

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ )  
โดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) และเมทิลไดเอทานอลามีน (MDEA) เป็นตัวดูดซับ

Removal of hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) and carbon dioxide  
( $CO_2$ ) by using ferric chloride ( $FeCl_3$ ) and methyl diethanolamine (MDEA) as adsorbents

ดวงกมล ดังโพนทอง<sup>1</sup> วสันต์ ปินะเต<sup>2</sup>

E-mail: d.dungphontong@gmail.com

โทรศัพท์: 08-4363-5654

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) โดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) และเมทิลไดเอทานอลามีน (MDEA) เป็นตัวดูดซับ โดยแบ่งการศึกษออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 ศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 8, 10 และ 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร โดยก่อนการติดตั้งชุดดูดซับวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพแบบพกพา Biogas 5000 เท่ากับ 8178, 8531 และ 9864 ppm ตามลำดับ และหลังติดตั้งชุดดูดซับด้วยความเข้มข้น 8, 10 และ 12 วัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ 0, 0, และ 0 ppm ตามลำดับ โดยใช้เวลา 495, 470 และ 415 นาทีตามลำดับ พบว่า เฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ดีที่สุด เนื่องจากใช้เวลาเพียง 415 นาที ในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จาก 9864 ppm เหลือ 0 ppm ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ด้วยเมทิลไดเอทานอลามีน (MDEA) ความเข้มข้น 50 60 และ 70 ร้อยละโดยปริมาตร โดยก่อนการติดตั้งชุดดูดซับ วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพแบบพกพา Biogas 5000 เท่ากับ 56.2, 55.4 และ 55.5% และหลังติดตั้งชุดดูดซับด้วยความเข้มข้น 50, 60 และ 70 ร้อยละโดยปริมาตร วัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 30, 29.5, และ 28% ตามลำดับ โดยเวลาเริ่มคงที่ 215, 210 และ 200 นาทีตามลำดับ พบว่า เมทิลไดเอทานอลามีนความเข้มข้น 70 ร้อยละโดยปริมาตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุด เนื่องจากสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก 55.5% เหลือ 28% ซึ่งปริมาณการดูดซับเริ่มคงที่ที่เวลา 200 นาที

**คำสำคัญ:** ไฮโดรเจนซัลไฟด์, ก๊าซชีวภาพ

Abstract

This research is to study the removal of hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) and carbon dioxide. ( $CO_2$ ) using ferric chloride ( $FeCl_3$ ) and methyl diethanolamine (MDEA) as adsorbents. The study was divided into 2 steps. Step 1 studied the removal of hydrogen sulfide with ferric chloride concentrations of 8, 10 and 12 percent by mass/volume. Before installing the adsorption unit, the hydrogen sulfide gas content was measured with the Biogas 5000 portable biogas analyzer, the values were 8178, 8531 and 9864 ppm, respectively, and after the adsorption unit was installed with concentrations 8, 10 and 12, the hydrogen sulfide gas was measured. got 0, 0, and 0 ppm, respectively, using time 495, 470 and 415 minutes, respectively, showed that the concentration of ferric chloride was 12 percent by mass/volume. It has the best efficiency in absorbing hydrogen sulfide gas. Because it takes only 415 minutes to absorb hydrogen sulfide from 9864 ppm to 0 ppm, the second step is to remove carbon dioxide ( $CO_2$ ) with methyl diethanolamine (MDEA) at 50, 60 and 70% concentrations. volume before installing the absorber Measure the amount of carbon dioxide with the portable biogas analyzer Biogas 5000 series of 56.2, 55.4 and 55.5% and after installing the adsorption unit with concentrations of 50, 60 and 70% by volume. Carbon dioxide content was measured at 30, 29.5, and 28% respectively, with constant start times of 215, 210 and 200 min, respectively. Highest efficiency in absorbing carbon dioxide Because it can absorb carbon dioxide from 55.

