

## ผลของความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอต่อการกำจัดก๊าซ

### ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

#### Effect of Fe (III) - EDTA Concentration on the Removal of

#### Hydrogen Sulfide in Biogas

บุปผา เจียวพวง<sup>1</sup> สุทธดา จงโปร่งกลาง<sup>1</sup> สมมาส แก้วล้วน<sup>2</sup> และสิทธินันท์ ท่อแก้ว<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเคมี <sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

63 หมู่ 7 ถนนรังสิต - นครนายก ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

E-mail: sittinun@swu.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III)-อีดีทีเอต่อการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ สารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอที่ใช้มีความเข้มข้นของเหล็ก (III) ในช่วง 0.10 - 0.35 โมลต่อลิตร อัตราส่วนโดยโมลของเหล็กต่ออีดีทีเอเป็น 1 ต่อ 1.2 และความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 3,700 - 4,200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการทดลองพบว่าการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) เพิ่มขึ้น หลังทำปฏิกิริยาการดูดซึมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารละลายเหล็ก (III) ถูกฟื้นฟูสภาพโดยการพ่นอากาศที่อัตราการไหล 500 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที จะเห็นได้ว่าสารละลายเหล็ก (III) หลังการใช้งานมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับสารละลายเหล็ก (III) ที่เตรียมใหม่ นอกจากนี้การทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าคงที่ สามารถทำได้โดยการพ่นก๊าซชีวภาพพร้อมกับการพ่นอากาศในอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพต่ออัตราการไหลของอากาศเป็น 80 ต่อ 150

**คำสำคัญ:** การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เหล็ก (III) อีดีทีเอ ก๊าซชีวภาพ

#### ABSTRACT

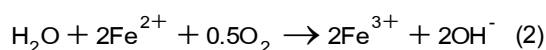
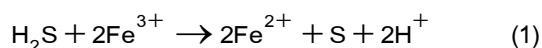
The aims of this research were to study the effect of Fe (III) - EDTA concentration on the removal of hydrogen sulfide in biogas. In this experimental, the concentration of Fe (III) used was in the range of 0.10 - 0.35 mol/L, and the mole ratio of iron (III) and EDTA was 1 : 1.2. Also, the inlet hydrogen sulfide concentration in biogas was in the range of 3,700 - 4,200 mg/m<sup>3</sup>. The result of this experimental was found that the removal of hydrogen sulfide in biogas was increased with increasing the concentration of Fe(III) - EDTA. After hydrogen sulfide adsorption reaction, Fe (III) solution was regenerated by using the air bubbling flow rate was 500 ml/min for 120 min. It was observed that the used-Fe (III) solution was as effective as the new prepared-Fe (III) solution. In addition, the volume flow ratio between biogas and air should be set at 80:150 in order to obtain the stable efficiency of the hydrogen sulfide removal while bubbling air and biogas instantaneously.

**Keyword:** Hydrogen Sulfide Removal, Fe (III) - EDTA, Biogas

## 1. บทนำ

จากสถิติการใช้พลังงานของประเทศไทยปี 2555 พบว่ามีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากปี 2554 คิดเป็น 3.9 เปอร์เซ็นต์ [1] และจากราคาน้ำมันดิบที่เพิ่มสูงขึ้น จึงมีการจัดหาพลังงานทดแทนเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดิบ โดยก๊าซชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทนประมาณ 50 - 70 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 20 - 50 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น [2] ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซพิษ จึงต้องทำการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพก่อนการนำไปใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์หรืออุปกรณ์ต่างๆ

กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ สามารถแบ่งเป็น 2 กระบวนการ คือ กระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ระหว่างการหมักโดยการเติมเหล็กคลอไรด์ในบ่อหมักและกระบวนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หลังการหมักโดยการดูดซับด้วยของเหลว [3] ซึ่งในงานวิจัยของ Horikawa และคณะ [4] ได้ศึกษาการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยสารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอ ที่อัตราส่วนระหว่างเหล็ก (III) ต่อ อีดีทีเอ เท่ากับ 1.06 ในระบบที่ประกอบด้วยหลอดดูดซับและหอฟื้นฟูสภาพแบบต่อเนื่อง จากการวิจัยพบว่าการใช้สารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอ มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีและสามารถฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอได้โดยการพ่นอากาศปฏิกิริยาการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสารละลายเหล็ก (III) และการฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก (II) เป็นเหล็ก (III) ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ [5]



