



รายงานวิจัย

เรื่อง

การบำบัดกลิ่นในก๊าซเสียจากปล่องควันของเตาอบยางใน
อุตสาหกรรมยางแท่ง

**Treatment of Odor in Wasted Gas from Stack of Rubber Dryer
in Rubber Block Industry**

คณะผู้วิจัย

รศ. ดร. จรัญ บุญกาญจน์	หัวหน้าโครงการ
ผศ. ดร. จันทิมา ชั่งสิริพร	ผู้ร่วมวิจัย
นาง จรรยา อินทมณี	ผู้ร่วมวิจัย
นาย ชีรภัทร์ ตันกุลโรจน์	ผู้ช่วยวิจัย

งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2553
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ

มลภาวะทางอากาศของโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งที่สำคัญคือกลิ่นเหม็นที่ปล่อยจากเตาอบยาง จากการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยาง โดยใช้ GC-MS พบว่ามีกรดอะซิติกเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนแรงงานวิจัยนี้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดกรดอะซิติกโดยการดูดซับด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุขนาดต้นแบบ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการการบำบัดกรดอะซิติก คือ C_{NaOH} , L, G และ L/G ratio มีค่าเท่ากับ 0.7 mol/l, 4.5 l/min, 0.15 m³/min และ 30 l/m³ ตามลำดับ โดยที่ประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกเมื่อใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าเท่ากับ 62% และ 90% ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นคงที่ 0.7 mol/l เป็นสารดูดซับสำหรับการบำบัดกรดอะซิติกในหอดูดซับแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรมของโรงงาน ผลการศึกษาพบว่า การบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ใหม่สดเข้าสู่ระบบในอัตรา 1, 2 และ 3 kg/hr สามารถบำบัดกรดอะซิติกได้คงที่ที่ 35.5, 75 และ 77% ตามลำดับ ในขณะที่การใช้น้ำเป็นสารดูดซับสามารถบำบัดกรดอะซิติกได้เพียง 30% เมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายและจากการสำรวจความพึงพอใจของพนักงาน บริษัท สยามอินโด รับเบอร์ ต่อการบำบัดกลิ่นจากเตาอบยางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับในหอดูดซับแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรมสามารถสรุปได้ว่าการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าสู่ระบบการบำบัดในอัตรา 2 kg/hr เป็นสภาวะที่เหมาะสม

ABSTRACT

Air pollution problem arise from rubber block drying industry is an odor released from rubber drying kiln. The air sample analysis by GC-MS indicated that acetic acid is a main chemical composition. The first part of this research aimed to determine the suitable conditions for the acetic acid removal from exhaust gas by absorption with sodium hydroxide (NaOH) and monoethanolamine (MEA) in a pilot scale packed column. The results show that the suitable conditions for the acetic removal from exhaust gas were C_{NaOH} , L, G, and L/G ratio of 0.7 mol/L, 4.5 l/min, 0.15 m³/min and 30 l/m³, respectively. The acetic removal efficiencies obtained by using NaOH and MEA were 62% and 90% respectively. Thus, the NaOH solution with concentration of 0.7 mmol/l were used for acetic acid removal using industrial wet scrubber. The results shown that the acetic acid removal efficiencies obtained by adding fresh NaOH into absorbing liquid at rate of 1, 2, and 3 kg/hr were 35.5%, 75% and 77% respectively. Whereas only 30% acetic removal efficiency was obtained when water was applied. When the economic criteria and the survey results of the odor level around the work place we can concluded that the acetic removal using absorption process by adding sodium hydroxide into absorption liquid of wet scrubber at the rate of 2 kg/hr was the most suitable conditions.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้จัดสรรงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2553 แก่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อสนับสนุนการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บริษัทสยามอินโดรับเบอร์ จ. พัทลุง ที่ให้ใช้สถานที่ เตาอบยาง และ หอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมของโรงงาน และ ห้องปฏิบัติการ รวมทั้งการให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยได้ตามวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณบางส่วนและสนับสนุนสาธารณูปโภคที่จำเป็นต่อการทำวิจัย

สารบัญ

สารบัญ	หน้า
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	2
2. ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กลิ่น(odor)	3
2.1.1 คำจำกัดความ	3
2.1.2 คุณสมบัติ	3
2.1.3 มาตรฐานการระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม	4
2.1.4 ข้อมูลสถิติการร้องเรียนของชุมชนเกี่ยวกับปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม ที่เกิดขึ้นจาก โรงงานอุตสาหกรรม	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 เส้นผ่านศูนย์กลางของหอดูดซึม (Pack Tower Diameter)	12
2.5 ปฏิริยาเคมีเกี่ยวข้องระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารดูดซึม	13
2.5.1 ปฏิริยาเคมีระหว่าง CO ₂ และ MEA	13
2.5.2 ปฏิริยาเคมีระหว่าง CO ₂ และ NaOH	13
2.6 ปฏิริยาเคมีเกี่ยวข้องระหว่างกรดอะซิติกกับสารดูดซึม	14
2.6.1 ปฏิริยาเคมีระหว่าง CH ₃ COOH และ NaOH	14
2.6.2 ปฏิริยาเคมีระหว่าง CH ₃ COOH และ MEA	14

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
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 การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์กลิ่นและการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี ของกลิ่นในก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบยาง	23
3.2.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์และ โมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot	23
3.3 การออกแบบการทดลอง	25
3.4 การดำเนินการประยุกต์ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับหอดูดซึม แบบเปียกขนาดอุตสาหกรรม บริษัท สยามอิน โดรัปเบอร์ จำกัด	30
3.4.1 ศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนในการบำบัด	31
3.5 ชุดเก็บตัวอย่างก๊าซ	32
3.6 การเก็บตัวอย่างก๊าซ และการหาประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติก	33
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	34
4.1 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยาง	34
4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากเตาอบยาง	36
4.3 การวิเคราะห์ค่าความแม่นยำของวิธีการวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติก	37
4.4 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัด กรดอะซิติกเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึมในคอลัมน์บรรจุ	38

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4.4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (C_{NaOH}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก	38
4.4.2 ผลของอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ (L/G ratio) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก	40
4.4.3 การศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซและผลของอัตราการไหลของสารดูดซึม (Exhaust gas flow rate and Liquid flow rate) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก	41
4.4.4 การศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซ (Exhaust gas flow rate, G) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดบำบัดกรดอะซิติก	43
4.4.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในสภาวะที่เหมาะสม	44
4.5 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกเมื่อใช้สารละลาย โมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซึม	46
4.5.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย โมโนเอทานอลเอมีน (C_{MEA}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก	46
4.5.2 การศึกษาผลของอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ (L/G ratio) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก	47
4.5.3 การศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซเสีย (Exhaust gas flow rate , G) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดบำบัดกรดอะซิติก	48
4.5.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยการใช้สารละลาย โมโนเอทานอลเอมีนในสภาวะที่เหมาะสมสำหรับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	49
4.5.5 การศึกษาเปรียบเทียบการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลาย โมโนเอทานอลเอมีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติก	51
4.6 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	52
4.6.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในสารดูดซึม (C_{NaOH}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	52

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4.6.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีน (C_{MEA}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	53
4.6.3 การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในสภาวะที่เหมาะสม	55
4.7 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอะซิติกเมื่อใช้น้ำเป็นสารดูดซึม	56
4.7.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำ กับเวลา	56
4.7.2 การศึกษาผลประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม	57
4.8 การดำเนินการประยุกต์ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับหอคูดซึมแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรมในโรงงาน	60
4.8.1 การทดลองวัดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบำบัดกรดอะซิติก	60
4.8.2 การทดลองวัดค่า pH ของน้ำจากการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่	62
4.8.3 การทดลองวัดประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารดูดซึมที่เป็นน้ำและการดูดซึมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอคูดซึมแบบเปียก โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณ 1 kg/hr, 2 kg/hr และ 3 kg/hr	63
4.8.4 การสำรวจและสอบถามความคิดเห็นของพนักงาน บริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด ต่อระดับความแรงของกลิ่นกรณีที่ไม่ได้มีการบำบัดกับกลิ่นและกรณีที่มีการบำบัดโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณ 1 kg/hr และ 2 kg/hr ตามลำดับ	64
4.8.5 การศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนในการบำบัดบำบัดกรดอะซิติกในหอคูดซึมแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรม	68

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการทดลอง	69
5.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติค โดยใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot	69
5.1.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติค โดยใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอคูดซึมแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรมในโรงงาน	69
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต	70
บรรณานุกรม	71

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	แสดงมาตรฐานการระบายออกของกลิ่นจากโรงงานอุตสาหกรรมกฎกระทรวง 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	แสดงการวิเคราะห์หาค่าความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายสารเคมี	68

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า	
2-1	แสดงข้อมูลสถานการณ์การร้องเรียนทางด้านมลพิษสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2548	5
2-2	แสดงการไหลแบบสวนทางกันในคอลัมน์บรรจุ	8
2-3	แสดงลักษณะหอคูดูดซับแบบเป็ยกแนวนอน (Cross-flow absorber)	9
2-4	แสดงชนิดของตัวกลางที่ใช้ในคอลัมน์บรรจุ	10
2-5	แสดงสมดุลมวลของกระแสของเหลวและก๊าซในหอคูดูดซับแบบไหลสวนทางกัน	11
3-1	แสดงชุดการทดลองของคอลัมน์บรรจุขนาด pilot ที่ใช้สำหรับการบำบัดกรดอะซิติกโดยติดตั้งที่ บริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด	24
3-2	แสดงหอคูดูดซับแบบเป็ยกในแนวนอน (Cross flow absorber) ที่ใช้ในการบำบัดกลิ่นจากก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง บริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด	30
4-1	ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง GC-MS ของก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง	35
4-2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วง 0.2 – 2 mol/l ที่ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l}/\text{min}$	38
4-3	กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{NaOH} กับเวลา ที่ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l}/\text{min}$	39
4-4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของสารดูดซับต่ออัตราการไหลของก๊าซในช่วง 30 – 100 l/m ³ ที่ $G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol}/\text{l}$	40
4-5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกกับผลของอัตราการไหลของสารดูดซับและอัตราการไหลของก๊าซ เมื่อ $L = 0.6\text{-}5.5 \text{ l}/\text{min}$, $G = 0.02\text{-}0.18 \text{ m}^3/\text{min}$ ($L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l}/\text{m}^3$, $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol}/\text{l}$)	42
4-6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของก๊าซที่ $G = 0.02\text{-}0.09 \text{ m}^3/\text{min}$ ($L = 10 \text{ l}/\text{min}$, $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol}/\text{l}$)	43
4-7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับเวลาเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.7 mol/l ($L = 4.5 \text{ l}/\text{min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l}/\text{m}^3$)	44

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
4-8	กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{NaOH} กับเวลา	45
4-9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกกับความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในช่วง 0.2–0.7 mol/l ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$)	46
4-10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซที่ L/G ratio 30–100 l/min ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $C_{MEA} = 0.7 \text{ mol/l}$)	47
4-11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของก๊าซที่ $G = 0.02\text{-}0.09 \text{ m}^3/\text{min}$ ($L = 10 \text{ l/min}$, $C_{MEA} = 0.7 \text{ mol/l}$)	48
4-12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับเวลาเมื่อใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีน 0.7 mol/l ($L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$)	49
4-13	กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{MEA} กับเวลาที่ $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 4.5 \text{ l/min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$, $C_{MEA} = 0.7 \text{ mol/l}$	50
4-14	กราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกจากการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนเข้มข้น 0.7 mol/l ($L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, $L/G \text{ ratio} = 30 \text{ l/m}^3$)	51
4-15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วง 0.2–0.7 mol/l ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$)	52
4-16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นของโมโนเอทานอลเอมีนในช่วง 0.2–0.7 mol/l ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$)	53
4-17	กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{MEA} กับเวลาที่ ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$)	54
4-18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลาเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีน 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

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-19 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ pH ของน้ำ กับเวลา ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$)	57
4-20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลาเมื่อใช้น้ำเป็นสารดูดซึม ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l/min}$)	58
4-21 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเวลา	60
4-22 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่วัดได้จากการเติมในปริมาณ 1 kg/hr, 2 kg/hr และ 3 kg/hr ตามลำดับ	61
4-23 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำที่ได้จากการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่	62
4-24 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกโดยการดูดซึมด้วยน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอดูดซึมแบบเปียกโดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1 kg/hr, 2 kg/hr และ 3 kg/hr ตามลำดับ	63
4-25 กราฟแสดงความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัดในช่วงเช้าและช่วงบ่าย	65
4-26 กราฟแสดงความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่บำบัดโดยการเติม NaOH 1 kg/hr ในช่วงเช้าและช่วงบ่าย	66
4-27 กราฟแสดงความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่บำบัดโดยการเติม NaOH 2 kg/hr ในช่วงเช้าและช่วงบ่าย	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

อุตสาหกรรมยางแท่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในภาคใต้ของประเทศไทยปัญหามลพิษหลักของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 คือ ปัญหากลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนบริเวณใกล้เคียงซึ่งมีจุดกำเนิดมาจากการอบยางและบริเวณที่พักของกองยางกันด้วย ในส่วนของ การอบยางจะเป็นจุดกำเนิดสำคัญของปัญหากลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการผลิตยางแท่ง STR20 จะประกอบด้วย การนำยางกันด้วยมาตัด ล้างทำความสะอาด บดย่อยให้มีขนาดเล็กกลงแล้วนำไปอบก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนการห่อหุ้มด้วยบรรจุภัณฑ์ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตภายใต้กระบวนการผลิตเหล่านี้ ในขั้นตอนของการอบยางจะเกิดมลพิษทางอากาศโดยมีสารระเหยออกมาจากก๊าซร้อนที่มีกลิ่นเหม็นจึงก่อให้เกิดเป็นปัญหามลพิษของกลิ่นเกิดขึ้น และถึงปัจจุบันปัญหาของกลิ่นเหม็นที่เกิดจากการอบยางยังเป็นปัญหาสำคัญของโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งที่ยังไม่มีวิธีการบำบัดที่เหมาะสม (สมทิพย์ และคณะ, 2550)

งานวิจัยนี้ศึกษาการบำบัดกลิ่นจากก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง โดยการดูดซึมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนจากรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ (สมทิพย์ และคณะ, 2550) รายงานว่าองค์ประกอบที่ก่อให้เกิดกลิ่นในกระบวนการอบยางแท่งเป็นสารจำพวกกรดอินทรีย์ระเหย งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารละลายที่เป็นเบสในการดูดซับกลิ่นจากกระบวนการอบยาง (Schlegelmilch *et al.*, 2005) โดยใช้สารละลายเบสพื้นฐาน คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพราะราคาไม่แพง หาได้ง่าย และเป็นสารเคมีที่ทางโรงงานผลิตยางแท่งใช้ในการทำความสะอาดกระบะสำหรับบรรจุยางแท่งในขั้นตอนการอบยางอยู่แล้ว ดังนั้นถ้าสามารถพิสูจน์โดยวิธีการทดลองวิจัยแล้วพบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถกำจัดกลิ่นจากเตาอบยางได้ก็มีความเป็นไปได้ในการนำสารละลายดังกล่าวมาใช้ในการบำบัดกลิ่นจากเตาอบยางและเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการแก้ปัญหา ในขณะที่เดียวกันได้เลือกศึกษาการใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในการบำบัดกลิ่นด้วยเพราะเป็นสารละลายที่สามารถบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์ได้ด้วย ดังนั้นการศึกษาโดยนำสารเคมีทั้งสองมาใช้ในการบำบัดกลิ่นจากก๊าซเสียที่ปล่อยจากปล่องควันของโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งในงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางและเป็นทางเลือกให้กับโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งนำไปปรับใช้เพื่อแก้ปัญหากลิ่นเหม็นของโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อระบุง่องค์ประกอบทางเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์กลิ่นในก๊าซเสียจากเตาอบยาง
2. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติกจากก๊าซเสียโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot
3. เพื่อประยุกต์ใช้สารดูดซับในการบำบัดกรดอะซิติกในโรงงานอุตสาหกรรม
4. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการบำบัดกรดอะซิติกในโรงงานอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดกรดอะซิติกในก๊าซเสียที่ปล่อยจากปล่องควันของเตาอบยางโดยใช้คอลัมน์บรรจุขนาด Pilot และนำสภาวะที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับหอดูดซับขนาดอุตสาหกรรมที่ใช้งานจริงในโรงงาน รวมทั้งการคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดกรดอะซิติกเพื่อเป็นแนวทางในการนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์จริงในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาแนวทางการแก้ปัญหากลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอบยางแท่งที่เหมาะสมได้
2. สามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบกระบวนการบำบัดกลิ่นในก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบยางในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กลิ่น (Odor)

2.1.1 คำจำกัดความ

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

2.1.2 คุณสมบัติ

กลิ่นเป็นสารที่ไม่สามารถจับต้องได้และไม่สามารถเห็นรูปของกลิ่นได้แต่สามารถเห็นรูปร่างของแหล่งที่มาของกลิ่นได้ โดยสิ่งที่ทำให้เกิดกลิ่นก็คือตัวสารเคมี (ในรูปของโมเลกุล) กลิ่นจึงเป็นโมเลกุลของสารที่มีความไวมากจะหลุดตัวออกจากสารตั้งต้นได้ง่าย หากได้รับกลิ่นจากตัวสารมลพิษจะมีผลต่อสุขภาพ โดยผลกระทบที่ได้รับจะขึ้นอยู่กับความเป็นพิษของตัวสารมลพิษนั้น ระยะเวลาและปริมาณที่ได้รับด้วยการหายใจเข้าไป ซึ่งโดยมากจะไปกระจายเกือบระบบทางเดินหายใจ 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

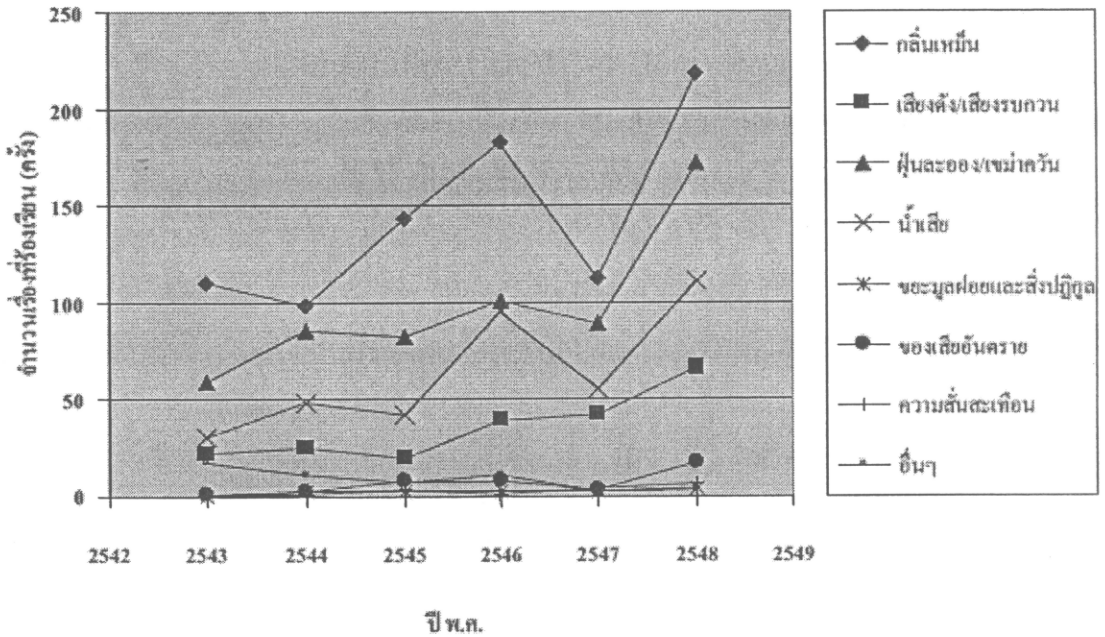
ตารางที่ 2-1 มาตรฐานการระบายออกของกลิ่นจาก โรงงานอุตสาหกรรมกฎกระทรวงออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

