.78 |
| 45 | 1.89 | 0.73 | 61.37 |
| 60 | 1.89 | 0.73 | 61.37 |
| 90 | 1.89 | 0.80 | 57.67 |
| 120 | 1.89 | 0.82 | 56.61 |
| 180 | 1.89 | 0.82 | 56.61 |
| 240 | 1.89 | 0.80 | 57.67 |
| Average | | 0.78 | 58.73 |

ตารางที่ ข-1.14 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 0.4 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.85 | 0.65 | 64.86 |
| 15 | 1.85 | 0.65 | 64.86 |
| 30 | 1.85 | 0.68 | 63.24 |
| 45 | 1.85 | 0.72 | 61.08 |
| 60 | 1.85 | 0.62 | 66.48 |
| 90 | 1.85 | 0.75 | 59.45 |
| 120 | 1.85 | 0.80 | 56.75 |
| 180 | 1.85 | 0.81 | 56.21 |
| 240 | 1.85 | 0.78 | 57.83 |
| Average | | 0.72 | 61.08 |

ตารางที่ ข-1.15 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 0.5 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.92 | 0.68 | 64.58 |
| 15 | 1.92 | 0.68 | 64.58 |
| 30 | 1.92 | 0.71 | 63.02 |
| 45 | 1.92 | 0.71 | 63.02 |
| 60 | 1.92 | 0.60 | 68.75 |
| 90 | 1.92 | 0.60 | 68.75 |
| 120 | 1.92 | 0.68 | 64.58 |
| 180 | 1.92 | 0.65 | 66.14 |
| 240 | 1.92 | 0.63 | 67.18 |
| Average | | 0.66 | 65.62 |

ตารางที่ ข-1.16 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.81 | 0.37 | 79.55 |
| 15 | 1.81 | 0.37 | 79.55 |
| 30 | 1.81 | 0.32 | 82.32 |
| 45 | 1.81 | 0.28 | 84.53 |
| 60 | 1.81 | 0.27 | 85.08 |
| 90 | 1.81 | 0.28 | 84.53 |
| 120 | 1.81 | 0.31 | 82.87 |
| 180 | 1.81 | 0.33 | 81.76 |
| 240 | 1.81 | 0.29 | 83.97 |
| Average | | 0.31 | 82.87 |

ตารางที่ ข-1.17 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 1.0 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.02 | 0.16 | 84.31 |
| 15 | 1.02 | 0.16 | 84.31 |
| 30 | 1.02 | 0.17 | 83.33 |
| 45 | 1.02 | 0.16 | 84.31 |
| 60 | 1.02 | 0.16 | 84.31 |
| 90 | 1.02 | 0.18 | 82.35 |
| 120 | 1.02 | 0.19 | 81.37 |
| 180 | 1.02 | 0.17 | 83.33 |
| 240 | 1.02 | 0.16 | 84.31 |
| Average | | 0.17 | 83.33 |

ตารางที่ ข-1.18 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 1.4 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.64 | 0.26 | 84.14 |
| 15 | 1.64 | 0.26 | 84.14 |
| 30 | 1.64 | 0.26 | 84.14 |
| 45 | 1.64 | 0.23 | 85.97 |
| 60 | 1.64 | 0.23 | 85.97 |
| 90 | 1.64 | 0.22 | 86.58 |
| 120 | 1.64 | 0.26 | 84.14 |
| 180 | 1.64 | 0.27 | 83.53 |
| 240 | 1.64 | 0.23 | 85.97 |
| Average | | 0.25 | 84.75 |

ตารางที่ ข-1.19 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $C_{\text{NaOH}} = 2.0 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.64 | 0.21 | 87.19 |
| 15 | 1.64 | 0.21 | 87.19 |
| 30 | 1.64 | 0.20 | 87.80 |
| 45 | 1.64 | 0.21 | 87.19 |
| 60 | 1.64 | 0.21 | 87.19 |
| 90 | 1.64 | 0.21 | 87.19 |
| 120 | 1.64 | 0.19 | 88.41 |
| 180 | 1.64 | 0.21 | 87.19 |
| 240 | 1.64 | 0.21 | 87.19 |
| Average | | 0.21 | 87.19 |

ตารางที่ ข-1.20 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $L = 3 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.38 | 0.14 | 89.85 |
| 15 | 1.38 | 0.14 | 89.85 |
| 30 | 1.38 | 0.14 | 89.85 |
| 45 | 1.38 | 0.16 | 88.40 |
| 60 | 1.38 | 0.15 | 89.13 |
| 90 | 1.38 | 0.20 | 85.50 |
| 120 | 1.38 | 0.18 | 86.95 |
| 180 | 1.38 | 0.19 | 86.23 |
| 240 | 1.38 | 0.19 | 86.23 |
| Average | | 0.17 | 87.68 |

ตารางที่ ข-1.21 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $L = 5 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.28 | 0.13 | 89.84 |
| 15 | 1.28 | 0.13 | 89.84 |
| 30 | 1.28 | 0.14 | 89.06 |
| 45 | 1.28 | 0.14 | 89.06 |
| 60 | 1.28 | 0.14 | 89.06 |
| 90 | 1.28 | 0.13 | 89.84 |
| 120 | 1.28 | 0.12 | 90.62 |
| 180 | 1.28 | 0.12 | 90.62 |
| 240 | 1.28 | 0.13 | 89.84 |
| Average | | 0.13 | 89.84 |

ตารางที่ ข-1.22 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับ เวลาที่ $L = 8 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.59 | 0.18 | 88.67 |
| 15 | 1.59 | 0.18 | 88.67 |
| 30 | 1.59 | 0.17 | 89.30 |
| 45 | 1.59 | 0.14 | 91.19 |
| 60 | 1.59 | 0.14 | 91.19 |
| 90 | 1.59 | 0.15 | 90.56 |
| 120 | 1.59 | 0.15 | 90.56 |
| 180 | 1.59 | 0.15 | 90.56 |
| 240 | 1.59 | 0.15 | 90.56 |
| Average | | 0.15 | 90.56 |

ตารางที่ ข-1.23 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับ เวลาที่ $L = 10 \text{ l/min}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.64 | 0.17 | 89.63 |
| 15 | 1.64 | 0.17 | 89.63 |
| 30 | 1.64 | 0.14 | 91.46 |
| 45 | 1.64 | 0.12 | 92.68 |
| 60 | 1.64 | 0.13 | 92.07 |
| 90 | 1.64 | 0.13 | 92.07 |
| 120 | 1.64 | 0.12 | 92.68 |
| 180 | 1.64 | 0.12 | 92.68 |
| 240 | 1.64 | 0.15 | 90.85 |
| Average | | 0.14 | 91.46 |

