

ผลของความเข้มข้นในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ )

โดยใช้สาร Ferric Chloride และ Diethanolamine (DEA) เป็นตัวดูดซับ

Effect of hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) and carbon dioxide ( $CO_2$ ) removal concentrations  
by using Ferric Chloride and Diethanolamine (DEA) as adsorbentsวสันต์ ปินะเต<sup>1</sup>, ดวงกมล ดังโพนทอง<sup>2</sup>

E-mail: kaapplied@hotmail.com

โทรศัพท์: 08-4363-5654

## บทคัดย่อ

การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสัตว์ พบว่ามีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งก๊าซทั้งสองชนิดนี้มีผลทำให้คุณภาพของก๊าซมีเทนลดลง มีผลทำให้ท่อนำก๊าซสึกหรองได้ง่าย และเป็นอันตรายต่อสุขภาพ คณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพ โดยใช้สารเฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 10 และ 12 โดยมวลต่อปริมาตร เป็นสารดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และใช้สาร Diethanolamine ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 60 และ 70 โดยปริมาตร เป็นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าชุดดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยมวลต่อปริมาตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด เนื่องจากชุดดูดซับที่มีความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยมวลต่อปริมาตร ใช้ระยะเวลาในการดูดซับน้อยที่สุด และชุดดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ Diethanolamine ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีที่สุด เนื่องจากชุดดูดซับที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตร ใช้ระยะเวลาในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด

**คำสำคัญ:** ไฮโดรเจนซัลไฟด์, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซชีวภาพ

## Abstract

Biogas is production from animal manure fermentation. It was found to contain hydrogen sulfide and carbon dioxide gas. Both of these gases are affecting the quality of methane gas. As a result, the gas pipes are easily worn and is dangerous to health. Researchers therefore have an idea to remove hydrogen sulfide and carbon dioxide from biogas. By using ferric chloride at concentrations of 8%, 10% and 12%. It is an absorbent of hydrogen sulfide gas. And using Diethanolamine with concentrations of 50%, 60% and 70% by volume as a carbon dioxide absorber. Hydrogen sulfide gas absorbers were found using ferric chloride at a concentration of 12%. It has the best efficiency in absorbing hydrogen sulfide gas. Due to the absorption unit with a concentration of 12% It takes the least amount of time to absorb. And carbon dioxide absorber kits using Diethanolamine At a concentration of 70% by volume, it has the best efficiency in absorbing carbon dioxide. Because the adsorption unit with a concentration of 70% by volume takes the minimum time for carbon dioxide adsorption.

**Keywords:** hydrogen sulfide, carbon dioxide, biogas

<sup>1</sup> อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมระบบอาคาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

<sup>2</sup> อาจารย์ประจำ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

## ความนำ

ในปัจจุบันจากวิกฤตปัญหาพลังงานเป็นพิษที่เกิดจากฟาร์มสัตว์เลี้ยงได้มีผลกระทบต่อทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้นในทุก ๆ ปี จึงจำเป็นต้องคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อช่วยฟื้นฟูสภาพภูมิอากาศของโลกให้ดีขึ้น ซึ่งการสร้างบ่อเก็บก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ช่วยทำให้ลดการปล่อยก๊าซมีเทนสู่ชั้นบรรยากาศได้ และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายเรื่องค่าไฟฟ้าในฟาร์มได้อย่างมาก

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นพลังงานสะอาดที่เกิดจากการนำของเสียเช่น มูลสัตว์ น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ขยะ และของเหลือใช้ทางการเกษตร มาผ่านกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) โดยแบคทีเรียหลายชนิดเมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสม ในปัจจุบันมีการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน ได้แก่ ด้านพลังงาน เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนกับ Hot Oil Burner หรือใน Steam Boiler ทดแทนการใช้ น้ำมันเตา และใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในโรงงาน หรือในกระบวนการผลิต หรือใช้กับระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ด้านเศรษฐกิจ เช่น สามารถลดต้นทุนในการผลิตและมีรายได้จากการขายไฟฟ้า VSPP เป็นต้น ด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ลดปัญหาของกลิ่นและก๊าซพิษ ลดปัญหาการเกิดโรค ไม่เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ เชื้อโรคและสัตว์นำโรค ลดการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ ลดปัญหาต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ เป็นต้น และด้านอื่น ๆ เช่น นำน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบฯ ไปใช้เป็นปุ๋ยน้ำในก๊าซชีวภาพและนำกากตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายไปทำปุ๋ยอัดเม็ดเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินให้ดีขึ้น ในก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีคุณสมบัติจุดไฟติดได้ดี มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 50-75 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) เป็นส่วนประกอบรอง เป็นก๊าซเฉื่อย ไม่ติดไฟ มีประมาณร้อยละ 36-39 และนอกจากนี้ยังมีก๊าซอื่น ๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ประมาณร้อยละ 1-3 จะเห็นได้ว่าในก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ซึ่งเป็นก๊าซพิษ มักทำให้เป็นสาเหตุของการสีกกร่อนอุปกรณ์โลหะต่าง ๆ เช่น วาล์ว ท่อเหล็ก และถังหมัก เป็นต้น ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย ทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นก๊าซหลักสำหรับนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงลดลง นอกจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แล้วยังมีสัดส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นส่วนผสมในก๊าซชีวภาพนั้น มีผลทำให้ค่าความร้อนรวมของก๊าซลดลงและยังส่งผลทำให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนไม่คงที่ ทำให้เกิดปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เปลวไฟไม่นิ่ง หรืออาจจะเกิดปัญหา ไฟดับและเกิดปัญหาการระเบิดเกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง อีกทั้งยังส่งผลทำให้เกิดการกัดกร่อนภายในท่อส่งก๊าซอีกด้วย

จากการศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารดูดซับหลายผสมปูนซีเมนต์เทาเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ 99.3-97.3 และสามารถฟื้นฟูสารดูดซับจากองค์ประกอบเหล็กซัลไฟด์ (FeS) ให้กลับมาเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)<sub>3</sub>) ได้ตามเดิมโดยการเปิดให้ก๊าซออกซิเจน (O<sub>2</sub>) ไหลผ่านระบบ ส่วนกระบวนการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่นิยมใช้ ได้แก่ การดักจับด้วยน้ำ (water scrubbing) การดูดซับโดยการเปลี่ยนความดัน (pressure swing absorption: PSA) การแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน (membrane separation) (Ebner and Ritter, 2009) การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) (Chaffee et al., 2007) และการดูดซับด้วยสารเคมี (chemical absorption) เป็นต้น โดยทั่วไปนิยมใช้เทคนิคการการดูดซับด้วยสารเคมีโดยใช้สารละลายเอมีน เนื่องจากมีราคาต้นทุนต่ำ สารละลายที่ใช้เป็นสารดูดซับยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ มีประสิทธิภาพการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์สูงและมีเสถียรภาพทางความร้อน (McCann และคณะ, 2008) โดยตัวอย่างสารละลายเอมีนที่นิยมใช้ในกระบวนการนี้ได้แก่ monoethanolamine (MEA), diethanolamine (DEA), methyl diglycolamine (DGA) เป็นต้น

กระดาดรังผึ้ง (Cooling Pad) ได้รับการออกแบบให้มีพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศที่สูงที่สุดและยังได้รับการออกแบบให้สามารถกระจายน้ำไปทั่วทุกพื้นผิวได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ การออกแบบร่องอากาศที่มีความลาดเอียงจะช่วยให้น้ำส่วนที่เหลือจากกระบวนการ ระเหยไหลลงมาชำระล้างฝุ่นและสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิวของกระดาดรังผึ้ง จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองที่ปะปนมากับอากาศภายนอกได้เป็นอย่างดี กระดาดรังผึ้ง มีความแข็งแรงทนทาน วัสดุเซลลูโลสเคลือบสารเคมีชนิดพิเศษช่วยให้กระดาดรังผึ้ง มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็วแต่ไม่เปื่อยยุ่ย แม้จะต้องใช้งานอยู่ท่ามกลางสภาวะเปียกและแห้งสลับกันเป็นเวลานานและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถใช้งานกับทุกสภาพน้ำและสภาพอากาศ

ดังนั้นผู้วิจัยได้มีความสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการนำกระดาดรังผึ้ง ที่สามารถดูดซับน้ำได้และมีพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศที่สูงที่สุด มาชุบด้วยสาร Ferric Chloride และสาร Diethanolamine (DEA) วิธีนี้อาจสามารถลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) จากก๊าซชีวภาพ
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) โดยใช้กระดาดรังผึ้งที่ชุบด้วยสาร Ferric Chloride

### 3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) โดยใช้กระดาษรังผึ้งที่ชุบด้วยสาร Diethanolamine (DEA)

#### ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) จากก๊าซชีวภาพในระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Covered Lagoon)
2. ศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) จากก๊าซชีวภาพด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>)
3. ศึกษาการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) จากก๊าซชีวภาพด้วย Chemical Absorption Technology โดยใช้สาร Diethanolamine (DEA)

#### ทฤษฎี

##### 1. ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นโดยแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะ แบบ Anaerobic (ไม่ใช้อากาศ) โดยมีแบคทีเรียกลุ่ม Methanogens (กลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน) ทำการย่อยสลาย สารอินทรีย์ ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ (ก๊าซมีเทน) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญ โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านกระบวนการบำบัด หรือการทำให้ก๊าซที่ได้มีความสะอาดและปลอดภัยมากขึ้น โดยการกำจัดความชื้น รวมถึงก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยส่วนใหญ่ก๊าซที่ได้หลังจากการบำบัดแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการผลิตพลังงาน ในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน ในส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถที่จะเชื่อมต่อ กับระบบสายส่งสาธารณะเพื่อขายให้แก่รัฐ หรือนำไปใช้โดยตรงตามที่เจ้าของโครงการต้องการ และสำหรับ พลังงานความร้อนก็สามารถนำไปใช้โดยตรงได้ เช่น การนำไปเผาไหม้ในเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) และระบบ ของเรายังสามารถดัดแปลงเพื่อใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อความเหมาะสมสามารถเข้าไปสัมผัสกับจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทน เพราะจะทำให้การผลิตก๊าซมีเทนด้อยประสิทธิภาพ และเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน สามารถใช้สารอาหารที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนเท่านั้น การผลิตก๊าซมีเทนจากสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน จึงต้องอาศัยการท างานของแบคทีเรียกลุ่มไม่สร้างมีเทน เพื่อท ากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนสูง ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนต่ำพอที่แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนสามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นในการผลิตก๊าซมีเทนจะต้องอาศัยการร่วมมือของแบคทีเรียหลาย ๆ กลุ่มเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปน้ำเสีย และขยะที่มีสารอินทรีย์นั้นสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้

##### 2. องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซไฮโดรเจน จะมีปริมาณเล็กน้อย เนื่องจากก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูง โดยสามารถให้พลังงานความร้อนได้สูงถึงประมาณ 9,000 กิโลแคลอรี/ลูกบาศก์เมตร และโดยปกติก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซมีเทนอยู่มากกว่าร้อยละ 60 จึงสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานได้ เช่น เผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรงใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์ หรือเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

