

## การออกแบบและสร้างระบบบำบัดก๊าซชีวภาพโดยเทคนิคการดูดซึมด้วยเอมีน Design and Construction of Biogas Purification System Using Amine Absorption

จุฬารัตน์ อรุณรักษ์<sup>1</sup> รัชพล สันติวารากร<sup>2\*</sup> และ วศกร ตีร์เดช<sup>3</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

E-mail: chularat\_u@hotmail.com<sup>1</sup>, ratchaphon@kku.ac.th<sup>2\*</sup>, wasakron@livere.kku.ac.th<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อทำการออกแบบและสร้างระบบบำบัดก๊าซชีวภาพด้วยเทคนิค การดูดซึมด้วย สารละลายเอมีนในคอลัมน์อัดตัว โดยมีลักษณะการออกแบบเป็นถังที่มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 cm สูง 90 cm บรรจุวัสดุตัวกลางเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส โดยในการทดลองจะใช้สารละลายเอมีน ชนิดโมโนเอทานอลเอมีน (MEA) เป็นตัวดูดซับ โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 0.1 โมล ที่อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 10,20,30 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 15 ลิตรต่อนาที จากการผลทดลองพบว่าที่อัตราการไหลของ สารละลายเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที สามารถแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพได้ ดีที่สุด โดยการ ทดลองที่สภาวะดังกล่าว สามารถเพิ่มปริมาณ ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ จาก 51.5 % เป็น 82 % จากการวิเคราะห์ ผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการบำบัดขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ของสารละลาย โดยหากสัดส่วนของ อัตรา การไหลของสารละลายต่ออัตราไหลของก๊าซชีวภาพมีค่ามากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซชีวภาพมีค่า ดียิ่งขึ้น

**คำหลัก:** ก๊าซชีวภาพ มีเทน อัตราการไหล และ การดูดซึม

### Abstract

This research was study designed and constructed of biogas purification system with amine solution in packed column. A design of column was used tank. The tank had a diameter of 60 cm and height of 90 cm. A packaged media will be contained into the tank to increasing surface area. In the experimental procedure, amine solution, a type of Mono Ethanol Amine (MEA) was used to sorbent. A concentration and flow rate of solution were 0.1 mol and 10-30 liter/min, respectively. And a flow rate of biogas was 15 liter/min. The result of experimental were found that, a 20 liter/min of solution flow rate can be extracted a Carbon dioxide gas (CO<sub>2</sub>) from biogas in greatest than many flow rate. The maximum yield of Methane (CH<sub>4</sub>) fraction in biogas can be increased from 51.5% to 82%. From experimental analysis was found that, the ability of biogas purification is depended on the concentration of solution, which when the increasing of ratio of solution flow rate to bio gas flow rate will be increase a biogas purification efficiency.

**Keywords:** Biogas, methane, flow rate and absorption

## 1. บทนำ

ก๊าซชีวภาพจัดเป็นพลังงาน ทางเลือกประเภทหนึ่งที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็นนำไปใช้งานรูปของพลังงานความร้อน การเปลี่ยนเป็นพลังงานกล หรือพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำเกษตรกรรม ปศุสัตว์และเกษตรอุตสาหกรรมจึงมีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตจำนวนมาก ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถนำไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี ซึ่งก๊าซชีวภาพเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) [1] หากนำก๊าซชีวภาพไปบำบัดผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จะสามารถเพิ่มปริมาณมีเทนและลดปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ มากขึ้น ดังนั้นจึงควรมีการบำบัดก๊าซชีวภาพก่อนนำไปใช้งานจริงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของก๊าซชีวภาพให้สูงขึ้น

โดยปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการบำบัดก๊าซด้วยวิธีต่างๆ เช่น Kapdi และคณะ [2] ได้ทำการศึกษารับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ โดยได้ทำการศึกษารับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพโดยการแยกคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งได้ออกแบบเครื่องดักจับก๊าซแบบ packed bed มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร สูง 4.5 เมตร packed bed สูง 3.5 เมตร มีอัตราการไหลของก๊าซ 120 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีการปล่อยน้ำให้สัมผัส กันโดยตรงกับก๊าซชีวภาพ น้ำเมื่อผ่านกระบวนการแล้วจะถูกปล่อยทิ้ง ประสิทธิภาพในดักจับคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ถือว่าไม่ดีมากเมื่อเทียบกับสารเคมีอื่น Bishnoi และ Rochelle [3] ได้ทำการศึกษารับปรุงคาร์บอนไดออกไซด์ การถ่ายเทมวลระหว่างของเหลวและก๊าซรวมถึงความสามารถในการละลายได้ของก๊าซในสารละลาย

