

การทำแก๊สชีวภาพบริสุทธิ์โดยการกำจัดคาร์บอน ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยซีโอไลต์ชนิดเอและซีโอไลต์ชนิดเอ ที่ผ่านการปรับปรุงโดยกระบวนการเอ็บซุ่ม

Biogas Purification by CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S Removal with Type-A and Impregnated Type-A Zeolite

พลฤกษ์ วงศ์พานิชย์<sup>1,2</sup>, พงษ์เจต พรหมวงศ์<sup>1\*</sup>, เรวดี อนุวัฒนา<sup>2</sup>

Pleuk Vongpanit<sup>1,2</sup>, Pongjet Promvongse<sup>1\*</sup>, Rewadee Anuwattana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 10520

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand

<sup>2</sup>บัณฑิตวิทยาลัยศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วว.), ปทุมธานี, 12120

<sup>2</sup>Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Pathumthani, 12120, Thailand

\*Corresponding author: Tel: +66-8-1633-2856, E-mail: [kppc.igc@kmitl.ac.th](mailto:kppc.igc@kmitl.ac.th)

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเกี่ยวข้องกับการกำจัดแก๊สชีวภาพสังเคราะห์โดยการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ออกไปด้วยการใช้ซีโอไลต์ชนิดเอ (ซีโอไลต์ 3A, 4A และ 5A) และซีโอไลต์ชนิดเอที่ผ่านการปรับปรุงโดยการเอ็บซุ่ม กระบวนการทำความสะอาดแก๊สชีวภาพก็เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านความร้อน, การนำไปใช้ผลิตไฟฟ้า และเชื้อเพลิงใช้ในการขนส่ง การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้ซีโอไลต์-A (3A, 4A และ 5A) และ ซีโอไลต์-A ที่ผ่านการปรับปรุงโดยการเอ็บซุ่มด้วยสารละลาย (ลิเทียมคลอไรด์และโพลีเอทิลีนอิมิน) กระทำในแก๊สชีวภาพสังเคราะห์ (คาร์บอนไดออกไซด์ 37%, มีเทน 52%, ไนโตรเจน 11% และไฮโดรเจนซัลไฟด์ 105 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยศึกษาการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์, แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ ค่าการเลือกการดูดซับแก๊สมีเทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าซีโอไลต์-5A เอ็บซุ่มด้วยสาร โพลีเอทิลีนอิมิน เป็นสารดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ และมีสัดส่วนการเลือก มีเทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สูงสุด

คำสำคัญ: การดูดซับ, สารดูดซับ, แก๊สชีวภาพ, คาร์บอนไดออกไซด์, ไฮโดรเจนซัลไฟด์, ลิเทียมคลอไรด์, โพลีเอทิลีนอิมิน

## Abstract

The work deals with biogas purification by removing carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) using zeolite-A (3A, 4A and 5A) and modified/impregnated zeolite-A. The purification process is to upgrade its conversion efficiency for heat, electricity and vehicle fuel. The comparative study of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S adsorption using Zeolite-A (3A, 4A and 5A) and the modified zeolite-A with impregnated solutions (Lithium chloride, LiCl and Polyethylenimin, PEI) is made for the synthetic biogas (37% CO<sub>2</sub>, 52% CH<sub>4</sub>, 11% N<sub>2</sub> and 105 mg/liter H<sub>2</sub>S). The efficiency of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S removal and the CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> selectivity have been investigated. The study shows that PEI-impregnated Zeolite-5A is the best adsorbent for CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S removal and is considered to be a potential adsorbent due to the highest selectivity of CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>

Keywords: Adsorption, Adsorbent, Bio gas, Carbon Dioxide, Hydrogen Sulfide, Lithium impregnation, Polyethylenimin

## 1. บทนำ

แก๊สชีวภาพประกอบด้วยแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>), มีเทน (CH<sub>4</sub>), ไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ซึ่งแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์จัดเป็นแก๊สที่มีกลิ่นเหม็น และมีคุณสมบัติ กัดกร่อน เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ เมื่อแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ถูกเผาไหม้ร่วมกับแก๊สชนิดอื่นๆ แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูก เปลี่ยนเป็นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการ เกิดมลภาวะทางอากาศ โดยทั่วไปมีเทคโนโลยีกำจัดแก๊ส