##### ตารางที่ 1. องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (BIOGAS)

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (BIOGAS)	
ชนิด	ปริมาณ (%)
มีเทน CH <sub>4</sub>	50-70
คาร์บอนไดออกไซด์	30-50
อื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน และไอน้ำ	เล็กน้อย

##### ตารางที่ 2. คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (ที่ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ)

ปริมาณ CH <sub>4</sub>	65-70	% (v/v)
ปริมาณ CO <sub>2</sub>	30-35	% (v/v)
ปริมาณ H <sub>2</sub> S	1,000	Ppm
ค่าความร้อนทางต่ำ	24.48	MJ/m <sup>3</sup>
ความเร็วเปลวไฟ	25	cm/s
อัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงในทางทฤษฎี	6.19	m <sup>3</sup> <sub>a</sub> /m <sup>3</sup> <sub>g</sub>



อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650	° C
ค่าความจุความร้อน (Cp)	1.6	kg/m <sup>3</sup> ° C
ค่าความหนาแน่น( $\rho$ )	1.15	kg/m <sup>3</sup>

ที่มา : (พิชญพงษ์ กิรินทร์, 2550)

### 3. ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide, H<sub>2</sub>S)

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นหนึ่งในสารประกอบที่ได้จากธาตุซัลเฟอร์มีคุณสมบัติเป็นก๊าซพิษชนิดหนึ่งที่มีฤทธิ์เป็นกรด ไม่มีสี และมีกลิ่นเหม็นคล้ายไข่เน่า จึงถูกเรียกว่าก๊าซไข่เน่าโดยมีสูตรโมเลกุล คือ H<sub>2</sub>S มีน้ำหนักโมเลกุล 34.04 ความหนาแน่นของก๊าซ 1.21 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าอากาศทำให้เมื่อมีการรั่ว ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะอยู่ต่ำกว่าอากาศ ทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เป็นก๊าซที่มีความว่องไวในการลุกติดไฟได้ง่ายมากและเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงโดยมีอุณหภูมิที่สามารถลุกติดไฟได้เองอยู่ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส (สยามเคมี)

ในการผลิตก๊าซชีวภาพทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่มีความเข้มข้นประมาณ 80-4,000 ppm ขึ้นอยู่กับแหล่งวัตถุดิบที่นำมาหมักก๊าซชีวภาพ (Allegue et al, 2014) ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis) แบบไม่ใช้ออกซิเจนในสภาวะไร้อากาศโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria: SRB) แบคทีเรียจะทำหน้าที่ดึงก๊าซออกซิเจนจากสารประกอบซัลเฟต (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ทำให้ซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปของซัลเฟตเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

เมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพสัมผัสกับความชื้นหรือไอน้ำในอากาศเกิดปฏิกิริยาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนเกิดเป็นกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ซึ่งมีความสามารถในการกัดกร่อนสูงส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่มีองค์ประกอบของเหล็กหรือโลหะ เช่น เกิดการกัดกร่อนและเกิดคราบตะกอนที่ลูกสูบของเครื่องยนต์ ผลิตรกระแสไฟฟ้า ทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหายและเป็นอันตรายต่อการใช้งาน

### 4. ระดับความเป็นพิษของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

หน่วยงาน The American National Standards Institute Standard ได้แบ่งระดับความเป็นพิษดังตารางที่ 2.4 จากตารางจะเห็นว่า แก๊สชนิดนี้ส่งผลเสียต่อมนุษย์หากได้รับที่มีความเข้มข้นต่ำก็ส่งผลให้เกิดการระคายเคือง แต่ถ้าได้รับในปริมาณที่สูงก็ทำให้เสียชีวิตได้ทันที ยิ่งถ้าสัมผัสกับไอน้ำจะเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริกมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง สามารถกัดกร่อนบ้านเรือนวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างรุนแรง

ตารางที่ 3. แสดงระดับความเป็นพิษของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

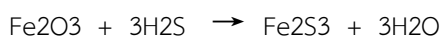
ระดับความเข้มข้น	ระยะเวลาที่ได้รับ	ผลกระทบต่อร่างกาย
10 ppm	ขณะที่สัมผัสและสูดดม	เกิดการระคายเคืองที่ตา
50-100 ppm	1 ชั่วโมง	จะส่งผลกระทบเยื่อเยื่อนัยน์ตาและระบบทางเดินหายใจ
	2-15 นาที	มีอาการไอ ระคายเคืองตา สูญเสียการรับกลิ่น
100 ppm	16-30 นาที	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัส ทำให้หายใจติดขัด หายใจลำบาก มีอาการมึนงง
	60 นาที	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัสต่อไปจะมีอาการปวดแสบปวดร้อนมากขึ้น หากสูดดมต่อไปจะทำให้เสียชีวิตภายใน 48 ชั่วโมง
200-300 ppm	60 นาที	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัสจะส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อตา ทำให้หายใจติดขัด ปวดแสบที่ลำคอและตา
500-700 ppm	30-60 นาที	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัสจะทำให้สมองถูกทำลาย สูญเสียความสามารถในการสั่งการและอาจถึงขั้นเสียชีวิต
700-1000 ppm	ช่วงเวลาสั้นๆ	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัสจะทำให้หมดสติอย่างรวดเร็ว หยุดการหายใจและเสียชีวิต
1000-2000 ppm	ทันทีที่ได้รับ	หากมีอาการสูดดมหรือสัมผัสจะทำให้หมดสติทันที หยุดการหายใจและเสียชีวิตอย่างรวดเร็ว
* หมายเหตุ : ผู้ที่หยุดหายใจในระยะเวลาสั้น อาจจะรอดชีวิตได้ ถ้าถูกแยกตัวออกมาจากแหล่งที่แก๊สมีระดับความเข้มข้นสูง มาสูบริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ในเวลาอันรวดเร็ว		

ที่มา : วาสนา คำโอภาส. (2559).