ตารางที่ ข-1.24 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับ เวลาที่ $G = 0.02 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.07 | 0.02 | 98.13 |
| 15 | 1.07 | 0.02 | 98.13 |
| 30 | 1.07 | 0.04 | 96.26 |
| 45 | 1.07 | 0.04 | 96.26 |
| 60 | 1.07 | 0.04 | 96.26 |
| 90 | 1.07 | 0.04 | 96.26 |
| 120 | 1.07 | 0.05 | 95.32 |
| 180 | 1.07 | 0.04 | 96.26 |
| 240 | 1.07 | 0.04 | 96.26 |
| Average | | 0.04 | 96.26 |

ตารางที่ ข-1.25 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับ เวลาที่ $G = 0.04 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.39 | 0.14 | 89.92 |
| 15 | 1.39 | 0.14 | 89.92 |
| 30 | 1.39 | 0.10 | 92.80 |
| 45 | 1.39 | 0.12 | 91.36 |
| 60 | 1.39 | 0.10 | 92.80 |
| 90 | 1.39 | 0.10 | 92.80 |
| 120 | 1.39 | 0.15 | 89.20 |
| 180 | 1.39 | 0.14 | 89.92 |
| 240 | 1.39 | 0.14 | 89.92 |
| Average | | 0.12 | 91.36 |

ตารางที่ ข-1.26 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับ
เวลาที่ $G = 0.07 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.48 | 0.22 | 85.13 |
| 15 | 1.48 | 0.22 | 85.13 |
| 30 | 1.48 | 0.25 | 83.10 |
| 45 | 1.48 | 0.16 | 89.18 |
| 60 | 1.48 | 0.16 | 89.18 |
| 90 | 1.48 | 0.17 | 88.51 |
| 120 | 1.48 | 0.16 | 89.18 |
| 180 | 1.48 | 0.16 | 89.18 |
| 240 | 1.48 | 0.16 | 89.18 |
| Average | | 0.18 | 87.83 |

ตารางที่ ข-1.27 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
กับเวลาที่ $G = 0.09 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.64 | 0.20 | 87.80 |
| 15 | 1.64 | 0.20 | 87.80 |
| 30 | 1.64 | 0.28 | 82.92 |
| 45 | 1.64 | 0.24 | 85.36 |
| 60 | 1.64 | 0.26 | 84.14 |
| 90 | 1.64 | 0.26 | 84.14 |
| 120 | 1.64 | 0.31 | 81.09 |
| 180 | 1.64 | 0.29 | 82.31 |
| 240 | 1.64 | 0.28 | 82.92 |
| Average | | 0.26 | 84.14 |

ตารางที่ ข-1.28 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลา ที่ $L = 0.6$ l/min, $G = 0.02$ m³/min, L/G ratio = 30 l/m³ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7$ mol/l

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.55 | 0.58 | 62.58 |
| 15 | 1.55 | 0.58 | 62.58 |
| 30 | 1.55 | 0.61 | 60.64 |
| 45 | 1.55 | 0.59 | 61.93 |
| 60 | 1.55 | 0.59 | 61.93 |
| 90 | 1.55 | 0.58 | 62.58 |
| 120 | 1.55 | 0.63 | 59.35 |
| 180 | 1.55 | 0.63 | 59.35 |
| 240 | 1.55 | 0.64 | 58.70 |
| Average | | 0.61 | 60.64 |

ตารางที่ ข-1.29 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลา ที่ $L = 1.5$ l/min, $G = 0.05$ m³/min, L/G ratio = 30 l/m³ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7$ mol/l

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.62 | 0.58 | 64.19 |
| 15 | 1.62 | 0.58 | 64.19 |
| 30 | 1.62 | 0.59 | 63.58 |
| 45 | 1.62 | 0.59 | 63.58 |
| 60 | 1.62 | 0.53 | 67.28 |
| 90 | 1.62 | 0.54 | 66.66 |
| 120 | 1.62 | 0.51 | 68.51 |
| 180 | 1.62 | 0.63 | 61.11 |
| 240 | 1.62 | 0.60 | 62.96 |
| Average | | 0.57 | 64.81 |

ตารางที่ ข-1.30 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับ เวลาที่ $L = 2.1$ l/min, $G = 0.07$ m³/min, L/G ratio = 30 l/m³ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7$ mol/l

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.81 | 0.41 | 77.34 |
| 15 | 1.81 | 0.41 | 77.34 |
| 30 | 1.81 | 0.45 | 75.13 |
| 45 | 1.81 | 0.43 | 76.24 |
| 60 | 1.81 | 0.43 | 76.24 |
| 90 | 1.81 | 0.43 | 76.24 |
| 120 | 1.81 | 0.44 | 75.69 |
| 180 | 1.81 | 0.43 | 76.24 |
| 240 | 1.81 | 0.45 | 75.13 |
| Average | | 0.43 | 76.24 |

ตารางที่ ข-1.31 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%) กับเวลาที่ $L = 2.7$ l/min, $G = 0.09$ m³/min, L/G ratio = 30 l/m³ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7$ mol/l

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.72 | 0.37 | 78.48 |
| 15 | 1.72 | 0.37 | 78.48 |
| 30 | 1.72 | 0.37 | 78.48 |
| 45 | 1.72 | 0.38 | 77.90 |
| 60 | 1.72 | 0.37 | 78.48 |
| 90 | 1.72 | 0.37 | 78.48 |
| 120 | 1.72 | 0.34 | 80.23 |
| 180 | 1.72 | 0.34 | 80.23 |
| 240 | 1.72 | 0.34 | 80.23 |
| Average | | 0.36 | 79.06 |

ตารางที่ ข-1.32 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลา ที่ $L = 4 \text{ l/min}$, $G = 0.13 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.53 | 0.18 | 88.23 |
| 15 | 1.53 | 0.18 | 88.23 |
| 30 | 1.53 | 0.16 | 89.54 |
| 45 | 1.53 | 0.18 | 88.23 |
| 60 | 1.53 | 0.18 | 88.23 |
| 90 | 1.53 | 0.18 | 88.23 |
| 120 | 1.53 | 0.18 | 88.29 |
| 180 | 1.53 | 0.21 | 86.27 |
| 240 | 1.53 | 0.21 | 86.27 |
| Average | | 0.18 | 88.23 |