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 ความสั่นสะเทือน ขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล มีจำนวนการร้องเรียน 98, 64, 36, 7, 3, 2 ครั้งต่อปีตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-1 พบว่าปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนเป็นปัญหาที่มีความรุนแรงและควรให้ความสำคัญในระดับต้นๆ เมื่อเทียบกับปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมในด้านอื่นๆ



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

การควบคุมและแก้ไขปัญหากลิ่นเหม็นรบกวนมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีและในงานวิจัยนี้จะใช้ระบบคอลัมน์บรรจุแบบไหลสวนทางกันในการบำบัดกลิ่นที่เกิดจากการอบยางโดยใช้สารดูดซึ่มโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีน เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหากลิ่นเหม็นรบกวนชาวบ้าน 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 ที่นิยมใช้กัน ในอุตสาหกรรม 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 เป็นส่วนคูลดลื่นและไล่ความชื้นในกระบวนการสุดท้ายก่อนที่จะมีการบรรจุหีบห่อ

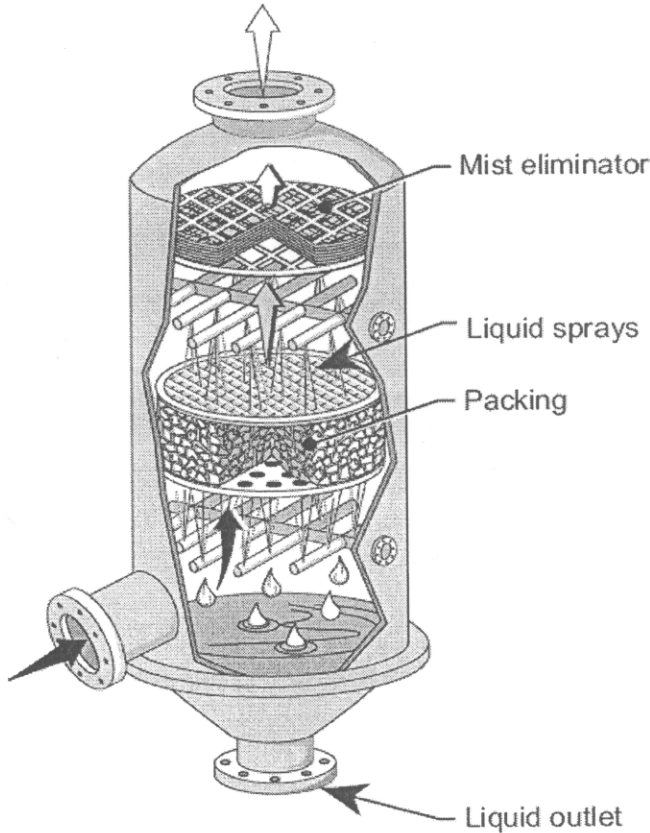
โดยหลักการในการออกแบบเตาอบยางแบ่งโดยหลักๆ จะเหมือนกันแต่แตกต่างกันที่รายละเอียด คือ จำนวนกิโลกรัมหรือความหนาของยางที่บรรจุในกระบะอบยาง ความร้อนที่ใช้ในการหมุนเวียนในแต่ละส่วน การออกแบบระบบการถ่ายเทความร้อนและเย็นในเตาอบยางแบ่งการป้อนยางเข้าเตาและชนิดและจำนวนตัวให้ความร้อนและพัดลมหมุนเวียนในเตา ตามลำดับ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

2.3 กระบวนการการดูดซึม (Absorption)

การดูดซึมเป็นกระบวนการถ่ายโอนมวลที่ใช้กำจัดสารมลพิษที่เป็นก๊าซออกจากกระแสน้ำโดยให้สัมผัสกับของเหลว การที่โมเลกุลสามารถถ่ายเทจากก๊าซไปยังของเหลวได้เนื่องจากทั้ง 2 เฟสนั้นมีความเข้มข้นที่ต่างกัน (Concentration Gradient) ที่บริเวณผิวหน้าของเหลวและบริเวณผิวหน้าของก๊าซเป็นแรงขับเคลื่อน (Driving Force) ให้เกิดการถ่ายโอนมวล นอกจากนี้แล้วการมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง การมีความปั่นป่วน (Turbulent) และการมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เชิงมวลสูงจะช่วยเร่งการเกิดกระบวนการดูดซึมได้ดียิ่งขึ้น

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

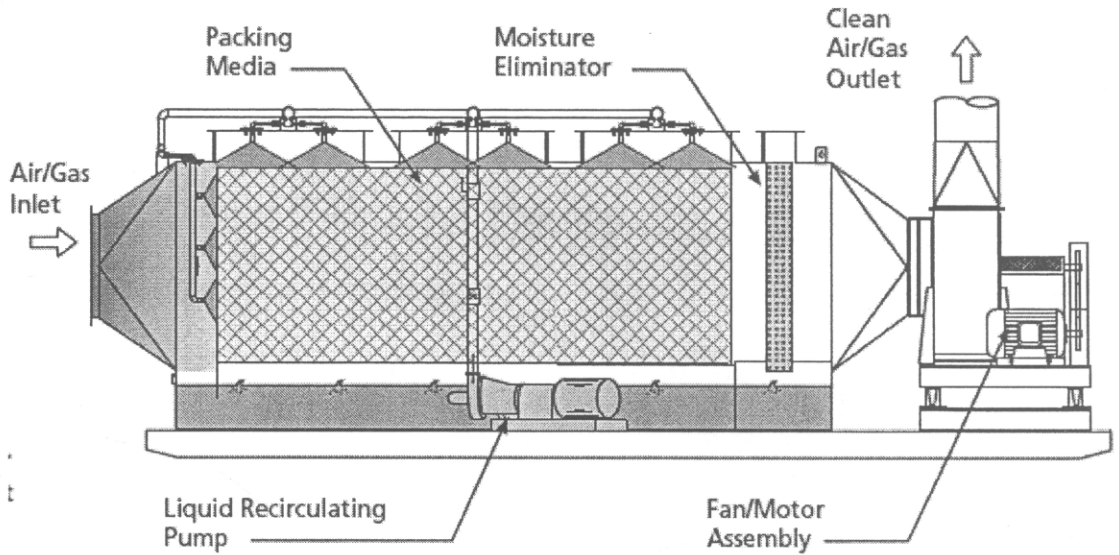


ภาพประกอบที่ 2-2 แสดงการไหลแบบสวนทางกันภายในคอลัมน์บรรจุ

(Joseph and David, 1998)

โรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 มีการใช้หอดูดซึมสำหรับการบำบัดก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยาง ระบบนี้ทำงานภายใต้หลักการดูดซึมเอาสารมลพิษในอากาศที่ระบายออกมาจากเตาอบยางโดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม ซึ่งในสภาพการดำเนินงานจริง โรงงานยางแท่ง STR20 ส่วนใหญ่จะมีการนำน้ำเสียหลังการบำบัดแล้วมาใช้น้ำเป็นสารดูดซึม ระบบหอดูดซึมที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 จะเป็นระบบที่ภายในมีการบรรจุตัวกลาง (Packed bed Absorber) ซึ่งเมื่อผลทำให้ของเหลวที่เป็นสารดูดซึมเกิดการกระจายตัวได้ดีบนตัวกลางที่บรรจุอยู่ภายในระบบ ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างก๊าซและของเหลวซึ่งเป็นสารดูดซึมได้มากยิ่งขึ้น และระบบหอดูด

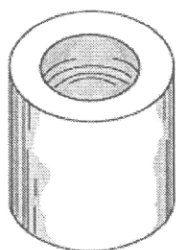
ซึมที่ใช้จะเป็นระบบที่มีลักษณะการไหลเข้าของก๊าซในแนวขวาง (Cross-flow Absorber) แล้วมีการสเปรย์สารดูดซึมซึ่งเป็นน้ำจากด้านบนมากระทบตัวกลางที่บรรจุไว้ (สมทิพย์และคณะ, 2550) หอดูดซึมที่ใช้กันในอุตสาหกรรมยางแท่งโดยทั่วไปมีลักษณะ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-3



ภาพประกอบที่ 2-3 แสดงลักษณะหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมในแนวนอน (ที่มา: www.mon-env.com)

ตัวกลางที่บรรจุภายในระบบจะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสและการถ่ายโอนมวลมากขึ้น ตัวกลางที่พบว่ามีการใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 รวมถึงที่ใช้ที่ บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ 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 ตัวกลางประเภทนี้ทำจากเซรามิก Pall rings ให้อัตราการถ่ายโอนมวลสูงกว่า Raschig และ Lessig ring แต่แพงกว่า และต้องทำด้วยโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อน Tellerette Packing และ Pall rings ทำจากพลาสติกนั้นใช้ได้ถ้าอุณหภูมิไม่เกิน 355-360 เคลวิน ตัวกลางเหล่านี้อาจบรรจุในหอดูดซึมแบบเปียกโดยวิธี Randomly หรือค้อยเรียงเป็นแถว (Stacked Packing) ซึ่งการใส่ตัวกลางแบบ Random นี้จะให้พื้นที่

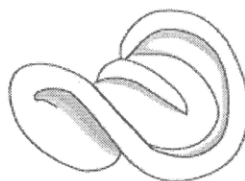
ผิวการสัมผัสสูงกว่าและค่าความดันลดสูงกว่า ส่วนแบบเรียงแถวนี้ จะให้ความดันลดต่ำ แต่ค่าติดตั้งสูง



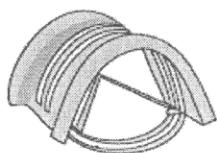
Raschig™ ring



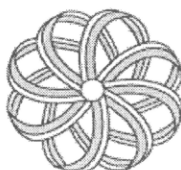
Pall ring



Berl saddle



Intalox saddle



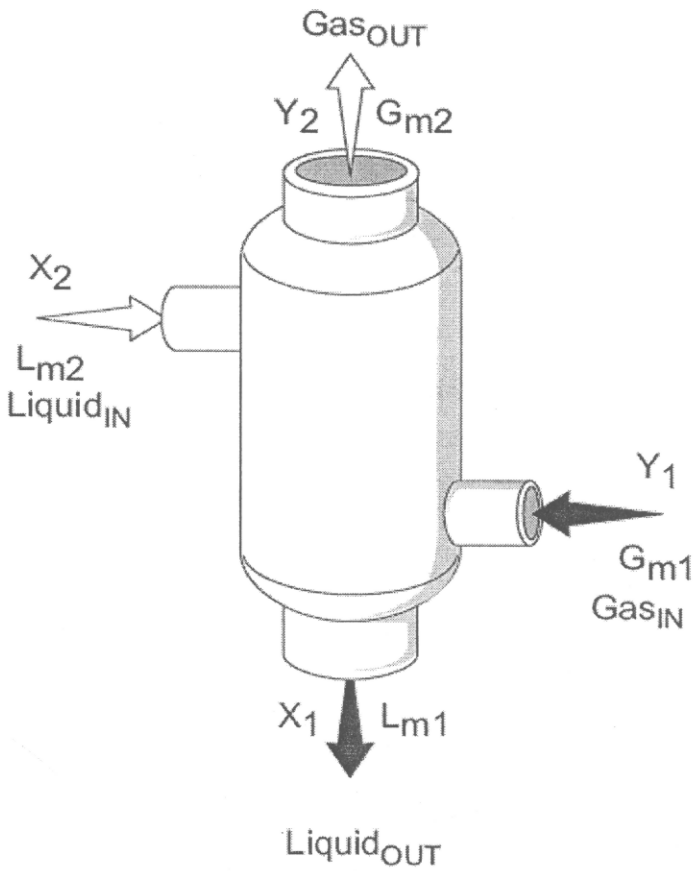
Tellerette™

ภาพประกอบที่ 2-4 แสดงชนิดของตัวกลางที่ใช้ในคอลัมน์บรรจุ

2.4 ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบหอดูดซึม

2.4.1 Liquid to Gas Ratio

สิ่งที่ควรพิจารณาเป็นลำดับแรกในการออกแบบคือ อัตราการไหล และองค์ประกอบของกระแสก๊าซที่จะไหลเข้าสู่ระบบ คุณมวลสารเป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้เพื่อพิจารณาอัตราการไหลและองค์ประกอบในแต่ละกระแสของของไหลที่เข้าสู่และออกจากระบบ ดังภาพประกอบที่ 2-5



ภาพประกอบที่ 2-5 แสดงคุณวมวลของกระแสของเหลวและก๊าซในหอดูดซึมแบบไหลสวนทางกัน (Manyele, 2008)

คุณวมวลรวมของระบบ;

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

คุณวมวลขององค์ประกอบในระบบ;

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

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) หรือสามารถประมาณค่าให้เท่ากับศูนย์ถ้าไม่มีการนำของเหลวนั้นกลับมาใช้ใหม่และต้องระบุค่าความเข้มข้นของก๊าซเสียหลังผ่านการบำบัด (Y_2)

จากหลักการสมดุลของมวลทำให้สามารถประมาณอัตราการไหลของของเหลวที่ต้องการใช้น้อยที่สุดในการดูดซึมก๊าซเสียได้โดยให้มีความเข้มข้นอยู่ในมาตรฐาน (Y_2) สำหรับการใช้งานจริงนั้นจะไม่ใช้สัดส่วนอัตราการไหลของสารดูดซึมต่อก๊าซที่ต่ำสุด (L_m / G_m) แต่จะเพิ่มเพื่ออัตราการไหลของสารดูดซึมให้มากกว่าค่าต่ำสุดดังกล่าวโดยทั่วไปนั้นอัตราการไหลของสารดูดซึมจะเพิ่มขึ้น 25 ถึง 100% จากค่าความต้องการต่ำสุด เช่น 1.5 เท่าของค่าอัตราส่วนของอัตราการไหลของเหลวต่อก๊าซต่ำสุด (Joseph and Beachler, 1981)

2.4.3 เส้นผ่าศูนย์กลางของหอดูดซึม (Pack Tower Diameter)

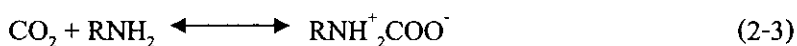
หลังจากคำนวณหาอัตราการไหลของสารดูดซึมได้ จะต้องประมาณขนาดของหอดูดซึมที่เหมาะสมกับสภาวะการไหลของของเหลวและก๊าซ ซึ่งโดยปกติจะการออกแบบเพื่อให้เล็กที่สุดแต่ทำงานได้เพื่อที่จะมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด แต่การลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลง (เพื่อให้หอดูดซึมมีขนาดเล็กลง) นั้นผลที่ตามมาคือ ความเร็วของอากาศที่มีทิศทางจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของหอจะสูงขึ้น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

2.5 ปฏิริยาเคมีเกี่ยวข้องระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารดูดซึม

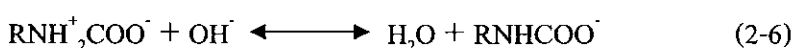
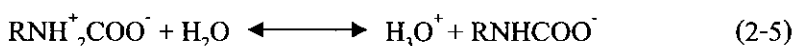
2.5.1 ปฏิริยาเคมีระหว่าง CO_2 และ MEA (Aboudheir *et al.*, 2003; Maceiras *et al.*, 2008; Danckwerts, 1979)

เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิริยากับโมโนเอทานอลเอมีน สามารถแสดงขั้นตอนการเกิดปฏิริยาได้ ดังนี้

การเกิดสารประกอบไอออนเชิงซ้อน Zwitterion จากการทำปฏิริยาของ MEA และ CO_2 แสดงดังสมการที่ (2-3)



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



กระบวนการ Carbamate Reversion แสดงดังสมการที่ (2-7)



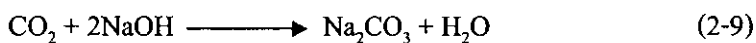
อัตราการเกิดปฏิริยา แสดงดังสมการที่ (2-8)

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

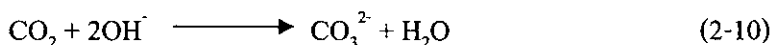
เมื่อพิจารณาสารผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากการทำปฏิริยาระหว่างโมโนเอทานอลเอมีนกับคาร์บอนไดออกไซด์พบว่าเกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบที่เรียกว่า Zwitterion ซึ่งเป็นสารประกอบไอออนเชิงซ้อน

2.5.2 ปฏิริยาเคมีระหว่าง CO_2 และ NaOH (Watten *et al.*, 2004; Aroonwilas *et al.*, 2003)

เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิริยากับ โซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้ผลิตภัณฑ์คือ Na_2CO_3 และน้ำ แสดงดังสมการที่ (2-9)



ปฏิริยาเคมีระหว่าง CO_2 และ OH^- แสดงดังสมการที่ (2-10) และ (2-11)



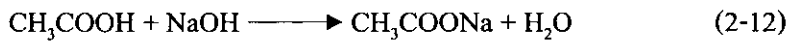
อัตราการเกิดปฏิริยา

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

2.6 ปฏิกริยาเคมีเกี่ยวข้องระหว่างกรดอะซิดิกกับสารดูดซึม

2.6.1 ปฏิกริยาเคมีระหว่าง CH_3COOH และ NaOH

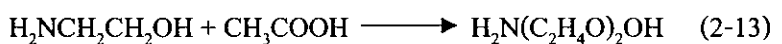
ปฏิกริยาระหว่างกรดอะซิดิกกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังสมการที่ (2-12)



สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกริยากันระหว่างกรดอะซิดิกกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์จากสมการที่ (2-12) นั้นพบว่า จะเกิดสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกลือ โซเดียมอะซิเตทและน้ำ (http://www.m2c3.com/c104oc/Lab/Lab1_LabReports/labreport.htm)

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

ปฏิกริยาระหว่างกรดอะซิดิกกับ โมโนเอทานอลเอมีนเกิดสารผลิตภัณฑ์เป็น Acetamide Monoethanolamine แสดงดังสมการที่ (2-13)



2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการบำบัดกลิ่นในก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบยางแท่งโดยการดูดซึมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และ โมโนเอทานอลเอมีน ในคอลัมน์บรรจุได้ ทำการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการทดลองเลือกสารที่ต้องการศึกษา และพารามิเตอร์สำหรับศึกษา ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