โดยใช้สารละลาย Piperazine ซึ่งเป็นสารละลายประเภท Amine ที่ใช้ทดสอบมี 2 ชนิดคือ diethanolamine และ monoethanolamine โดยมีการทำปฏิกิริยาแบบหมุนวน และมีระบบการทดสอบที่ความดัน 1-8 atm จากการศึกษาค้นคว้าสามารถสรุปผลการทดลองได้คืออัตราการทำปฏิกิริยาของ monoethanolamine จะเร็วกว่า diethanolamine โดยสังเกตได้จากค่าการแยกคาร์บอนไดออกไซด์ Gomez-Diaz และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์การถ่ายเทมวลระหว่างของเหลวและก๊าซ ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยได้ออกแบบระบบการทดสอบเป็นแบบ Bubble Column ใช้สารละลาย Glucose และ Glucosamine ผสมกันที่ความเข้มข้น 0-0.4 โมลาร์ สำหรับในการทำปฏิกิริยา ในการทดลองนี้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทดสอบที่อัตราการไหล 18, 30 และ 40 L/h จากการศึกษาค้นคว้า พบว่า กระบวนการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและความเข้มข้นของสารละลาย โดยสารละลายที่มีอัตราการไหลและความเข้มข้นสูงจะสามารถดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี และปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทมวลระหว่างของเหลวและก๊าซคือ การเปลี่ยนแปลงความหนืดของ สารละลาย จันทิมา ชั่งสิริพร และคณะ [5] ได้ศึกษาการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยปฏิกิริยา ออกซิเดชันโดยสารออกซิเดนต์ที่ใช้ในการทดลองคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ( $\text{NaOCl}$ ) พบว่า โซเดียมไฮโปคลอไรท์ เป็นสารออกซิเดนต์ที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูงในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งใช้  $\text{NaOCl}$  ที่ความเข้มข้น 0.025 mol/l ส่วนสารลดแรงตึงผิวไม่ช่วยให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับสารออกซิเดนต์ และการใช้สารละลาย โซเดียมไฮโปคลอไรท์ เป็นสารดูดซับในระบบเคมี -แบบทซ์สามารถบำบัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากกระแสแก๊สจำลองได้ 100% ในช่วง 30 นาทีแรก ของการดำเนินการ โดยให้ผลที่ดีกว่าการใช้เป็นสารดูดซับเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ ปัทมา อรุณราช และคณะ [6] ได้ศึกษา

การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการดูดซึม โดยใช้โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในหลอดดูดซึมแบบแพคพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ เรียงตามลำดับความสำคัญคือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ความเข้มข้นของโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $KMnO_4$ ) และอัตราส่วนของอัตราการไหลของของเหลวต่ออัตราการไหลของก๊าซ (L/G ratio) ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดเท่ากับ 100% เมื่อกำหนดความเข้มข้นของ  $H_2S$  ความเข้มข้นของ  $KMnO_4$  และ L/G ratio เป็น 667 ppmv, 1100 ppm และ 15 ml/L ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับ ตัวแปรดำเนินการเหล่านี้สามารถแสดงในรูปของสมการเอมพิริคัลที่สามารถใช้ทำนายประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อัตราส่วนของอัตราการไหลของของเหลวต่ออัตราการไหลของก๊าซ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นของโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่สนใจได้ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อทำการออกแบบและสร้างระบบบำบัดก๊าซชีวภาพด้วยเทคนิคการดูดซึมด้วยสารละลายเอมีน โดยใช้เอมีนชนิดโมโนเอทานอลเอมีน (MEA) ในการทดสอบเนื่องจากเป็นสารละลายที่สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว และสามารถดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี โดยออกแบบให้สารละลายสัมผัสกับก๊าซชีวภาพโดยตรงแบบไหลสวนทางกัน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซชีวภาพมากขึ้น