ตารางที่ ข-1.33 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลา ที่ $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.25 | 0.14 | 88.80 |
| 15 | 1.25 | 0.14 | 88.80 |
| 30 | 1.25 | 0.14 | 88.80 |
| 45 | 1.25 | 0.14 | 88.80 |
| 60 | 1.25 | 0.14 | 88.80 |
| 90 | 1.25 | 0.14 | 88.80 |
| 120 | 1.25 | 0.14 | 88.80 |
| 180 | 1.25 | 0.14 | 88.80 |
| 240 | 1.25 | 0.14 | 88.80 |
| Average | | 0.14 | 88.80 |

ตารางที่ ข-1.34 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $L = 5 \text{ l/min}$, $G = 0.166 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.81 | 0.26 | 85.63 |
| 15 | 1.81 | 0.26 | 85.63 |
| 30 | 1.81 | 0.26 | 85.63 |
| 45 | 1.81 | 0.21 | 88.39 |
| 60 | 1.81 | 0.26 | 85.63 |
| 90 | 1.81 | 0.26 | 85.63 |
| 120 | 1.81 | 0.27 | 85.08 |
| 180 | 1.81 | 0.27 | 85.08 |
| 240 | 1.81 | 0.27 | 85.08 |
| Average | | 0.26 | 85.63 |

ตารางที่ ข-1.35 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $L = 5.5 \text{ l/min}$, $G = 0.18 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.81 | 0.29 | 83.97 |
| 15 | 1.81 | 0.29 | 83.97 |
| 30 | 1.81 | 0.29 | 83.97 |
| 45 | 1.81 | 0.29 | 83.97 |
| 60 | 1.81 | 0.31 | 82.87 |
| 90 | 1.81 | 0.30 | 83.42 |
| 120 | 1.81 | 0.31 | 82.87 |
| 180 | 1.81 | 0.32 | 82.32 |
| 240 | 1.81 | 0.32 | 82.32 |
| Average | | 0.30 | 83.42 |

ตารางที่ ข-1.36 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.7 | 0.17 | 90.00 |
| 15 | 1.7 | 0.17 | 90.00 |
| 30 | 1.7 | 0.17 | 90.00 |
| 45 | 1.7 | 0.16 | 90.58 |
| 60 | 1.7 | 0.16 | 90.58 |
| 90 | 1.7 | 0.17 | 90.00 |
| 120 | 1.7 | 0.20 | 88.23 |
| 180 | 1.7 | 0.27 | 84.11 |
| 240 | 1.7 | 0.31 | 81.76 |
| Average | | 0.20 | 88.23 |

ตารางที่ ข-1.37 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 0 | 1.65 | 0.64 | 61.21 |
| 15 | 1.65 | 0.64 | 61.21 |
| 30 | 1.65 | 0.63 | 61.81 |
| 45 | 1.65 | 0.63 | 61.81 |
| 60 | 1.65 | 0.59 | 64.24 |
| 90 | 1.65 | 0.61 | 63.03 |
| 120 | 1.65 | 0.58 | 64.84 |
| 180 | 1.65 | 0.71 | 56.96 |
| 240 | 1.65 | 0.71 | 56.96 |
| Average | | 0.63 | 61.81 |

ข-1.2 ศึกษาพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่เหมาะสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติก โดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลอามีนเป็นสารดูดซึม

ตารางที่ **ข-1.38** ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 4.5 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|---------------------------|---|--|---|
| 0 | 1.65 | 0.64 | 61.21 |
| 15 | 1.65 | 0.64 | 61.21 |
| 30 | 1.65 | 0.63 | 61.81 |
| 45 | 1.65 | 0.63 | 61.81 |
| 60 | 1.65 | 0.59 | 64.24 |
| 90 | 1.65 | 0.61 | 63.03 |
| 120 | 1.65 | 0.58 | 64.84 |
| 180 | 1.65 | 0.71 | 56.96 |
| 240 | 1.65 | 0.71 | 56.96 |
| Average | | 0.64 | 61.21 |

ข-1.3 ศึกษาพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่เหมาะสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติก โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึม

ตารางที่ ข-1.39 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 4.5 \text{ l/min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.70 | 0.17 | 90.00 |
| 15 | 1.70 | 0.17 | 90.00 |
| 30 | 1.70 | 0.17 | 90.00 |
| 45 | 1.70 | 0.16 | 90.58 |
| 60 | 1.70 | 0.16 | 90.58 |
| 90 | 1.70 | 0.17 | 90.00 |
| 120 | 1.70 | 0.21 | 87.64 |
| 180 | 1.70 | 0.27 | 84.11 |
| 240 | 1.70 | 0.31 | 81.76 |
| Average | | 0.20 | 88.23 |

ข-1.4 ศึกษาพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่เหมาะสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติก
โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม

ตารางที่ ข-1.40 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 10 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 0 | 1.61 | 1.21 | 24.84 |
| 15 | 1.61 | 1.21 | 24.84 |
| 30 | 1.61 | 1.24 | 22.91 |
| 45 | 1.61 | 1.22 | 24.22 |
| 60 | 1.61 | 1.17 | 27.32 |
| 90 | 1.61 | 1.18 | 26.70 |
| 120 | 1.61 | 1.25 | 22.36 |
| 180 | 1.61 | 1.26 | 21.73 |
| 240 | 1.61 | 1.26 | 21.73 |
| Average | | 1.22 | 24.22 |

ข-1.5 ศึกษาพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติกโดยใช้น้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึมในหอดูดซึมแบบเปียก

ตารางที่ ข-1.41 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 60 | 0.60 | 0.40 | 33.00 |
| 120 | 0.60 | 0.42 | 30.00 |
| 180 | 0.60 | 0.44 | 27.00 |
| Average | | 0.42 | 30.00 |

ตารางที่ ข-1.42 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ ที่ปริมาณการเติม NaOH 1 kg/hr

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 60 | 1.34 | 0.87 | 35.07 |
| 120 | 1.34 | 0.87 | 35.07 |
| 180 | 1.34 | 0.87 | 35.07 |
| Average | | 0.87 | 35.07 |

ตารางที่ ข-1.43 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)

กับเวลาที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ ที่ปริมาณการเติม NaOH 2 kg/hr

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|----------------|---------------------------------------|--|---|
| 60 | 0.80 | 0.20 | 75.00 |
| 120 | 0.80 | 0.20 | 75.00 |
| 180 | 0.80 | 0.20 | 75.00 |
| Average | | 0.20 | 75.00 |