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ได้แก่ กระบวนการดูดซับ โดยการ ใช้ สารละลายชนิดต่างๆ เช่นสารละลายเอมีน ซึ่งปัจจุบันพบว่ามัก ไม่ประสบความสำเร็จในการดักจับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความ เข้มข้นต่ำ อีกทั้งมีค่าใช้จ่ายสูง การดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับของแข็ง (solid adsorbent) อย่าง ก๊าซไนโตรเจน และ ซีโอไลต์ จึงเป็นอีก ทางเลือกที่น่าสนใจ ความสนใจจากนักวิจัยจำนวนมาก เน้นไปที่วิธีการดูดซับสูง สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และ แข็งกร่อน จากผลการศึกษาโลหะทรานซิชัน ที่มีคุณสมบัติใน

การเป็นตัวถูกออกซิไดซ์ เช่น Zn, Cu และ Fe มีการนำโลหะเหล่านี้มาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

ซีโอไลต์เป็นสารดูดซับประเภทหนึ่ง ที่มีโครงสร้างโมเลกุลโพรงที่มีรูพรุนและนิยมนำมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นต่ำ Sayari et al. (2010, 2012) สารดูดซับที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการทางกายภาพในกลุ่มเอมีน มีผลการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี แม้ในสภาวะความดันต่ำ และมีการคัดเลือกราคาสูง อีกทั้งยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ Heydari-Gorji et al. (2012) ทั้งนี้ สารประกอบที่มีรูพรุนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายโพลิเอทิลีนไอมินให้ผลการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด Song et al. (2003) ได้พัฒนาสารประกอบที่นำสารโพลิเอทิลีนไอมิน (PEI) โหลดบน SBA-15 และ MCM-41 ซึ่งเรียกว่า โมเลกุลตัก (Molecular Scaffolding) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.7 มิลลิกรัม H<sub>2</sub>S ต่อกรัมสารดูดซับ Zhen et al. (2016) ได้พัฒนาสารประกอบซึ่งผ่านการปรับปรุงด้วยสารโพลิเอทิลีนไอมิน(PEI) ในสารเมโซพอร์ส(M.M.S) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ผลที่ได้คือสารเมโซพอร์สที่ผ่านกระบวนการเอ็บซุ่มสารโพลิเอทิลีนไอมิน มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดีขึ้นและในงานวิจัยของ Chen et al. (2013) พบว่าการเอ็บซุ่มสารโพลิเอทิลีนไอมินบนเรซิน สามารถเพิ่มอัตราการดูดซับ และ ความจุในการดูดซับให้แก่สารดูดซับได้ งานวิจัยนี้จึงศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้สารดูดซับ ซีโอไลต์ชนิด A (3A, 4A และ 5A) โดยใช้สารที่มีคุณสมบัติการถูกออกซิไดซ์ เช่น ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) และ โพลิเอทิลีนไอมิน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การเตรียมสารดูดซับ ซีโอไลต์ชนิด 3A, 4A และ 5A

นำสารประกอบซีโอไลต์ทั้ง 3 ชนิด (3A, 4A และ 5A) จากบริษัท ไทยซิลิกเกต จำกัด เตรียมสารประกอบให้พร้อมใช้งานโดยนำสารประกอบซีโอไลต์ชนิด A ทั้ง 3 ชนิด มาผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อไล่เปื้อน สารประกอบซีโอไลต์ที่ผ่านกระบวนการเตรียมสารแล้ว จะถูกบรรจุลงในภาชนะแก้ว และ นำแก้วในตู้ควบคุมความชื้นเพื่อเตรียมการใช้งานต่อไป

### 2.2 การเตรียมสารดูดซับ ซีโอไลต์ชนิด 3A, 4A และ 5A

ใช้สารประกอบซีโอไลต์ชนิด 3A, 4A และ 5A จากบริษัท ไทยซิลิกเกต จำกัด เตรียมสารประกอบให้พร้อมใช้งานโดยนำสารประกอบซีโอไลต์ชนิด A ทั้ง 3 ชนิด มาผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อไล่แก๊สเปื้อน สารประกอบซีโอไลต์ที่ผ่านกระบวนการเตรียมสารแล้ว จะถูกบรรจุลงในตู้ควบคุมความชื้นเพื่อเตรียมการใช้งานต่อไป