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

Godini *et al.* (2008) ศึกษาค่า Selectivity ของการดูดซึมก๊าซ CO_2 และ H_2S โดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซึมในคอลัมน์บรรจุพบว่าการดูดซึม CO_2 โดยใช้ MEA จะมีปริมาณน้อยกว่า H_2S ที่ดูดซึมโดยใช้ 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 CO_2 น้อยๆ ทำให้ค่า Selectivity ของการดูดซึมเพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของ MEA สูงขึ้น, L/G ratio เพิ่มขึ้นและขนาด Packing ลดลง หมายถึง การเพิ่มขึ้นของการดูดซึมต่อปริมาตร ซึ่งค่า Selectivity ลดลง พารามิเตอร์ที่ปรับปรุงพบว่าการลดลงของช่วง L/G ratio ที่สังเกตได้พบว่า Relative Efficiency เพิ่มขึ้นเกือบ 5% ขณะที่ Absolute Efficiency ลดลง

Maceiras *et al.* (2008) ศึกษาผลของอุณหภูมิกับสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลเชิงปริมาตรโดยศึกษาตลอดช่วงกระบวนการดูดซึม CO_2 ด้วยสารละลาย MEA โดยการศึกษานใน Bubble Column ในการคำนวณค่าอุณหภูมิดำเนินการโดยใช้ความเข้มข้นของ MEA และอัตราการไหลของ CO_2 ที่ต่างกัน และค่าอุณหภูมิต่างกัน (Non-isothermal) จากการทดลองพบว่าค่าอุณหภูมิจะสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ MEA สูง โดยการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาด้วยอุณหภูมิพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลเชิงปริมาตร ($k_L a$) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของเอมีน ถ้าค่าอุณหภูมิตั้งแต่ 30°C ถึง 40°C เพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลเชิงปริมาตรจะเพิ่มขึ้น และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง MEA กับ CO_2 จะเกิดการรวมตัวขึ้นกลายเป็น Zwitterions ซึ่งเกิดขึ้นจากการลดลงของโปรตอนจากเบสจะได้สารผลิตภัณฑ์คือ Zwitterions

Setameteekul *et al.* (2008) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ในกระบวนการกับประสิทธิภาพของการดูดซึม CO_2 โดยการใช้สารดูดซึมที่เป็น MEA และ MEA/MDEA พารามิเตอร์ที่มีผลกับกระบวนการดูดซึม CO_2 โดยอาศัย Factorial Design Analysis โดยประสิทธิภาพในการบำบัด CO_2 หรือ $K_G a_c$ กับพารามิเตอร์อีก 5 ตัว ได้แก่ อัตราการไหลเวียนของสารดูดซึม, ความดันส่วนที่ทางเข้าของ CO_2 , ความเข้มข้นของสาร Alkanolamine, อุณหภูมิ, CO_2 loading ของสารละลาย จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวม ($K_G a_c$) จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อัตราการไหลเวียนของของเหลวเพิ่มขึ้น และจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มค่าความดันส่วนของ CO_2 ส่วนพารามิเตอร์อีก 3 ตัวที่ทำการทดลองได้แก่ ความเข้มข้นของ MEA, อุณหภูมิ และ CO_2 loading พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นแบบ Non-linear กับค่า $K_G a_c$ ซึ่งสามารถเขียนเป็น Empirical Correlation ได้ โดยที่พารามิเตอร์ที่มีผลในการทดลองกับพารามิเตอร์อื่นมากที่สุดคือ อุณหภูมิกับค่า $K_G a_c$

Pei *et al.* (2008) ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพในการนำสารละลาย 2-amino-2-methyl-1-propanol กลับมาใช้ใหม่โดยการดูดซึม CO₂ เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการหมุนเวียนนำสารดูดซึมน้ำกลับมาใช้ใหม่ภายใต้สภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน สารละลายประเภท Steritical 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 คำนวณของกลิ่นเป็นการบ่งชี้ถึงกลิ่นที่มีลักษณะจำเพาะและสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการดูดซึมของ Washing Liquids ได้ง่ายขึ้นโดยวิธีการนี้ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมซ็อกโกแลตและการกลั่นน้ำมัน

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 โดยผลจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่ากรดไขมันระเหยที่ระเหยออกจากการอบยางกันด้วยโดยการดูดซึมในน้ำกลั่นสามารถคำนวณได้ว่าอยู่ในช่วง 0.031-0.235 มก.ของอะซีติก/กรัมยางแห้งและ 0.031-0.055 มก.ของอะซีติก/กรัมยางแห้งของตัวอย่างยางกันด้วยที่เก็บไว้ในสภาวะเปียกจะสามารถให้กรดไขมันระเหยซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหากลิ่นเหม็นได้มากกว่าการเก็บในสภาวะแห้ง การจำแนกถึงสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ตัวอย่างก๊าซที่ระเหยจากการอบยางกันด้วยทั้งในห้องปฏิบัติการและจากการอบยางในโรงงานยางแท่ง STR20 ได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ GC-MS ในการวิเคราะห์ และทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแต่ละประเภทของกรดไขมันระเหยในเทอมของกรดอะซีติก กรดพรอพิโนอิก กรดบิวทิริก กรดไอโซบิวทิริก กรดวาเลริก และกรดไอโซวาเลริก โดยใช้ GC ในการวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบ 25 ชนิดของสารประกอบอินทรีย์ในตัวอย่างดังกล่าวข้างต้น และสารอินทรีย์ที่เด่นซึ่งพบในทุกตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้แก่ กรดอะซีติก กรดบิวทิริก กรดไอโซวาเลริก กรดเฮกซะเดคานอิก กรดโอเลอิก และเมทิลเอสเทอร์ของกรดโอเลอิก

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

วาเลริก ในก๊าซที่ระบายออกจากที่อบเช่นกันด้วย และมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการบำบัดในช่วง 29-65%, 42-59% และ 50% สำหรับการบำบัดกรดอะซิติก กรดบิวทริก กรดไอโซวาเลริก ในก๊าซที่ระบายออกจากระบบดักจับแบบเปียก ระบบตัวกรองทางชีวภาพสามารถลดค่า VFAs ในก๊าซที่ระบายออกมาจากที่อบเช่นกันด้วย และก๊าซที่ระบายจากระบบดักจับแบบเปียกของโรงงานยางแท่ง STR20 ได้ แต่จะสามารถให้ประสิทธิภาพการบำบัดในก๊าซที่ออกมาจากระบบดักจับแบบเปียกได้ดีกว่าการใช้กับก๊าซที่ระบายออกจากที่อบโดยตรง

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 กรดไอโซบิวทริก และสารประกอบเอสเทอร์ ซึ่งเกิดขึ้นมาจากการบวนการหมักคาร์โบไฮเดรตและเกิดจากการหมักในน้ำเป็นเวลานานหลายชั่วโมงเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดมากับยางกันด้วย เอสเทอร์และแอลกอฮอล์นั้นเกิดขึ้นจากปฏิกิริยา Microbial Esterification ของกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์

จรรยา (2546) อธิบายถึงวิธีการวัดปริมาณกรดไขมันระเหยหรือวีเอเฟเอ (Volatile fatty acid, VFA) ที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 6 สามารถละลายน้ำได้และสามารถกลั่นได้ที่ความดันบรรยากาศโดยวิธีการไคเตรท ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้เวลาในการทดสอบสั้นกว่าวิธีอื่นๆ นอกจากนั้น

วิธีการในการไตเตรทสามารถหาสภาพด่าง (Alkalinity) ทั้งหมดได้โดยการหาค่าสภาพด่างทั้งหมดที่ pH 4 โดยวิธีการไตเตรทแบบโพเทนชิโอเมตริก (Potentiometric Titration) และนำมาต้มเพื่อไล้กรดออก ไทเทรตกลับจาก pH 4 เป็น pH 7 เพื่อการหาสภาพด่างของเบสและกรดไขมันระเหยง่าย แล้วจึงคำนวณหาค่า VFA ต่อไป

วินัย และคณะ (2550) ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่มีกลิ่นที่มักจะทำให้อาจเกิดปัญหากลิ่นรบกวนอยู่เสมอ 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 โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับช่วงของความแรงของกลิ่นในระดับที่ก่อให้เกิดปัญหากลิ่นรบกวน คือช่วงความแรงของกลิ่นเท่ากับ 2.5-3.5 ซึ่งช่วงของความเข้มข้นนี้อาจนำไปใช้ในการกำหนดค่ามาตรฐานเพื่อควบคุมสารที่มีกลิ่นเป็นรายชนิดที่บริเวณรั้วหรือขอบเขตภายในโรงงาน โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้

Boonyakan *et al.* (2006) ศึกษาการใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 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

สำนักทรัพยากรการเรียนรู้คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

Lin *et al.* (2010) ศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 1-10 mol% ใน Rotating Packed Bed โดยใช้สารดูดซับ 3 ชนิด คือ NaOH, MEA, AMP และรายงานผลเทอมของประสิทธิภาพในการบำบัด CO₂ เป็นสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลรวมเชิงปริมาตร โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเร็วรอบของการหมุน อัตราการไหลของก๊าซ อัตราการไหลของของเหลว 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

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าก๊าซเสียที่เกิดจากการอบยางแห้งจะมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นกรดไขมันระเหย โดยเฉพาะกรดไขมันระเหยง่ายที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ ซึ่งได้แก่ กรดอะซิติก กรดพรอพิโอนิก กรดบิวทิริก กรดไอโซบิวทิริก กรดวาเลริก และกรดไอโซวาเลริก เป็นต้น และวิธีการในวัดกรดไขมันระเหยจากน้ำเสียเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้วัดปริมาณของกรดไขมันระเหยที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ ในก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยางได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษการบำบัดก๊าซเสียที่เกิดจากการอบยางโดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับในคอลัมน์บรรจุขนาด 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

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

3.1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

- Sampling pump (Aircheck Sampler รุ่น Model 224-PCXR8)
- สายยางซิลิโคน
- ปีกเกอร์
- กระจบอกดวง
- Impinger

3.1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

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

3.2 วิธีการทดลอง

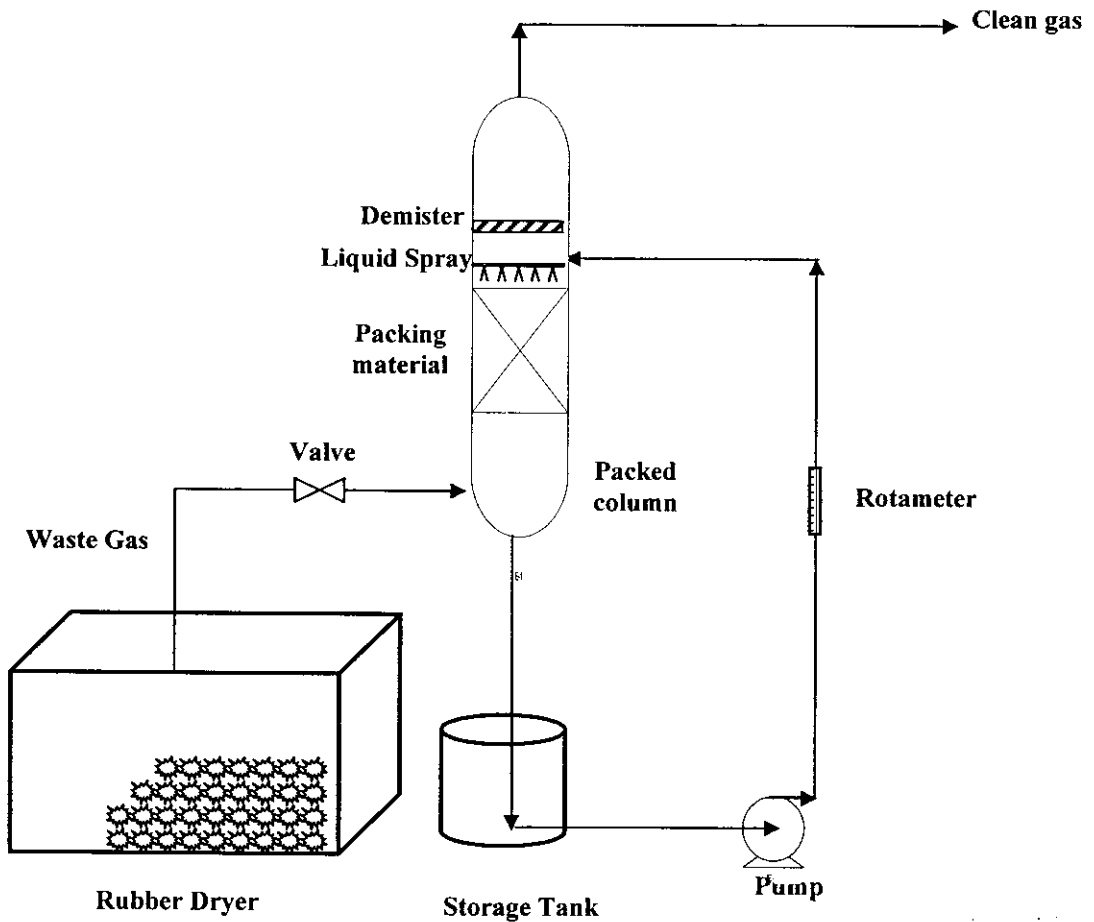
3.2.1 การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์กลิ่นและการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของกลิ่นในก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบยาง

ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซเสียที่ปล่อยจากปล่องของเตาอบยางโดยใช้ถุงเก็บตัวอย่างอากาศและส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ด้วยเครื่องมือ Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) โดยมีสถานะที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ง และจากผลการวิเคราะห์ได้อภิปรายไว้ในหัวข้อ 4.1

การพัฒนาการวิเคราะห์กลิ่นนั้นทำการศึกษาใน 3 วิธี คือ วิธีการไตเตรทแบบย้อนกลับเพื่อหาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายในเทอมของกรดอะซิดิก วิธีการไตเตรทหาปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจากน้ำเสีย และวิธีการวิเคราะห์หากรดอะซิดิกมาตรฐาน ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการในการวิเคราะห์ในภาคผนวก ค

3.2.2 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิดิกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot

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



ภาพประกอบที่ 3-1 แสดงชุดการทดลองของคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot ที่ใช้ในการบำบัดกรดอะซิติก โดยติดตั้งที่ บริษัท สยามอิน โดริบเบอร์ จำกัด

การทดลองจะดำเนินการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้คอลัมน์บรรจุขนาด Pilot เริ่มต้นโดยเตรียมสารดูดซับให้มีความเข้มข้นของสารดูดซับตามต้องการลงในถังบรรจุสารละลาย และเก็บตัวอย่างสารดูดซับเพื่อนำไปวัดค่าความเข้มข้นของสารดูดซับที่ใช้ (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโมโนเอทานอลเอมีน) เมื่อได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของสารดูดซับที่ต้องการแล้วจะทำการป้อนสารดูดซับให้ไหลเข้าทางด้านบนของคอลัมน์บรรจุผ่านอุปกรณ์การกระจายของเหลว (Liquid distributor) ด้วยอัตราการไหลที่กำหนด หลังจากนั้นจึงทำการป้อนก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากปล่องควันของเตาอบยางเข้าทางด้านล่างของคอลัมน์บรรจุด้วยอัตราการไหลของก๊าซที่กำหนด ก๊าซเสียและสารดูดซับจะไหลสวนทางกันผ่านตัวกลาง (Packing Media) ภายในคอลัมน์บรรจุ และเกิดการสัมผัสกันระหว่างเฟสก๊าซและเฟสของเหลวทำให้เกิดการดูดซับและเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นระหว่างสารดูดซับกับก๊าซเสีย ก๊าซเสียที่ผ่านการบำบัดจะ

ถูกปล่อยสู่บรรยากาศทางด้านบน ส่วนสารดูดซึ่มจะไหลผ่านคอลัมน์บรรจุลงสู่ถังบรรจุสารละลาย และทำการเติมสารเคมีใหม่สดเพื่อหมุนเวียนกลับไปใช้ใหม่ และทำการวัดค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกโดยวัดความเข้มข้นที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์บรรจุและเก็บตัวอย่างสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือ โมโนเอทานอลเอมีน ในถังบรรจุสารละลายไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือ โมโนเอทานอลเอมีนที่เหลืออยู่ในถังที่เวลาต่างๆ ตามเวลาที่กำหนด จนถึงสิ้นสุดการทดลอง โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของสารดูดซึ่ม (MEA หรือ NaOH) (mol/l) อัตราการไหลของก๊าซ (m^3/min) และ L/G ratio (l/m^3)

3.3 การออกแบบการทดลอง

ในการศึกษาการบำบัดกรดอะซิติกในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot นั้นได้ออกแบบการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลองโดยแบ่งตามชนิดของสารดูดซึ่มดังแสดงในตารางที่ 3-1 และ ตารางที่ 3-2 ซึ่งแต่ละชุดการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก และหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการบำบัดกรดอะซิติกในหอดูดซึ่มขนาดอุตสาหกรรมของบริษัท 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 จะถูกนำไปใช้ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการขั้นต่อไป

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 แสดงสถานะการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึมในการบำบัดกรดอะซิติก

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 m ³ /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 ใช้ค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ทางเข้าที่วัดได้จริงและทำการวัดค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ทางออกเพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกที่สถานะต่างๆ นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

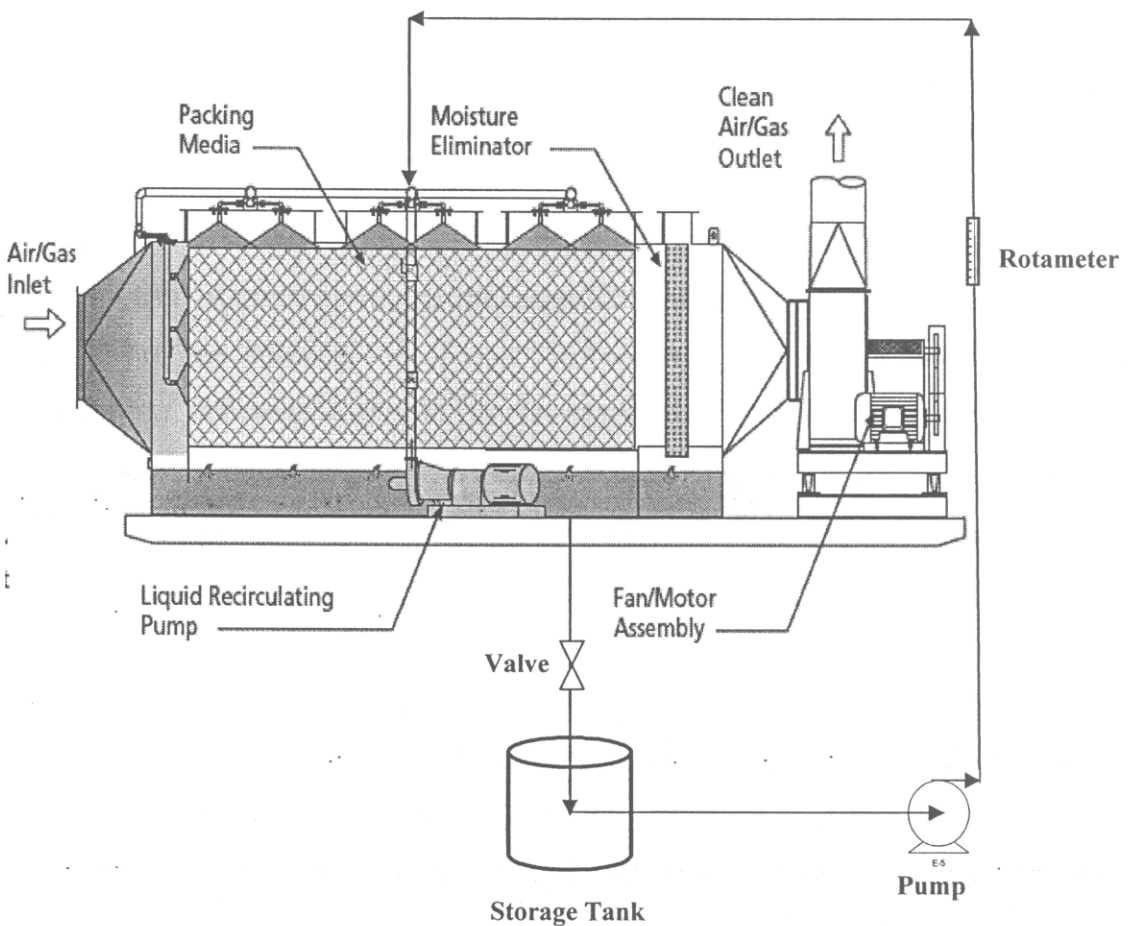
จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบค่าความเข้มข้นของสารดูดซับที่เหมาะสมต่อการดำเนินการ โดยกำหนดให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมเท่ากับ X4 ซึ่งค่า X4 จะถูกนำไปใช้ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรอื่นในชุดการทดลองต่อไป