ตารางที่ ข-1.44 ข้อมูลความเข้มข้นของ CH_3COOH และ CH_3COOH removal efficiency (%)
 กับเวลาที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ ที่ปริมาณการเติม NaOH 3 kg/hr

| Time (minutes) | CH_3COOH inlet (mg/l) | CH_3COOH outlet (mg/l) | CH_3COOH removal efficiency (%) |
|-------------------|--|---|--|
| 60 | 1.56 | 0.35 | 77.00 |
| 120 | 1.56 | 0.35 | 77.00 |
| 180 | 1.56 | 0.35 | 77.00 |
| Average | | 0.35 | 77.00 |

ตารางที่ ข-1.45 ข้อมูล pH ของน้ำกับเวลาที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | pH |
|-------------------|------|
| 0 | 7.58 |
| 60 | 7.67 |
| 120 | 7.70 |
| 180 | 7.74 |

ตารางที่ ข-1.46 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$
 ที่ปริมาณการเติม NaOH 1 kg/hr

| Time (minutes) | NaOH concentration (mol/l) |
|-------------------|-------------------------------------|
| 0 | 0.72 |
| 60 | 0.16 |
| 120 | 0.08 |
| 180 | 0.08 |

ตารางที่ ข-1.47 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ ที่ปริมาณการเติม NaOH 2 kg/hr

| Time (minutes) | NaOH concentration (mol/l) |
|-------------------|----------------------------|
| 0 | 0.72 |
| 60 | 0.19 |
| 120 | 0.17 |
| 180 | 0.16 |

ตารางที่ ข-1.48 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ $G = 6390 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 66 \text{ l/min}$ ที่ปริมาณการเติม NaOH 3 kg/hr

| Time (minutes) | NaOH concentration (mol/l) |
|-------------------|----------------------------|
| 0 | 0.72 |
| 60 | 0.20 |
| 120 | 0.19 |
| 180 | 0.19 |

ตารางที่ ข-1.49 ข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบำบัดกรดอะซิติก จากก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยางในหอดูดซึมแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรม

| Time (minutes) | NaOH concentration (mol/l) |
|---------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 0.70 |
| 15 | 0.33 |
| 30 | 0.23 |
| 45 | 0.17 |
| 60 | 0.15 |
| 90 | 0.12 |
| 120 | 0.09 |
| 180 | 0.04 |
| 210 | 0.03 |
| 240 | 0.01 |
| 270 | 0.003 |
| 300 | 0.00 |

ข-1.6 ข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบำบัดกรดอะซิติกจากก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยางในคอลัมน์บรรจุ

ตารางที่ **ข-1.50** ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 0.2 mol/l

$G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l}/\text{min}$

| Time (minutes) | NaOH concentration (mol/l) |
|-------------------|----------------------------|
| 0 | 0.17 |
| 15 | 0.17 |
| 30 | 0.17 |
| 45 | 0.17 |
| 60 | 0.15 |
| 90 | 0.15 |
| 120 | 0.14 |
| 180 | 0.14 |
| 240 | 0.14 |

ตารางที่ **ข-1.51** ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 0.4 mol/l

$G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l}/\text{min}$

| Time (minutes) | NaOH concentration (mol/l) |
|-------------------|----------------------------|
| 0 | 0.40 |
| 15 | 0.40 |
| 30 | 0.40 |
| 45 | 0.40 |
| 60 | 0.38 |
| 90 | 0.38 |
| 120 | 0.37 |
| 180 | 0.36 |
| 240 | 0.36 |

ตารางที่ ข-1.52 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 0.5 mol/l

$G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l}/\text{min}$

| Time (minutes) | NaOH concentration (mol/l) |
|-------------------|----------------------------|
| 0 | 0.50 |
| 15 | 0.50 |
| 30 | 0.50 |
| 45 | 0.50 |
| 60 | 0.49 |
| 90 | 0.49 |
| 120 | 0.48 |
| 180 | 0.47 |
| 240 | 0.47 |

ตารางที่ ข-1.53 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 0.7 mol/l

$G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l}/\text{min}$

| Time (minutes) | NaOH concentration (mol/l) |
|-------------------|----------------------------|
| 0 | 0.72 |
| 15 | 0.72 |
| 30 | 0.72 |
| 45 | 0.72 |
| 60 | 0.72 |
| 90 | 0.72 |
| 120 | 0.69 |
| 180 | 0.68 |
| 240 | 0.68 |

ตารางที่ ข-1.54 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 1 mol/l

$G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l}/\text{min}$

| Time (minutes) | NaOH concentration (mol/l) |
|-------------------|----------------------------|
| 0 | 1.07 |
| 15 | 1.07 |
| 30 | 1.07 |
| 45 | 1.07 |
| 60 | 1.05 |
| 90 | 1.05 |
| 120 | 1.05 |
| 180 | 1.00 |
| 240 | 1.02 |

ตารางที่ ข-1.55 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 1.4 mol/l

$G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l}/\text{min}$

| Time (minutes) | NaOH concentration (mol/l) |
|-------------------|----------------------------|
| 0 | 1.40 |
| 15 | 1.40 |
| 30 | 1.40 |
| 45 | 1.40 |
| 60 | 1.40 |
| 90 | 1.40 |
| 120 | 1.40 |
| 180 | 1.40 |
| 240 | 1.40 |

ตารางที่ ข-1.56 ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 2 mol/l
G = 0.1 m³/min และ L = 9 l/min

| Time (minutes) | NaOH concentration (mol/l) |
|---------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 1.98 |
| 15 | 1.98 |
| 30 | 1.97 |
| 45 | 1.97 |
| 60 | 1.96 |
| 90 | 1.95 |
| 120 | 1.95 |
| 180 | 1.93 |
| 240 | 1.93 |

ข-1.7 ข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในการบำบัดกรดอะซิติกจากก๊าซเสีย
ที่ปล่อยจากเตาอบยางในคอลัมน์บรรจุ

ตารางที่ ข-1.57 ข้อมูลความเข้มข้นของ MEA กับเวลาที่ MEA เริ่มต้น 0.2 mol/l

$G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l}/\text{min}$

| Time (minutes) | MEA concentration (mol/l) |
|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0.20 |
| 15 | 0.20 |
| 30 | 0.19 |
| 45 | 0.19 |
| 60 | 0.18 |
| 90 | 0.18 |
| 120 | 0.18 |
| 180 | 0.17 |
| 240 | 0.17 |