### 2.3 กระบวนการเอ็บซุ่มสารละลายลิเทียมคลอไรด์ และ สารละลายโพลิเอทิลีนไอมิน

นำสารประกอบซีโอไลต์ชนิด A (3A, 4A และ 5A) สารละลายโพลิเอทิลีนไอมิน เตรียมจากการละลายโพลิเอทิลีนไอมิน 20 กรัม ในเอทานอล 40 กรัม และนำมาผสมกับซีโอไลต์ชนิด A โดยวิธีการเอ็บซุ่ม ในอัตราส่วนสารละลายโพลิเอทิลีนไอมินเท่ากับร้อยละ 30 โดยมวล นำตัวอย่างสารดูดซับที่ผ่านกระบวนการเอ็บซุ่มสารละลายทั้งสองชนิด มากรองและอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ที่พื้นผิวความถี่ Scanning Electron Microscope (SEM) และ ตรวจสอบชนิดผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)

### 2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ชุดทดลองถูกประกอบขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของสารดูดซับแต่ละชนิด โดยชุดทดลองจะประกอบด้วยถังบรรจุแก๊สชีวภาพสังเคราะห์(1), ติดตั้งวาล์วควบคุมแรงดันแบบมีเกจบอกความดันที่หัวถัง(2), วาล์วควบคุมอัตราการไหลทางเข้า(3), บอลวาล์วแบบเปิด-ปิดด้วยมือ ก่อนทางเข้าท่อบรรจุสารดูดซับ(4), เกจวัดความดันทางเข้าท่อบรรจุสารดูดซับ(5), ท่อบรรจุสารดูดซับ(6), เกจวัดความดันทางออกท่อบรรจุสารดูดซับ(8), วาล์วควบคุมอัตราการไหลทางออก(9), บอลวาล์วแบบเปิด-ปิดด้วยมือ หลังทางออกท่อบรรจุสารดูดซับ(10), ถังสำหรับเก็บตัวอย่างแก๊ส(11) และ อุปกรณ์วัดความเข้มข้นแก๊ส (Biogas 5000)(12) โดยอุปกรณ์ทั้งหมดถูกประกอบเข้าด้วยกันดังแสดงใน Figure 1

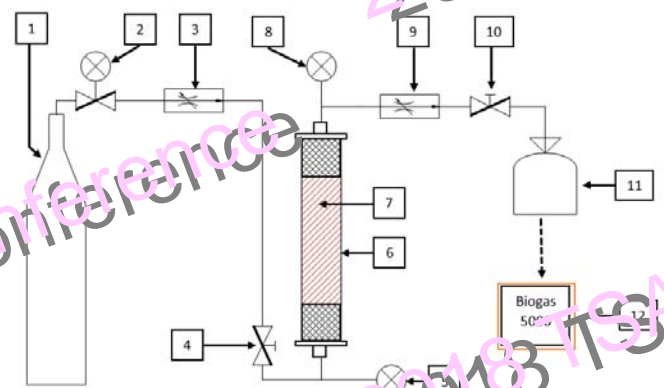


Figure 1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการทดลองสารดูดซับ

## 3. ผลและวิจารณ์

จากการทดสอบ ชนิด สารประกอบซีโอไลต์ ชนิด 3A, 4A และ 5A โดยการเอ็บซุ่มสารละลาย ชนิด ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) และ โพลิเอทิลีนไอมิน (PEI) พบว่า มีตำแหน่งของลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ปรากฏที่มุม 2theta เท่ากับ 32 และ โพลิเอทิลีนไอมิน (PEI) ปรากฏที่มุม 2theta เท่ากับ 19 ดังแสดงใน Figures 2, 3 และ 4 จากผลการศึกษาพบว่าขั้นตอนการเติม ลิเทียมคลอไรด์

ไรต์ (LiCl) และ โพลีเอทิลีนไอมิน (PEI) ด้วยกระบวนการเอ็บซุ่ม  
 และ การปรับปรุง ซีโอไลต์-5A ได้