การทดลองที่ 20-23 เป็นการทดลองเพื่อหา L/G ratio ที่เหมาะสมทำการทดลอง โดยใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมเท่ากับ X4 คงที่ตลอดการทดลอง ทำการเปลี่ยนแปลงค่า L/G ratio ในช่วง 30-100 l/m³ และใช้ค่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ทางเข้าที่วัด ได้จริงและวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติกในก๊าซเสียหลังการบำบัดที่ค่า L/G ratio ต่างๆ และคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มาพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับค่า 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 นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกและพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของก๊าซและพิจารณาหาอัตราการไหลของก๊าซที่เหมาะสมต่อการดำเนินการ 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 หอคูดูดซึมที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 เพื่อการควบคุมปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากเตาอบยาง และเป็นระบบที่มีการทำงานหลัก ภายใต้อัตราการดูดซึมสารมลพิษทางอากาศจากเตาอบยาง โดยการใช้น้ำเป็นสารดูดซึมในการบำบัดกลิ่น 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 การทดลองบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึมในหอคูดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมของบริษัท สยามอินโด รับเบอร์ จำกัด เริ่มต้นโดยการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้นของสารดูดซึมตามต้องการลงในถังบรรจุสารละลาย และเก็บตัวอย่างสารดูดซึมเพื่อนำไปวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เมื่อได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของสารดูดซึมที่ต้องการแล้วจึงป้อนสารดูดซึมให้ไหลเข้าทางด้านบนของหอคูดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมผ่านอุปกรณ์การกระจายของเหลว (Liquid distributor) ด้วยอัตราการไหลของสารดูดซึม 66 l/min จากนั้นก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากปล่องควันของเตาอบยางจะไหลเข้าหอคูดูดซึมแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรมในแนวนอน ด้วยอัตราการไหลของก๊าซเสีย 6390 m³/min ก๊าซเสียและสารดูดซึมโซเดียมไฮดรอกไซด์จะไหลผ่านตัวกลาง (Packing Media) ภายในหอคูดูดซึมและเกิดการสัมผัสกันระหว่างก๊าซและของเหลวเกิดการดูดซึมและปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารดูดซึมกับสารประกอบในก๊าซเสีย ก๊าซเสียที่ผ่านการบำบัดจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศทางปล่องควัน ส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไหลผ่านหอคูดูดซึมจะลงสู่ถังบรรจุสารละลายและหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซที่ทางเข้าและที่ทางออกของหอคูดูดซึมเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดอะซิติกในก๊าซก่อนและออกจากหอคูดูดซึมและเก็บตัวอย่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในถังบรรจุสารละลายไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลืออยู่ในถังที่เวลาต่างๆ ตามเวลาที่กำหนดจนถึงที่สุดการทดลอง

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 โดยก๊าซเสียจะไหลเข้าสู่ท่อทางเข้าของอิมพิงค์เจอร์ผ่านหัวกระจายก๊าซซึ่งช่วยให้ก๊าซสามารถดูดซับลงในสารละลาย NaOH หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ CH_3COOH ด้วยวิธีการไตเตรทแบบย้อนกลับ (Back Titration) โดยการไตเตรทด้วยสารละลาย 0.002 N HCl

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

3.5.3 Gilibrator Air Flow Calibration ใช้สำหรับการตรวจสอบค่าของอัตราการไหลของก๊าซที่ไหลผ่านปัมป์เก็บตัวอย่าง

3.5.4 สายยางซิลิโคน ใช้เป็นท่อทางไหลของก๊าซเสียที่ต่อกันของชุดอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างและท่อเก็บตัวอย่างจากคอลัมน์บรรจุ

3.6 วิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซและการหาประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติก

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

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

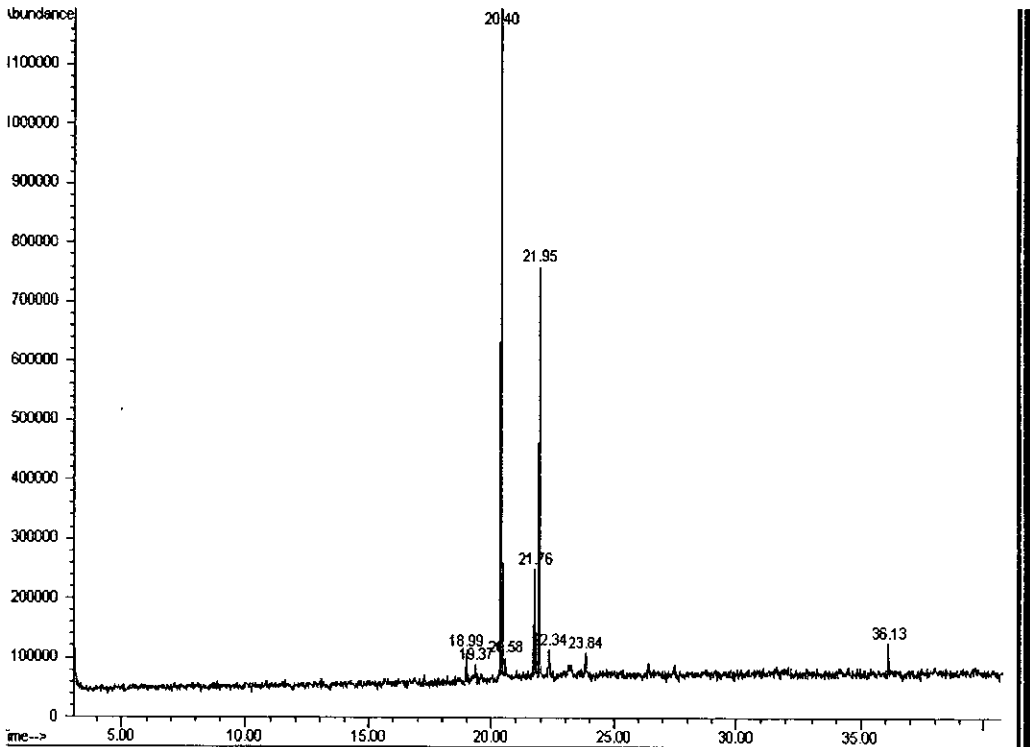
บทที่ 4

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 กรดไขมันระเหยเหล่านั้นได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทิริก กรดพอฟิโอนิก กรดไอโซบิวทิริก กรดบิวทิริก กรดวาเลริก และกรดไอโซวาเลริก ตามลำดับ นอกจากกรดไขมันระเหยแล้วยังพบว่ามีสารประกอบอินทรีย์อื่นที่ปรากฏอีก คือ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยตรวจพบเมทิลปาล์มิเตท ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สอดคล้องกับการรายงานของนักวิจัยท่านอื่น (Isa, 1991; Ugwuanyi *et al.*, 2005) ซึ่งระบุว่ากรดไขมันระเหยในเทอมของกรดอะซิติก กรดบิวทิริก กรดพอฟิโอนิก กรดไอโซบิวทิริก กรดบิวทิริก กรดวาเลริก และกรดไอโซวาเลริก จะเป็นสารอินทรีย์หลักที่พบในก๊าซเสียที่ระบายออกจากที่อบยาง และจากการศึกษายังพบอีกว่า องค์ประกอบทางเคมีที่เด่นชัดในก๊าซเสียที่ระบายออกจากที่อบยาง คือ กรดอะซิติก โดยการศึกษาของ (Galli *et al.*, 2002) พบว่ากรดอะซิติกที่พบในก๊าซเสียที่ระบายออกจากเตาอบยางนั้นเกิดขึ้นจากกระบวนการหมักของคาร์โบไฮเดรตและการแช่อย่างกันด้วยในน้ำเป็นเวลานานจะทำให้มี

ปริมาณกรดอะซิติกสูงขึ้น (Sakdapipanich and Insom, 2006) และจากการรายงานของ สมทิพย์และคณะ (2550) ได้ระบุค่า Odour Recognition Threshold ของกรดอะซิติกไว้ว่ากรดอะซิติกมีค่า Odour Recognition Threshold เท่ากับ 1 ppm โดยปริมาตรอากาศ และมีลักษณะที่ แยกแยะของกลิ่นว่าเป็นกลิ่นเหม็นเปรี้ยว (Hesketh and Cross, 1989) ในขณะที่เมทิลปาล์มิเตทนั้น จะมีค่า Odour Recognition Threshold > 1 ppm โดยปริมาตรอากาศ (Moretti *et al.*, 2008) การที่ กรดอะซิติกมีค่า Odour Recognition Threshold น้อยกว่าเมทิลปาล์มิเตทแสดงว่าจะสามารถรับรู้ กลิ่นของกรดอะซิติกได้ก่อนเมทิลปาล์มิเตท และเนื่องจากกรดอะซิติกมีจุดเดือดที่ต่ำกว่า เมทิลปาล์มิเตท ดังนั้นกรดอะซิติกสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ดีกว่าเมทิลปาล์มิเตท นอกจากนั้น แล้วกรดอะซิติกยังมีความสามารถในการแพร่ในอากาศได้ดีกว่าเมทิลปาล์มิเตทเนื่องจากกรด อะซิติกมีมวล โมเลกุลน้อยกว่ามวล โมเลกุลของเมทิลปาล์มิเตท ดังนั้นจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้สามารถระบุได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยางและทำให้รับรู้ได้ว่า มีกลิ่นเหม็น คือ กรดอะซิติก การวิจัยนี้จึงวิเคราะห์ความรุนแรงของกลิ่นจากความเข้มข้นของ กรดอะซิติกซึ่งวัดได้จากการหาปริมาณของกรดไขมันระเหยในหอมของกรดอะซิติก

4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากเตาอบยาง

ก๊าซเสียอีกชนิดหนึ่งที่ถูกปล่อยออกมาพร้อมๆ กับกรดอะซิติก คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซเสียโดย Gas Chromatograph ที่ใช้ ดีเทคเตอร์ชนิด Thermal Conductivity ในการวิเคราะห์พบว่ามีปริมาณของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากปล่องควันของเตาอบยางประมาณ $0.08 \pm 0.001\%$ โดยปริมาตร อากาศ หรือประมาณ 800 ppm และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับข้อมูลจากการรายงานของ (Jonathan *et al.*, 2008) ซึ่งระบุว่ามาตรฐานของการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ คือ 0.5% โดยปริมาตรอากาศ หรือ 5,000 ppm โดยเฉลี่ยในระยะเวลา 8 ชั่วโมง แสดงว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากเตาอบยางยังอยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานที่กำหนด แต่ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 800 ppm ยังถือว่ามีความเข้มข้นสูงกว่าปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศอยู่ ดังนั้นการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงเป็นผลพลอย ได้จากการบำบัดกรดอะซิติกไปด้วย

4.3 การวิเคราะห์ค่าความแม่นยำของวิธีการวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติก

ในการวิเคราะห์ค่าความแม่นยำของวิธีการวัดความเข้มข้นของกรดอะซิติกระหว่างวิธีการไตเตรทแบบย้อนกลับกับวิธีการไตเตรทกรดไขมันระเหยง่ายจากน้ำทำโดยการตรวจวัดกรดอะซิติกโดยใช้วิธีการดังกล่าวและเปรียบเทียบผลกับค่ากรดอะซิติกมาตรฐาน โดยมีผลการดำเนินการดังนี้

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

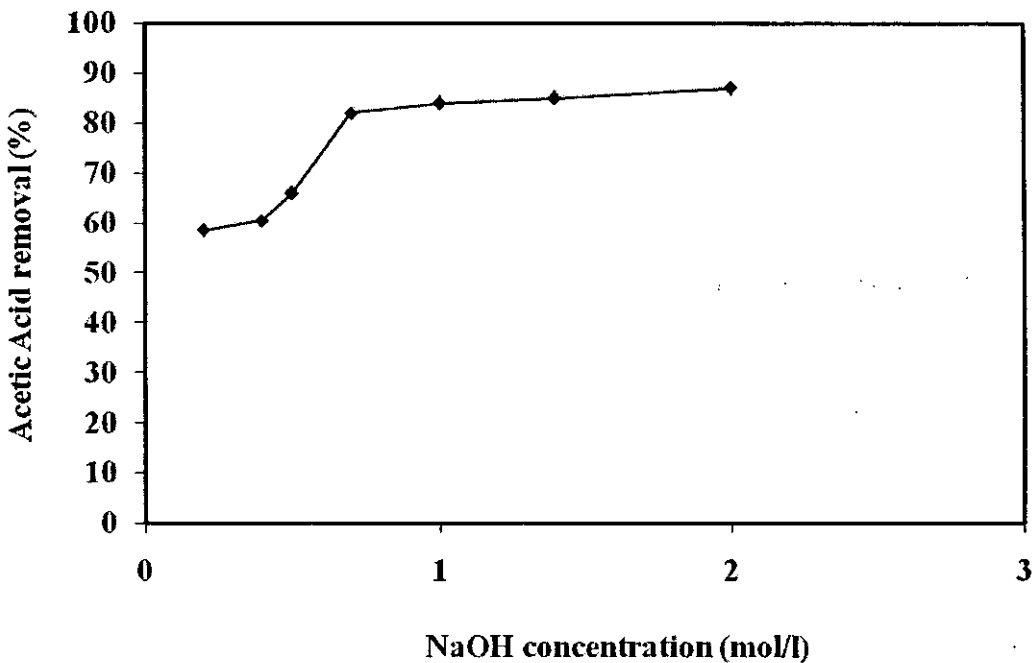
จากตารางที่ 4-1 เมื่อเปรียบเทียบค่าความแม่นยำระหว่างวิธีการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายโดยการไตเตรทแบบย้อนกลับและการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจากน้ำโดยการไตเตรทพบว่าความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ได้จากการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายโดยการไตเตรทแบบย้อนกลับจะมีความแม่นยำสูงกว่าวิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย

จากน้ำโดยการไคเตรท ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการไคเตรทแบบย้อนกลับในการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายในหอมของกรดอะซิติก

4.4 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึมในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot

4.4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (C_{NaOH}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก

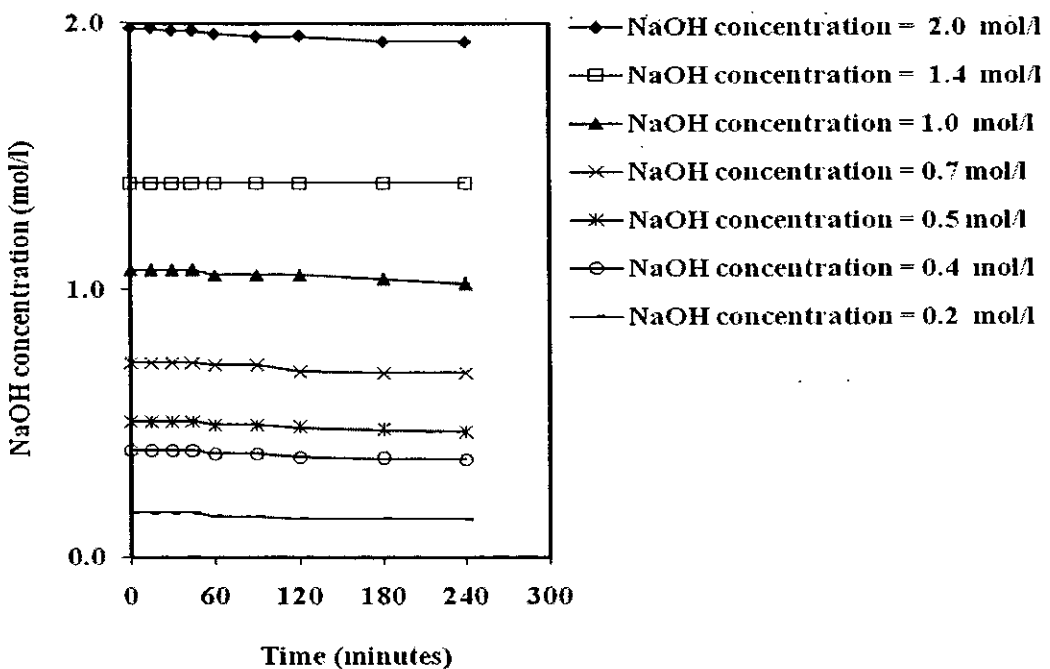
ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก เมื่อควบคุมให้อัตราการไหลของสารดูดซึม และอัตราการป้อนก๊าซคงที่ ดังภาพประกอบที่ 4-2



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 และมีกลิ่นฉุนรุนแรงเนื่องจากปริมาณของเบสที่ใช้สูง 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



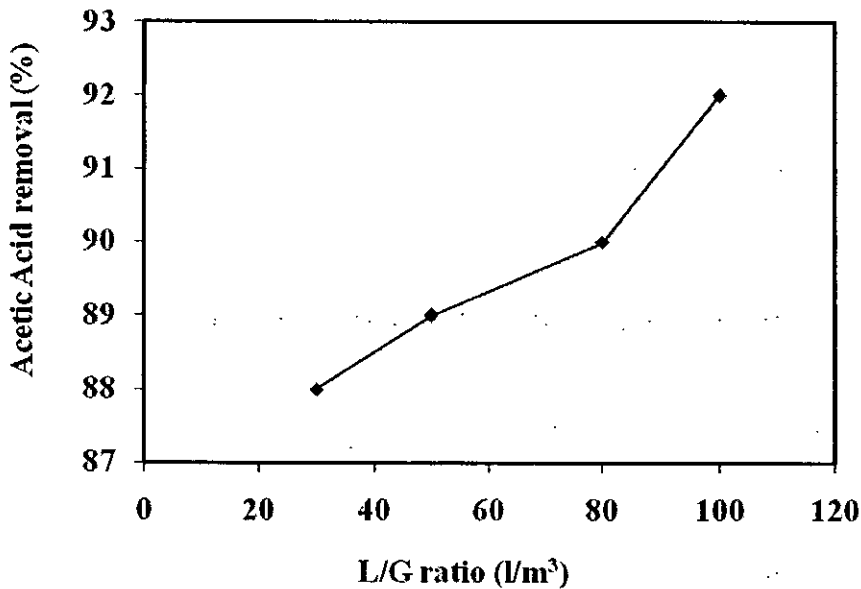
ภาพประกอบที่ 4-3 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{NaOH} กับเวลา