ตารางที่ ข-1.58 ข้อมูลความเข้มข้นของ MEA กับเวลาที่ MEA เริ่มต้น 0.4 mol/l

$G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l}/\text{min}$

| Time (minutes) | MEA concentration (mol/l) |
|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0.40 |
| 15 | 0.40 |
| 30 | 0.40 |
| 45 | 0.39 |
| 60 | 0.38 |
| 90 | 0.37 |
| 120 | 0.36 |
| 180 | 0.36 |
| 240 | 0.35 |

ตารางที่ ข-1.59 ข้อมูลความเข้มข้นของ MEA กับเวลาที่ MEA เริ่มต้น 0.5 mol/l

$G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l}/\text{min}$

| Time (minutes) | MEA concentration (mol/l) |
|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0.50 |
| 15 | 0.50 |
| 30 | 0.50 |
| 45 | 0.50 |
| 60 | 0.49 |
| 90 | 0.49 |
| 120 | 0.48 |
| 180 | 0.47 |
| 240 | 0.45 |

ตารางที่ ข-1.60 ข้อมูลความเข้มข้นของ MEA กับเวลาที่ MEA เริ่มต้น 0.7 mol/l

$G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l}/\text{min}$

| Time (minutes) | MEA concentration (mol/l) |
|-------------------|---------------------------|
| 0 | 0.70 |
| 15 | 0.70 |
| 30 | 0.70 |
| 45 | 0.70 |
| 60 | 0.70 |
| 90 | 0.70 |
| 120 | 0.69 |
| 180 | 0.67 |
| 240 | 0.66 |

ข-1.8 ข้อมูลความเข้มข้นของสารดูดซึ่มในการบำบัดกรดอะซิติกจากก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยาง
ในคอลัมน์บรรจุในสภาวะที่เหมาะสม

ตารางที่ **ข-1.61** ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH กับเวลาที่ NaOH เริ่มต้น 0.7 mol/l

$G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 4.5 \text{ l/min}$ และ $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$

| Time (minutes) | NaOH concentration (mol/l) |
|---------------------------|-----------------------------------|
| 0 | 0.77 |
| 15 | 0.77 |
| 30 | 0.77 |
| 45 | 0.77 |
| 60 | 0.77 |
| 90 | 0.77 |
| 120 | 0.76 |
| 180 | 0.76 |
| 240 | 0.75 |

ตารางที่ **ข-1.62** ข้อมูลความเข้มข้นของ MEA กับเวลาที่ MEA เริ่มต้น 0.7 mol/l

$G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 4.5 \text{ l/min}$ และ $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$

| Time (minutes) | MEA concentration (mol/l) |
|---------------------------|----------------------------------|
| 0 | 0.70 |
| 15 | 0.70 |
| 30 | 0.70 |
| 45 | 0.70 |
| 60 | 0.70 |
| 90 | 0.70 |
| 120 | 0.70 |
| 180 | 0.64 |
| 240 | 0.63 |

ตารางที่ ข-1.63 ข้อมูล pH ของน้ำกับเวลา

| Time (minutes) | pH |
|---------------------------|-----------|
| 0 | 8.02 |
| 15 | 8.02 |
| 30 | 8.02 |
| 45 | 8.02 |
| 60 | 8.20 |
| 90 | 8.20 |
| 120 | 8.30 |
| 180 | 8.37 |
| 240 | 8.40 |

ข-2 ศึกษาพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลามีนเป็นสารดูดซึม

ตารางที่ ข-2.1 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO₂ และ CO₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่

$C_{\text{MEA}} = 0.2 \text{ mol/l}$ และ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CO ₂ inlet (ppm) | CO ₂ outlet (ppm) | CO ₂ removal efficiency (%) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 0 | 800 | 700 | 12.50 |
| 15 | 800 | 700 | 12.50 |
| 30 | 800 | 710 | 11.25 |
| 45 | 800 | 700 | 12.50 |
| 60 | 800 | 700 | 12.50 |
| 90 | 800 | 710 | 11.25 |
| 120 | 800 | 700 | 12.50 |
| 180 | 800 | 710 | 11.25 |
| 240 | 800 | 700 | 12.50 |
| Average | | 704 | 12.00 |

ตารางที่ ข-2.2 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO₂ และ CO₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่

$C_{\text{MEA}} = 0.4 \text{ mol/l}$ และ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CO ₂ inlet (ppm) | CO ₂ outlet (ppm) | CO ₂ removal efficiency (%) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 0 | 800 | 700 | 12.50 |
| 15 | 800 | 700 | 12.50 |
| 30 | 800 | 710 | 11.25 |
| 45 | 800 | 700 | 12.50 |
| 60 | 800 | 700 | 12.50 |
| 90 | 800 | 700 | 12.50 |
| 120 | 800 | 710 | 11.25 |
| 180 | 800 | 700 | 12.50 |
| 240 | 800 | 700 | 12.50 |
| Average | | 702 | 12.25 |

ตารางที่ ข-2.3 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO₂ และ CO₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่

$C_{\text{MEA}} = 0.5 \text{ mol/l}$ และ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CO ₂ inlet (ppm) | CO ₂ outlet (ppm) | CO ₂ removal efficiency (%) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 0 | 800 | 490 | 38.75 |
| 15 | 800 | 490 | 38.75 |
| 30 | 800 | 450 | 43.75 |
| 45 | 800 | 460 | 42.50 |
| 60 | 800 | 350 | 56.25 |
| 90 | 800 | 340 | 57.50 |
| 120 | 800 | 350 | 56.25 |
| 180 | 800 | 360 | 55.00 |
| 240 | 800 | 450 | 43.75 |
| Average | | 416 | 48.00 |

ตารางที่ ข-2.4 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO₂ และ CO₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่

$C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$ และ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CO ₂ inlet (ppm) | CO ₂ outlet (ppm) | CO ₂ removal efficiency (%) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 0 | 800 | 360 | 55.00 |
| 15 | 800 | 360 | 55.00 |
| 30 | 800 | 340 | 57.50 |
| 45 | 800 | 330 | 58.75 |
| 60 | 800 | 330 | 58.75 |
| 90 | 800 | 370 | 53.75 |
| 120 | 800 | 368 | 54.00 |
| 180 | 800 | 383 | 52.12 |
| 240 | 800 | 420 | 47.50 |
| Average | | 363 | 54.62 |

ข-2.1 ศึกษาพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึม

ตารางที่ ข-2.5 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO₂ และ CO₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่