## 2. หลักการและทฤษฎี

### 2.1 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ด้วยแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนในสภาวะไร้อากาศ โดยองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) ประมาณ 50-60 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ประมาณ 38-48 % ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) และไนโตรเจน ( $N_2$ )

ประมาณ 2 % เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพสามารถแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ [7]

คุณสมบัติ	ค่าคุณสมบัติ
ค่าความร้อนประมาณ	21 MJ/m <sup>3</sup> (มีเทน 60 %)
ความเร็วเปลวไฟ	25 cm/s
อัตรา A/F ในทางทฤษฎี	6.19 m <sup>3</sup> a/ m <sup>3</sup> g
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650 °C
อุณหภูมิจุดติดไฟของ $CH_4$	600 °C
ค่าความจุความร้อน ( $C_p$ )	1.6 kJ/ m <sup>3</sup> - °C
ความหนาแน่น ( $\rho$ )	1.15 kg/ m <sup>3</sup>

เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีส่วนประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทน จึงทำให้มีคุณสมบัติจุดติดไฟได้ดีและสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ได้ เช่น

- เผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง
- เผาเพื่อให้ความร้อนและใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น ใช้กับเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น
- เผาเพื่อให้ความร้อนและใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า [8]

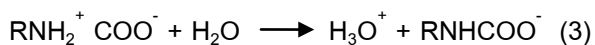
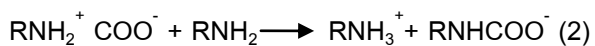
### 2.2 การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ ด้วยการดูดซึมด้วยสารละลายเอมีน

การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ ด้วยการดูดซึมด้วยสารละลายเอมีน ถูกใช้อย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม และถูกนำมาขยายขนาดเพื่อใช้ในการบำบัดก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซธรรมชาติ นอกจากนั้นเมื่อไม่นานมานี้เทคโนโลยีการดูดซึมด้วยสารละลายเอมีนถูกใช้ในกระบวนการแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซเชื้อเพลิง เช่น ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และก๊าซธรรมชาติ (NGV)

เป็นต้น กระบวนการนี้ใช้สารละลายเอมีนคือ Monoethanolamine (MEA), Diethanolamine (DMA) และ Diglycolamine (DGA) โดยสารละลายเอมีนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการนำไปผ่านความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 80-100 องศาเซลเซียส และลดความดันเพื่อนำคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากสารละลายและนำกลับไปใช้ใหม่ได้ [9,10]

ประโยชน์อย่างหนึ่งของสารละลายเอมีน คือ จะเลือกจับเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ได้เป็นอย่างดี เมื่อเทียบกับการดักจับด้วยน้ำ และถ้ามีการปล่อยความร้อนเหลือทิ้งสามารถนำมาให้ความร้อนแก่สารละลายเอมีนที่ใช้แล้วได้ ทำให้สามารถนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ได้อีก กระบวนการนี้สามารถนำไปใช้ในกระบวนการแยกก๊าซขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี

ในงานวิจัยนี้จะใช้ สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนซึ่งเป็นสารละลายที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้บำบัดก๊าซชีวภาพ เนื่องจากเป็นสารละลายที่สามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างรวดเร็ว โดยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถอธิบายด้วยกระบวนการทางเคมีของ Maceiras [11] ปฏิกิริยาแรกเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สมการที่ 1) และปฏิกิริยาที่สองเป็น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากสารประกอบคาร์บอนเนตที่ได้จากการทำปฏิกิริยาในสมการที่ 1 (สมการที่ 2, 3, 4)



โดยสารละลายโมโนเอทานอลเอมีนจะมีค่า  $\text{pH} \geq 11$  และเมื่อทำปฏิกิริยากันแล้วค่า  $\text{pH}$  จะลดลงมีค่าน้อยกว่า 10 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารประกอบคาร์บอนเนตในสารละลาย [12]

## 2.4 สมการการออกแบบ

ในการออกแบบระบบบำบัดก๊าซชีวภาพนี้ จะต้องมีการกำหนดตัวแปรตามสภาพการใช้งาน โดยตัวแปรในการบำบัดก๊าซจะประกอบด้วย ชนิดของตัวดูดซับ อัตราการไหลของก๊าซ อัตราการไหลของสารละลาย อุณหภูมิ องค์ประกอบก๊าซ และองค์ประกอบของตัวดูดซับที่เป็นของเหลวในระบบ เป็นต้น สิ่งที่จะต้องหาในการออกแบบตัวดูดซับคือ อัตราการไหลที่ต้องการ เส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมของท่อที่ใช้สำหรับก๊าซและของเหลวไหลผ่าน ความสูงของตัวดูดซับ [13]