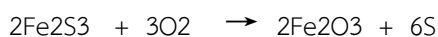
## 5. การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

5.1 กระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S Adsorption) โดยใช้เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) เทคโนโลยีที่ใช้ในการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยสารดูดซับในรูปของแข็งนั้น จะประกอบไปด้วยถังปฏิกิริยามีลักษณะเป็น Column ภายในบรรจุไว้ด้วยสารดูดซับ (Packed Bed) การไหลของก๊าซอาจจะมีทั้งไหลขึ้น (Upflow) หรือไหลลง (Downflow) ก็ได้ เมื่อก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไหลผ่านสารดูดซับก็จะมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้น สารดูดซับที่ใช้กัน ได้แก่ Iron oxide (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ซึ่งในต่างประเทศนิยมใช้ในรูปผงหรือเม็ด (Pellet) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> หรือในประเทศไทยนิยมใช้ฝอยเหล็กที่เป็นสนิมและ Hydrate Lime จะดูดซับและเกิดปฏิกิริยา แต่ถ้าเป็นสารดูดซับพวก Zeolite และ Activated Carbon จะเป็นแต่เพียงจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไว้ในรูพรุนเท่านั้นเมื่อมีการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จนอิ่มตัวแล้ว จะต้องมีการเปลี่ยนสารดูดซับใหม่ แล้วนำสารดูดซับที่อิ่มตัวแล้วไปฟื้นฟูสภาพ (Regenerate) ด้วยอากาศ และนำกลับมาใช้ใหม่ได้การจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



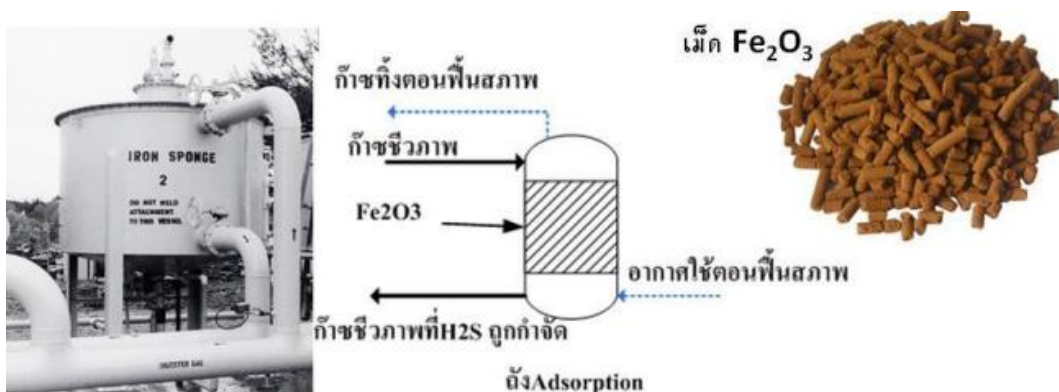
เมื่อมีการฟื้นฟูสภาพด้วยอากาศ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



\*ปฏิกิริยาจะเกิดได้ดี ถ้าสารดูดซับชื้นและมี pH > 7

ปฏิกิริยาทั้งสองที่เกิดขึ้นข้างต้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนโดยในช่วงการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะมีการคายความร้อน 0.65 กิโลจูล/กรัมของ H<sub>2</sub>S ดังนั้นในช่วงของการจับไฮโดรเจนซัลไฟด์ ถึงปฏิกิริยาจับ H<sub>2</sub>S จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นบ้าง และในช่วงการฟื้นฟูสภาพด้วยอากาศก็จะมีคายความร้อน 5.8 กิโลจูลต่อกรัมของ H<sub>2</sub>S ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในช่วงการฟื้นฟูสภาพ สารดูดซับจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก และมีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัย

\*1 กิโลจูล ทำให้อากาศ 1 ลบ.ม.เพิ่มอุณหภูมิขึ้นประมาณ 1.1 °ซ.



ภาพที่ 1. แสดงลักษณะของถังกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แบบแห้ง

ที่มา : (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

ในการฟื้นฟูสภาพของฝอยสนิมเหล็ก (สีน้ำตาลแดง) อาจจะทำอย่างง่าย คือ การนำมาตากแดด (โดยต้องเกลี่ยให้เป็นชั้นบางๆ) สัก 2-3 วัน เพื่อให้ออกซิเจนในอากาศไปทำปฏิกิริยากับไพไรต์ (Fe<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) (เป็นคราบสีดำ)

กรณีที่ต้องการฟื้นฟูสภาพด้วยอากาศในถังปฏิกิริยา โดยไม่นำสารดูดซับออกมา ต้องทำการแยกถังปฏิกิริยานั้นออกจากระบบดูดซับชีวภาพก่อน แล้วจึงทำการเติมอากาศเข้าไปในถังที่ต้องการฟื้นฟูสภาพ (โดยส่วนใหญ่จะใช้กับสารดูดซับที่เป็นเม็ด Iron oxide นอกจากนี้ ควรหมั่นตรวจสอบอุณหภูมิภายในถังที่ทำการฟื้นฟูสภาพ โดยทั่วไปการใช้การกำจัดก๊าซ H<sub>2</sub>S โดยวิธี Adsorption จะต้องมีการเปลี่ยนถังหลายใบที่ทำงาน และสำรองไว้ช่วงระหว่างการฟื้นฟูสภาพ และถังควรเป็นถังสแตนเลส เนื่องจากจะมีอุณหภูมิสูงมากและต้องระมัดระวังเรื่องการเกิดกรดไฟ