$C_{\text{NaOH}} = 0.2 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CO ₂ inlet (ppm) | CO ₂ outlet (ppm) | CO ₂ removal efficiency (%) |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|--|
| 0 | 800 | 790 | 1.25 |
| 15 | 800 | 790 | 1.25 |
| 30 | 800 | 750 | 6.25 |
| 45 | 800 | 760 | 5.00 |
| 60 | 800 | 750 | 6.25 |
| 90 | 800 | 740 | 7.50 |
| 120 | 800 | 750 | 6.25 |
| 180 | 800 | 760 | 5.00 |
| 240 | 800 | 750 | 6.25 |
| Average | | 760 | 5.00 |

ตารางที่ ข-2.6 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO₂ และ CO₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่

$C_{\text{NaOH}} = 0.4 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CO ₂ inlet (ppm) | CO ₂ outlet (ppm) | CO ₂ removal efficiency (%) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 0 | 800 | 740 | 7.50 |
| 15 | 800 | 740 | 7.50 |
| 30 | 800 | 740 | 7.50 |
| 45 | 800 | 740 | 7.50 |
| 60 | 800 | 750 | 6.25 |
| 90 | 800 | 740 | 7.50 |
| 120 | 800 | 750 | 6.25 |
| 180 | 800 | 740 | 7.50 |
| 240 | 800 | 750 | 6.25 |
| Average | | 744 | 7.00 |

ตารางที่ ข-2.7 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO₂ และ CO₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่

$C_{\text{NaOH}} = 0.5 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CO ₂ inlet (ppm) | CO ₂ outlet (ppm) | CO ₂ removal efficiency (%) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 0 | 800 | 690 | 13.75 |
| 15 | 800 | 690 | 13.75 |
| 30 | 800 | 690 | 13.75 |
| 45 | 800 | 670 | 16.25 |
| 60 | 800 | 670 | 16.25 |
| 90 | 800 | 650 | 18.75 |
| 120 | 800 | 660 | 17.50 |
| 180 | 800 | 660 | 17.50 |
| 240 | 800 | 660 | 17.50 |
| Average | | 670 | 16.25 |

ตารางที่ ข-2.8 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO₂ และ CO₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่

$C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$, $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $L = 9 \text{ l/min}$

| Time (minutes) | CO ₂ inlet (ppm) | CO ₂ outlet (ppm) | CO ₂ removal efficiency (%) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 0 | 800 | 590 | 26.25 |
| 15 | 800 | 590 | 26.25 |
| 30 | 800 | 550 | 31.25 |
| 45 | 800 | 510 | 36.25 |
| 60 | 800 | 500 | 37.50 |
| 90 | 800 | 510 | 36.25 |
| 120 | 800 | 510 | 36.25 |
| 180 | 800 | 520 | 35.00 |
| 240 | 800 | 520 | 35.00 |
| Average | | 533 | 33.37 |

ข-2.2 ศึกษาพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่เหมาะสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับ

ตารางที่ ข-2.9 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO₂ และ CO₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่

$L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CO ₂ inlet (ppm) | CO ₂ outlet (ppm) | CO ₂ removal efficiency (%) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 0 | 800 | 321 | 59.87 |
| 15 | 800 | 321 | 59.87 |
| 30 | 800 | 320 | 60.00 |
| 45 | 800 | 310 | 61.25 |
| 60 | 800 | 320 | 60.00 |
| 90 | 800 | 320 | 60.00 |
| 120 | 800 | 340 | 57.50 |
| 180 | 800 | 344 | 57.00 |
| 240 | 800 | 350 | 56.25 |
| Average | | 328 | 59.00 |

ข-2.3 ศึกษาพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่เหมาะสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซึม

ตารางที่ ข-2.10 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO₂ และ CO₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่

$L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$ และ $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$

| Time (minutes) | CO ₂ inlet (ppm) | CO ₂ outlet (ppm) | CO ₂ removal efficiency (%) |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 0 | 800 | 210 | 73.75 |
| 15 | 800 | 210 | 73.75 |
| 30 | 800 | 205 | 74.37 |
| 45 | 800 | 200 | 75.00 |
| 60 | 800 | 190 | 76.25 |
| 90 | 800 | 200 | 75.00 |
| 120 | 800 | 220 | 72.50 |
| 180 | 800 | 250 | 68.75 |
| 240 | 800 | 250 | 68.75 |
| Average | | 216 | 73.00 |

ข-2.4 ศึกษาพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่เหมาะสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติก และคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม

ตารางที่ ข-2.11 ข้อมูลความเข้มข้นของ CO₂ และ CO₂ removal efficiency (%) กับเวลาที่

L = 10 l/min, G = 0.1 m³/min โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม

| Time (minutes) | CO₂ inlet (ppm) | CO₂ outlet (ppm) | CO₂ removal efficiency (%) |
|---------------------------|---------------------------------------|--|--|
| 0 | 800 | 800 | 2.40 |
| 15 | 800 | 800 | 2.40 |
| 30 | 800 | 780 | 2.50 |
| 45 | 800 | 790 | 1.25 |
| 60 | 800 | 740 | 7.50 |
| 90 | 800 | 740 | 7.50 |
| 120 | 800 | 750 | 6.25 |
| 180 | 800 | 760 | 5.00 |
| 240 | 800 | 750 | 6.25 |
| Average | | 768 | 4.00 |

ภาคผนวก ค

การเตรียมสารเคมีและวิเคราะห์สารตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในน้ำ (จรรยา, 2546; วิศวกรรมสถาน, 2545; Dilallo and Albertson, 1961; APHA, 1992)

วิธีนี้เป็นวิธีของ Dilallo and Albertson (JWPCF, 1961) เป็นวิธีหยาบๆ ค่าที่ได้ไม่แม่นยำมากนัก ไม่ควรนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ที่ต้องการความละเอียด แต่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมระบบ เพื่อที่จะได้ทราบถึงการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. หาสภาพต่างทั้งหมดที่ $\text{pH} = 4$ โดยวิธีไทเทรตแบบโพเทนชิอเมตริก (potentiometric titration)

2. ต้มไล่กรดคาร์บอนิก

3. ไทเทรตกลับจากพีเอช 4 ไปเป็น 7 เพื่อหาสภาพต่างของกรดระเหยง่าย (volatile acid alkalinity) และสภาพต่างของเบส (base-alkalinity) แล้วจึงคำนวณหาค่าวีเอฟเอ (VFA) ต่อไป

สารแทรกสอด

ในการไทเทรต จะต้องไม่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมารบกวนมิฉะนั้นจะได้ค่าสูงกว่าความเป็นจริง ควรไทเทรตที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส

การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

ควรเก็บตัวอย่างน้ำไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไม่ต้องใส่สารเคมีเพื่อเก็บรักษา

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดพีเอช
2. เครื่องกวน และแท่งแม่เหล็ก

รีเอเจนต์

1. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลาร์
2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์

วิธีวิเคราะห์

1.หาสภาพด่างทั้งหมด

ตวงตัวอย่างน้ำที่ใสมา 50-200 ลบ.ซม.ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 300 ลบ.ซม. วัดพีเอชของตัวอย่างน้ำไทเทรตตัวอย่างน้ำจนถึงพีเอช 4 ด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลาร์ จดปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ สมมุติ = A ลบ.ซม.