### 2.4.1. อัตราส่วนของ สารละลาย ต่อ ก๊าซชีวภาพ (Liquid to Gas Ratio)

ในการหาความสัมพันธ์ของการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพโดยใช้สารละลายนี้ จะใช้ทฤษฎีสอดคล้องของ McCabe & Smith [14] และ Perry [15] ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากสมการดังกล่าวนี้คือ สัดส่วนของสารละลายต่อก๊าซชีวภาพ โดยสามารถแสดงได้ในสมการที่ (5,6) สมการ

$$G_m(Y_1 - Y_2) = L_m(X_2 - X_1) \quad (5)$$

$$\frac{G_m}{L_m} = \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0.5} \quad (6)$$

เมื่อ

$G_m$  = อัตราส่วนการไหลของก๊าซ (kg.mol / hr)

$L_m$  = อัตราส่วนการไหลของของเหลว (kg.mol / hr)

$X_1$  = เศษส่วนโมลของตัวละลายเริ่มต้น

$X_2$  = เศษส่วนโมลของตัวละลายสุดท้าย

$Y_1$  = เศษส่วนโมลของตัวละลายในก๊าซเฉื่อยเริ่มต้น

$Y_2$  = เศษส่วนโมลของตัวละลายในก๊าซเฉื่อยสุดท้าย

$\rho_g$  = ความหนาแน่นของกระแสก๊าซ (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_l$  = ความหนาแน่นของกระแสของเหลว (kg/m<sup>3</sup>)

**2.4.2. เส้นผ่านศูนย์กลางของหอดูด ซีม (Packed Tower Diameter)**

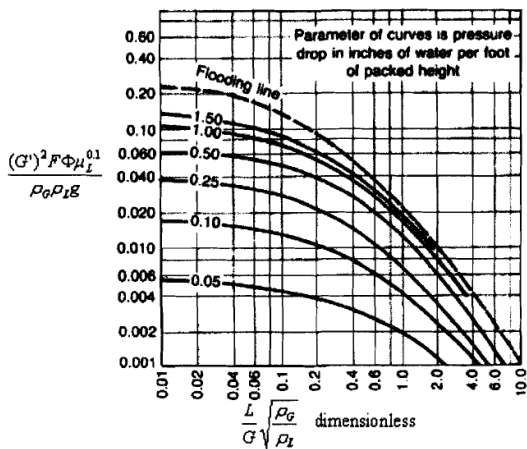
ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ คอลัมน์ สามารถหาได้จากสมการ (7)

$$d = \left[ \frac{4A}{\pi} \right]^{0.5} = 1.13A^{0.5} \quad (7)$$

พื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ (A) หาได้จากสมการ

$$A = \frac{G'}{G'_{operating}} \quad (8)$$

เมื่อ  $\varepsilon$  คือค่าคงที่ในแนวแกน y สามารถหาจากกราฟ ความสัมพันธ์ของความเร็วที่ทำให้ของเหลวท่วมอกกับความดันลด [16] โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของความเร็วที่ทำให้ของเหลวท่วมออกเท่ากับความดันลด

โดยที่ 
$$G' = \left[ \frac{\varepsilon \rho_g \rho_L g}{F \phi \mu_L^{0.1}} \right]^{0.5} \quad (9)$$

เมื่อ

$G'$  = อัตราการไหลอากาศต่อพื้นที่หน้าตัดคอลัมน์

$F$  = Packing Factor

$\phi$  = อัตราส่วนของตัวจับของเหลวของน้ำ

$\mu_L$  = ความหนืดของของเหลว (N.s/m<sup>2</sup>)

$g$  = ค่าคงที่ของแรงดึงดูด (9.81 m/s<sup>2</sup>)