ในงานวิจัยของ Sealee และคณะ [6] ได้ศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในหลอดดูดซับแบบเบดที่ใช้สารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอ และมีการฟื้นฟู

สภาพสารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอ ด้วยการพ่นอากาศงานวิจัยนี้พบว่าอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพเท่ากับ  $5.16 \times 10^{-3}$  ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 2485 โมลต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III)-อีดีทีเอ 268.6 โมลต่อลูกบาศก์เมตร (ปริมาตร 0.5 ลูกบาศก์เมตร) และอัตราการพ่นอากาศ 0.30 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Ebrahimi และคณะ [7] และ Angaji และคณะ [8] ได้รายงานผลของความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{FeSO}_4$  ต่ออัตราการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{FeSO}_4$  เพิ่มจาก 0 ถึง 0.3 โมลต่อลิตร จะทำให้ อัตราการดูดซับ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงและเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{FeSO}_4$  มากกว่า 0.3 โมลต่อลิตร จะทำให้อัตราการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง

งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III)-อีดีทีเอต่อการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบปฏิบัติการแบบกะ ผลของระยะเวลาการพ่นอากาศต่อการฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก (III) หลังการใช้งาน และผลของอัตราการไหลของอากาศพร้อมกับการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 สารเคมี

Cadmium sulphate ( $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  บริษัท Daejung Chemicals & Metals จำกัด ประเทศเกาหลี) Chloroform ( $\text{CHCl}_3$  บริษัท Lab Scan จำกัด ประเทศไอร์แลนด์) Ethylenediamine tetraacetic Acid (EDTA บริษัท Akzo Nobel Functional Chemical จำกัด ประเทศเนเธอร์แลนด์) Ferric chloride ( $\text{FeCl}_3$  บริษัท Alpha Chemika จำกัด ประเทศอินเดีย) Hydrochloric acid ( $\text{HCl}$  บริษัท J.T. Baker จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา) Iodine ( $\text{I}_2$  บริษัท Fluka Chemie จำกัด ประเทศสวีตเซอร์แลนด์) Potassium dichromate

( $K_2Cr_2O_7$  บริษัท Ajax Finechem จำกัด ประเทศออสเตรเลีย) Potassium Iodide (KI บริษัท Ajax Finechem จำกัด ประเทศออสเตรเลีย) Sodium carbonate Anhydrous ( $Na_2CO_3$  บริษัท Ajax Finechem จำกัด ประเทศออสเตรเลีย) Sodium thiosulfate ( $Na_2S_2O_3 \cdot H_2O$  บริษัท Ajax Finechem จำกัด ประเทศออสเตรเลีย) Sulfuric acid ( $H_2SO_4$  บริษัท J.T. Baker จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา) แป้ง (ห้างหุ้นส่วนสามัญนิติบุคคลตงจิ้น ประเทศไทย)

## 2.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) ต่อการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

เตรียมสารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอ ที่มีความเข้มข้นของเหล็ก (III) เป็น 0.10 - 0.35 โมลต่อลิตร (อัตราส่วนโดยโมลของเหล็กต่ออีดีทีเอเป็น 1 ต่อ 1.2) จำนวน 1 ลิตร เทลงในชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังรูปที่ 1 เปิดวาล์วโรตاميเตอร์ของก๊าซชีวภาพและปรับอัตราการไหลเป็น 80 มิลลิลิตรต่อนาที และวัดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่ทางออกทุกๆ 10 นาที ด้วยวิธีไอโอโดเมทรี [9]