2.ต้มไล่กรดคาร์บอนิก

ไทเทรตตัวอย่างน้ำต่อไปจนพีเอชถึง 3.3-3.5 ไม่ต้องจดค่าปริมาตรของกรดที่ใช้ หลังจากนั้นนำไปต้มจนเดือดประมาณ 2-3 นาที กรดคาร์บอนิกจะถูกไล่ออกไป

3.ไทเทรตกลับ

ปรับพีเอชให้เป็น 4.0 ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ จดปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการไทเทรตกลับ ตั้งแต่พีเอช 4 ถึง 7 ซึ่งจะเป็นสภาพด่างเนื่องจากกรดระเหยง่าย (volatile acid alkalinity) สมมุติปริมาณสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็น B ลบ.ซม.

การคำนวณ

$$\begin{aligned} & \text{สภาพด่างทั้งหมด, มก./ลบ.ดม. คิดในรูป CaCO}_3 \\ & = \frac{A \times \text{โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก} \times 50 \times 1,000}{\text{ลบ.ซม. ของตัวอย่างน้ำ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{สภาพด่างวีเอฟเอ (VFA alkalinity) , มก./ลบ.ดม. คิดในรูป CaCO}_3 \\ & = \frac{B \times \text{โมลาริตีของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์} \times 50 \times 1,000}{\text{ลบ.ซม. ของตัวอย่างน้ำ}} \end{aligned}$$

ก) กรณีที่ 1

ถ้าสภาพด่างวีเอฟเอน้อยกว่า 180 มก./ลบ.ดม.

วีเอฟเอ คิดในรูปกรดอะซิติก, มก./ลบ.ดม. = สภาพด่างวีเอฟเอ \times 1.0

ข) กรณีที่ 2

ถ้าสภาพด่างวีเอฟเอมากกว่า 180 มก./ลบ.ดม.

วีเอฟเอ คิดในรูปกรดอะซิติก, มก./ลบ.ดม. = สภาพด่างวีเอฟเอ \times 1.5

การไตเตรทแบบย้อนกลับ

การวิเคราะห์หาความเข้มข้นกรดอะซิติกโดยวิธีไตเตรทแบบย้อนกลับมีหลักการทั่วไปคือ

วิธีนี้เป็นวิธีการที่ประยุกต์ใช้โดยอาศัยพื้นฐานเรื่องกรด-เบส โดยสารละลายเบส NaOH ทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกในอัตราส่วน 1:1 ดังแสดงในสมการที่ (ค-1)



ปริมาณของ NaOH ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกจะนำไปไตเตรทแบบย้อนกลับกับกรดไฮโดรคลอริก โดยที่ NaOH ทำปฏิกิริยากับ HCl ในอัตราส่วน 1:1 ดังแสดงในสมการที่ (ค-2)



ซึ่งผลต่างระหว่างจำนวนโมลของ NaOH ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับ HCl คือจำนวนโมลของกรดไขมันระเหยทั้งหมดจากก๊าซเสีย

การเตรียมกรดอะซิติกมาตรฐาน

เตรียมสารละลายกรดอะซิติกมาตรฐานที่ 3 ความเข้มข้น คือ 0.05, 0.005, 0.0005 mol/l ตามลำดับ โดยมีวิธีการวิเคราะห์ คือ

1. ปิเปตกรดอะซิติกในปริมาตร 2.8 cm³, 0.28 cm³, 0.028 cm³ ตามลำดับ
2. นำกรดอะซิติกที่ได้จากการเตรียมข้างต้นเจือจางในน้ำ 1 L
3. บันทึกความเข้มข้นของสารละลายกรดอะซิติกมาตรฐาน

ภาคผนวก ง
สภาวะการทดสอบ

สภาวะการทดสอบตัวอย่างก๊าซเสียโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Gas Chromatograph

Inlet temperature: 240°C, carrier (He) flow 1.0 ml/min, splitless mode 0.8 minute

Oven temp.: 60°C

Ramped 4°C/min 100°C held for 2 minutes

Ramped 15°C/min 230°C held for 20 minutes

Column: HP-INNOWAX, 30 m., film thickness 0.25 µm, ID. 0.25 mm

Mass Spectrometer

Ionization mode: Electron Ionization

Acquisition mode: Scan, 25-500 amu

Solvent delay time: 3.00 minutes

Transfer line temperature: 230°C

สภาวะการทดสอบของแข็งโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ CHNS-O Analyzer โดยใช้เทคนิคการทดสอบ Dynamic Flash Combustion

Furnace temperature :900°C

Oven temperature :65°C

Carrier flow :130 mL/min

Reference flow : 100 mL/min

Oxygen flow :250 mL/min

สภาวะการทดสอบของแข็งโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตร
มิเตอร์ (PHILIPS PW2400) โดยใช้เทคนิคการทดสอบ X-ray fluorescence spectrometry

X-ray tube :Rh tube

X-ray path :Vacuum

Application :GPSemiQ

Sample type :Pressed powder

Objective :Qualitative measurement

Scanning range :From O to U

ภาคผนวก จ

ความคิดเห็นและข้อคำถามต่อระดับความแรงของกลิ่น

**แบบสำรวจความคิดเห็นและความพึงพอใจต่อระดับของกลิ่นจากการบำบัดกลิ่นโดยใช้/ไม่ใช้
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์**

1. คำชี้แจง

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นมาเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลความพึงพอใจและความคิดเห็นต่อระดับของกลิ่นจากการบำบัดกลิ่นโดยใช้/ไม่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความคิดเห็นของท่านจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาปรับปรุงระบบการบำบัดกลิ่นต่อไป

2. พื้นที่ปฏิบัติงาน

3. ความพึงพอใจต่อระดับของกลิ่นเหม็นที่ลดลงเมื่อดำเนินการใช้/ไม่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบำบัด

ความหมายของระดับความแรงของกลิ่นตั้งแต่ 0-5

0 = ปราศจากกลิ่นโดยสิ้นเชิง

1 = มีกลิ่นอ่อนๆ แต่พอรู้ว่ามึกลิ่นอยู่บ้าง

2 = มีกลิ่นอ่อนๆ พอแยกแยะได้ว่าเป็นกลิ่นอะไร

3 = มีกลิ่นที่สามารถรับรู้ได้ง่ายดาย

4 = มีกลิ่นแรง

5 = มีกลิ่นที่รุนแรงมากๆ จนทนไม่ได้

คุณคิดว่าที่ระดับความแรงของกลิ่นดังกล่าวอยู่ในระดับใด.....