**Keywords:** hydrogen sulfide, biogas

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

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

## ความนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม เพราะมีสภาพภูมิศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติที่มีความหลากหลายในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยทำให้เป็นแหล่งที่มีความอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การทำการเกษตรและทำปศุสัตว์ควบคู่ไปด้วย การเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีทั้งระบบการเลี้ยงแบบฟาร์มขนาดใหญ่ ขนาดกลางและระบบการเลี้ยงแบบรายย่อย ส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ชุมชน โดยสิ่งปฏิกูลทั้งหลายที่เกิดขึ้นจากระบบเกษตรกรรมและของเสียจากมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายออกจากตัวสัตว์เลี้ยงและน้ำเสียที่เกิดจากระบบการเลี้ยงสัตว์ นับวันจะรุนแรงมากขึ้น ส่งผลให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมทั้งภายในบริเวณฟาร์ม พื้นที่เลี้ยงสัตว์และชุมชนใกล้เคียงเป็นอย่างมาก เช่น ปัญหามลภาวะของกลิ่น กลิ่นเหม็นเกิดก๊าซพิษที่เกิดจากการหมักของมูลสัตว์และยังเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคทำให้เกิดหนอง แผลงวัน และยุง ส่งผลต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อมในฟาร์มและบริเวณใกล้เคียงรวมถึงทำให้เกิดน้ำเน่าเสียตามคูคลอง หนอง และบึง ส่งผลให้สัตว์น้ำตามธรรมชาติไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ ดังนั้นจึงควรมีระบบการกำจัดสิ่งปฏิกูล (มูลและปัสสาวะ) ควรใช้วิธีที่เหมาะสมที่จะช่วยลดปัญหามลภาวะที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งการกำจัดมูลและปัสสาวะของสัตว์ด้วยระบบก๊าซชีวภาพ ถือว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมและใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถใช้ได้ทั้งฟาร์มขนาดใหญ่และฟาร์มเกษตรกรรายย่อยตามชุมชนต่างๆ ก๊าซชีวภาพหรือไบโอแก๊ส เป็นก๊าซที่เกิดจากระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์วัตถุในระบบการย่อยสลายโดยไม่ต้องอาศัย ออกซิเจน และในก๊าซชีวภาพนี้ก็ประกอบด้วยก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และก๊าซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) ซึ่งคุณสมบัติของก๊าซมีเทนนั้นเป็นก๊าซที่ติดไฟได้ ดังนั้น “ก๊าซชีวภาพ” ที่มีมีเทนอยู่เป็นจำนวนมากจึงสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ และหากตะกอนที่เหลือจากระบบการดังกล่าว สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยให้แก่พืช ทั้งนี้เพราะกากตะกอนหลังการหมัก ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมพืช สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที (สุชน ตั้งทวีวัฒน์, 2555)

ในการเลี้ยงไก่ซึ่งที่เป็นปัญหาและอุปสรรคในการผลิตที่สำคัญคือ การจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากไก่หรือมูลไก่ โดยไก่ส่วนใหญ่จะเลี้ยงไก่ไว้ในกรง มูลไก่ที่เกิดขึ้นจะกองอยู่และเกิดการสะสม หากไม่มีการโกยทิ้งหรือปล่อยสะสมไว้เกิน 4 วัน จะทำให้ก๊าซแอมโมเนียในมูลไก่ระเหยออกมาและส่งผลกระทบต่อไก่ที่เลี้ยงไว้ ถ้านำมูลไก่ไปใช้เพื่อเป็นอาหารของปลาจะประสบปัญหาน้ำในบ่อปลาเน่าเสียได้ง่าย สำหรับการขายมูลไก่เพื่อนำไปทำปุ๋ยต้องนำไปตากแห้งก่อน ซึ่งถ้าเป็นหน้าฝนก็จะประสบปัญหาเพราะไม่สามารถตากแห้งได้ และยิ่งก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบในเรื่องของกลิ่นในช่วงระหว่างการหมักหรือตากแห้งได้ ซึ่งเมื่อคิดกับราคาปุ๋ยหมักที่ขายได้อาจจะไม่คุ้มค่า เพราะระหว่างการตากมูลไก่จะส่งผลกระทบต่อในเรื่องของเชื้อโรค และพาหะนำเชื้อโรค เนื่องจากในกระบวนการตากมีแมลงวันมาเกาะทำให้มีแมลงวันเพิ่มมากขึ้น ปัจจุบันมีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวในฟาร์มไก่โดยจะทำการเก็บกวาดมูลสัตว์ในบริเวณโรงเรือนออกให้หมดทุกวัน และนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆต่อไป เช่น การเลี้ยงปลา เพาะเห็ดบนผลิตไส้เดือน ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืช ใช้เลี้ยงไรแดง และการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เป็นต้น ดังนั้นการนำไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพจะเป็นการเพิ่มมูลค่ามากยิ่งขึ้น เป็นการสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อประชาชนและต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นการอนุรักษ์พลังงานด้วยอีกทางหนึ่ง (ศรุวงศ์ บุญคง และคณะ, 2562)