**2.4.3. ความสูงของหอดูดซิม**

เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของหอดูดซิมถูกกำหนดแล้ว ความสูงของหอดูดซิมก็จะหาได้เช่นเดียวกันเพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกประสิทธิภาพในการดูดซิม ซึ่ง ความสูงของหอดูด ซิมสามารถหาได้จากสมการ [10]

$$Z = N_{OG} \times H_{OG} \quad (10)$$

เมื่อ

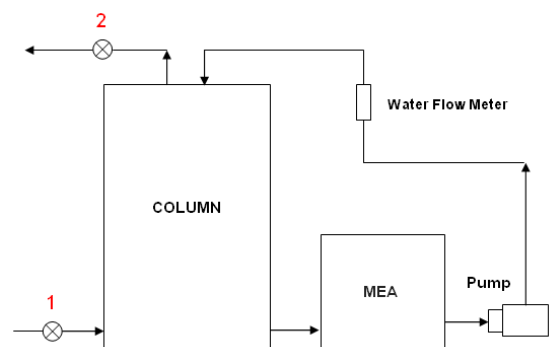
$N_{OG}$  = จำนวนของ Transfer Unit s ที่ขึ้นกับประสิทธิภาพของแผ่นก๊าซฟิล์มทั้งหมด

$H_{OG}$  = ความสูงของ Transfer Unit s ที่ขึ้นกับประสิทธิภาพของแผ่นก๊าซฟิล์มทั้งหมด (เมตร)

**3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง**

**3.1 อุปกรณ์**

ในการออกแบบระบบบำบัด ก๊าซบำบัดก๊าซชีวภาพโดยใช้เทคนิคการดูดซับด้วยสารละลาย เอมีนชนิด โมโนเอทานอลเอมีน (MEA) มีลักษณะการออกแบบเป็นถังที่มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 cm สูง 90 cm ในถังดูดซิมอัดตัวจะใช้ไบโอบอลเป็นวัสดุเพิ่มเพิ่มพื้นที่ผิวในถังดูดซิม มีลักษณะการจัดเรียงตัวของไบโอบอลแบบไม่สมมาตร สำหรับก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลองได้มาจากฟาร์มเลี้ยงไก่ โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดจากมูลไก่จะมี ปริมาณมีเทนอยู่ที่ประมาณ 50 – 55 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร



รูปที่ 2 ผลการออกแบบเครื่องบำบัดก๊าซชีวภาพ



จากรูปที่ 2 ระบบจะเริ่มทำงานโดยเติมสารละลายโมโนเอทานอลเอมีน ลงในถังบรรจุสารเริ่มต้น ปรับอัตราการไหลของก๊าซ ชีวภาพก่อนที่ก๊าซจะไหลเข้าสู่ทางด้านล่าง ถึงจุดซึม โดยจะวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพขาเข้าที่จุดที่ 1 ดังแสดงรูป ซึ่งก๊าซชีวภาพจะผ่านตัวกระจายก๊าซที่ด้านล่างของถังดูดซึม จากนั้นเปิดปั๊ม ดูดสารละลาย โมโนเอทานอลเอมีน ในถังบรรจุสารเริ่มต้นผ่านเข้าโรตารีเมเตอร์สารละลายปรับอัตราการไหลของสารละลาย โดยสารละลายจะถูกสเปรย์จากด้านบนของถังดูดซึม ผ่านวัสดุเพิ่มพื้นที่ผิวในถังดูดซึม ก่อนที่จะไหลออกทางด้านล่าง ส่วนก๊าซชีวภาพจะไหลสวนทางกับสารละลายใน ถังดูดซึม สารละลายจะทำปฏิกิริยากับก๊าซชีวภาพ โดยสารละลายจะทำการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซชีวภาพที่ทำปฏิกิริยาแล้วจะไหลออกจากถังดูดซึมทางด้านบน โดยจะวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพขาออกที่จุดที่ 2

#### ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ

ตัวแปร	ค่า	หน่วย
เศษส่วนโมลของตัวละลายบริสุทธิ์เริ่มต้น	0.628	-
เศษส่วนโมลของตัวละลายบริสุทธิ์สุดท้าย	0.371	-
เศษส่วนโมลของตัวละลายในก๊าซเฉื่อยเริ่มต้น	0.565	-
เศษส่วนโมลของตัวละลายในก๊าซเฉื่อยสุดท้าย	0.435	-
ความหนาแน่นของก๊าซ	1.15	kg/m <sup>3</sup>
ความหนาแน่นของของเหลว	1,000	kg/m <sup>3</sup>
อัตราการไหลอากาศ	120	m <sup>3</sup> /hr
จำนวนของ Transfer Unit	3.0	-
ความสูงของ Transfer Unit	0.24	M