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

จากภาพประกอบที่ 4-3 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของ NaOH กับเวลา มีแนวโน้มคงที่ตลอดเวลาในทุกความเข้มข้นที่ศึกษา แสดงว่าในทุกสภาวะยังคงมีปริมาณของ NaOH มากเกินพอสำหรับการทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติก

4.4.2 ผลของอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ (L/G ratio) ต่อประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติก

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



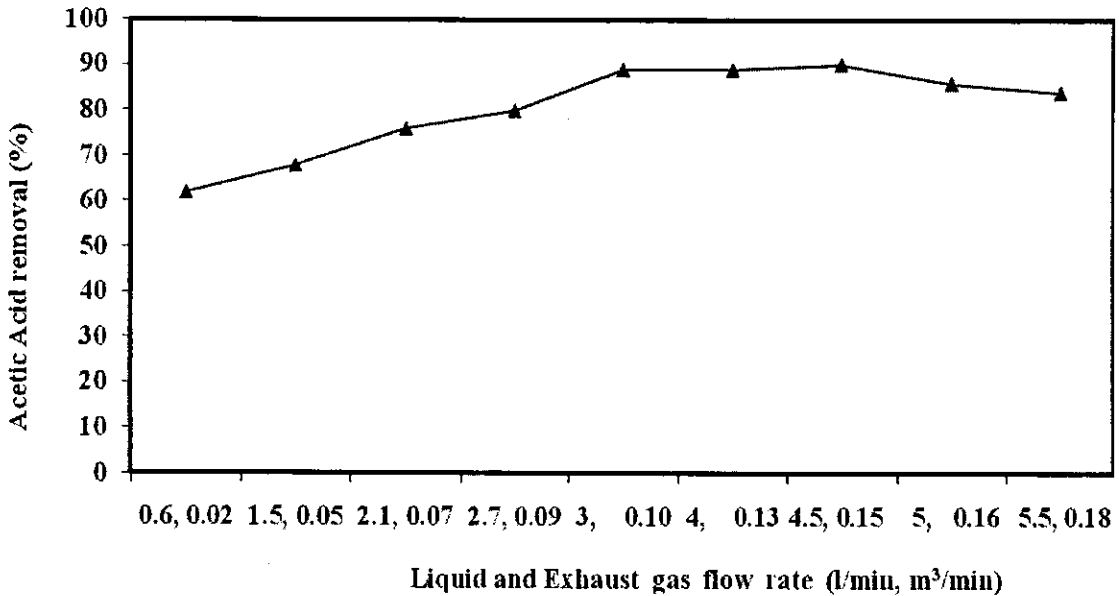
ภาพประกอบที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซในช่วง 30 – 100 l/m³
($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $C_{\text{NaOH}} = 0.7 \text{ mol/l}$)

จากภาพประกอบที่ 4-4 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซ เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกจะสูงขึ้น 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 /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 การศึกษาผลของอัตราการไหลของก๊าซและผลของอัตราการไหลของสารดูดซับต่อประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติก

การศึกษาค้นคว้าผลของอัตราการไหลของสารดูดซับ (L) และอัตราการไหลของก๊าซ (G) ทำการศึกษาโดยควบคุมให้อัตราการไหลของสารดูดซับต่ออัตราการไหลของก๊าซเท่ากับ 30 l/m³ และความเข้มข้นของสารดูดซับ 0.7 mol/l ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ผ่านมา ผลของ L และ G ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก แสดงในภาพประกอบที่ 4-5



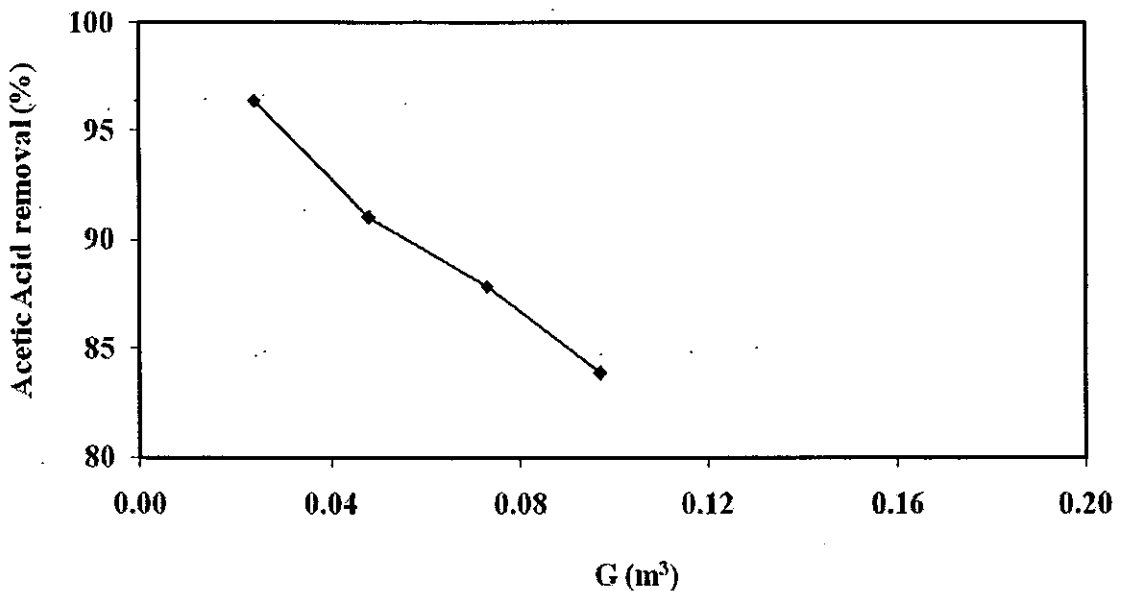
ภาพประกอบที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกกับผลของอัตราการไหลของสารดูดซึมและอัตราการไหลของก๊าซ เมื่อ $L = 0.6-5.5$ l/min, $G = 0.02-0.18$ m³/min (L/G ratio = 30 l/m³, $C_{NaOH} = 0.7$ mol/l)

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 การดำเนินการดังกล่าวมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของสารดูดซึมและอัตราการไหลของก๊าซมากขึ้นมีผลต่อการถ่ายโอนมวลในเฟสแก๊สและเฟสของเหลว โดยที่การเพิ่มอัตราการไหลของสารดูดซึมเป็นการลดความต้านทานในการถ่ายโอนมวลในเฟสของเหลวซึ่งเมื่อความต้านทานลดลงจะเกิดการถ่ายโอนจากเฟสแก๊สไปสู่ของเหลวได้มากขึ้น 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

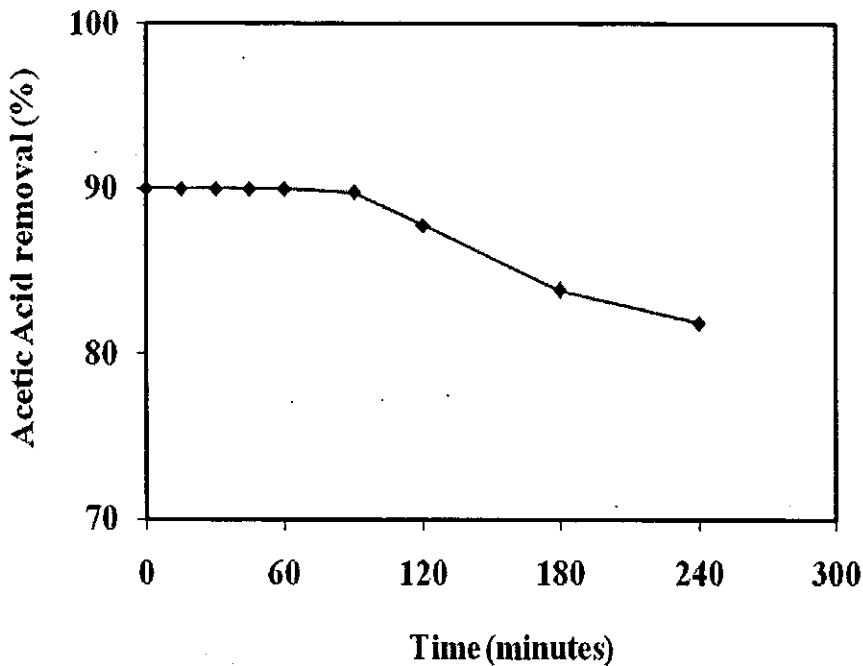


ภาพประกอบที่ 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของก๊าซที่ $G = 0.02-0.09$ m³/min ($L = 10$ l/min, $C_{\text{NaOH}} = 0.7$ mol/l)

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

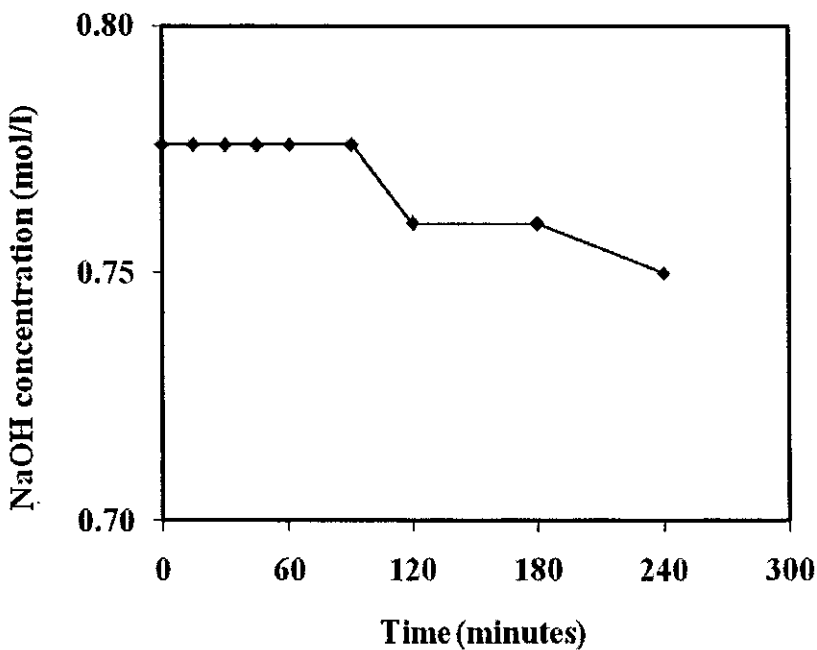
4.4.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใน สภาวะที่เหมาะสม

สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ จากการศึกษาในหัวข้อก่อนหน้า คือ L/G ratio = 30 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 ผลการศึกษาการบำบัดกรดอะซิติกโดย ใช้สภาวะที่เหมาะสม $L = 4.5 \text{ l/min}$, $G = 0.15 \text{ m}^3/\text{min}$, L/G ratio = 30 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 ratio = 30 l/m^3)

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



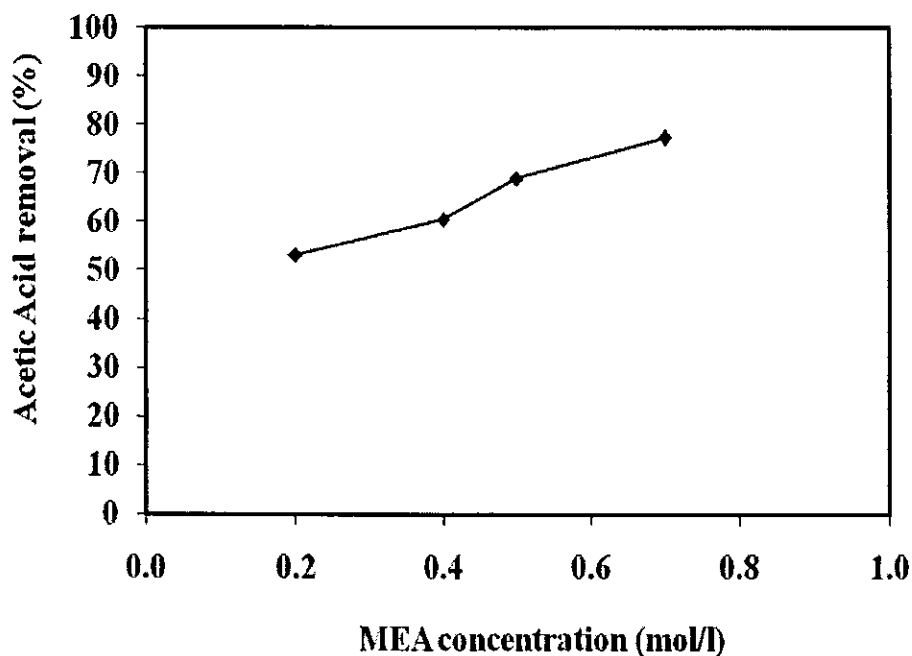
ภาพประกอบที่ 4-8 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{NaOH} กับ เวลา

จากภาพประกอบที่ 4-8 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มคงที่ในช่วงเวลา 90 นาทีแรก และหลังจากช่วงเวลา 90 นาทีเป็นต้นไป ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้นการทดลองนำสถานะที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้จะต้องมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าสู่ระบบให้คงที่เท่ากับ 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

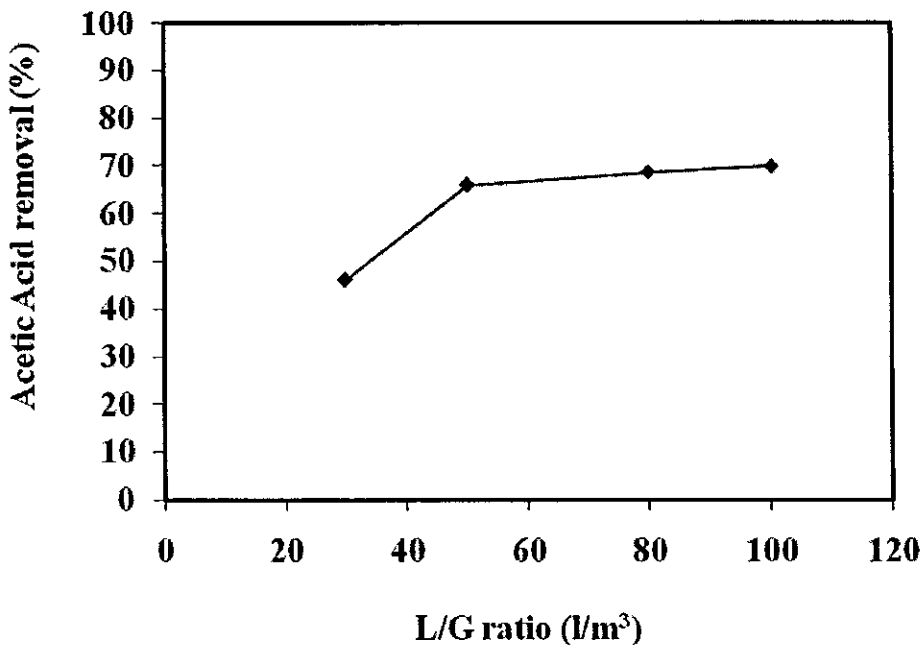
ความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในช่วง 0.2–0.7 mol/l

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

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

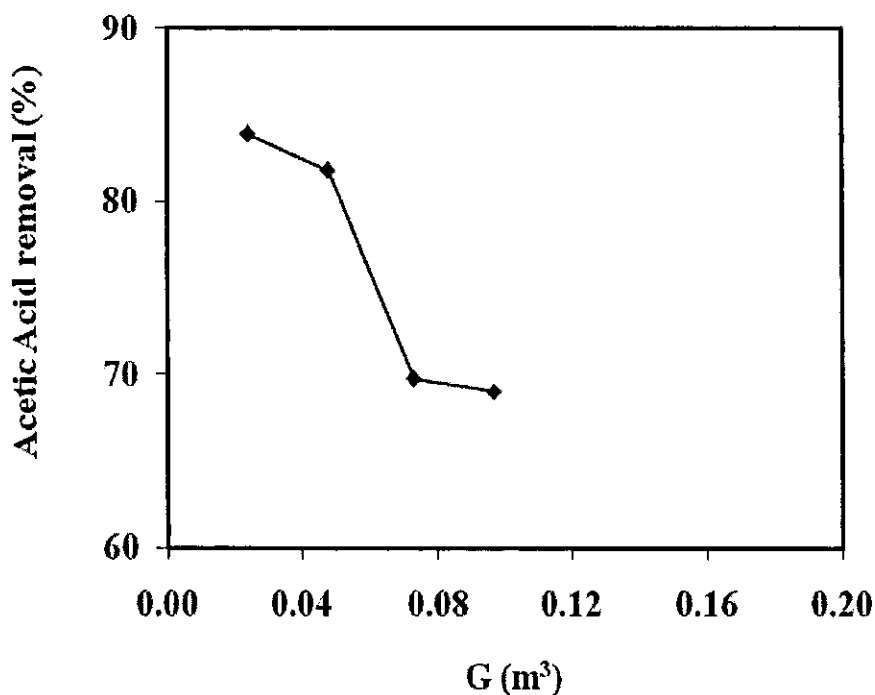


ภาพประกอบที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติกกับอัตราการไหลของสารดูดซึมต่ออัตราการไหลของก๊าซที่ L/G ratio = 30–100 l/min ($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol/l}$)

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 เมื่อควบคุมอัตราการไหลของสารดูดซับ และความเข้มข้นของสารดูดซับให้คงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-11

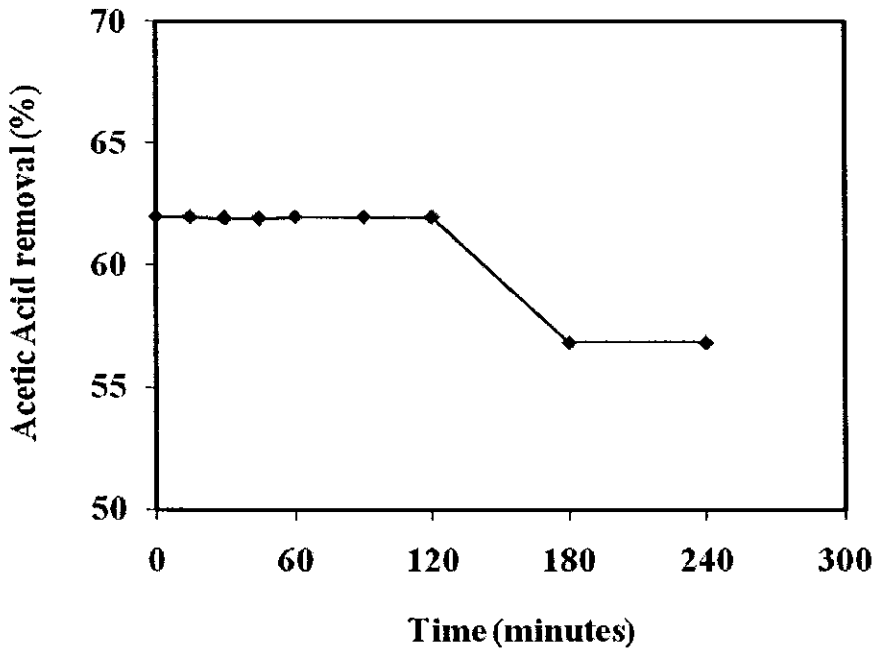


ภาพประกอบที่ 4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกกับอัตราการไหลของก๊าซที่ $G = 0.02-0.09 \text{ m}^3/\text{min}$ ($L = 10 \text{ l}/\text{min}$, $C_{\text{MEA}} = 0.7 \text{ mol}/\text{l}$)