จะเห็นได้ว่าในส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพนั้น มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือ เรียกทั่วไปว่าก๊าซไข่เน่า เนื่องจากมีกลิ่นรุนแรงเหมือนไข่เน่าจากซัลเฟอร์ที่เป็นองค์ประกอบ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย ทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่เป็นก๊าซหลักสำหรับนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงลดลง และที่สำคัญหากนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เพื่อการเผาไหม้เครื่องยนต์แล้ว มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกเสียก่อน เพราะเมื่อไฮโดรเจนซัลไฟด์รวมไอน้ำจะเป็นกรดซัลฟูริกหรือกรดกำมะถัน มีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะ ทำให้เตาหรือเครื่องยนต์เป็นสนิมและผุกร่อนได้ และหากสัมผัสหรือสูดดมจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อเป็นหลัก ทั้งนี้หากสูดดมมากจนแพร่เข้าสู่กระแสเลือดจะทำให้ความสามารถในการนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายน้อยลงและอาจทำให้เสียชีวิตได้ในเวลาต่อมา เช่น คนงานที่ทำความสะอาดบ่อหมักก๊าซชีวภาพหรือระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูง (สยามเคมี, 2559) นอกจากนี้องค์ประกอบก๊าซชีวภาพยังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากจะมีผลทำให้ค่าความร้อนรวมของก๊าซลดลงแล้ว ยังส่งผลทำให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนไม่คงที่ ทำให้เกิดปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เปลวไฟไม่นิ่ง หรืออาจจะเกิดปัญหาไฟดับและเกิดปัญหาการระเบิดเกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง อีกทั้งยังมีผลทำให้เกิดการกัดกร่อนภายในท่อส่งก๊าซอีกด้วย (วาสนา คำโสภาส, 2559)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) โดยใช้เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) และเมทิลไดเอทาโนลามีน (MDEA) เป็นตัวดูดซับ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) จากก๊าซชีวภาพในระบบบ่อบิดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Covered Lagoon) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และเพื่อศึกษาความเข้มข้นของเฟอร์ริก

คลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) และเมทิล-ไดเอทานอลามีน (MDEA) ซึ่งจะสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) จากก๊าซชีวภาพ
2. เพื่อศึกษาความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) และเมทิลไดเอทานอลามีน (MDEA)
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ )

### ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) จากก๊าซชีวภาพในระบบบ่อปิดแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Covered Lagoon) ที่ หจก.ทองมีฟาร์ม (2020) ตำบลขามเฒ่าพัฒนา อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม
2. ศึกษาความเข้มข้นของเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) โดยใช้ความเข้มข้น 8 10 และ 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร
3. ศึกษาความเข้มข้นของเมทิลไดเอทานอลามีน (MDEA) ในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) จากก๊าซชีวภาพด้วย Chemical Absorption Technology โดยใช้ความเข้มข้น 50 60 และ 70 ร้อยละโดยปริมาตร
4. วัสดุในการดูดซับในงานวิจัยนี้ ใช้แผงรังผึ้งในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) และเมทิลไดเอทานอลามีน (MDEA) ในการดูดซับ

### ทฤษฎี

#### 1. ก๊าซชีวภาพ

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

#### 2. องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซไฮโดรเจน จะมีปริมาณเล็กน้อย เนื่องจากก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูง โดยสามารถให้พลังงานความร้อนได้สูงถึงประมาณ 9,000 กิโลแคลอรี/ลูกบาศก์เมตร และโดยปกติก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซมีเทนอยู่มากกว่าร้อยละ 60 จึงสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของพลังงานได้ เช่น เผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์ หรือเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

#### ตารางที่ 1. องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (BIOGAS)

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (BIOGAS)	
ชนิด	ปริมาณ (%)
มีเทน $\text{CH}_4$	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(ρ)	1.15	kg/m <sup>3</sup>

ที่มา : (พิษณุพงษ์ 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 เกิดการกัดกร่อนและเกิดคราบตะกรันที่ลูกสูบของเครื่องยนต์ ผลิตรกระแสไฟฟ้า ทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหายและเป็นอันตรายต่อการใช้งาน

### 4. ระดับความเป็นพิษของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

หน่วยงาน The American National Standards Institute Standard ได้แบ่งระดับความเป็นพิษดังตารางที่ 2.4 จากตารางจะเห็นว่า แก๊สชนิดนี้ส่งผลเสียต่อมนุษย์หากได้รับที่ความเข้มข้นต่ำก็ส่งผลให้เกิดการระคายเคือง แต่ถ้าได้รับในปริมาณที่สูงก็ทำให้เสียชีวิตได้ทันที ยิ่งถ้าสัมผัสกับไอน้ำจะเปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริกมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง สามารถกัดกร่อนบ้านเรือนวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างรุนแรง (นิตยสาร OSHA ฉบับที่ 8.)