Figures 2, 3 และ 4 ชี้ให้เห็นว่า สารดูดซับ (ได้แก่ ซีโอไลต์-  
 3A, 4A และ 5A) โดยมีองค์ประกอบของ ลิเทียมคลอไรด์ และ  
 โพลีเอทิลีนไอมิน โดย โพลีเอทิลีนไอมิน มีคุณสมบัติในการลด  
 อัตราส่วน C-H ซึ่งสามารถเพิ่มการดูดซับแก๊ส  
 คาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงขึ้น ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ  
 Supasinee et al. (2012)

ผลการศึกษารูปพื้นผิวของ ซีโอไลต์-5A ที่ผ่านการเอ็บซุ่ม  
 ด้วยสารละลาย ลิเทียมคลอไรด์ และ โพลีเอทิลีนไอมิน โดยใช้  
 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron  
 microscope: SEM) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่า ลักษณะ  
 พื้นผิวของซีโอไลต์ 5A จะมีความเป็นผลึกทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งไม่  
 สามารถระบุความแตกต่างระหว่าง ซีโอไลต์-5A และ ซีโอไลต์-5A  
 ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกระบวนการเอ็บซุ่มโดยใช้สารละลาย  
 ลิเทียมคลอไรด์ และ โพลีเอทิลีนไอมิน ดัง Figures 5, 6 และ 7  
 ตามลำดับ

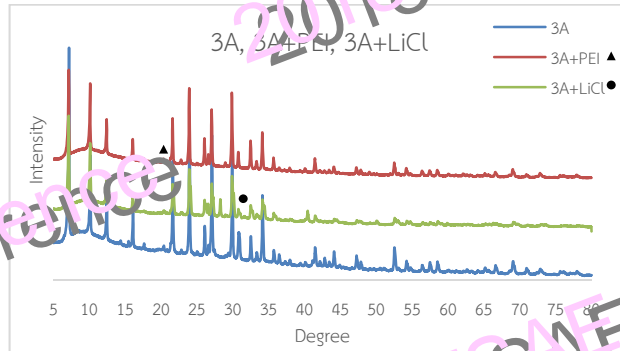


Figure 2 แสดงผลการเอ็บซุ่มสารละลายลิเทียมคลอไรด์ และ โพลีเอทิลีนไอมิน ของซีโอไลต์-3A

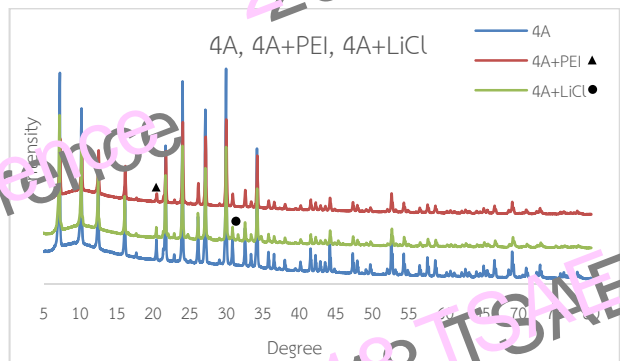


Figure 3 แสดงผลการเอ็บซุ่มสารละลายลิเทียมคลอไรด์ และ โพลีเอทิลีนไอมิน ของซีโอไลต์-4A

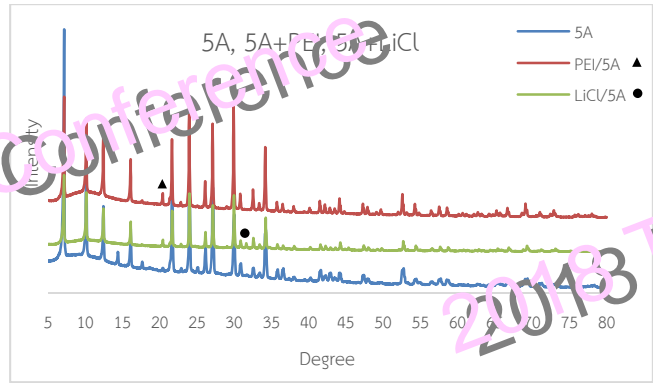


Figure 4 กราฟแสดงผลการเอ็บซุ่มสารละลายลิเทียมคลอไรด์ และ สารละลายโพลีเอทิลีนไอมิน ของซีโอไลต์-5A