ในกรณีที่ใช้ Activated carbon ดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกจับในรูพรุน (pore) ของ Activated carbon ถ้าต้องการฟื้นฟูสภาพต้องนำ Activated carbon ไปไล่ไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากรูพรุน ซึ่งส่วนใหญ่ต้องนำกลับไปยังโรงงานที่ผลิต Activated carbon ทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายสูง จึงไม่เป็นที่นิยมใช้กันในระดับโรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)



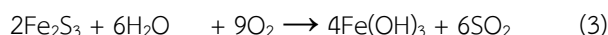
5.2 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับทางเคมีโดยใช้สารดูดซับเป็นเม็ดดินเผาเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เม็ดดินเผาไม่สามารถเป็นสารดูดซับได้โดยการเคลือบสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น จำเป็นต้องเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) เพื่อทำให้เกิดเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ( $\text{Fe(OH)}_3$ ) ซึ่งสามารถช่วยให้เกิดการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีขึ้น ดังสมการที่ 1



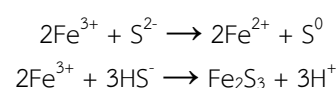
สารเคมีที่มีความสามารถในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ได้แก่ เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ( $\text{Fe(OH)}_3$ ) ดังสมการที่ 2



สามารถฟื้นฟูสารดูดซับจากองค์ประกอบ  $\text{Fe}_2\text{S}_3$  ให้กลับมาเป็น  $\text{Fe(OH)}_3$  ได้ตามเดิมโดยการเปิดให้ก๊าซออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ไหลผ่านระบบ ดังสมการที่ 3



3. ความสามารถในการกำจัด  $\text{H}_2\text{S}$  หรือ  $\text{HS}^-$  จากของเหลวในบ่อหมักและก๊าซชีวภาพโดยใช้เกลือของ  $\text{Fe}^{3+}$  เป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพ  $\text{Fe}^{3+}$  เกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยมี  $\text{S}^{2-}$  เป็นตัวรีดิวซ์ ทำให้ลดลงเป็น  $\text{Fe}^{2+}$  และก่อให้เกิดตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ:



## 6. คาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์ (อังกฤษ: carbon dioxide) เป็นก๊าซในบรรยากาศ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และ ออกซิเจน 2 อะตอม ต่อหนึ่งโมเลกุล. คาร์บอนไดออกไซด์เป็นหนึ่งในสารประกอบเคมีที่เป็นที่รู้จักมากที่สุด และมักเรียกด้วยสูตรเคมี  $\text{CO}_2$  เมื่ออยู่ในสถานะ ของแข็ง มักจะเรียกว่าน้ำแข็งแห้ง (dryice) เป็นก๊าซที่มีปริมาณมากเป็นอันดับ 4 ในอากาศ รองจากไนโตรเจน ออกซิเจน และอาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้หลายลักษณะ เช่น ภูเขาไฟระเบิด การหายใจของสิ่งมีชีวิต หรือการเผาไหม้ของสารประกอบอินทรีย์ ก๊าซนี้เป็นวัตถุดิบสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เพื่อใช้คาร์บอนและออกซิเจนในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต จาก กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนี้ พืชจะปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมาสู่บรรยากาศ ทำให้สัตว์ได้ใช้ออกซิเจนนี้ในการหายใจ การใช้ คาร์บอนไดออกไซด์ของพืชนี้เป็นการลดก๊าซเรือนกระจกได้ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซหนึ่งที่เป็นสาเหตุของปรากฏการณ์ เรือนกระจก

## 7. อันตรายของก๊าซคาร์บอนไดร้อกไซด์ที่มีผลต่อร่างกาย

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่มีอยู่ทั่วไปทั้งในบรรยากาศ ก๊าซนี้มีส่วนกับการใช้ชีวิตของมนุษย์ สัตว์ และพืช ซึ่งเป็นสารที่พืชใช้ ผลิตอาหาร โดยกระบวนการสังเคราะห์แสง และในด้านอุตสาหกรรม นั้นยังนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ยังสามารถเกิดขึ้นได้ จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีธาตุ คาร์บอน เป็นองค์ประกอบ

ถ้าเราได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปปริมาณมาก ๆ นั้นจะทำให้เลือดเป็นกรดและกระตุ้นระบบหายใจให้หายใจเร็วขึ้น จึงทำให้หัวใจเต้นเร็ว และกดสมอง และ ทำให้หมดสติ ดังนั้นเราควรหลีกเลี่ยงในจุดที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ควรหลีกเลี่ยงการทำงานในพื้นที่อับอากาศ หรือพื้นที่ที่มีออกซิเจนน้อย

ตารางที่ 4. ระดับของ  $\text{CO}_2$  ในอากาศและปัญหาสุขภาพที่อาจเกิดขึ้น

ระดับความเข้มข้น	ผลกระทบ
250 - 400 ppm	ความเข้มข้นของพื้นหลังปกติในอากาศแวดล้อมภายนอกอาคาร ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
400-1,000 ppm	ความเข้มข้นโดยทั่วไปของพื้นที่ โถง ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
1,000-2,000 ppm	ความเข้มข้นของพื้นที่ที่อากาศไม่ถ่ายเท จะรู้สึกอ่อนเพลีย และรู้สึกอึดอัด
2,000-5,000 ppm	ความเข้มข้นนี้เริ่มทำให้เกิดอาการปวดหัว ง่วงนอน วิงเวียน หัวใจเต้นเร็ว คลื่นไส้ อ่อนเพลีย
5,000 ppm	บ่งถึงสภาวะอากาศที่ผิดปกติ อาจเกิดความเป็นพิษหรือขาดออกซิเจน