## 2.3 การศึกษาผลของระยะเวลาการพ่นอากาศต่อการฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก (III) หลังการใช้งาน

เตรียมสารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอ ที่มีความเข้มข้นของเหล็ก (III) เป็น 0.10 - 0.35 โมลต่อลิตร (อัตราส่วนโดยโมลของเหล็กต่ออีดีทีเอเป็น 1 ต่อ 1.2) จำนวน 1 ลิตร เปิดวาล์วโรตاميเตอร์ของก๊าซชีวภาพและปรับอัตราการไหลเป็น 80 มิลลิลิตรต่อนาที จนความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางเข้า ปิดวาล์วโรตاميเตอร์ของก๊าซชีวภาพ เปิดวาล์วโรตاميเตอร์ของอากาศและปรับอัตราการไหลเป็น 500 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเปิดวาล์วโรตاميเตอร์ของก๊าซชีวภาพและปรับอัตราการไหลเป็น 80 มิลลิลิตรต่อนาที จนความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกของชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางเข้า ปิดวาล์วโรตاميเตอร์ของก๊าซชีวภาพ ทำการทดลองซ้ำด้วยการเพิ่ม

เวลาการพ่นอากาศเป็น 60 และ 120 นาที วัดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่ทางออกทุกๆ 10 นาที



รูปที่ 1 ชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ประกอบด้วย (1) ทางเข้าของก๊าซชีวภาพ (2) ทางเข้าของอากาศ (3) ทางออกของก๊าซ (4) คอลัมน์บรรจุสารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอ (5) โรตاميเตอร์ของก๊าซชีวภาพ (6) โรตاميเตอร์ของอากาศ (7) เครื่องพ่นอากาศ และ (8) ชุดวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

## 2.4 การศึกษาผลของอัตราการไหลของอากาศพร้อมกับการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

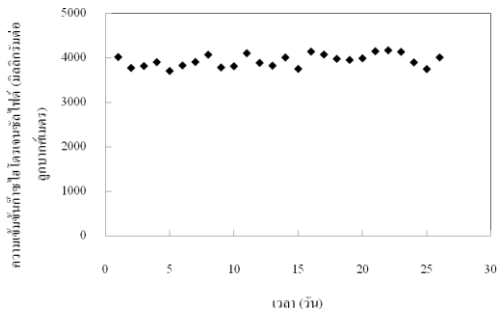
เตรียมสารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอ ที่มีความเข้มข้นของเหล็ก (III) เป็น 0.35 โมลต่อลิตร (อัตราส่วนโดยโมลของเหล็กต่ออีดีทีเอเป็น 1 ต่อ 1.2) จำนวน 1 ลิตร เทลงในชุดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เปิดวาล์วโรตاميเตอร์ของก๊าซชีวภาพและปรับอัตราการไหลเป็น 80 มิลลิลิตรต่อนาที วัดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกให้อยู่ในช่วง 2,000 - 2,400 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แล้วเปิดวาล์วโรตاميเตอร์ของอากาศและปรับอัตราการไหลเป็น 100 - 500 มิลลิลิตรต่อนาที วัดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพที่ทางออกทุกๆ 10 นาที

## 3. ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

### 3.1 ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ในระหว่างวันที่ 21 พฤษภาคม - 23 มิถุนายน 2556 ดังรูปที่ 2 จากรูปที่ 2 พบว่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าค่อนข้างคงที่ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $3,942 \pm 143$  มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

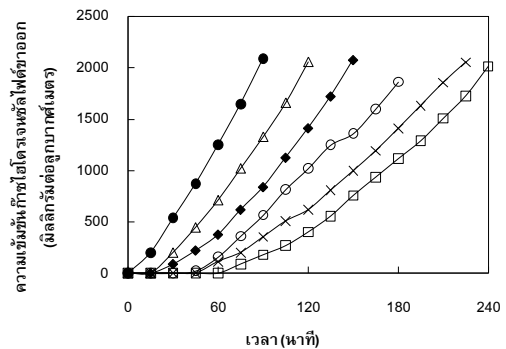


รูปที่ 2 ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพในระหว่างวันที่ 21 พฤษภาคม – 23 มิถุนายน 2556

### 3.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) ต่อการจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) ต่อการจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้สารละลายเหล็ก (III)-อีดีทีเอ ที่มีความเข้มข้นของเหล็ก (III) ต่างๆ เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเหล็กต่ออีดีทีเอเป็น 1 ต่อ 1.2 ดังรูปที่ 3 จากรูปที่ 3 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) จะทำให้มีเวลาการใช้งานนานขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้สารละลายเหล็ก (III) ที่มีความเข้มข้นเป็น 0.10 โมลต่อลิตร ไม่สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้หมด แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 0.35 โมลต่อลิตร พบว่าสามารถกำจัดกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้หมดและใช้งานได้นานเวลา 60 นาที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sealee และคณะ [10] ที่ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอต่อการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพในหอดูดซับสูง

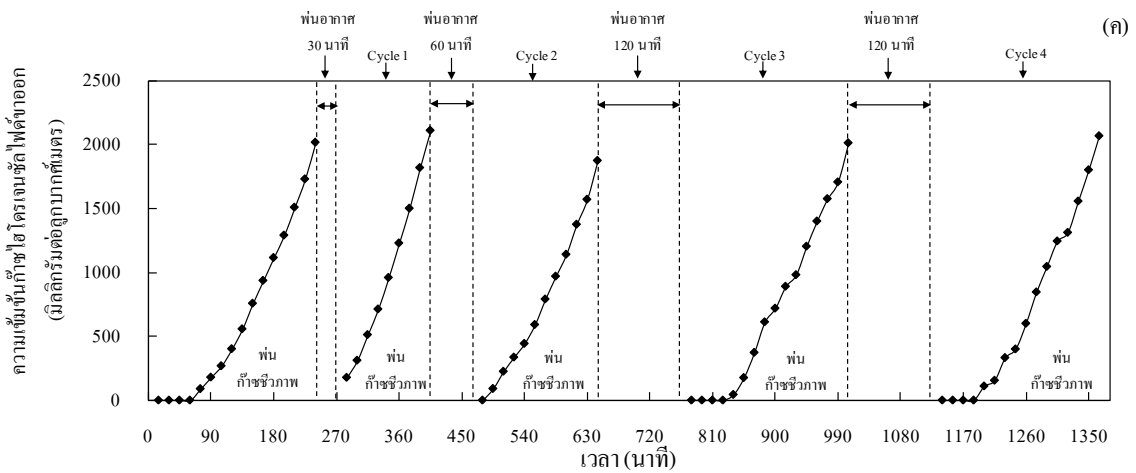
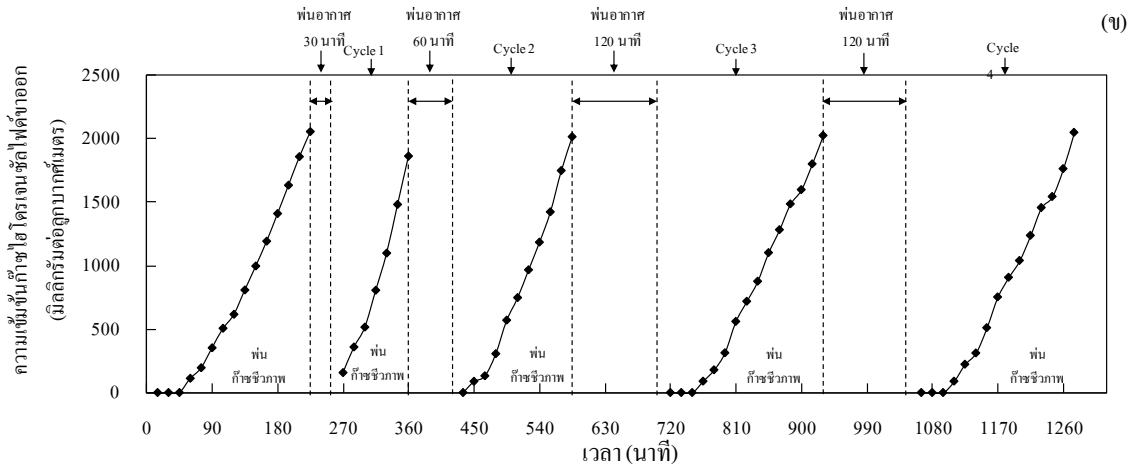
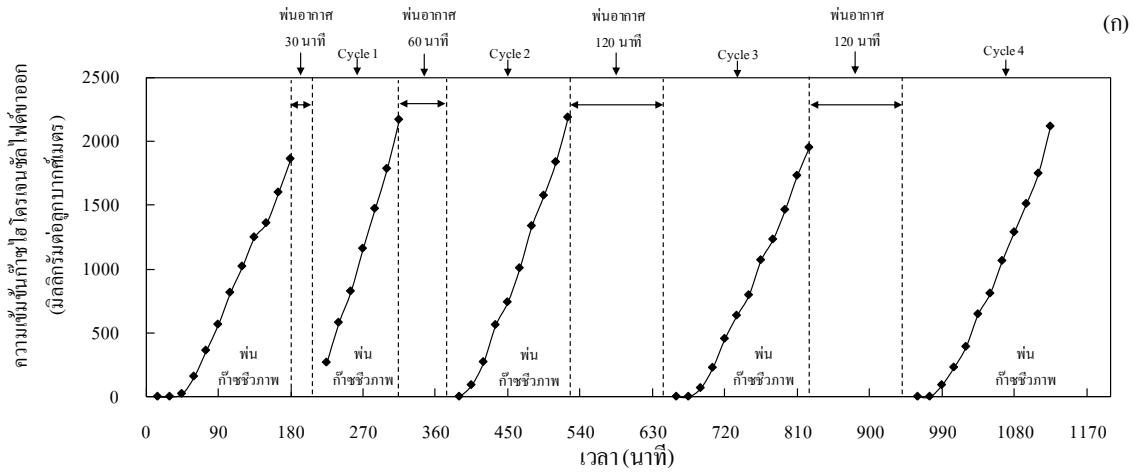
30 เวนติเมตร พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) จาก 0.085 เป็น 0.3 โมลต่อลิตร จะทำให้ความสามารถในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) จะทำให้ความสามารถในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น [6-8]