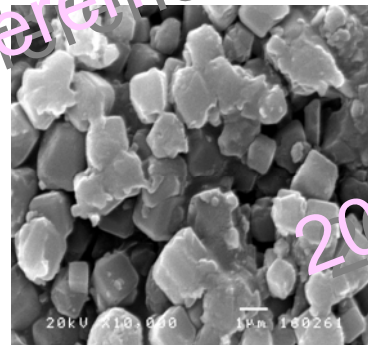


Figure 5 รูปผลึกของ ซีโอไลต์-5A ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



Figure 6 รูปผลึกของซีโอไลต์-5A ที่ผ่านการกระบวนการเอ็บซุ่มด้วย สารละลายลิเทียมคลอไรด์ ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

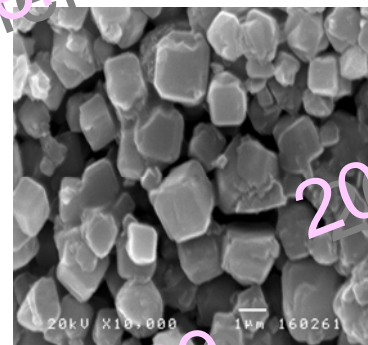


Figure 7 รูปผลึกของซีโอไลต์-5A ที่ผ่านการกระบวนการเอ็บซุ่มด้วย สารละลายโพลีเอทิลีนไอมิน ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

จากการทดลองดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า ซีโอไลต์-3A ที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยสารละลายโพลิเอทิลีนไอมิน (PEI) สามารถกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ซีโอไลต์-4A ที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยสารละลายโพลิเอทิลีนไอมิน สามารถกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 และซีโอไลต์-5A ที่ผ่านการเอิบซุ่มด้วยสารละลายโพลิเอทิลีนไอมิน (PEI) มีคุณสมบัติในการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ได้สูงกว่า 3 รอบการดูดซับ และพบว่ามีความสามารถในการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ร้อยละ 90 จากผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงผลของการปรับปรุงคุณภาพโดยการเอิบซุ่มด้วยสารละลายโพลิเอทิลีนไอมิน (PEI) มีความสามารถในการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ได้สูงกว่า การปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายลิเทียมคลอไรด์ โดยซีโอไลต์-5A ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายโพลิเอทิลีนไอมิน (PEI) ให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าซีโอไลต์-4A และ -3A ดัง Figures 10, 11 และ 12 ตามลำดับ

