โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหมักโดยใช้วัสดุดูดซับจากเส้นใยเซลลูโลส

(Cellulose Fiber Sorbent for Carbon dioxide adsorption in Fermented Gas)

โดย

นางสาว พัทธวรรณ เปี่ยมดำรงศักดิ์ 5832946123

นางสาว วทัยพรรณ อยู่ทวี 5832958723

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธยาน์ พงศ์สถาบดี

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ดำเนินงาน พัทธวรรณ เปี่ยมดำรงศักดิ์ 5832946123
วทัยพรรณ อยู่ทวี 5832958723

เรื่อง การดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหมักโดยใช้วัสดุดูดซับจากเส้นใยเซลลูโลส (CELLULOSE FIBER SORBENT FOR CARBON DIOXIDE ADSORPTION IN FERMENTED GAS)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ศ. ดร.ณัฐธยาน์ พงศ์สถาบดี

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) ให้ได้มาซึ่งวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหมัก (fermented gas) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่เตรียมได้จากเส้นใยเซลลูโลสและโมเลกุลาร์ซีฟที่มีหมู่ฟังก์ชันเอมีนภายใต้ความดันบรรยากาศ ตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ชนิดของวัสดุดูดซับ อัตราส่วนโดยมวลระหว่างเส้นใยเซลลูโลสต่อมีโซพอรัสซิลิกาและโมเลกุลาร์ซีฟ ความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้า และอุณหภูมิการดูดซับ จากผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิการดูดซับ 70 องศาเซลเซียส ภายใต้ภาวะความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 0 โดยปริมาตร วัสดุดูดซับมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสที่ตรึงด้วยเตตระเอทิลีนเพนตะมีนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (40%TEPA/(0.75:0.25)m-$SiO_2^{(CTAB))}$ มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด เท่ากับ 5.136 มิลลิโมลต่อกรัม โมเลกุลาร์ซีฟที่ตรึงด้วยเตตระเอทิลีนเพนตะมีนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด เท่ากับ 2.300 มิลลิโมลต่อกรัม และภายใต้ภาวะความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 2 โดยปริมาตร วัสดุดูดซับมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสที่ตรึงด้วยเตตระเอทิลีนเพนตะมีนร้อยละ 40 โดย น้ำหนัก (40%TEPA/(0.75:0.25)m-$SiO_2^{(CTAB)-sP}$) มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด เท่ากับ 5.532 มิลลิโมลต่อกรัม โมเล-กุลาร์ซีฟที่ตรึงด้วยเตตระเอทิลีนเพนตะมีนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (40%TEPA/(0.75:0.25)m-$SiO_2^{(CTAB)-sP)}$ มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด เท่ากับ 2.789 มิลลิโมลต่อกรัม

คำสำคัญ: การดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์, มีโซพอรัสซิลิกา, เส้นใยเซลลูโลส

ภาควิชาเคมีเทคนิค ลายมือชื่อนิสิต พัทธวรรณ เปี่ยมดำรงศักดิ์
สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม ลายมือชื่อนิสิต วทัยพรรณ อยู่ทวี
ลายมือชื่ออาจารย์ ณัฐธยาน์ พงศ์

Student Name Ms. PHATTHAWAN PIAMDAMRONGSAK 5832946123

Ms. WATAIPUN YOOTAWEE 5832958723

Title Cellulose Fiber Sorbent for Carbon dioxide Adsorption in Fermented Gas

Advisor Prof. Dr. NATTAYA PONGSTABODEE

Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2019

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the effects of variables on CO_2 adsorption capacity of mesoporous silica and cellulose fiber adsorbent with amine functionalization and the molecular sieve adsorbent with amine functionalization at atmospheric pressure. The variables investigated here were types of adsorbents, types of cellulose fiber, dosages of tetraethylenepentamine loading in adsorbent and molecular sieve, water vapor concentrations in the inlet feed gas, and operating temperatures. The variables investigated here were adsorbents (mesoporous silica to cellulose fiber (m-SiO2-sP) 0.75:0.25 and molecular sieve (MS)), operating temperatures at 70 °C). It was found that the maximum CO_2 adsorption capacity of 5.136 mmol/g, 2.300 mmol/g, 5.532 mmol/g and 2.789 mmol/g of adsorbent was obtained when the adsorbent was prepared by using both mesoporous silica and cellulose fiber with the optimal ratio of mesoporous silica to cellulose fiber from bleached kraft eucalyptus pulp equal to 0.75:0.25 and using CTAB as a surfactant with 40% (w/w) loading (40%TEPA/(0.75:0.25)m-SiO2 (CTAB)-sP) and molecular sieve on tetraethylenepentamine under the condition of 30%(v/v) CO_2 concentration and 0 and 2%(v/v) water vapor concentration in the inlet feed gas.