ตารางที่ 3. แสดงระดับความเป็นพิษของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

ระดับความเข้มข้น	ระยะเวลาที่ได้รับ	ผลกระทบต่อร่างกาย
10 ppm	ขณะที่สัมผัสและสูดดม	เกิดการระคายเคืองที่ตา
50-100 ppm	1 ชั่วโมง	จะส่งผลกระทบต่อเยื่อเยื่อตาและระบบทางเดินหายใจ
	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 สูญเสีย



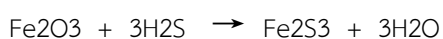
		ความสามารถในการสั่งการและอาจถึงขั้นเสียชีวิต
700-1000 ppm	ช่วงเวลาสั้นๆ	หากมีอาการสุดตมหรือสัมผัสจะทำให้หมดสติอย่างรวดเร็ว หยุดการหายใจและเสียชีวิต
1000-2000 ppm	ทันทีที่ได้รับ	หากมีอาการสุดตมหรือสัมผัสจะทำให้หมดสติทันที หยุดการหายใจและเสียชีวิตอย่างรวดเร็ว
* หมายเหตุ : ผู้ที่หยุดหายใจในระยะเวลาสั้น อาจจะรอดชีวิตได้ ถ้าถูกแยกตัวออกมาจากแหล่งที่แก๊สมีระดับความเข้มข้นสูง มาสูบริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ในเวลาอันรวดเร็ว		

ที่มา : นิตยสาร OSHE ฉบับที่ 8.

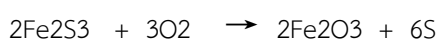
## 5. การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น

5.1 กระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S Adsorption) โดยใช้เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) เทคโนโลยีที่ใช้ในการจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยสารดูดซับในรูปของแข็งนั้น จะประกอบไปด้วยถึงปฏิกรณณ์มีลักษณะเป็น 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 ถึงปฏิกรณณ์จับ H<sub>2</sub>S จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นบ้าง และในช่วงการฟื้นฟูสภาพด้วยอากาศก็จะมีคายความร้อน 5.8 กิโลจูลต่อกรัมของ H<sub>2</sub>S ซึ่งจะเห็นว่า 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)

กรณีที่ต้องการฟื้นฟูสภาพด้วยอากาศในถังปฏิกรณ์ โดยไม่นำสารดูดซับออกมา ต้องทำการแยกถังปฏิกรณ์นั้นออกจากระบบดูดซับชีวภาพก่อน แล้วจึงทำการเติมอากาศเข้าไปในถังที่ต้องการฟื้นฟูสภาพ (โดยส่วนใหญ่จะใช้กับสารดูดซับที่เป็นเม็ด iron oxide นอกจากนี้ ควรหมั่นตรวจสอบอุณหภูมิภายในถังที่ทำการฟื้นฟูสภาพ โดยทั่วไปการใช้การกำจัดก๊าซ  $H_2S$  โดยวิธี Adsorption จะต้องมีการปฏิกรณ์หลายใบที่ทำงาน และสำรองไว้ช่วงระหว่างการฟื้นฟูสภาพ และถังควรเป็นถังสแตนเลส เนื่องจากจะมีอุณหภูมิสูงมากและต้องระมัดระวังเรื่องการเกิดการติดไฟ

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

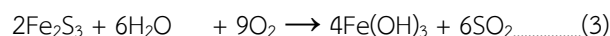
5.2 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการดูดซับทางเคมีโดยใช้สารดูดซับเป็นเม็ดดินเผาเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เม็ดดินเผาไม่สามารถเป็นสารดูดซับได้โดยการเคลือบสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น จำเป็นต้องเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) เพื่อทำให้เกิดเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ( $Fe(OH)_3$ ) ซึ่งสามารถช่วยให้เกิดการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีขึ้น ดังสมการที่ 1



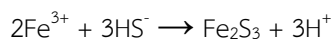
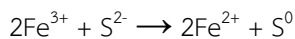
สารเคมีที่มีความสามารถในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ได้แก่ เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ( $Fe(OH)_3$ ) ดังสมการที่ 2



สามารถฟื้นฟูสารดูดซับจากองค์ประกอบ  $Fe_2S_3$  ให้กลับมาเป็น  $Fe(OH)_3$  ได้ตามเดิมโดยการเปิดให้ก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) ไหลผ่านระบบ ดังสมการที่ 3