จากภาพประกอบที่ 4-11 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดอะซิติกจะมีแนวโน้มลดลงตามอัตราการไหลของก๊าซที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซจะทำให้ Retention time ลดลง การดูดซับจึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่าที่อัตราการไหลของก๊าซต่ำ

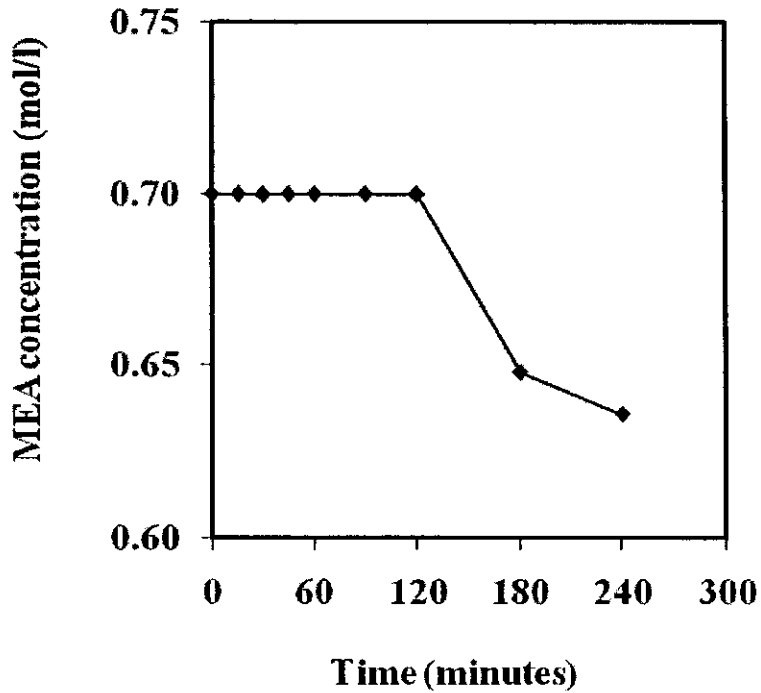
4.5.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในสภาวะที่เหมาะสมสำหรับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

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



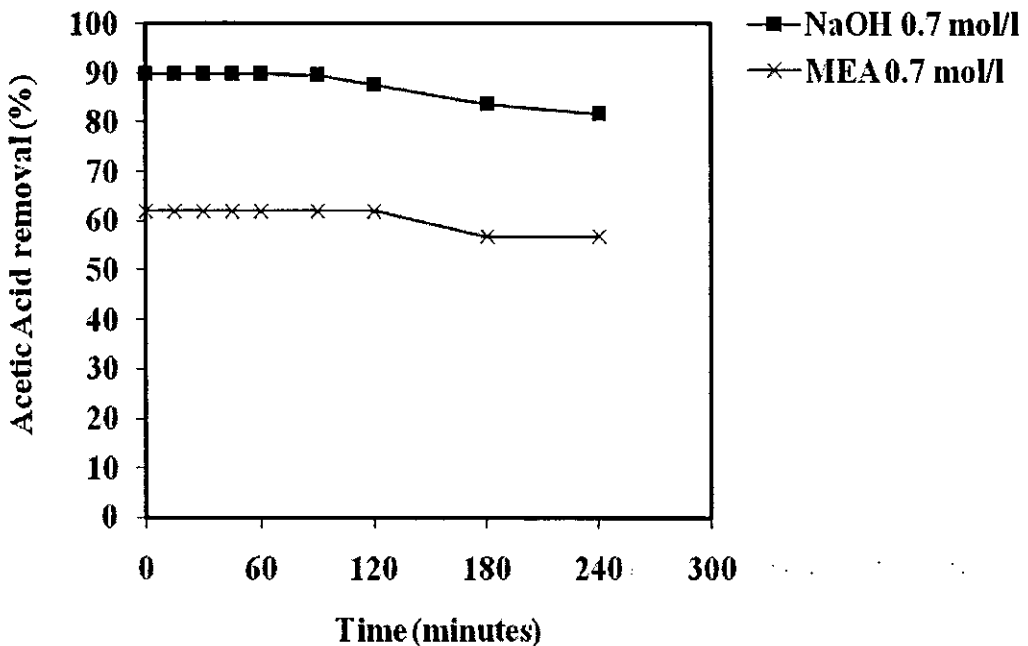
ภาพประกอบที่ 4-13 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{MEA} กับเวลาที่

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

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

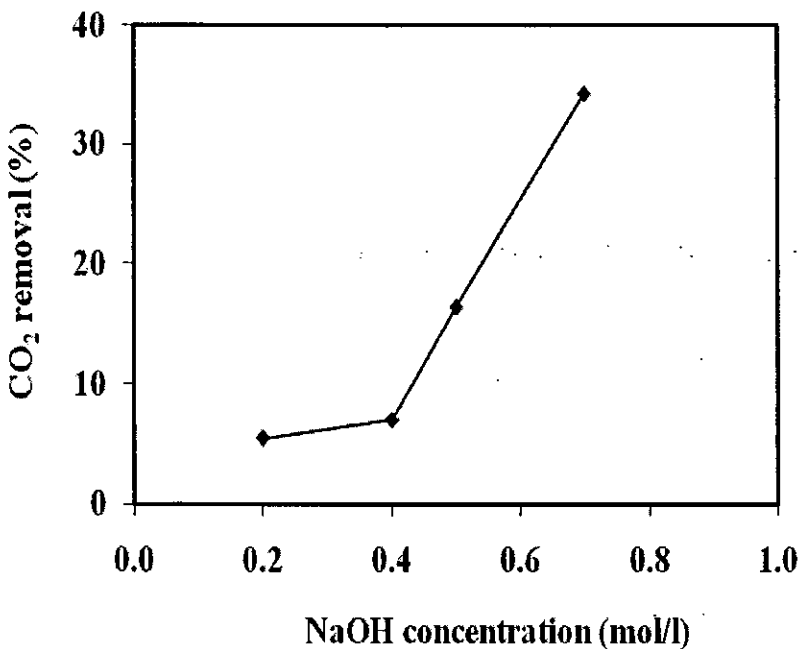
จากภาพประกอบที่ 4-14 แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะเดียวกันการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับในการบำบัดกรดอะซิติกจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกสูงกว่าเมื่อใช้โมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซับถึงประมาณ 30% และเมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในเรื่องของค่าสารเคมีที่สภาวะดังกล่าวพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีความคุ้มค่าน่าใช้จ่ายมากกว่าสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 4.8.5

4.6 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

นอกเหนือจากผลการศึกษาดังกล่าวพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกแล้วยังมีก๊าซเสียที่เป็นผลพลอยได้และถูกบำบัดไปพร้อมๆกับกรดอะซิติก คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.6.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในสารดูดซึม (C_{NaOH}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาต่างๆ เมื่อควบคุมให้อัตราการไหลของก๊าซและอัตราการไหลของสารดูดซึมคงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-15



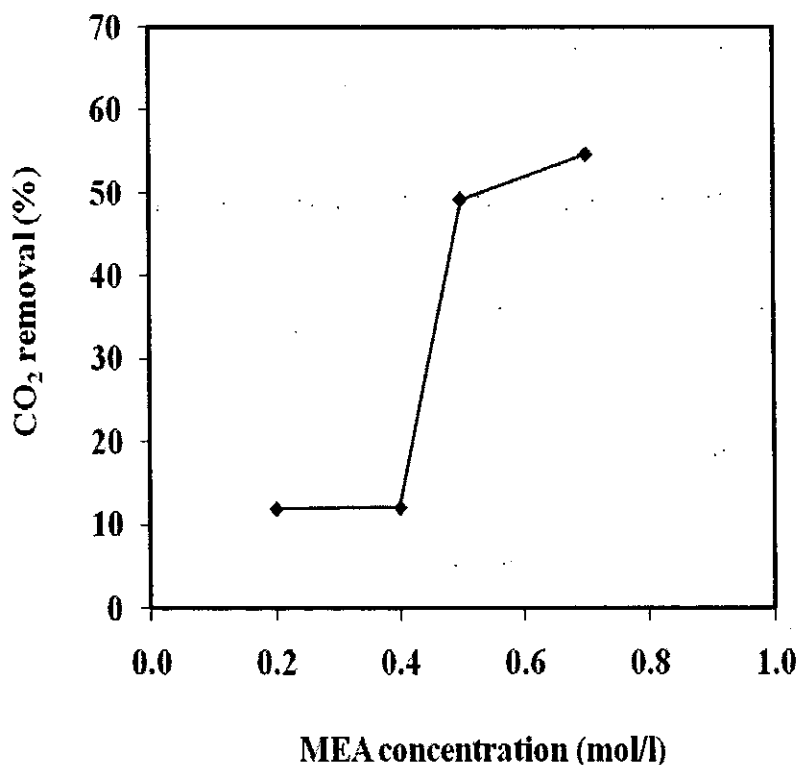
ภาพประกอบที่ 4-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วง 0.2–0.7 mol/l
($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l}/\text{min}$)

จากภาพประกอบที่ 4-15 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด CO_2 สูงขึ้นตามความเข้มข้นของ NaOH ที่สูงขึ้นสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อน (Chen *et al.*, 2003) และผลการศึกษาก่อน

(Chasanis *et al.*, 2010) ซึ่งรายงานว่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH ให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัด CO_2 จะมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จะทำให้มีปริมาณของ OH^- ต่อปริมาตรเพิ่มขึ้นและทำปฏิกิริยากับ CO_2 ได้มากขึ้น (Lin *et al.*, 2008) และปริมาณของไอออนของ OH^- ที่เพิ่มขึ้นยังมีผลต่อการดูดซึมก๊าซที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นของ OH^- มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา (Taghizadeh *et al.*, 2001; Yi *et al.*, 2009)

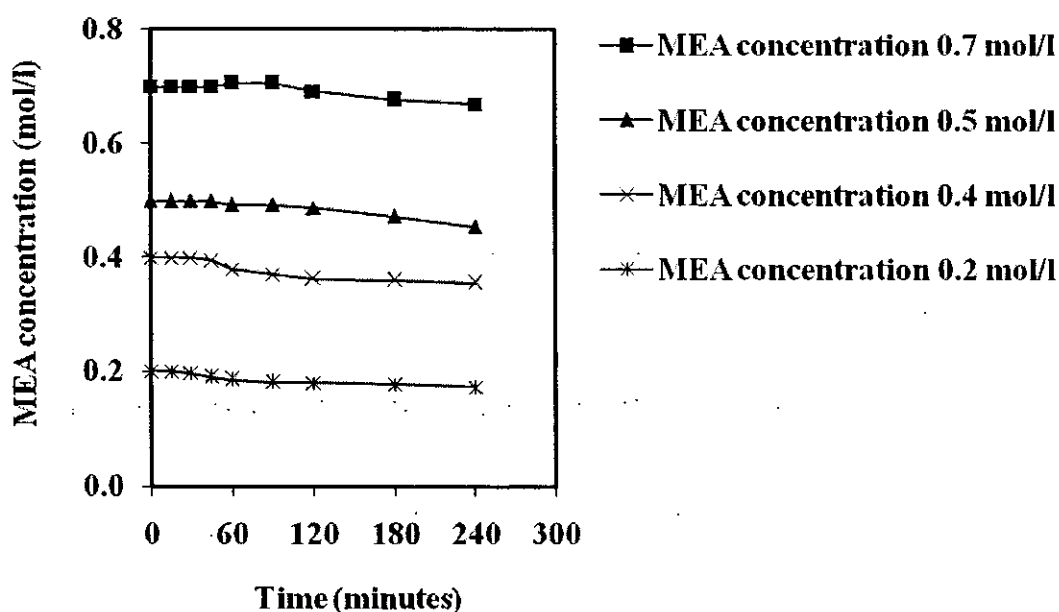
4.6.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีน (C_{MEA}) ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผลของความเข้มข้นของ MEA ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาต่างๆ เมื่อควบคุมให้ อัตราการไหลของก๊าซและอัตราการไหลของสารดูดซึมคงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-16



ภาพประกอบที่ 4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์กับความเข้มข้นของโมโนเอทานอลเอมีนในช่วง 0.2–0.7 mol/l
($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l}/\text{min}$)

จากภาพประกอบที่ 4-16 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ MEA ในช่วง 0.4-0.7 mol/l ประสิทธิภาพในการบำบัด CO_2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นชัดเจนสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Kuntz *et al.*, 2008) เนื่องจากที่ความเข้มข้นดังกล่าวเป็นช่วงที่มีความสามารถในการดูดซึมสูง (Setameteekul *et al.*, 2008) นอกจากนี้แล้วการเพิ่มความเข้มข้นของ MEA เป็นการเพิ่มปริมาณของ MEA ที่จะแพร่ไปยังอินเตอร์เฟซระหว่างเฟสก๊าซและเฟสของเหลวทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับ CO_2 ได้มากขึ้น (Demontigny, 1998) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนที่เวลาต่างๆ ในระหว่างการบำบัดคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-17

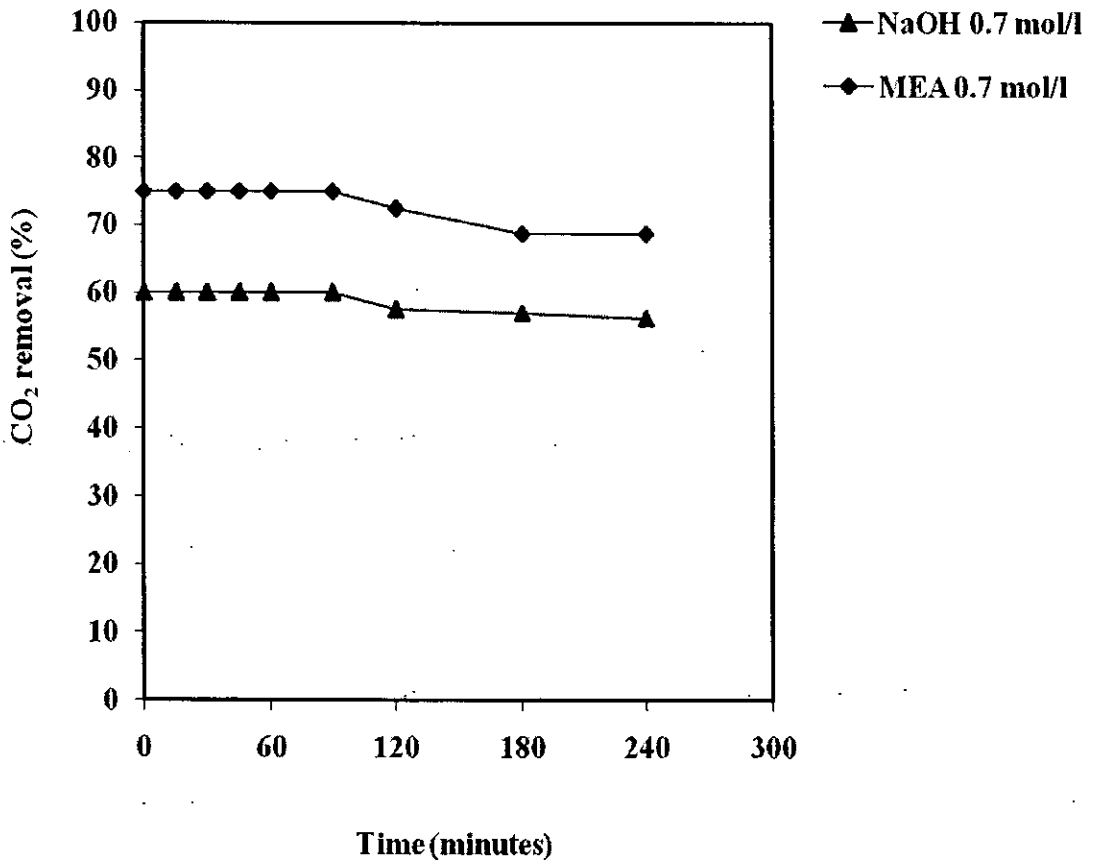


ภาพประกอบที่ 4-17 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ C_{MEA} กับเวลา
($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l}/\text{min}$)

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

4.6.3 การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนในสถานะที่เหมาะสม

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



ภาพประกอบที่ 4-18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลาเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และ โมโนเอทานอลเอมีน 0.7 mol/l

จากภาพประกอบที่ 4-18 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับการใช้โมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซับที่สภาวะการทดลอง ความเข้มข้นของสารดูดซับ 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 พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับจะมีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้โมโนเอทานอลเอมีนเป็นสารดูดซับอยู่ประมาณ 10% ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนมีแรงดึงผิวที่ต่ำกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังแสดงในตารางที่ 4-2 โดยที่ค่าแรงดึงผิวที่ต่ำกว่ามีผลต่อความสามารถในการกระจายตัวของของเหลวบนพื้นผิวของตัวกลางได้มากกว่าจึงให้ประสิทธิภาพในการบำบัด CO_2 สูงกว่า (Aroonwilas *et al.*, 1999)

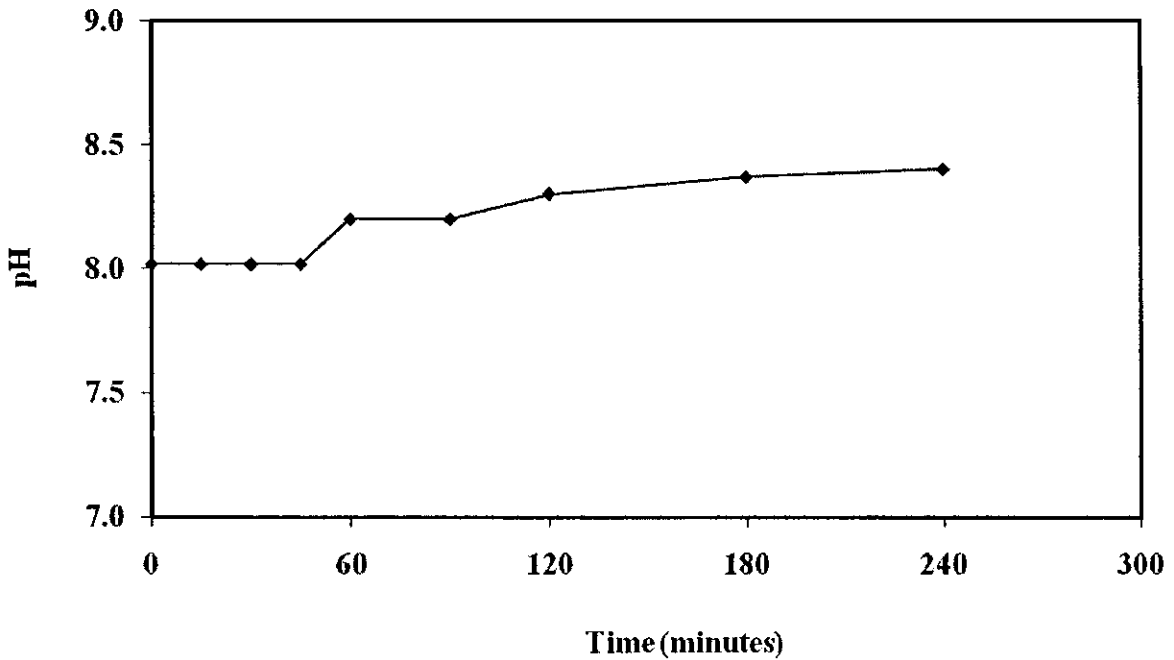
ตารางที่ 4-2 แสดงค่าแรงดึงผิวของสารละลาย NaOH และ MEA