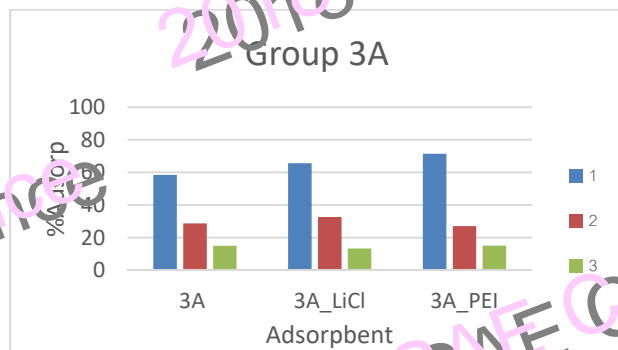


Figure 10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของซีโอไลต์-3A

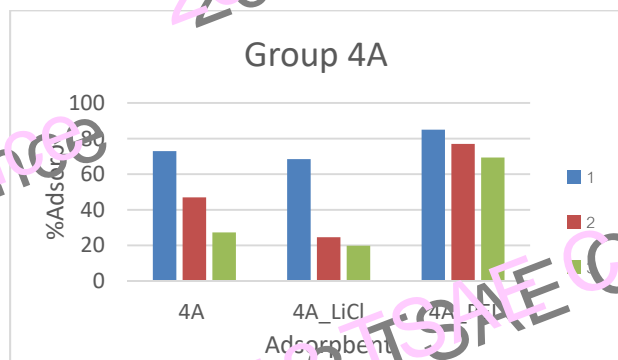


Figure 11 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของซีโอไลต์-4A

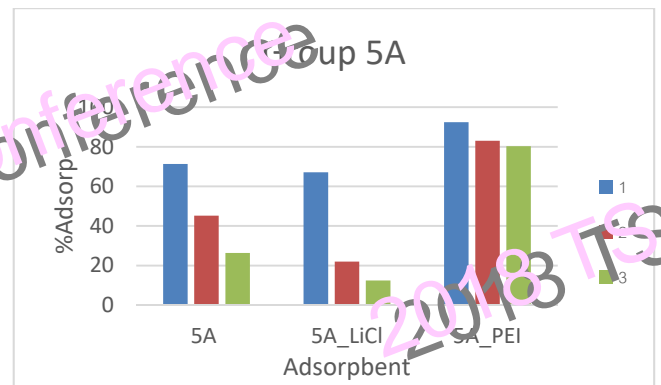


Figure 12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของซีโอไลต์-5A

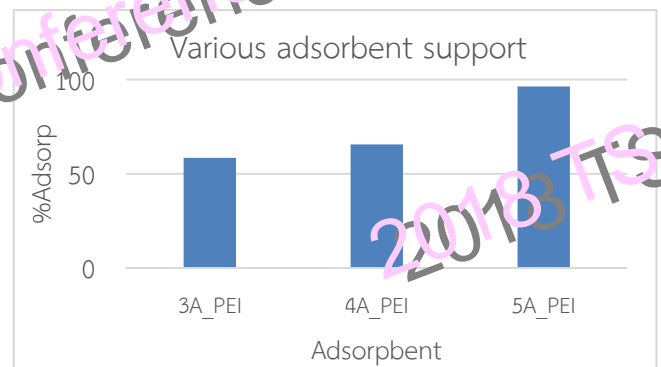


Figure 13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้สารดูดซับซีโอไลต์-A (3A, 4A และ 5A) ที่เอิบซุ่มสารละลายโพลิเอทิลีนไอมิน

จาก Figure 13 ชี้ให้เห็นว่าซีโอไลต์-5A ที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการเอิบซุ่มด้วยสารละลายโพลิเอทิลีนไอมิน มีประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า ซีโอไลต์ชนิดอื่น เนื่องจากขนาดช่องรูพรุนของซีโอไลต์ 5A มีค่าใกล้เคียงกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

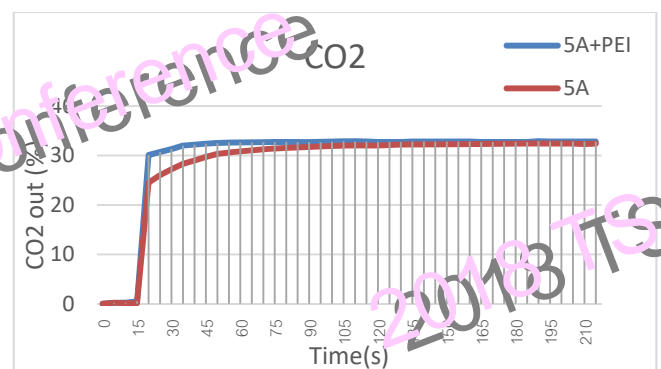


Figure 14 เปรียบเทียบปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จากผลการทดลองสารดูดซับซีโอไลต์-5A และ ซีโอไลต์-5A ที่ผ่านกระบวนการเอิบซุ่มด้วยสารละลายโพลิเอทิลีนไอมิน

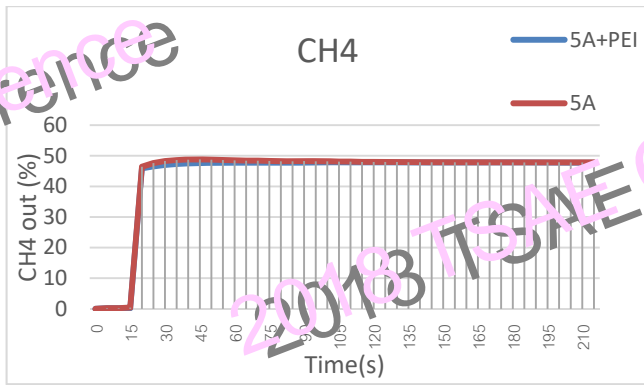


Figure 15 เปรียบเทียบปริมาณแก๊ส มีเทน จากผลการทดลอง สารดูดซับซีโอไลต์-5A และ ซีโอไลต์-5A ที่ผ่านกระบวนการเอ็บซุ่ม สารละลายโพลีเอทิลีนไอมิน