3. ความสามารถในการกำจัด  $H_2S$  หรือ  $HS^-$  จากของเหลวในบ่อหมักและก๊าซชีวภาพโดยใช้เกลือของ  $Fe^{3+}$  เป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพ  $Fe^{3+}$  เกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยมี  $S^{2-}$  เป็นตัวรีดิวซ์ ทำให้ลดลงเป็น  $Fe^{2+}$  และก่อให้เกิดตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ:



## 6. คาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์ (อังกฤษ: carbon dioxide) เป็นก๊าซในบรรยากาศ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และ ออกซิเจน 2 อะตอม ต่อหนึ่งโมเลกุล. คาร์บอนไดออกไซด์เป็นหนึ่งในสารประกอบเคมีที่เป็นที่รู้จักมากที่สุด และมักเรียกด้วยสูตรเคมี  $CO_2$  เมื่ออยู่ในสถานะ ของแข็ง มักจะเรียกว่าน้ำแข็งแห้ง (dryice) เป็นก๊าซที่มีปริมาณมากเป็นอันดับ 4 ในอากาศ รองจากไนโตรเจน ออกซิเจน และอาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้หลายลักษณะ เช่น ภูเขาไฟระเบิด การหายใจของสิ่งมีชีวิต หรือการเผาไหม้ของสารประกอบอินทรีย์ ก๊าซนี้เป็นวัตถุอันตรายในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เพื่อใช้คาร์บอนและออกซิเจนในการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต จาก กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนี้ พืชจะปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมาสู่บรรยากาศ ทำให้สัตว์ได้ใช้ออกซิเจนนี้ในการหายใจ การใช้ คาร์บอนไดออกไซด์ของพืชนี้เป็นการลดก๊าซเรือนกระจกได้ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซหนึ่งที่เป็นสาเหตุของปรากฏการณ์ เรือนกระจก

## 7. อันตรายของก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ที่มีผลต่อร่างกาย

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

ถ้าเราได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปปริมาณมาก ๆ นั้นจะทำให้เลือดเป็นกรดและกระตุ้นระบบหายใจให้หายใจเร็วขึ้น จึงทำให้หัวใจ เต้นเร็ว และกดสมอง และ ทำให้หมดสติ ดังนั้นเราควรหลีกเลี่ยงในจุดที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ควรหลีกเลี่ยงการทำงานในพื้นที่อับอากาศ หรือพื้นที่ที่มีออกซิเจนน้อย

**ตารางที่ 4. ระดับของ CO<sub>2</sub> 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	ไปถึงสภาวะอากาศที่ผิดปกติ อาจเกิดความเป็นพิษหรือขาดออกซิเจน

**8. การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์**

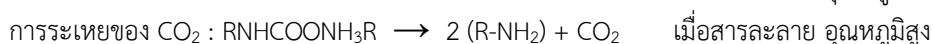
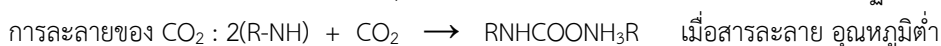
การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะเพิ่มค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพให้สูงขึ้น หรือเป็นการควบคุมความเข้มข้นมีเทนให้คงที่ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานก๊าซชีวภาพไปด้วยสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของพาหนะ หรือทดแทนก๊าซธรรมชาติรวมทั้งยังลดความเป็นกรด (เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำจะเป็นกรดอ่อน) ซึ่งในขณะนี้ได้มีประเทศในยุโรป 3 ประเทศ ได้แก่ สวิตเซอร์แลนด์ สหพันธ์รัฐเยอรมนี และสวีเดน ที่ได้มีการยอมรับมาตรฐานของก๊าซชีวภาพดังกล่าวซึ่งประกอบไปด้วยเทคโนโลยีต่างๆดังนี้

1. Water Scrubber Technology เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการอัดก๊าซชีวภาพผ่านหอดูดซึมด้วยน้ำที่ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำในการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้หลักการด้านความสามารถในการละลายที่ดีของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำที่ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำ

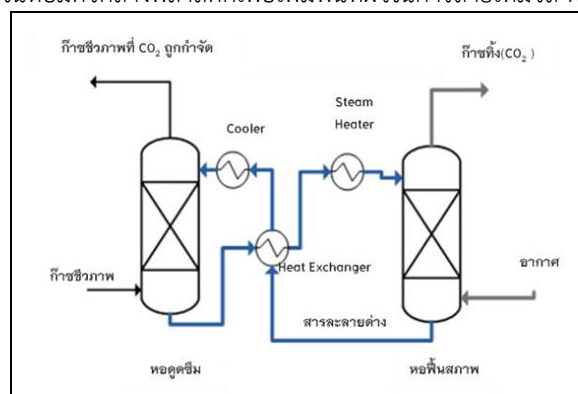
2. Pressure Swing Adsorption (PSA) Technology เป็นเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องแยกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกก่อน หลักการทำงานใช้การเปลี่ยนแปลงความดันก๊าซแบบกลับๆไปกลับมา และสมบัติในการดูดซับของวัสดุต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ โดยความสามารถในการดูดซับของวัสดุแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล

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



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



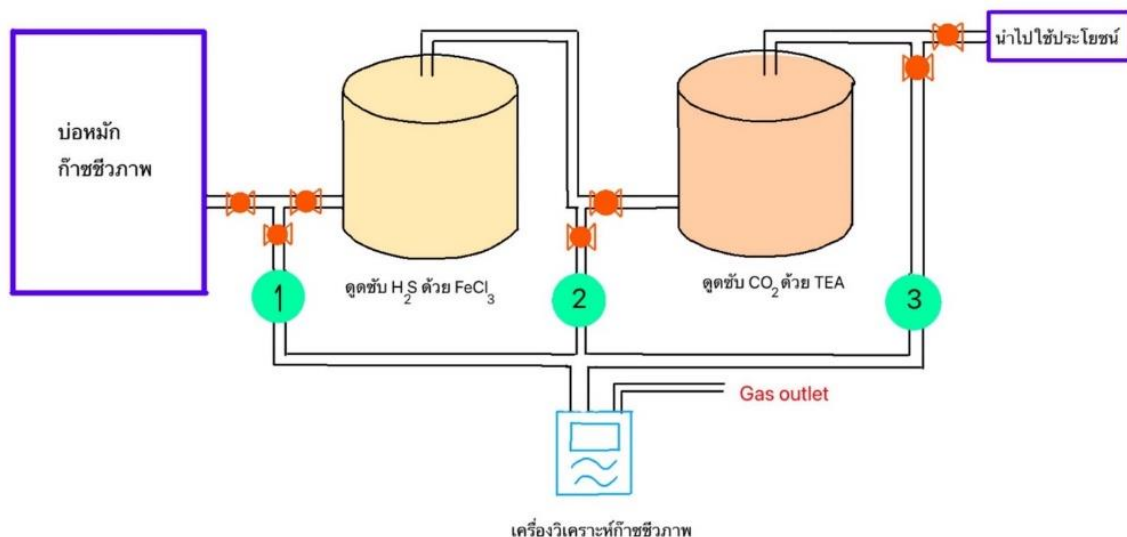
**ภาพที่ 2. แสดงเทคโนโลยีการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบ Chemical Absorption technology**

ที่มา : (กรมโรงงานอุตสาหกรรม,2553)

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

## การดำเนินการวิจัย

### 1. ออกแบบและผลิตชุดดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



ภาพที่ 3.ชุดดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

### 2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตอนที่ 1 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl<sub>3</sub>)

ขั้นที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ

1. ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ในน้ำกลั่น ให้ได้ความเข้มข้น 8, 10 และ 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร
2. นำแผงรังผึ้งในสารละลายเฟอร์ริกที่เตรียมไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. จากนั้นนำแผงรังผึ้งตากให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 2 ดำเนินงานวิจัย

1. นำแผงรังผึ้งที่เตรียมไว้ บรรจุในถังดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แล้วติดตั้งชุดดูดซับเข้ากับระบบเดินก๊าซชีวภาพ
2. ใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ วิเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จุดที่ 1 ก่อนปล่อยก๊าซชีวภาพเข้าสู่ชุดดูดซับ
3. ใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ วิเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หลังติดตั้งชุดดูดซับด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ที่จุดที่ 2
4. บันทึกค่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ตอนที่ 2 การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ด้วยเมทิลไดเอทานอลามีน (MDEA)

ขั้นที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ

1. เจือจางเมทิลไดเอทานอลามีน ในน้ำกลั่น ให้ได้ความเข้มข้น 50, 60 และ 70 ร้อยละโดยปริมาตร
2. นำแผงรังผึ้งในสารเมทิลไดเอทานอลามีนที่เตรียมไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. จากนั้นนำแผงรังผึ้งตากให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 2 ดำเนินงานวิจัย