### 3.2 วิธีการทดลอง

ในการทดสอบระบบบำบัดก๊าซชีวภาพจะใช้สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ อัตราการไหลสารละลายเท่ากับ 10, 20 และ 30 ลิตรต่อนาที อัตราการไหลก๊าซชีวภาพ 15 ลิตรต่อนาที การทดลองจะทำการวัดค่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพทั้งก่อนและหลังการทดลองโดยในระหว่างการทดลอง จะทำการจับเวลาและเก็บข้อมูล สัดส่วนการเพิ่มขึ้นของมีเทน โดยการวัดค่าองค์ประกอบของก๊าซซึ่งทำการวัดทุกๆ 5 นาที จนค่าองค์ประกอบก๊าซชีวภาพคงที่สำหรับทุกสภาวะ

## 4. ผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

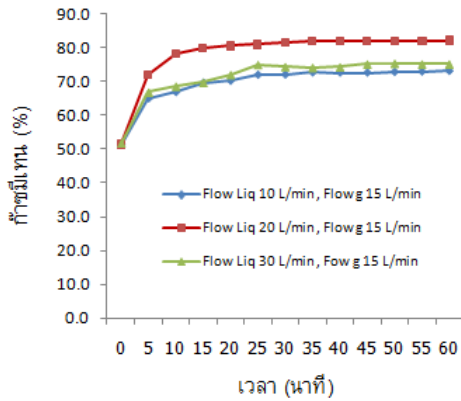
### 4.1 ผลการออกแบบ

ผลการออกแบบจากการคำนวณโดยใช้ตัวแปรเศษส่วนโมลของตัวทำละลาย ความหนาแน่นของก๊าซเท่ากับ 1.15 kg/m<sup>3</sup> ความหนาแน่นของของเหลว 1,000 kg/m<sup>3</sup> อัตราการไหลอากาศ 120 m<sup>3</sup>/hr เมื่อนำมาคำนวณจะได้ความสูงของถังดูดซึม เส้นผ่านศูนย์กลางของถังดูดซึม ปริมาตร โดยข้อมูลสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

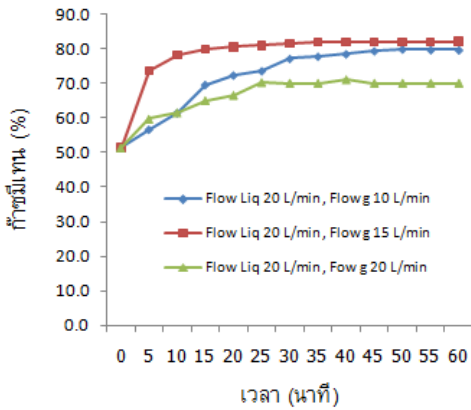
#### ตารางที่ 3 ผลการออกแบบ

ผลการออกแบบ	ค่าที่ได้	หน่วย
ความสูงของถังดูดซึม	90	cm
เส้นผ่านศูนย์กลางของถังดูดซึม	60	cm
ปริมาตร	0.42	m <sup>3</sup>
วัสดุตัวกลาง (Bioball) ใส่ถึงระดับความสูง	60	cm
อัตราการไหลก๊าซ	8,280	kg.mol/hr
อัตราการไหลสารละลาย	20,865	kg.mol/hr
ความสามารถในการแยกก๊าซมีเทน	99	%

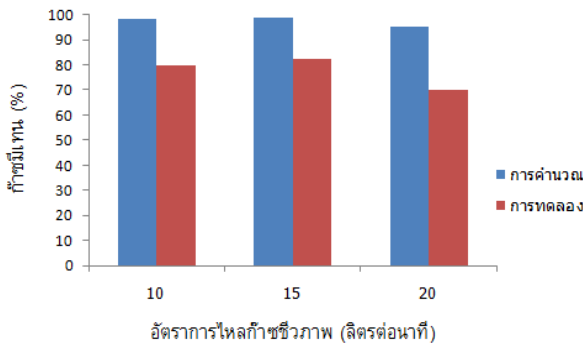
4.2 ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ



รูปที่ 3 สัดส่วนการเพิ่มขึ้นของมีเทนที่ค่าอัตราการไหลก๊าซคงที่ที่ 15 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4 สัดส่วนการเพิ่มขึ้นของมีเทนที่ค่าอัตราการไหลสารละลายคงที่ที่ 20 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 5 เปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของมีเทนการทดลองกับอัตราการไหลของสารละลาย 20 ลิตรต่อนาที