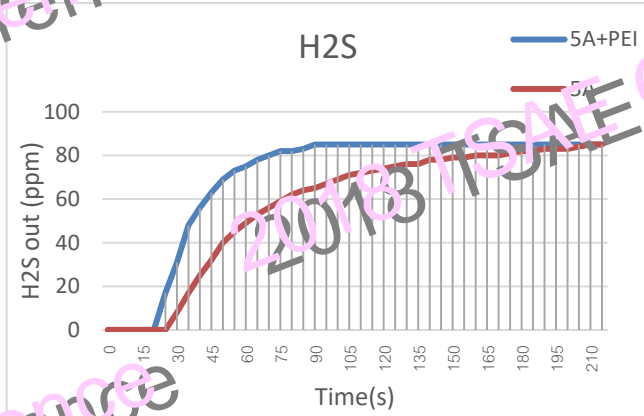


Figure 16 เปรียบเทียบปริมาณแก๊ส ไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากผลการทดลองสารดูดซับซีโอไลต์-5A และ ซีโอไลต์-5A ที่ผ่านกระบวนการเอ็บซุ่ม สารละลายโพลีเอทิลีนไอมิน

Figures 14, 15 และ 16 แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้สารละลายโพลีเอทิลีนไอมิน ต่อการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าการเอ็บซุ่มด้วยสารละลายโพลีเอทิลีนไอมิน บนตัวรองรับซีโอไลต์-5A ให้ประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงกว่าตัวรองรับซีโอไลต์-5A ธรรมดา แต่ประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ต่ำกว่าการใช้ซีโอไลต์-5A เนื่องจากการเอ็บซุ่มด้วยสารละลายโพลีเอทิลีนไอมิน ที่มีปริมาณมากเกินไป จะส่งผลให้ช่องว่างของซีโอไลต์-5A ที่ผ่านการเอ็บซุ่มลดลง

Figures 17, 18 และ 19 ชี้ให้เห็นว่า การปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายโพลีเอทิลีนไอมินบนตัวรองรับซีโอไลต์-5A ให้สัดส่วนการเลือกจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ดีกว่า ซีโอไลต์-5A ธรรมดาและซีโอไลต์-5A ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายโพลีเอทิลีนไอมินสามารถกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้และไม่ส่งผลต่อการกำจัดแก๊สมีเทน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าซีโอไลต์-5A ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเอ็บซุ่มสารละลาย โพลีเอทิลีนไอมิน มีความเหมาะสม และสามารถนำมาใช้ในการทำความสะอาดแก๊สชีวภาพได้

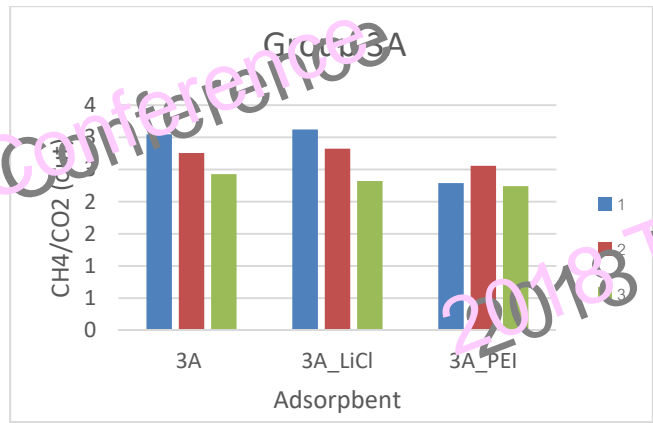


Figure 17 เปรียบเทียบสัดส่วนแก๊สมีเทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับผลการทดลองสารดูดซับกลุ่มซีโอไลต์-3A