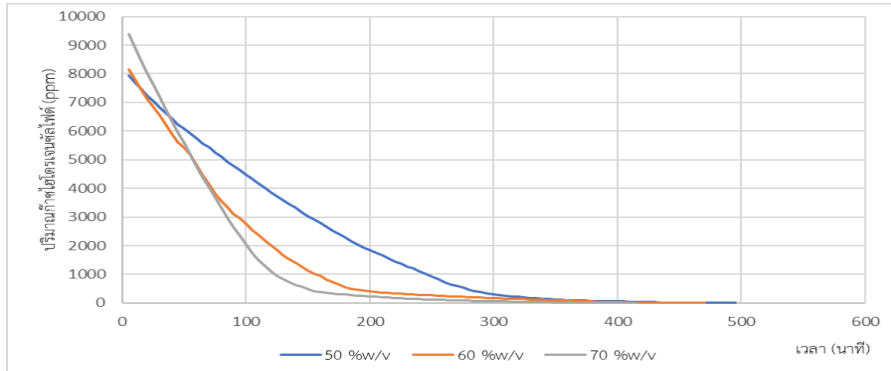
1. นำแผงรังผึ้งที่เตรียมไว้ บรรจุในถังดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วติดตั้งชุดดูดซับเข้ากับระบบเดินก๊าซชีวภาพ
2. ใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ วิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดที่ 2 ก่อนปล่อยก๊าซชีวภาพเข้าสู่ชุดดูดซับ
3. ใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ วิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หลังติดตั้งชุดดูดซับด้วยไตรเอทานอลามีนที่จุดที่ 3



#### 4. บันทึกค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

##### ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

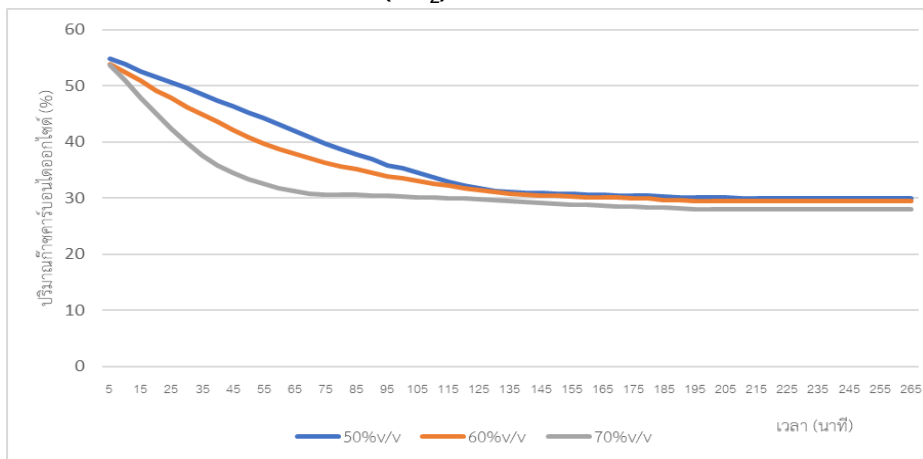
##### 1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ )



ภาพที่ 4.กราฟความสัมพันธ์ของเวลา (นาท) และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm)

ก่อนติดตั้งชุดดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเพอร์ริกคลอไรด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าเท่ากับ 8178, 8531 และ 9864 ppm ตามลำดับ จากรูปที่ 4. จะเห็นได้ว่าการติดตั้งชุดดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเพอร์ริกคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 8, 10 และ 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เหลือ 0 ppm พบว่า เพอร์ริกคลอไรด์ทุกความเข้มข้น มีความสามารถในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ แต่ประสิทธิภาพของเพอร์ริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร จะมีความสามารถในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีกว่าความเข้มข้น 8 และ 10 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร เนื่องจากที่ความเข้มข้น 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร กราฟของปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีแนวโน้มลดลงจนถึงศูนย์ได้รวดเร็วกว่าความเข้มข้นอื่น

##### 2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ )



ภาพที่ 5.กราฟความสัมพันธ์ของเวลา (นาท) และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%)

ก่อนติดตั้งชุดดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเมทิลไดเอทานอลามีน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 56.2, 55.4 และ 55.5% ตามลำดับจากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการติดตั้งชุดดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเมทิลไดเอทานอลามีน พบว่า ที่ความเข้มข้น 70 ร้อยละโดยปริมาตร มีความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีกว่าความเข้มข้น 50 และ 60 ร้อยละโดยปริมาตร เนื่องจากที่ความเข้มข้น 70 ร้อยละโดยปริมาตร ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มลดลงต่ำที่สุดที่ 28 % และการดูดซับเริ่มคงที่ที่เวลา 200 นาที