จากการทดลองบำบัดก๊าซชีวภาพโดยใช้

สารละลายโมโนเอทานอลเอมีนที่มีความเข้มข้น 0.1 โมล พบว่า สามารถบำบัดก๊าซชีวภาพให้ได้สัดส่วนก๊าซมีเทนสูงสุดได้สูงสุดจาก 51.5% ไปเป็น 82% ที่อัตราการไหลสารละลายเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที และอัตราการไหลก๊าซชีวภาพเท่ากับ 15 ลิตรต่อนาที โดยแสดงได้ในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ซึ่งจากการทดลองยังพบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารละลายมีค่าลดลงจะทำให้ความสามารถในการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าลดลงไปด้วยเนื่องจากปริมาณสารละลายที่ใช้ในการแยกก๊าซมีค่าลดลงจึงทำให้ความสามารถในการแยกก๊าซลดลงตามไปด้วย แต่เมื่ออัตราการไหลของสารละลายมีค่ามากขึ้นก็ยังทำให้ความสามารถในการแยกจากแยกก๊าซลดลงนำ จะเกิดขึ้นจากการออกแบบลักษณะหัวฉีดสารละลายที่มีความไม่เหมาะสม กล่าวคือ มีลักษณะการฉีดสารละลายที่มีลักษณะเป็นก้อน ไม่เป็นละออง จึงทำให้พื้นที่สัมผัสกันระหว่างก๊าซและสารละลายซึ่งเป็นของเหลวมีการสัมผัสกันอย่างไม่ทั่วถึง จึงทำให้ความสามารถในการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพเป็นไปได้อย่างไม่ดีมากนัก

นอกจากนี้จากการเปรียบเทียบระหว่างผลการออกแบบและการทดลองจริงของปริมาณก๊าซมีเทนที่ออกมาจากระบบบำบัดก๊าซนี้ดังที่แสดงในรูปกราฟที่ 5 พบว่า สัดส่วนก๊าซมีเทนที่ออกมาจากระบบบำบัดมีค่าค่อนข้างไม่สอดคล้องกันระหว่างการคำนวณ และการออกแบบเนื่องจาก การออกแบบระบบหัวฉีดที่มีความไม่เหมาะสม การจัดเรียงวัสดุเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนก๊าซที่ไม่มีความต่อเนื่องกัน จึงทำให้ความสามารถในการบำบัดมีค่าลดลงด้วย

5. สรุปผล

การศึกษาออกแบบระบบบำบัดก๊าซชีวภาพแบบคอลัมน์อัดตัวโดยใช้สารละลายเอมีนพบว่า การออกแบบจะใช้คอลัมน์ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 60 เซนติเมตร สูง 90 เซนติเมตร ใช้วัสดุเพิ่มพื้นที่สัมผัส ระหว่างก๊าซชีวภาพและสารละลายเป็น

แบบไบโอบอล ใช้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1 โมล ที่อัตราการไหลสารละลายเท่ากับ 20,865 kg.mol/hr และที่อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 8280 kg.mol/hr

โดยผลการทดลองพบว่า สามารถบำบัดก๊าซ ได้สัดส่วนก๊าซมีเทนสูงสุดได้สูงสุดจาก 51.5% ไปเป็น 82% ที่อัตราการไหลสารละลายเท่ากับ 20 ลิตรต่อ นาที และอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพเท่ากับ 15 ลิตรต่อ นาที ซึ่งจากผลการศึกษายังพบว่า เมื่ออัตราการไหล ของสารละลายมีค่าลดลงจะทำให้ความสามารถในการ แยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าลดลงไปด้วย เนื่องจากปริมาณสารละลายที่ใช้ในการแยกก๊าซมีค่า ลดลงจึงทำให้ความสามารถในการแยกก๊าซลดลงตาม ไปด้วย