## 8. การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

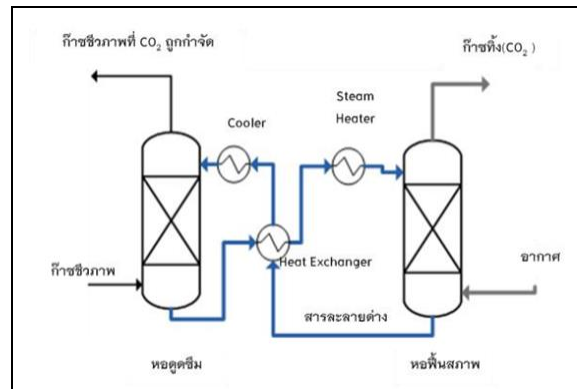
การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะเพิ่มค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพให้สูงขึ้น หรือเป็นการควบคุมความเข้มข้นมีเทนให้คงที่ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานก๊าซชีวภาพไปได้อย่างมีประสิทธิภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของพาหนะ หรือทดแทนก๊าซธรรมชาติรวมทั้งยังลดความเป็นกรด (เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำจะเป็นกรดอ่อน) ซึ่งในขณะนี้ประเทศไทยมีประเทศในยุโรป 3 ประเทศ ได้แก่ สวิตเซอร์แลนด์ สหพันธรัฐเยอรมนี และสวีเดน ที่ได้มีการยอมรับมาตรฐานของก๊าซชีวภาพดังกล่าวซึ่งประกอบไปด้วยเทคโนโลยีต่างๆดังนี้

1. Water Scrubber Technology เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการอัดก๊าซชีวภาพผ่านหอดูดซึมด้วยน้ำที่ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำในการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้หลักการด้านความสามารถในการละลายที่ดีของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำที่ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำ
2. Pressure Swing Adsorption (PSA) Technology เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องแยกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกก่อน หลักการทำงานใช้การเปลี่ยนแปลงความดันก๊าซแบบกลับๆไปกลับมา และสมบัติในการดูดซับของวัสดุต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ โดยความสามารถในการดูดซับของวัสดุแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล
3. Membrane Separation Technology เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการเลือกซึมผ่านและแพร่ผ่านเมมเบรน ที่ใช้เยื่อแผ่นทำจาก Dense polyimide membrane ในการแยกสารใช้หลักการความแตกต่างของขนาดโมเลกุลหรือความจำเพาะต่อโมเลกุลของก๊าซแต่ละชนิดในการดึงดูดกัน (Affinity) (ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายนัก)
4. Chemical Adsorption Technology เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในสารละลายต่าง Amine อาศัยความแตกต่างด้านความสามารถในการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน ในสารละลายต่าง Amine เช่น Monoethanolamine (MEA, R-NH) หรือ Diethanolamine (DEA) เป็นต้นปฏิกิริยาดังสมการ

การละลายของ  $\text{CO}_2$  :  $2(\text{R-NH}) + \text{CO}_2 \rightarrow \text{RNHCOONH}_3\text{R}$  เมื่อสารละลาย อุณหภูมิต่ำ

การระเหยของ  $\text{CO}_2$  :  $\text{RNHCOONH}_3\text{R} \rightarrow 2(\text{R-NH}_2) + \text{CO}_2$  เมื่อสารละลาย อุณหภูมิสูง

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับด่างเอมีน ดังสมการที่แสดงข้างต้น ระหว่างการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ องค์ประกอบของระบบจะมีหอดูดซึมและหอ Stripper (ในกรณีที่มีการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากสารละลาย และวนสารละลายกลับไปใช้ใหม่) ภายในหอมีตัวกลางพลาสติกเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทมวล ดังแสดงในรูปที่ 2



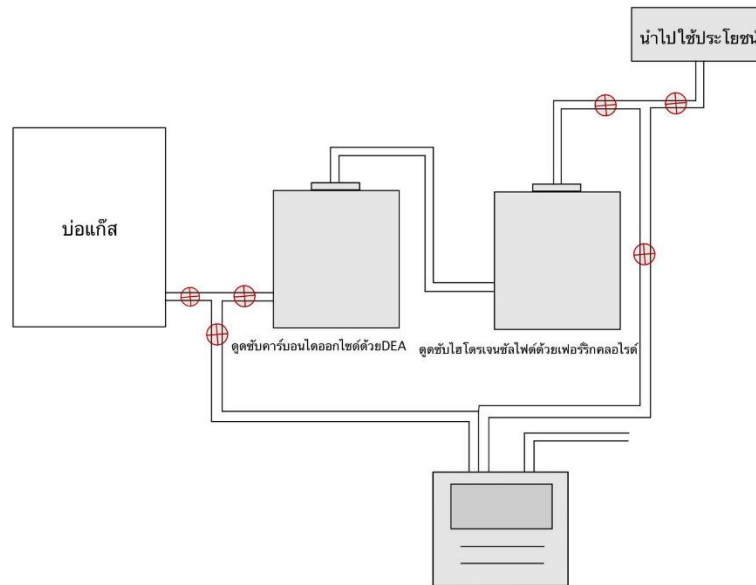
ภาพที่ 2. แสดงเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Chemical Absorption technology

ที่มา : (กรมโรงงานอุตสาหกรรม,2553)