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

4.7 ผลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอะซิติกเมื่อนำเป็นสารดูดซับ

4.7.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำ กับเวลา

การเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำในระหว่างการบำบัดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-19

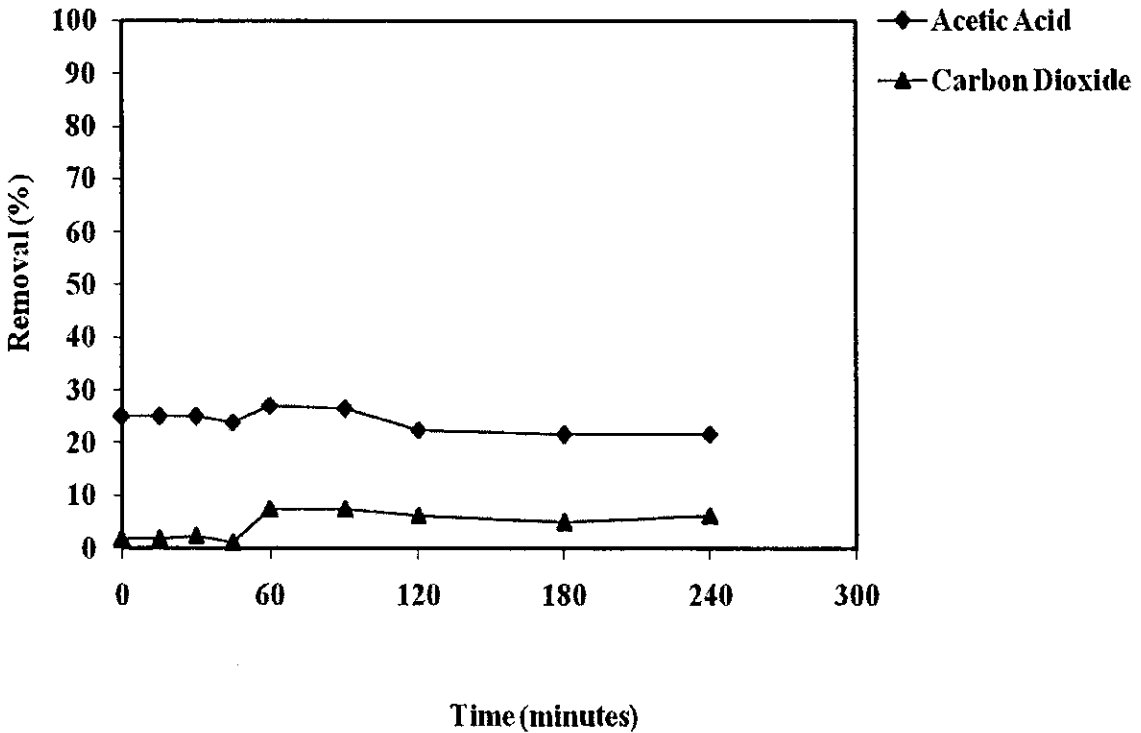


ภาพประกอบที่ 4-19 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ pH ของน้ำ กับเวลา
($G = 0.1 \text{ m}^3/\text{min}$, $L = 9 \text{ l}/\text{min}$)

จากภาพประกอบที่ 4-19 พบว่าแนวโน้ม pH ของน้ำที่ใช้ในการบำบัดกรดอะซิติก และ CO_2 จะเพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลาการทดลอง 4 ชั่วโมง เนื่องจาก CO_2 ทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ซึ่งละลายอยู่ในน้ำ และกรดคาร์บอนิกจะแตกตัวให้โปรตอน H^+ (ซึ่งแสดงความเป็นกรด) และไบคาร์บอเนต HCO_3^- โดยกรดคาร์บอนิก เมื่อโดนความร้อนจากไอร้อนในก๊าซเสียจะสลายตัวให้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปก๊าซซึ่งจะระเหยออกไปทำให้ pH สูงขึ้น และมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์โดยทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลงหรือสูงขึ้นเล็กน้อย

4.7.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม

ประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกรดอะซิติกที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้น้ำเป็นสารดูดซึมและควบคุมให้อัตราการไหลของก๊าซและอัตราการไหลของสารดูดซึมให้คงที่ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-20



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

จากภาพประกอบที่ 4-20 เมื่อนำน้ำเป็นสารดูดซับในการบำบัดกรดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์นั้นพบว่าในช่วง 45 นาทีแรกประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มคงที่ แต่หลังจาก 45 นาทีเป็นต้นไปจะสังเกตเห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเนื่องจากมี pH สูงขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว ในการบำบัดก่อนที่จะเริ่มมีแนวโน้มลดลงและคงที่อีกครั้งที่ค่าอื่นเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 120 นาที เนื่องจากความสามารถในการดูดซับกรดอะซิติกและคาร์บอนไดออกไซด์จะขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการละลายน้ำ (Bunyakan, 2006) โดยที่ค่าความสามารถในการดูดซับด้วยน้ำจะสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายของสารแต่ละชนิด โดยสารที่สามารถละลายน้ำได้ดีก็จะสามารถดูดซับในน้ำได้มากกว่าสารที่ละลายในน้ำได้น้อย ซึ่งความสามารถในการละลายในน้ำของสารพิจารณาได้จากค่า Henry's law constant ซึ่งถ้าค่า Henry's law constant สูงหมายถึงสารนั้นสามารถในการละลายในน้ำได้น้อย 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/db/solvents/solvent_pages/Miscellaneous-HTML/acetic_acid.htm;

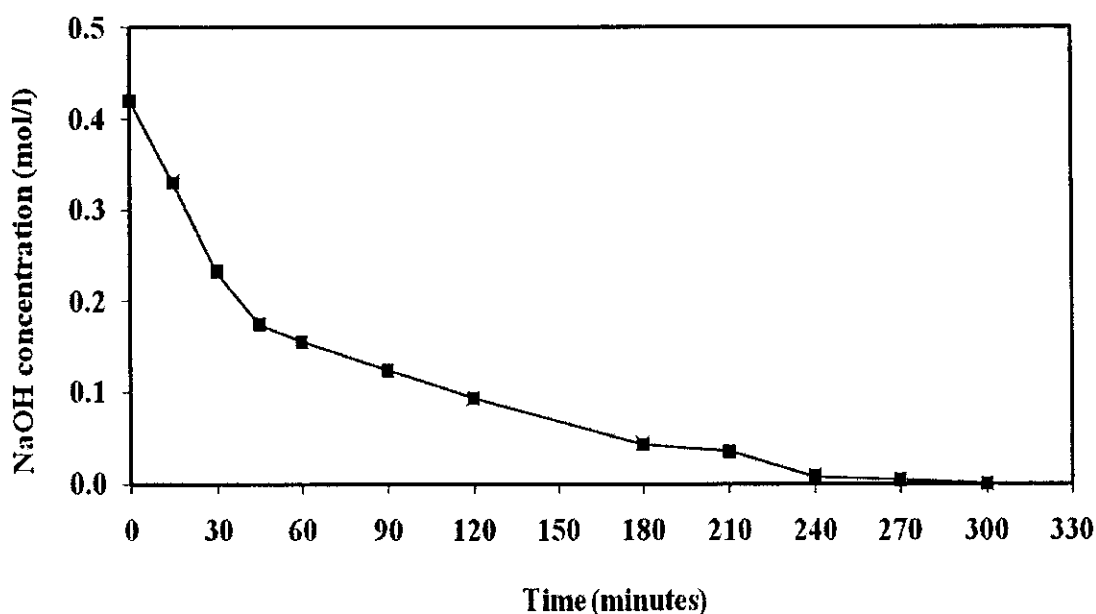
http://en.wikipedia.org/wiki/Henry's_law)

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

4.8 การดำเนินการประยุกต์ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับหอดูดซึมขนาดอุตสาหกรรมในโรงงาน

4.8.1 การทดลองวัดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบำบัดกรดอะซิติก

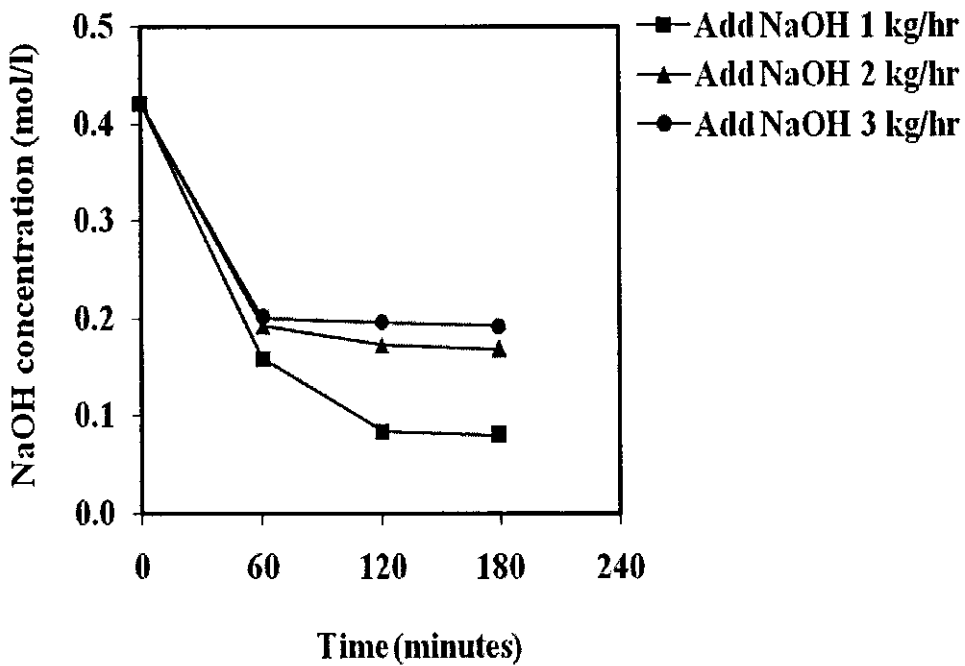
ผลการทดลองวัดความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยที่ไม่มีการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังภาพประกอบที่ 4-21



ภาพประกอบที่ 4-21 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเวลา

ข้อมูลความเข้มข้นของ NaOH ที่แสดงในภาพประกอบที่ 4-21 ได้จากการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.42 mol/l และป้อนเข้าสู่ระบบหอดูดซึมเพื่อบำบัดกรดอะซิติก หลังจากนั้นทำการวัดความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระบบโดยที่ไม่มีการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อตรวจสอบแนวโน้มการลดลงกับเวลาของสารดูดซึม พบว่าในช่วง 15 นาทีแรกของการทดลอง ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีแนวโน้มที่จะลดลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งที่เวลา 5 ชั่วโมงของการทดลองพบว่าไม่มีปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เหลืออยู่ในระบบ จากผลการทดลองพบว่าอัตราการลดลงของความเข้มข้นของสารดูดซึมต่อเวลาในช่วง 15 นาทีแรกเท่ากับ 0.006 mol/min หรือในอัตรา 14.4 g/hr ดังนั้นถ้าต้องการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้คงที่ที่ 0.42 mol/l ในเบื้องต้น

การเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าสู่ระบบในอัตรา 14.4 g/hr แต่ในการทดลองพบว่า การเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้าสู่ระบบในอัตรา 14.4 g/hr นั้นมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการควบคุมความเข้มข้นให้คงที่ที่ 0.42 mol/l ได้ ดังนั้นจึงดำเนินการทดลองโดยเพิ่มปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมเข้าสู่ระบบให้มากขึ้นเป็น 1 kg/hr, 2 kg/hr และ 3 kg/hr ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-22



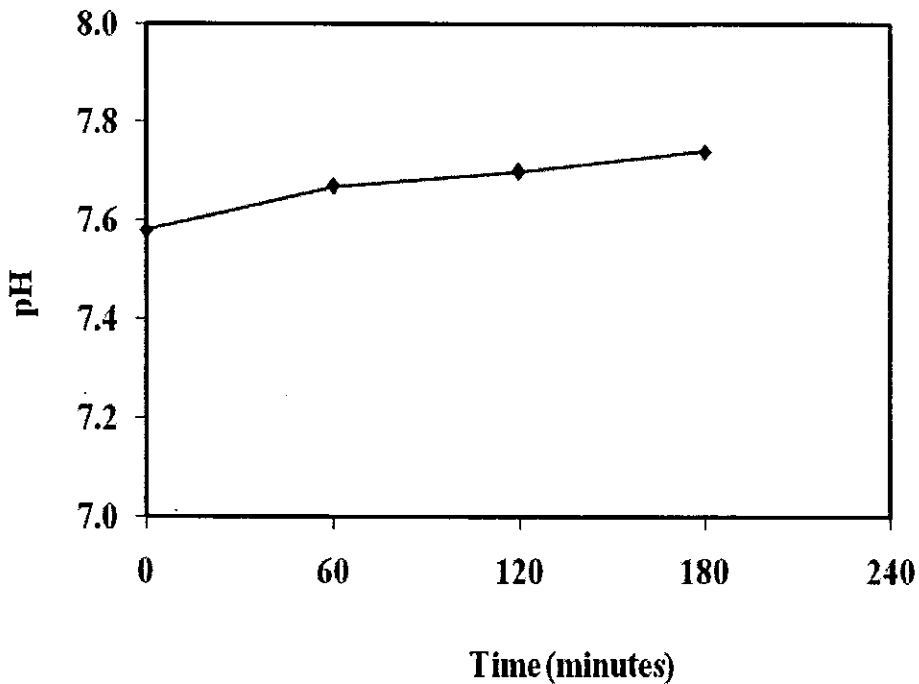
ภาพประกอบที่ 4-22 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่วัดได้จากการเติม ในปริมาณ 1 kg/hr, 2 kg/hr และ 3 kg/hr ตามลำดับ

จากภาพประกอบที่ 4-22 . เริ่มต้นการทดลองโดยการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.7 mol/l และทำการวัดความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นหลังจากการไหลเวียนในระบบพบว่า มีสารละลายไหลเวียนอยู่ในระบบที่มีความเข้มข้น 0.42 mol/l เนื่องจากในหลอดชิมขนาดอุตสาหกรรมและชั้นพักน้ำมีของเหลวค้างก่อนการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.7 mol/l ในระบบจำนวน 100 ลิตรจึงทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเจือจางลงและทำการวัดความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เวลาต่างๆที่มีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 kg/hr, 2 kg/hr และ 3 kg/hr ตามลำดับ พบว่าที่ระดับการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณ 1 kg/hr ความเข้มข้นของ NaOH ลดลงในช่วง 1 ชั่วโมงแรกเนื่องจากมีของเหลวติดค้างไป

กับตะกอนจากตัวกลางหลังจากนั้นพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นค่อนข้างจะคงที่ที่ 0.1 mol/l และที่ระดับการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้นเป็น 2 kg/hr พบว่าความเข้มข้นของ NaOH ลดลงในช่วง 1 ชั่วโมงแรกเช่นกันและหลังจากนั้นจะมีแนวโน้มคงที่ที่ 0.2 mol/l ในขณะที่ระดับการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 3 kg/hr จะมีการลดลงใน 1 ชั่วโมงแรกในลักษณะเดียวกัน หลังจากนั้นจึงมีแนวโน้มคงที่ที่ความเข้มข้น 0.2 mol/l เช่นกัน จากผลการศึกษาพบว่าสามารถควบคุมความเข้มข้นของ NaOH ให้คงที่ได้ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้เพียง 0.2 mol/l โดยไม่มีปัญหาการเกิดฟองอากาศ จึงทดลองใช้ความเข้มข้นดังกล่าวในการบำบัดกลิ่นต่อไป

4.8.2 การทดลองวัดค่า pH ของน้ำจากการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่

การใช้งานหอคูดซึมน้ำขนาดอุตสาหกรรมของโรงงานจะใช้น้ำบาดาลเป็นของเหลวหูดซึมน้ำจากการตรวจสอบ pH ของน้ำที่เวลาต่างๆ ได้ผลการตรวจวัดดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-23

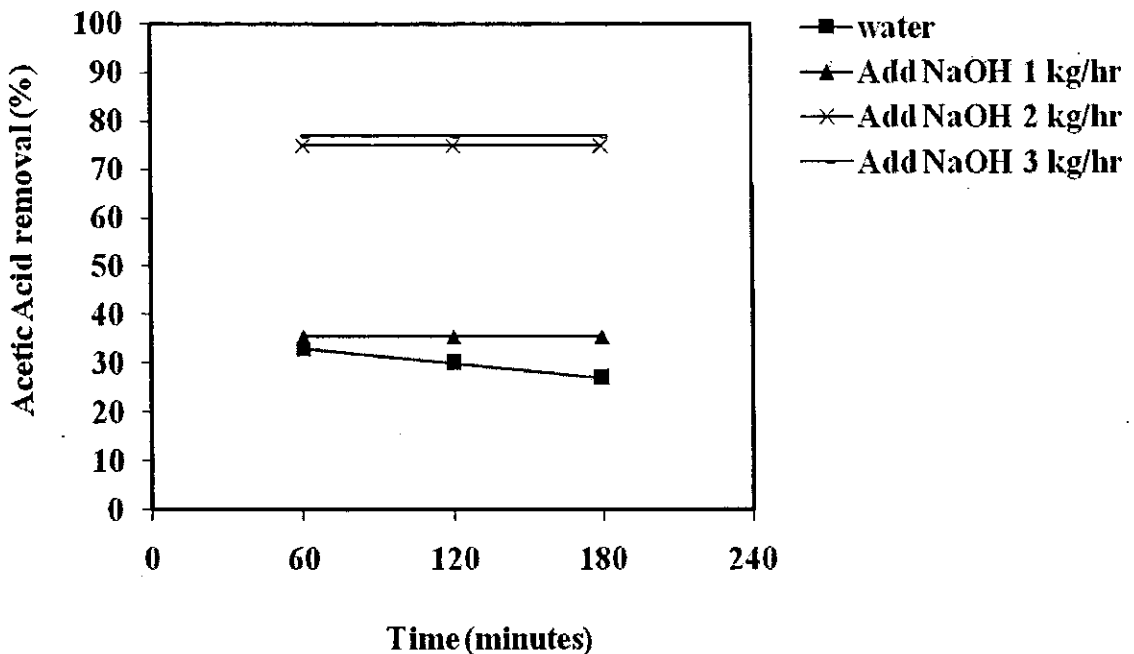


ภาพประกอบที่ 4-23 กราฟแสดงค่า pH ของน้ำที่ได้จากการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่