รูปที่ 3 ผลของความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกที่เวลาต่างๆ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) เริ่มต้นต่างๆ เมื่อ (●) 0.10 (○) 0.15 (△) 0.20 (◆) 0.25 (◇) 0.30 และ (□) 0.35 โมลต่อลิตร

### 3.3 ผลของระยะเวลาการพ่นอากาศต่อการฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก (III) หลังการใช้งาน

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของระยะเวลาการพ่นอากาศต่อการฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก (III) หลังการใช้งาน โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับออกซิเจนในอากาศให้กลายเป็นเหล็ก (III) (สมการที่ 2) ที่อัตราการไหลของอากาศเป็น 500 มิลลิเมตรต่อนาที การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอ ด้วยการ



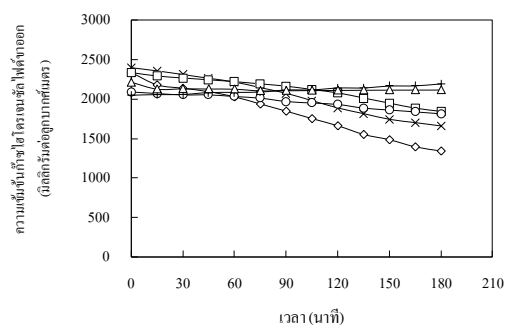
รูปที่ 4 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการฟื้นฟูสภาพด้วยการฟื้นอากาศ ที่ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) เริ่มต้นต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) เป็น (ก) 0.25 (ข) 0.30 และ (ค) 0.35 โมลต่อลิตร