ก๊าซชีวภาพจะเข้าหอดูดซึมทางด้านล่างและจะไหลสวนทางกับสารละลาย ก๊าซชีวภาพที่กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว และมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงจะออกจากระบบทางด้านบน ส่วนสารละลายที่ทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลออกทางด้านล่างผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อน 2 ชุด เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ โดยชุดแรกทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารละลายที่ออกมาจากหอพื้นสภาพและชุดที่สองทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำตามลำดับ แล้วเข้าสู่หอพื้นสภาพ เมื่อเข้าสู่หอก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลายที่อุณหภูมิสูงจะถูกไล่ออกจากสารละลาย ก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะถูกปล่อยทิ้ง ส่วนสารละลายจะถูกวนกลับไปใช้ใหม่ที่หอดูดซึม แต่ก่อนที่จะเข้าหอจะมีการลดอุณหภูมิของสารละลายก่อน เพื่อช่วยให้สามารถละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีขึ้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม,2553)

### การดำเนินการวิจัย

1. ออกแบบและผลิตชุดดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



ภาพที่ 3.ชุดดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

## 2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตอนที่ 1 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ )

ขั้นที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ

1. ผสมเฟอร์ริกคลอไรด์ ในน้ำบริสุทธิ์ ให้ได้ความเข้มข้น 8, 10 และ 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร
2. นำผงรังผึ้งแช่ในสารละลายเฟอร์ริกที่เตรียมไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. จากนั้นนำผงรังผึ้งตากให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 2 ดำเนินงานวิจัย

1. นำผงรังผึ้งที่เตรียมไว้ บรรจุในถังดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แล้วติดตั้งชุดดูดซับเข้ากับระบบเดินก๊าซชีวภาพ
2. ใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ วิเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จุดที่ 1 ก่อนปล่อยก๊าซชีวภาพเข้าสู่ถังดูดซับ
3. ใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ วิเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หลังติดตั้งชุดดูดซับด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ที่จุดที่ 2
4. บันทึกค่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ตอนที่ 2 การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ด้วยไดเอทานอลามีน (DEA)

ขั้นที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ

1. ผสมไดเอทานอลามีน ในน้ำบริสุทธิ์ ให้ได้ความเข้มข้น 50, 60 และ 70% ร้อยละโดยปริมาตร
2. นำผงรังผึ้งแช่ในสารเมทิลไดเอทานอลามีนที่เตรียมไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. จากนั้นนำผงรังผึ้งตากให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

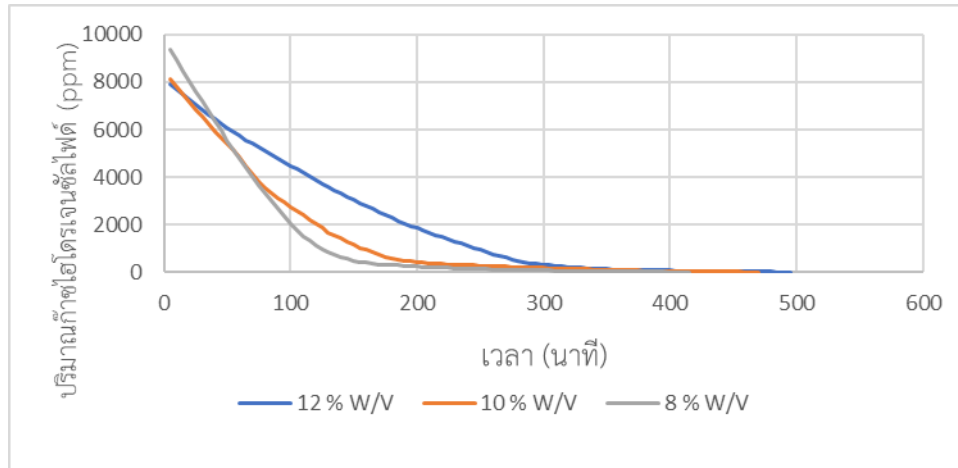
ขั้นที่ 2 ดำเนินงานวิจัย

1. นำคุลิ่งแพดที่เตรียมไว้ บรรจุในถังดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วพ่วงถังดูดซับเข้ากับระบบเดินก๊าซชีวภาพของฟาร์ม
2. ใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ วิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนปล่อยก๊าซชีวภาพเข้าสู่ถังดูดซับ
3. ใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ วิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หลังติดตั้งถังดูดซับด้วยไดเอทานอลามีน
4. จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการวัด สร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยไดเอทานอลามีน

## ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ )

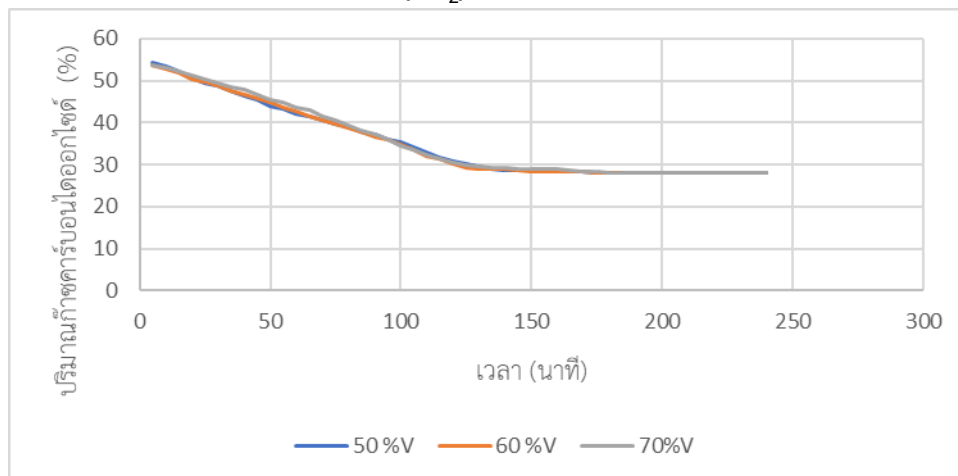




ภาพที่ 4.กราฟความสัมพันธ์ของเวลา (นาที) และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพที่ได้จากบ่อหมักโดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8, 10 และ 12 โดยมวลต่อปริมาตร พบว่าชุดดูดซับที่ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8, 10 และ 12 โดยมวลต่อปริมาตร สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้เวลา 8 ชั่วโมง 15 นาที, 7 ชั่วโมง 50 นาที และ 6 ชั่วโมง 55 นาที ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นว่า ชุดดูดซับที่ใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยมวลต่อปริมาตร สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นของสารที่ใช้ดูดซับมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

## 2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>)



ภาพที่ 5.กราฟความสัมพันธ์ของเวลา (นาที) และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพที่ได้จากบ่อหมักโดยใช้ไดเอทานอลามีนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50, 60 และ 70 โดยปริมาตร พบว่าชุดดูดซับที่ใช้ไดเอทานอลามีนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50, 60 และ 70 โดยปริมาตร สามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพให้มีปริมาณลดลงเหลือ 28.2 %, 28.1 % และ 28 % ตามลำดับ โดยเริ่มคงที่ที่เวลา 180 นาที, 170 นาที และ 165 นาที ตามลำดับ

### สรุปผลการวิจัย

#### 1. สรุปผลการศึกษากำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) โดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 8 10 และ 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร

เฟอร์ริกคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยมวลต่อปริมาตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด เนื่องจากชุดดูดซับที่มีความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยมวลต่อปริมาตร ใช้ระยะเวลาในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่าชุดดูดซับที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 และ 10 โดยมวลต่อปริมาตร ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนติดตั้งชุดดูดซับที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8,178 ppm ใช้เวลา 8 ชั่วโมง 15 นาที ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงจะลดเหลือ 0 ppm วัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนติดตั้งชุดดูดซับที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวลต่อปริมาตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8,531 ppm ใช้เวลา 7 ชั่วโมง 50 นาที ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงจะลดเหลือ 0 ppm และวัดปริมาณก๊าซ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนติดตั้งชุดดูดซับที่มีความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยมวลต่อปริมาตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9,864 ppm ใช้เวลา 6 ชั่วโมง 55 นาที ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงจะลดเหลือ 0 ppm

## 2. สรุปผลการศึกษากำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) โดยใช้ Diethanolamine (DEA) ที่ความเข้มข้น 50 60 และ 70 ร้อยละโดยปริมาตร

คาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ Diethanolamine ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีที่สุด เนื่องจากชุดดูดซับที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตร ใช้ระยะเวลาในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าชุดดูดซับที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 และ 60 โดยปริมาตร ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนติดตั้งชุดดูดซับที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54.6 % ใช้เวลา 240 นาที

## 3. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

จากการวิเคราะห์ปริมาณการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพที่ได้จากบ่อหมักโดยใช้ไดเอทานอลามีนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50, 60 และ 70 โดยปริมาตร พบว่ายังไม่สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เหลือ 0 % ได้ จึงควรศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับอย่างอื่นด้วย เช่น พื้นที่ผิวที่ก๊าซสัมผัสกับชุดดูดซับ หรืออาจเพิ่มความเข้มข้นของสารที่ใช้ในชุดดูดซับ

## เอกสารอ้างอิง

- พิษณุพงษ์ กิณ. (2550). การวิเคราะห์คุณสมบัติของการทำงานของเครื่องย่นก๊าซชีวภาพในฟาร์มขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ศูนย์ข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์, 2544. Hydrogen Sulfide. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?VID=153>. สืบค้นเมื่อ 16 ตุลาคม 2564.
- ศรุตวิทย์ บุญคง. (2562). การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ไข่. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://reca.or.th/wp-content/uploads/2021/02/J-REC%E2%80%8B\\_Vol1\\_2562\\_03.pdf](http://reca.or.th/wp-content/uploads/2021/02/J-REC%E2%80%8B_Vol1_2562_03.pdf). สืบค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2564.
- ศิริพงษ์ ตริรัตน์,เฉลิมชาติ เมฆเมืองทอง และ ชิตพล คงศิลา.(2563). การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพโดยใช้เม็ดดินเผาเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://kbu.ac.th/eng/wpcontent/uploads/2021/03/7.-REMOVAL-OF-HYDROGEN-SUNFIDE-FROM-BIOGAS-USING-BOTH-FERRIC- CHOLORIDE-AND-SODIUM-HYDROXIDEIMPREGNATED-BAKED-CLAY-BALL.pdf>. สืบค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2564.
- วาสนา คำโสภาส. (2559). การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยเทคนิคดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารละลายเอมีน ( MEA ). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [https://stri.cmu.ac.th/article\\_detail.php?id=20](https://stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=20). สืบค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2564.
- สยามเคมี. ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์/ก๊าซไข่เน่า. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://www.siamchemi.com>. สืบค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2564.
- สุชน ตั้งทวีวัฒน์, งามสง่า ส่องสี และ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. (2555). การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ออกจากก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในชุมชน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=442.pdf&id=711&keeptrack=9>. สืบค้นเมื่อ 19 ตุลาคม 2564.
- กรมอุตสาหกรรม.(2553). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://reg3.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/29.pdf> สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม 2566.