##### สรุปผลการวิจัย

##### 1. สรุปผลการศึกษากำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) โดยใช้เพอร์ริกคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 8 10 และ 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร

จากการทดลองวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ หลังติดตั้งชุดดูดซับด้วยเพอร์ริกคลอไรด์ด้วยความเข้มข้น 8, 10 และ 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร พบว่าชุดดูดซับด้วยเพอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตรมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่า ความเข้มข้น 8 และ 10 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร เนื่องจากชุดดูดซับด้วยเพอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร ใช้เวลาในการดูดซับน้อยที่สุด และยังสามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ได้มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 วัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก่อนติดตั้งชุดดูดซับด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 8 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตรได้เท่ากับ 8178 ppm ใช้เวลา 495 นาที ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงเป็น 0 ppm แต่เมื่อวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก่อนการติดตั้งชุดดูดซับด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 10 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตรได้เท่ากับ 8531 ppm ใช้เวลา 470 นาที ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงเป็น 0 ppm แต่เมื่อวัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก่อนการติดตั้งชุดดูดซับด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 12 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตรได้เท่ากับ 9864 ppm ใช้เวลา 415 นาที ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงเป็น 0 ppm

## 2. สรุปผลการศึกษากำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) โดยใช้เมทิลไดเอทานอลามีน (MDEA) ที่ความเข้มข้น 50 60 และ 70 ร้อยละโดยปริมาตร

จากการทดลองวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ หลังติดตั้งชุดดูดซับด้วยเมทิลไดเอทานอลามีนด้วยความเข้มข้น 50, 60 และ 70 ร้อยละโดยปริมาตร พบว่าชุดดูดซับด้วยเมทิลไดเอทานอลามีนความเข้มข้น 70 ร้อยละโดยปริมาตรมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์มากกว่า ความเข้มข้น 50 และ 60 ร้อยละโดยปริมาตร เนื่องจากชุดดูดซับด้วยเมทิลไดเอทานอลามีนความเข้มข้น 70 ร้อยละโดยปริมาตร สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้รวดเร็วที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.2 วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก่อนติดตั้งชุดดูดซับด้วยเมทิลไดเอทานอลามีนความเข้มข้น 50 ร้อยละโดยปริมาตรได้เท่ากับ 56.2% เวลาในการดูดซับเริ่มครั้งที่ 215 นาที ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลือ 30% แต่เมื่อวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก่อนติดตั้งชุดดูดซับด้วยเมทิลไดเอทานอลามีนความเข้มข้น 60 ร้อยละโดยปริมาตรได้เท่ากับ 55.4% เวลาในการดูดซับเริ่มครั้งที่ 210 นาที ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลือ 29.5% แต่เมื่อวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก่อนติดตั้งชุดดูดซับด้วยเมทิลไดเอทานอลามีนความเข้มข้น 70 ร้อยละโดยปริมาตรได้เท่ากับ 55.5% เวลาในการดูดซับเริ่มครั้งที่ 200 นาที ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลือ 28%

## 3. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. การวิจัยในครั้งต่อไปควรมีการศึกษา ความเข้มข้นของเมทิลไดเอทานอลามีนที่สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เหลือ 0%
2. ควรศึกษาอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพจากบ่อก๊าซ

## เอกสารอ้างอิง

- พิษณุพงษ์ กิณ. (2550). การวิเคราะห์อุณหภูมิเศรษฐศาสตร์ของการทำงานของเครื่องย่นก๊าซชีวภาพในฟาร์มขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ศูนย์ข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์, 2544. Hydrogen Sulfide. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?VID=153>. สืบค้นเมื่อ 16 ตุลาคม 2564.
- ศรุติวงศ์ บุญคง. (2562). การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ไข่. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://reca.or.th/wp-content/uploads/2021/02/J-REC%E2%80%8B8B\\_Vol1\\_2562\\_03.pdf](http://reca.or.th/wp-content/uploads/2021/02/J-REC%E2%80%8B8B_Vol1_2562_03.pdf). สืบค้นเมื่อ 18 ตุลาคม 2564.
- ศิริพงษ์ ตรีรัตน์, เฉลิมชาติ เมฆเมืองทอง และ ชิตพล คงศิลา. (2563). การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพโดยใช้เม็ดดินเผาเคลือบด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://kbu.ac.th/eng/wpcontent/uploads/2021/03/7.-REMOVAL-OF-HYDROGEN-SULFIDE-FROM-BIOGAS-USING-BOTH-FERRIC-CHLORIDE-AND-SODIUM-HYDROXIDE-IMPREGNATED-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, อองอาจ 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.