พ่นอากาศ ดังรูปที่ 4 จากรูปที่ 4 (ก) เมื่อใช้สารละลาย เหล็ก (III) ที่มีความเข้มข้นเป็น 0.25 โมลต่อลิตร พบว่าการฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก (III) หลังการใช้งานด้วยการพ่นอากาศเป็นเวลา 30 และ 60 นาที การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีรูปแบบการดูดซึมไม่ เหมือนกับรูปแบบการดูดซึมของสารละลายเหล็ก(III) ที่เตรียมใหม่ (Cycle 1) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาการพ่น อากาศ 30 และ 60 นาที ไม่เพียงพอต่อการฟื้นฟู สภาพสารละลายเหล็ก(III) หลังการใช้งาน ในขณะที่ เมื่อเพิ่มเวลาการฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก (III) เป็น 120 นาที พบว่ามีรูปแบบการดูดซึมเหมือนกับรูปแบบ การดูดซึมของสารละลายเหล็ก(III) ที่เตรียมใหม่ แสดง ให้เห็นว่าเวลาการพ่นอากาศ 120 นาที เพียงพอต่อ การฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก(III) หลังการใช้งาน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก(III) เป็น 0.30 และ 0.35 โมลต่อลิตร ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4 (ข) และ (ค) ตามลำดับ และพบว่าการฟื้นฟูสภาพ สารละลายเหล็ก (III) เป็นเวลา 120 นาที มีรูปแบบการ ดูดซึมเหมือนกับรูปแบบการดูดซึมของสารละลาย เหล็ก (III) ที่เตรียมใหม่ ซึ่งเป็นผลสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Sealee และคณะ [6] ซึ่งได้ศึกษาผลของ การเพิ่มอัตราการไหลของอากาศต่อการกำจัดก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ได้รายงานว่าอัตราการไหลของ อากาศจาก 0.07 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ประสิทธิภาพ การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น 75 เปอร์เซ็นต์ใน 3 ชั่วโมงแรก และหลังจากนั้นลดลงเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่ออัตราการไหลของอากาศเป็น 0.30 ลูกบาศก์ เมตรต่อนาที พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ เมื่อ อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 326.4 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที และความเข้มข้นเป็น 2485 โมล ต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้เนื่องจากที่อัตราการไหลอากาศ เป็น 0.07 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ความเข้มข้นของ สารละลายเหล็ก (III) ลดลงจาก 270 เป็น 100 โมลต่อ ลูกบาศก์เมตร ในเวลา 3 ชั่วโมง ในขณะที่เมื่ออัตรา การไหลอากาศเป็น 0.3 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ความ เข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) ลดลงจาก 270 เป็น 200 โมลต่อลูกบาศก์เมตร ในเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งแสดง

ให้เห็นว่าอัตราการไหลของอากาศที่มากขึ้น ส่งผลให้ ปริมาณสารละลายเหล็ก (III) มีเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้การ กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ดีขึ้น

#### 3.4 การศึกษาผลของอัตราการไหลของอากาศ พร้อมกับการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองนี้ใช้สารละลายเหล็ก(III)-อิตีที่เอ ที่มีความเข้มข้นของเหล็ก(III) เป็น 0.35 โมลต่อลิตร และพ่นก๊าซชีวภาพที่อัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อ นาที พร้อมการพ่นอากาศที่อัตราการไหลต่างๆ ให้ผล การทดลอง ดังรูปที่ 5 จากรูปที่ 5 พบว่าการพ่นอากาศ ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที ทำให้ความ เข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกมีปริมาณ เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของเหล็ก(III) ใน สารละลายมีอัตราส่วนไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยากับ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (สมการที่ 1) ทั้งนี้เนื่องจาก ปฏิกิริยาการฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก(III) (สมการที่ 2) เกิดได้ไม่ทันกับอัตราการใช้เหล็ก (III) (สมการ ที่ 1) และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศเป็น 200 มิลลิลิตรต่อนาที จะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกมีปริมาณลดลง แสดงให้ เห็นว่าการพ่นอากาศที่อัตราการไหลดังกล่าวมี อัตราเร็วในการฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก (III) มากกว่าอัตราเร็วในการทำปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (III)



รูปที่ 5 ผลของอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้ความ เข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) เป็น 0.35 โมลต่อลิตร อัตราการไหลของก๊าซชีวภาพ 80 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่ออัตราการไหลของอากาศเป็น (+) 100 (Δ) 150 (□) 200 (○) 300 (x) 400 และ (◇) 500 มิลลิลิตรต่อนาที

กับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แต่เมื่อพ่นอากาศที่อัตราการไหล 150 มิลลิลิตรต่อนาที จะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทางออกมีปริมาณคงที่ แสดงให้เห็นว่าการพ่นอากาศที่อัตราการไหลดังกล่าวมีอัตราเร็วในการฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก (III) สมดุลกับอัตราเร็วในการทำปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (III) กับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังอธิบายในหัวข้อ 3.3 ในการศึกษาของ Saelee และคณะ (6) ได้ศึกษาการกำจัด  $H_2S$  ใช้หลอดดูดซึมแบบเพดเบตขนาดใหญ่ ที่ประกอบด้วยถังบรรจุสารละลาย  $Fe(III)EDTA$  ปริมาตรรวม 300 ลิตร พร้อมกับการเติมอากาศเพื่อฟื้นฟูสภาพในถังบรรจุสารดูดซึม ในขณะที่ในระบบที่ศึกษามีบรรจุสารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอ 1 ลิตร พร้อมกับการเติมอากาศเพื่อฟื้นฟูสภาพซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกัน

#### 4. สรุป

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพโดยใช้สารละลายเหล็ก (III) อีดีทีเอ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (III) เพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเหล็กต่ออีดีทีเอเป็น 1 ต่อ 1.2 นอกจากนี้ยังพบว่า การฟื้นฟูสภาพสารละลายเหล็ก (III) หลังการใช้งานด้วยการพ่นอากาศที่อัตราการไหล 500 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที ทำให้สารละลายเหล็ก (III) หลังการใช้งานมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับสารละลายเหล็ก (III) ที่เตรียมใหม่ และการพ่นก๊าซชีวภาพพร้อมกับการพ่นอากาศสามารถเพิ่มระยะเวลาในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพได้ โดยอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพต่ออัตราการไหลอากาศเป็น 80 ต่อ 150 เมื่อความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 3,700 - 4,200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนโครงการงานวิศวกรรม ตามโครงการเผยแพร่ผลงานวิจัยและงานนวัตกรรม เนื่องในโอกาสครบรอบ 20 ปี คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปี 2555 (เลขที่ 0519.8.02/088) และโรงงานสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทดลอง

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. "สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยปี 2555 (เบื้องต้น)". *สถิติพลังงานของประเทศไทย 2555 (เบื้องต้น)*. ปีที่ 1(1) : 1-5, 2555.
- [2] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. *คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมและการใช้ก๊าซชีวภาพ*. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, (2553).
- [3] E. Ryckebosch, M. Drouillon and H. Vervaeren, "Techniques for transformation of biogas to biomethane," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, pp. 1633-1645, 2011.
- [4] M. S. Horikawa, F. Rossi, M. L. Gimenes, C.M.M. Costa and M.G.C. da Silva, "Chemical absorption of  $H_2S$  for biogas purification," *Braz. J. Chem. Eng.*, vol. 21, pp. 415-422, 2004.
- [5] A. Karimi, A. Tavassoli and B. Nassernejad, "Kinetic studies and reactor modeling of single step  $H_2S$  removal using chelated iron solution," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 88, pp. 748-756, 2010.
- [6] R. Saelee, J. Chungsiriporn, J. Intamanee and C. Bunyakan, "Removal of  $H_2S$  in biogas from concentrated latex industry with iron(III)chelate in packed column," *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, vol. 31, pp. 195-203, 2009.
- [7] S. Ebrahimi, R. Kleerebezem, M. C. M. van Loosdrecht and J. J. Heijnen, "Kinetics of the reactive absorption of hydrogen sulfide into

- queous ferric sulfate solutions," *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 58, pp. 417 – 427, 2003.
- [8] M. T. Angaji, Z. Gholami, F. Gholami, S. A. R. Alavi and S. Salimi. (2014, Feb. 25). *Application of metal sulfates for removing hydrogen sulfide from gas streams*. [Online] Available:  
[http://www.allriskengineering.com/library\\_files/AIChE\\_conferences/AIChE\\_2009/data/papers/P144113.pdf](http://www.allriskengineering.com/library_files/AIChE_conferences/AIChE_2009/data/papers/P144113.pdf)
- [9] State of California Air Resources Board. (2014, Feb. 25). *Method 11 Determination of Hydrogen Sulfide Content of Fuel Gas Streams in Petroleum Refineries*. [Online] Available:  
[http://www.arb.ca.gov/regact/stasrc/meth\\_11.pdf](http://www.arb.ca.gov/regact/stasrc/meth_11.pdf)
- [10] R. Saelee. *Chemical Absorption and Degradation Kinetics of Iron(III)chelate in H<sub>2</sub>S Removal Process*. Doctor of Philosophy (Chemical Engineering). Prince of Songkla University, (2010).