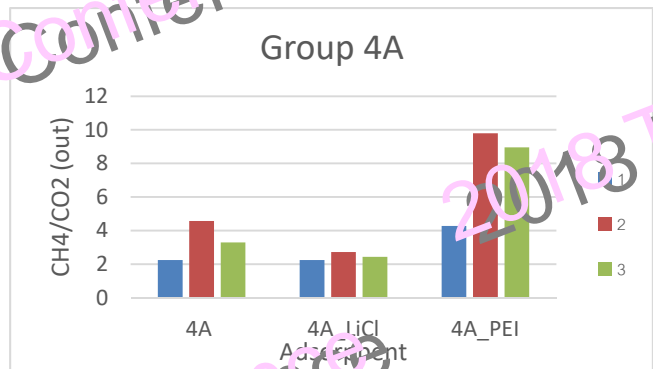


Figure 18 เปรียบเทียบสัดส่วนแก๊สมีเทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับผลการทดลองสารดูดซับกลุ่มซีโอไลต์-4A

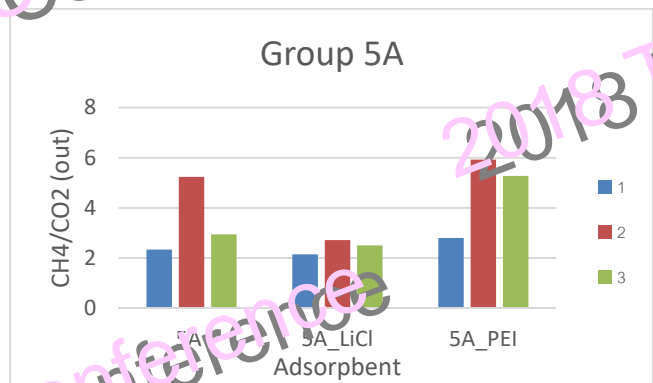


Figure 19 เปรียบเทียบสัดส่วนแก๊สมีเทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับผลการทดลองสารดูดซับกลุ่มซีโอไลต์-5A

#### 4. สรุป

จากผลการศึกษาวิจัย พบว่า ซีโอไลต์-A มีความสามารถในการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ โดยซีโอไลต์-5A มีประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงที่สุด การปรับปรุงคุณภาพสารดูดซับด้วยสารละลายโพลีเอทิลีนไอมิน บนสารดูดซับซีโอไลต์-5A ให้ประสิทธิภาพการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุด

## 5. กิจกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(วว.) ที่สนับสนุนในด้านเงินทุน สถานที่, และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณความร่วมมือจากทีมงานศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมวัสดุ ในด้านการตรวจสอบคุณลักษณะของตัววิจัย การดูดซับที่นำมาใช้ในงานวิจัย และศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเครื่องจักรกลและระบบอัตโนมัติ ที่ใช้เครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

Sayari, A., Belmabkhout, Y. 2010. Stabilization of amine-containing CO<sub>2</sub> adsorbents: dramatic effect of water vapor. Journal of the American Chemical Society 132, 6312-6314

Sayari, A., Heydari-Gorji, A. 2012. CO<sub>2</sub>-induced degradation of amine-containing adsorbents: reaction products and pathways. Journal of the American Chemical Society 134, 13834-13842

Heydari-Gorji, A., Sayari, A. 2012. Thermal, oxidative, and CO<sub>2</sub> - induce degradation of supported polyethylenimine adsorbent. Industrial & Engineering Chemistry Research 51, 6887-6894

Xu, X., Song, C., Anderesen, J. M., Miller, B. G., Scaroni, A. W. 2004. Preparation and characterization of novel CO<sub>2</sub> 'molecular basket' adsorbent based on polymer-modified mesoporous/microporous MCM41. Microporous and Mesoporous Materials 62, 29-45

Zhang, L., Zhan, N., Jin, Q., Liu, H., Hu, J. 2016. Impregnation of polyethylenimine in Mesoporous Multilamellar Silica Vesicles of CO<sub>2</sub> Capture: A Kinetic Study. Industrial and Engineering Chemistry Research 55, 5885-5891

Chen, Z., Deng, S., Wei, H., Wang, B., Huang, J., Yu, C. 2013. Polyethylenimine-Impregnated Resin for High CO<sub>2</sub> Adsorption: An Efficient Adsorbent for CO<sub>2</sub> Capture from Simulated Flue Gas and Ambient Air. Applied Materials and Interfaces 5, 6937-6945

Supasinee, P., Pramoch, R., Santi, K. 2013. Towards CO<sub>2</sub> Adsorption Enhancement via Polyethyleneimine Impregnation. International Journal of Chemical and Biological Engineering 6, 291-295