แต่อย่างไรก็ตามการผลการวิเคราะห์การ เปรียบเทียบของปริมาณก๊าซมีเทนที่ออกมาจากระบบ บำบัดก๊าซ ระหว่าง การออกแบบและการทดลองจริง พบว่า มีค่าที่ไม่สอดคล้องกันน่าจะเกิดขึ้นจาก การ ออกแบบระบบหัวฉีดที่มีความไม่เหมาะสม การ จัดเรียงวัสดุเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนก๊าซที่ไม่มีความ ต่อเนื่องกัน จึงทำให้ความสามารถในการบำบัดมีค่า ลดลง ซึ่งหากมีการศึกษาคุณลักษณะการออกแบบให้ มีความเหมาะสมในเชิงการไหล ภายในคอลัมน์จะ สามารถทำให้ระบบบำบัดก๊าซด้วยกระบวนการนี้จะมี ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้นตามไปด้วย

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการ ทดสอบ และขอขอบคุณบริษัทศรีวิโรจน์ฟาร์ม อำเภอ ชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ที่ช่วยเอื้อเฟื้อสถานที่ในการ ทำงานวิจัย

## 7. เอกสารอ้างอิง

1. National Center for genetic Engineering and biotechnology (BIOTEC) “ก๊าซชีวภาพพลังงาน ทางเลือก .” [ระบบออนไลน์ ]. แหล่งที่มา <http://www.biotec.or.th/biotechnology-th/newsdetail>, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/03/2555
2. Kapdi, S.S., Vijay, V.K., Rajesh, S.K., Prasad, R., (2005) “Biogas scrubbing, compression and storage : perspective and prospectus in Indian context”. *Renewable Energy*, 30, 1195–1202.
3. Bishnoi, S., Rochelle, G.T., (2000) “Absorption of carbon dioxide into aqueous piperazine: reaction kinetics, mass transfer and solubility”, *Chemical Engineering Science*, 55, 5531-5543.
4. Gomez-Diaz, D., Navaza, J.M., Sanjurjo, B., Vazquez-Orgeira, L., (2006) “Carbon dioxide absorption in glucosamine aqueous solutions”, *Chemical Engineering Journal*, 122, 81–86.
5. จันทิมา ชั่งสิริพร และคณะ (2552). การกำจัด H<sub>2</sub>S ในแก๊สชีวภาพด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน . เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6. (หน้า 84-88). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
6. ปัทมา อรุณราช และคณะ (2552). การกำจัด ไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการดูดซึมและปฏิกิริยา ออกซิเดชันด้วยโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในหลอด ซึมแบบแพค. สงขลา: หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการบำบัด มลพิษสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
7. ชีรพล วัฒนโกศล (2548). ฐานข้อมูลระบบผลิตก๊าซ ชีวภาพในโรงงานแปรงมันสำปะหลัง. กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
8. สถาบันเทคโนโลยีชีวภาพ (2549). ทฤษฎีก๊าซ ชีวภาพ . เชียงใหม่ : สถาบันวิจัย และพัฒนา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.



9. Krich, K., Augenstein, D., Batmale, J.P., Benemann, J., Rutledge, B., Salour, D., (2005). Technologies for Removal of Carbon Dioxide. in Biomethane from Dairy Waste, A Sourcebook for the Production and Use of Renewable Natural Gas in California, *USDA Rural Development*, pp.51-59.
10. Yang, H., Xu, Z., Fan, M., Gupta, R., Slimane, R.B., Bland, A.E., Wright, I., (2008) "Progress in carbondioxide separation and capture: A review", *Journal of Environmental Sciences*, 20, 14-27.
11. Maceiras, R., Alvarez, E., Cancela, M.A., (2008) "Effect of temperature on carbon dioxide absorption in monoethanolamine solutions", *Chemical Engineering Journal*, 138, 295-300.
12. ปกรณ์ ถนอมพงษ์ชาติ (2552). การแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพโดยการดูดซับด้วยของเหลวในคอลัมน์อัดตัว . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
13. นพภาพร พานิช และคณะ (2547). ตำราระบบมลพิษอากาศ, กรุงเทพฯ; กรมโรงงานอุตสาหกรรม ศูนย์บริหารวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
14. McCabe, W. and Smith, C. (1967), Unit operation of Chemical Engineering. New York: McGraw Hill.
15. Perry, J (Ed). (1973), Chemical Engineerings Handbook 5<sup>th</sup> ed. New York: McGraw Hill.
16. Leva, M. (1951). Tower Packing and Packed Tower Design. Akron, Ohio: The United States Stoneware Company.
17. Buonicore, T. and Davis, w. (Eds). (1992), Air pollution Engineering Manual. Air and Waste Management Ass., New York: Van Nostrand Reinhold.