จากภาพประกอบที่ 4-23 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง pH ของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจาก CO_2 ทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ซึ่งละลายอยู่ในน้ำ และกรดคาร์บอนิกจะแตกตัวให้โปรตอน H^+ (ซึ่งแสดงความเป็นกรด) และไบคาร์บอเนต HCO_3^- โดยกรดคาร์บอนิก เมื่อโดนความร้อนจากเตาอบยางจะสลายตัวให้น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปก๊าซซึ่งจะระเหยออกไปทำให้ pH สูงขึ้น การควบคุม pH ของน้ำให้ลดลงทำได้โดยการเติมสารพวกกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก, แอมโมเนียซัลเฟต เป็นต้น แล้วตรวจวัดด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์

4.8.3 การทดลองวัดประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารดูดซึมที่เป็นน้ำและการดูดซึมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอดูดซึมแบบเปียก โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณ 1 kg/hr, 2 kg/hr และ 3 kg/hr

ผลของการทดลองวัดประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติก โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึมเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึม โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 kg/hr, 2 kg/hr และ 3 kg/hr แสดงดังภาพประกอบที่ 4-24



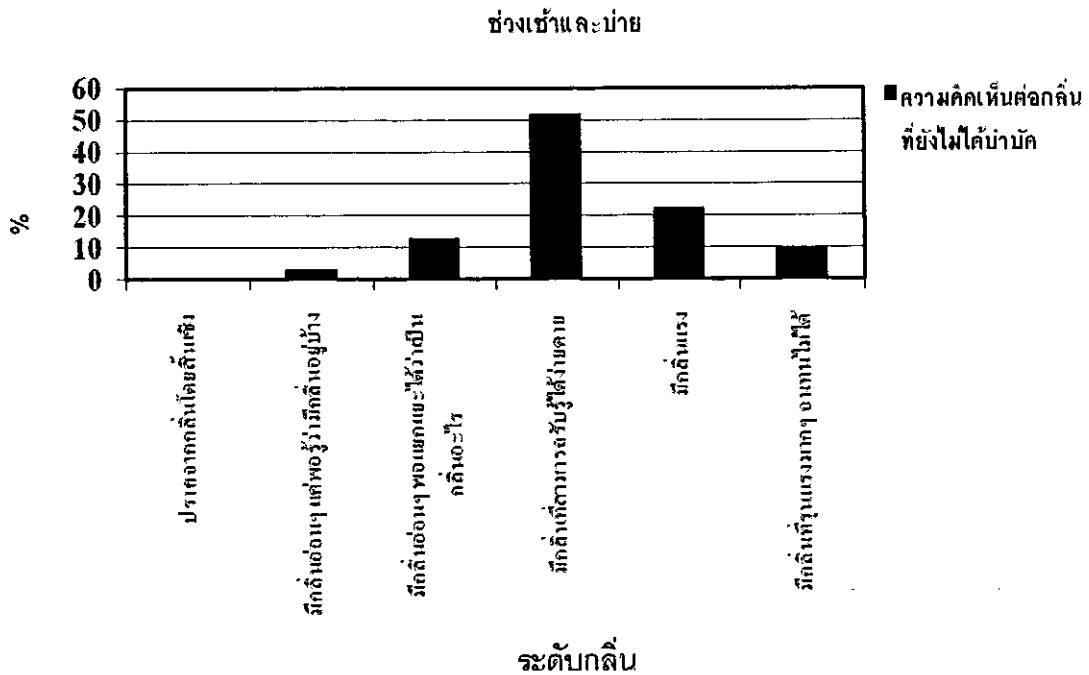
ภาพประกอบที่ 4-24 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกโดยการดูดซึมด้วยน้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอดูดซึมแบบเปียก โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1 kg/hr, 2 kg/hr และ 3 kg/hr ตามลำดับ

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

4.8.4 การสำรวจและสอบถามความคิดเห็นของพนักงาน บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด ต่อระดับความแรงของกลิ่นกรณีที่ไม่ได้มีการบำบัดกับกลิ่นและกรณีที่มีการบำบัดโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 kg/hr และ 2 kg/hr ตามลำดับ

การสำรวจและสอบถามความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นกรณีที่ไม่ได้มีการบำบัดและกรณีที่มีการบำบัดกลิ่น โดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตรา 1 kg/hr และ 2 kg/hr ตามลำดับ ทำการศึกษาโดยการแจกแบบสอบถามให้กับพนักงาน บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด จำนวน 20 คน โดยจะให้พนักงานกรอกแบบสอบถามในช่วงเวลา 1 วัน (ช่วงเช้าและบ่าย) ซึ่งนำเสนอข้อมูลจากการสำรวจไว้ใน ภาคผนวก จ ได้ผลการสำรวจในกรณีต่างๆ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4-25 ถึง 4-27

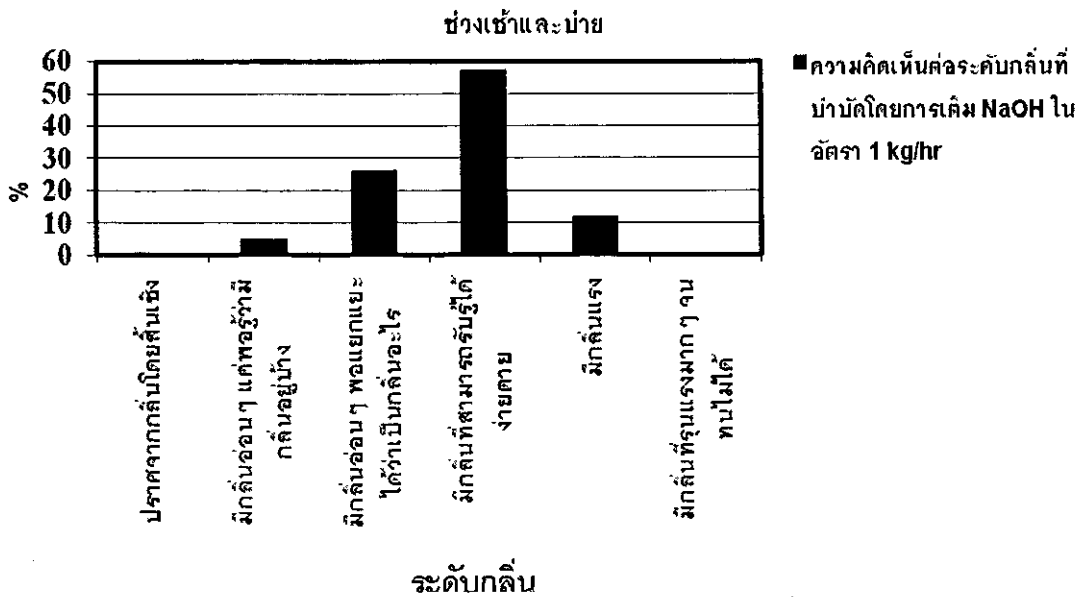
ผลการสำรวจความคิดเห็นของบุคลากรใน โรงงานต่อระดับความแรงของกลิ่น ในช่วงเช้าและช่วงบ่ายที่ไม่มีการบำบัดด้วยสารเคมี แสดงดังภาพประกอบที่ 4-25



ภาพประกอบที่ 4-25 กราฟแสดงความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัดในช่วงเช้าและบ่าย

จากภาพประกอบที่ 4-25 พบว่าความคิดเห็นต่อระดับกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัด โดยส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 50 เห็นว่าระดับของกลิ่นในช่วงเช้าและบ่ายนั้นมีกลิ่นที่สามารถรับรู้ได้ง่ายดาย เนื่องจากในช่วงเช้าและบ่ายมีความกดอากาศทำให้สามารถรับรู้กลิ่นได้ง่าย และไม่มีความคิดเห็นว่าในช่วงเช้าและบ่ายนั้นปราศจากกลิ่นโดยสิ้นเชิง อย่างไรก็ตามมีความเห็นว่าช่วงเช้าและบ่ายจะมีกลิ่นแรงและมีกลิ่นรุนแรงมากจนทนไม่ได้ 25% และ 10% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วแสดงว่าความคิดเห็นต่อความแรงของกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัดในช่วงเช้าและบ่ายในระดับมีกลิ่นแรงถึงรุนแรงมากๆ จนทนไม่ได้นั้นมีถึงประมาณ 35%

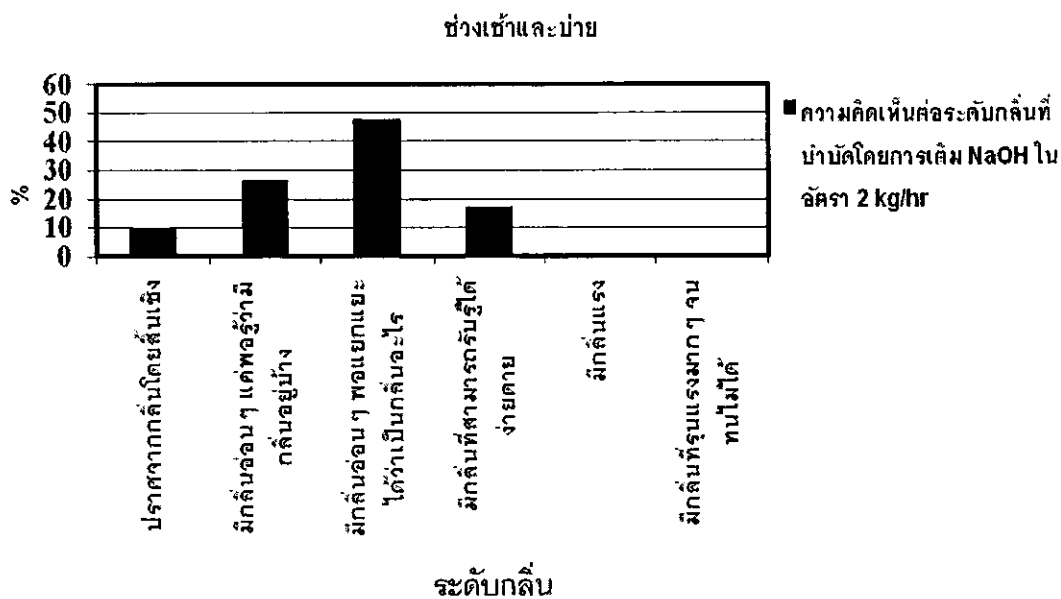
ผลการสำรวจความคิดเห็นของบุคลากรในโรงงาน เมื่อทำการบำบัดก๊าซเสียจากปล่องควันโดยการเติม NaOH ในอัตรา 1 kg ต่อชั่วโมง แสดงดังภาพประกอบที่ 4-26



ภาพประกอบที่ 4-26 กราฟแสดงความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่บำบัดโดยการเติม NaOH 1 kg/hr ในช่วงเช้าและบ่าย

จากภาพประกอบที่ 4-26 พบว่าความคิดเห็นต่อระดับกลิ่นบำบัดโดยการเติม NaOH ปริมาณ 1 kg/hr ในช่วงเช้าและบ่ายโดยส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 57 เห็นว่าระดับของกลิ่นในช่วงเช้าและบ่ายจากการบำบัดโดยใช้สารเคมีโดยการเติม NaOH 1 kg/hr นั้นมีกลิ่นที่สามารถรับรู้ได้ง่ายคายน และเริ่มมีความเห็นว่ามีกลิ่นอ่อนๆ แต่พอรู้ว่า มีกลิ่นบ้างอยู่เล็กน้อยประมาณ 5% และความเห็นว่ายังมีกลิ่นแรงอยู่นั้นลดลงลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัดถึง 15%

ผลการสำรวจความคิดเห็นของบุคลากรในโรงงาน เมื่อทำการบำบัดก๊าซเสียจากปล่องควัน โดยการเติม NaOH ในอัตรา 2 kg ต่อชั่วโมง แสดงดังภาพประกอบที่ 4-27



ภาพประกอบที่ 4-27 กราฟแสดงความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่บำบัด โดยการเติม NaOH 2 kg/hr ในช่วงเช้าและบ่าย

จากภาพประกอบที่ 4-27 พบว่าความคิดเห็นต่อระดับกลิ่นที่บำบัด โดยการเติม NaOH ปริมาณ 2 kg/hr ในช่วงเช้าและบ่าย โดยส่วนใหญ่ประมาณ 45% เห็นว่าระดับของกลิ่นในช่วงเช้าและบ่ายจากการเติม NaOH ปริมาณ 2 kg/hr ลดลงจนมีกลิ่นอ่อนๆ พอแยกแยะออกได้ว่าเป็นกลิ่นอะไร และมีความเห็นว่ามีกลิ่นในระดับที่ปราศจากกลิ่น โดยสิ้นเชิงและมีกลิ่นอ่อนๆ แต่พอรู้ว่า มีกลิ่นอยู่บ้างเพิ่มขึ้นประมาณ 10% และ 25% ตามลำดับ และไม่มีความเห็นว่ามีกลิ่นแรงหรือมีกลิ่นรุนแรงมากๆ จนทนไม่ได้ แสดงว่าการบำบัดโดยใช้ NaOH 2 kg/hr สามารถลดความรุนแรงของกลิ่นได้เป็นอย่างดี โดยที่บุคลากรส่วนใหญ่ประมาณ 45% เห็นว่าไม่มีกลิ่นถึงมีกลิ่นอ่อนๆ ดังข้อมูลที่แสดงดังภาพประกอบที่ 4-27

4.8.5 การศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนในการบำบัดกรดอะซิดิกในหอคูดซึ่มแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรม

ในการดำเนินการทดลองบำบัดกลิ่น โดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึ่มในหอคูดซึ่มแบบเปียกขนาดอุตสาหกรรมจะพิจารณาถึงราคาของสารเคมีแต่ละตัวเพื่อความสะดวกในการพิจารณาเลือกใช้สารเคมีเพื่อความคุ้มค่าในการลงทุนดังแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 แสดงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายสารเคมี

สารดูดซึ่ม	บาท/ m ³
น้ำ	3.5
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Commercial grade)	160
โมโนเอทานอลเอมีน (Commercial grade)	2,281

จากตารางที่ 4-4 หากประเมินถึงความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายเบื้องต้นควรเลือกใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบำบัดกรดอะซิดิกจากก๊าซเสียจากเตาอบยาง เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนและมีราคาแพงกว่าการใช้น้ำเป็นสารดูดซึ่มแต่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิดิกที่สูงกว่า

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการลงทุน

จากวิเคราะห์การดำเนินการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าการลงทุนสารเคมีในการทดลองเติมสารละลาย NaOH ในอัตรา 2 kg/hr ในหอคูดซึ่มขนาดอุตสาหกรรมในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่งโดยทั่วไปมีค่าการลงทุนในช่วง 1-1.25 บาทต่อตันยางแท่ง และในหอคูดซึ่มขนาดอุตสาหกรรมในบริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัดมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสารเคมี 0.50 บาทต่อตันยางแท่ง และในการบำบัดกรดอะซิดิกที่ปนเปื้อนในอากาศเสียสามารถลดการปนเปื้อนของกรดอะซิดิกในอากาศในบริเวณที่ทำงานและสามารถลดการปล่อยกรดอะซิดิกออกสู่บรรยากาศภายนอก จึงเป็นการลดมลพิษในสถานที่ทำงานและมลพิษทางอากาศได้โดยตรง ซึ่งน่าจะนำไปสู่การลดปัญหาที่มีการร้องเรียนมาจากชุมชนได้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุขนาด Pilot

จากการศึกษาการบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้ NaOH และ MEA ในคอลัมน์บรรจุขนาด pilot มีข้อสรุป คือ ในการวิเคราะห์ห้องค้ำประกอบทางเคมีในก๊าซเสียที่เกิดจากการอบยางพบว่าองค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดกลิ่น คือ กรดอะซิติก จึงสามารถวิเคราะห์ความเข้มข้นของกลิ่นในก๊าซเสียได้โดยใช้วิธีการไตเตรทแบบย้อนกลับ และในการทดลองบำบัดกรดอะซิติกโดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับในคอลัมน์บรรจุขนาด pilot พบว่าการใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนจะให้ประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกสูงสุดเท่ากับ 87% ในขณะที่เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับจะได้ประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกสูงสุดถึง 96% ดังนั้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับที่สามารถบำบัดกรดอะซิติกได้ดีกว่าสารละลายโมโนเอทานอลเอมีน โดยสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกรดอะซิติก 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 จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดกรดอะซิติกสูงพอและเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงและเมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายและความคิดเห็น

จาก พนักงาน บริษัท สยามอินโด รับเบอร์ จำกัดต่อระดับความแรงกลิ้งก่อนและหลังการบำบัด สามารถสรุปได้ว่าการบำบัดกรดอะซิติคโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซึ่มใน หอดูดซึ่มแบบเปียก (Wet Scrubber) โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณ 2 kg/hr เป็น สภาวะที่เหมาะสมที่สุด

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 อุยะเสถียร เทวัญ ฉวางวงศานุกูล และ ไกรชาติ ดันตระการอาภา. 2550. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่มีกลิ่นกับความแรงของกลิ่น. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัย สิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ Environment and Natural Resources Journal. 5(2): 101-108.

สมทิพย์ คำานธีรวนิษฐ์ สุนิดา ย่องเหล่ายุ่ง พรทิพย์ ศรีแดง และ สุวลักษณ์ วิสุนทร. 2550. ประเด็นสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ในภาคใต้ของไทย. โครงการวิจัยปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 1-13.

สมทิพย์ คำานธีรวนิษฐ์ สุนิดา ย่องเหล่ายุ่ง พรทิพย์ ศรีแดง สุวลักษณ์ วิสุนทร และ พิมพ์พิมล เพ็ญจรรย์ส. 2550. การจำแนกสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20. โครงการวิจัยปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 25-35.

สมทิพย์ คำานธีรวนิษฐ์ สุนิดา ย่องเหล่ายุ่ง พรทิพย์ ศรีแดง สุวลักษณ์ วิสุนทร และ พิมพ์พิมล เพ็ญจรรย์ส. 2550. การตรวจสอบเบื้องต้นของการบำบัดกรดไขมันระเหยในระบบดักจับแบบเปียกของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20. โครงการวิจัยปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 36-45.

สมทิพย์ คำนธีรวณิชย์ เกลิมพงศ์ อินทร์แก้ว พรทิพย์ ศรีแดง สุวลักษณ์ วิสุนทร และ พิมพ์พิมล เพ็ญจรรย์ส. 2550. การบำบัดกรดไขมันระเหยจากก๊าซที่ระบายออกมาจากที่อบยางกันด้วยของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ด้วยระบบตัวกรองทางชีวภาพ. โครงการวิจัยปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี 46-57.

สุนารี คิลกานนท์. 2548. การวิเคราะห์กลิ่นด้วยการดม (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.

Bunyakan, 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/db/solvents/solvent_pages/Miscellaneous-HTML/acetic_acid.htm (10 ธันวาคม 2552)
- _____.(2552).(On-line) .Avilable: http://en.wikipedia.org/wiki/Henry's_law (10 ธันวาคม 2552)
- _____.(2552).(On-line) .Avilable: <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=9> (10 ธันวาคม 2552)
- _____.(2552).(On-line).Avilable:<https://fscimage.fishersci.com/msds/91160.htm> (10 ธันวาคม 2552)