Keywords : CO_2 adsorption , Mesoporous silica cellulose fiber

Department of Chemical Technology Student's signature..

Student's signature..

Major: Chemical Engineering Advisor's signature..

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อประสบการณ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงได้ดีเนื่องด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงจาก ศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธยาน์ พงศ์สถาบดี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย และ ขอขอบคุณ นายจัตุพร เลิศบุญเรือนกุล นิสิตปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือในในทุก ๆ ด้านในการทำโครงการวิจัย สำหรับข้อแนะนำ ตลอดจนให้คำปรึกษาและแสดงความคิดเห็นในการปรับปรุงแก้ไขโครงการวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากที่สุด

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนทั้งจากภาควิชาเคมีเทคนิค ที่คอยช่วยเหลือ ที่เป็นกำลังใจในการทำโครงการวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณ EXO เมธวิน โอภาสเอี่ยมขจร ชิตพล ลี้ชัยพรกุล และ คิม แจฮวาน ที่เป็นแรงบันดาลใจ เป็นกำลังใจอันสำคัญ เป็นแรงผลักดันให้ผู้วิจัยมีกำลังใจในการทำโครงการวิจัยฉบับนี้ให้ประสบผลสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ถ่ายทอดความรู้และประสิทธิ์ประสาทวิชาในด้านต่าง ๆ รวมทั้งยังจุดประกายความคิดให้กับผู้วิจัยจนก่อเกิดเป็นโครงการวิจัยฉบับนี้ขึ้นได้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่ อยู่เบื้องหลังความสำเร็จ ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้จัดทำโครงการ

พัทธวรรณ เปี่ยมดำรงศักดิ์

วทัยพรรณ อยู่ทวี

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย .... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ข
กิตติกรรมประกาศ .... ค
สารบัญ .... ง
สารบัญรูป .... ฉ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1
1.3 สมมติฐาน 1
1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย 1
1.5 ขอบเขตของการศึกษา 2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 2
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 4
2.1.1 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 4
2.1.1.1 แหล่งที่มาของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 4
2.1.1.2 ความอันตรายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 5
2.1.1.3 ภาวะเรือนกระจก 5
2.1.2 เทคโนโลยีการดักจับและการกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 6
2.1.3 เทคโนโลยีการแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 7
2.1.3.1 กระบวนการดูดซึม 7
2.1.3.2 กระบวนการดูดซับ 7
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8
2.2.1 Amine-modified MCM-41 mesoporous silica for carbon dioxide capture 8
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 9
3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย 9

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ 9
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 9
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ 10
3.5 ระเบียบวิธีวิจัย 10
3.5.1 การดัดแปรหมู่ฟังก์ชันด้วยเอมีนบนวัสดุดูดซับ 10
3.5.2 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับ 10
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์การทดลอง 12
4.1 ผลของตัวแปรต่อความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บนวัสดุดูดซับ 12
4.1.1 ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 12
4.1.2 ความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้า 13
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 15
5.1 สรุปผลการทดลอง 15
5.2 ข้อเสนอแนะ 15
บรรณานุกรม

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 (ก) สูตรโครงสร้างของคาร์บอนไดออกไซด์และระยะห่างระหว่างพันธะ (ข) โครงสร้าง 3 มิติของคาร์บอนไดออกไซด์ 4

รูปที่ 2.2 ผลกระทบจากการได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มากเกินไปเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ 5

รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 10

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับอุณหภูมิการดูดซับของวัสดุดูดซับระหว่างมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสกับโมเลกุลาร์ซีฟ 12

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับอุณหภูมิการดูดซับของวัสดุดูดซับที่มีความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 0 ถึง 2 โดยปริมาตรของมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลส 13

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับอุณหภูมิการดูดซับของวัสดุดูดซับที่มีความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 0 ถึง 2 โดยปริมาตรของโมเลกุลาร์ซีฟ 13