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องระดับความพึงพอใจให้ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

| รายละเอียด | น้อย มาก | น้อย | ปาน กลาง | มาก | มากที่สุด |
|---|-------------|------|-------------|-----|-----------|
| 1. คุณคิดว่าที่ระดับความแรงของกลิ่นดังกล่าวส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวัน | | | | | |
| 2. คุณคิดว่าที่ระดับความแรงของกลิ่นดังกล่าวส่งผลกระทบต่อการทำงาน | | | | | |
| 3. คุณพึงพอใจในระดับความแรงของกลิ่นดังกล่าว | | | | | |
| 4. คุณต้องการให้ระดับความแรงของกลิ่นลดลง | | | | | |

ตารางที่ จ-1 แสดงจำนวนความเห็นของบุคลากรในโรงงานต่อระดับกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัด

| ช่วงเวลา | ระดับความแรงของกลิ่น (คน) | | | | | | รวม |
|-------------|---------------------------|--|--|----------------------------------|------------|-------------------------------|-----|
| | ปราศจากกลิ่นโดยสิ้นเชิง | มีกลิ่นอ่อนๆ แต่พอรู้ว่า มีกลิ่นอยู่บ้าง | มีกลิ่นอ่อนๆ พอแยกแยะได้ว่าเป็นกลิ่นอะไร | มีกลิ่นที่สามารถรับรู้ได้ง่ายดาย | มีกลิ่นแรง | มีกลิ่นที่รุนแรงมากจนทนไม่ได้ | |
| เช้าและบ่าย | 0 | 1 | 4 | 16 | 7 | 3 | 31 |

ตารางที่ จ-2 แสดงจำนวนความเห็นของบุคลากรในโรงงานต่อระดับกลิ่นที่บำบัดแล้วโดยการเติม NaOH 1 kg/hr

| ช่วงเวลา | ระดับความแรงของกลิ่น (คน) | | | | | | รวม |
|-------------|---------------------------|--|--|----------------------------------|------------|-------------------------------|-----|
| | ปราศจากกลิ่นโดยสิ้นเชิง | มีกลิ่นอ่อนๆ แต่พอรู้ว่า มีกลิ่นอยู่บ้าง | มีกลิ่นอ่อนๆ พอแยกแยะได้ว่าเป็นกลิ่นอะไร | มีกลิ่นที่สามารถรับรู้ได้ง่ายดาย | มีกลิ่นแรง | มีกลิ่นที่รุนแรงมากจนทนไม่ได้ | |
| เช้าและบ่าย | 0 | 2 | 11 | 24 | 5 | 0 | 42 |

ตารางที่ จ-3 แสดงจำนวนความเห็นของบุคลากรในโรงงานต่อระดับกลิ่นที่บำบัดแล้วโดยการเติม
NaOH 2 kg/hr

| ช่วงเวลา | ระดับความแรงของกลิ่น (คน) | | | | | | รวม |
|-----------------|---------------------------------|---|---|--|--------------------|--|-----|
| | ปราศจาก กลิ่นโดย สิ้นเชิง | มีกลิ่น อ่อนๆ แค่ พอรู้ว่า มีกลิ่นอยู่ บ้าง | มีกลิ่นอ่อนๆ พอแยกแยะ ได้ว่าเป็นกลิ่น อะไร | มีกลิ่นที่ สามารถ รับรู้ได้ ง่ายตาย | มี กลิ่น แรง | มีกลิ่นที่ รุนแรง มากๆ จนทน ไม่ได้ | |
| เช้าและ บ่าย | 0 | 1 | 4 | 16 | 7 | 3 | 31 |

ภาคผนวก จ

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดกรดอะซิติก

ฐานการคำนวณ: อัตราการผลิตยางแท่งต่อเตาอบยางแท่ง 1 เตา = 7 ตัน/ชั่วโมง และเตาอบ 1 เตา
ติดตั้งระบบกำจัดกลิ่น 1 ชุด

อัตราการผลิตยางแท่ง 7 ตัน/ชั่วโมง

อัตราการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ = 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กิโลกรัม ราคา 20 บาท

ดังนั้น ค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ = 2 กิโลกรัม/ชั่วโมง \times 20 บาท/กิโลกรัม
= 40 บาท/ชั่วโมง

ค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบำบัดกลิ่นต่อตันยางแท่ง = $\frac{\text{อัตราค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์}}{\text{อัตราการผลิตยางแท่ง}}$
= $\frac{40 \text{ บาท/ชั่วโมง}}{7 \text{ ตันยางแท่ง/ชั่วโมง}}$
= 6 บาท/ตันยางแท่ง

ดังนั้นค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับการบำบัดกลิ่น เท่ากับ 6 บาท/ตันยางแท่ง และถ้าสามารถเพิ่ม
อัตราการผลิตต่อเตาให้สูงขึ้นค่าสารเคมีที่ใช้ต่อตันยางแท่งจะลดลง

ประวัติผู้เขียน

| | | |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------|
| ชื่อ สกุล | นายธีรภัทร์ ตันกุลโรจน์ | |
| รหัสประจำตัวนักศึกษา | 5110120019 | |
| วุฒิการศึกษา | | |
| วุฒิ | ชื่อสถาบัน | ปีที่สำเร็จการศึกษา |
| วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เคมี) | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ | 2550 |

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนศึกษย์ก้นกุฏิ

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ธีรภัทร์ ตันกุลโรจน์ จันทิมา ชั่งศิริพร และ จริญญา บุญกาญจน์. 2552. การบำบัดกลิ่นในก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบยางแท่งโดยการดูดซึมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในคอลัมน์บรรจุ. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8. (The 8th PSU-Engineering Conference (PEC-8)). คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 22-23 เมษายน 2553 หน้า 153.