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 145.5 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2541 เป็น 258.2 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2560 หรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเป็นร้อยละ 3.1 ต่อปี และในช่วง 6 เดือนแรกของปี พ.ศ. 2561 มีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานสูงถึง 131.8 ล้านตัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.3 เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีก่อน เนื่องจากแนวโน้มการปล่อยแก๊สคาร์บอนไซด์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้เราตระหนักถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อาจส่งผลเสียต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหนึ่งในแก๊สที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ หากมีปริมาณแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไปจะส่งผลเสียต่อสุขภาพ โดยจะทำให้อัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น ความดันโลหิตสูง ชีพจรเต้นเร็ว วิงเวียนศีรษะ อาเจียน ความสามารถในการได้ยินลดลง หมดสติ และอาจเสียชีวิต และอาจปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน โดยปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในชั้นบรรยากาศ เช่น ปรากฏการณ์เรือนกระจก

จากเหตุผลดังกล่าวขั้นต้นจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาวัสดุที่ใช้ในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหมักนี้ บนตัวดูดซับ solid amine sorbent โดยฐานตัวดูดซับจะใช้ซิลิกา แต่การที่นำซิลิกา ซึ่งมีขนาดเล็กมาใส่ลงในคอลัมน์ในปริมาณมากเพื่อให้สามารถดูดซับแก๊สได้นานขึ้นนั้นมีปัญหาคือ ภายในคอลัมน์จะมีการเกิด Pressure Drop ในหน่วยการดูดซับ ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบตามที่กล่าวไปข้างต้น จะประยุกต์เส้นใยเซลลูโลสเป็นวัสดุซัพพอร์ต เหตุที่เลือกเส้นใยเซลลูโลสเนื่องจากเป็นวัสดุที่อยู่ในธรรมชาติ หาได้ง่ายและต้นทุนต่ำ อีกทั้งยังมีโครงสร้างที่แข็งแรง[4] และช่วยลดการเกิด Pressure drop

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาและพัฒนาเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) ให้ได้มาซึ่งวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหมัก (fermented gas) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อม และเป็นการช่วยลดของเสียที่อาจเกิดจากการใช้สารเคมีเป็นตัวดูดซับ อีกทั้งยังเป็นการนำวัสดุธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.3 สมมติฐาน

เส้นใยเซลลูโลสที่ดัดแปรหมู่ฟังก์ชันด้วยเอมีนสามารถดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

ระบบจำลองการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดำเนินการภายใต้ภาวะความดันบรรยากาศ

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่

1.5.1 เตรียมเยื่อกระดาษจากเส้นใยเซลลูโลส

1.5.2 สังเคราะห์วัสดุดูดซับมีโซพอรัสซิลิกา

1.5.3 ดัดแปรหมู่ฟังก์ชันของวัสดุดูดซับด้วยเอมีน

1.5.4 ทดสอบความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับ อิทธิพลของตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังนี้

- ชนิดของวัสดุดูดซับ มีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลส (0.25:0.75 0.50:0.50 และ 0.75:0.25) และ โมเลกูลาร์ซีฟ
- ความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 0 และ 2 โดยปริมาตร
- อุณหภูมิการดูดซับ 30 50 70 90 และ 110 องศาเซลเซียส

1.5.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผล เผยแพร่ผลงาน และ เขียนรูปเล่มรายงาน

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.6.1 ค้นคว้าหาข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

1.6.2 จัดเตรียมสารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือ สำหรับดำเนินงานวิจัย

1.6.3 จัดเตรียมวัสดุดูดซับชนิด มีโซพอรัสซิลิกากับเส้นใยเซลลูโลส จากนั้นนำไปฝังเคลือบเอมีน

1.6.4 จัดเตรียมวัสดุดูดซับชนิด โมเลกูลาร์ซีฟ ที่เกิดจากการนำมาบด จากนั้นนำไปฝังเคลือบเอมีน

1.6.5 เตรียมเยื่อกระดาษจากเส้นใยเซลลูโลส โดยใช้วิธีการตีเยื่อ (Beating) จากนั้นจึงทำการขึ้นรูปเยื่อกระดาษ

1.6.6 สังเคราะห์วัสดุดูดซับมีโซพอรัสซิลิกาจากกลไกการรวมตัวกัน

1.6.7 ดัดแปรหมู่ฟังก์ชันของวัสดุดูดซับด้วยเตตระเอทิลีนเพนตะมีน โดยใช้วิธีฝังเคลือบแบบเปียก (Impregnation)

1.6.8 ศึกษาผลของชนิดของวัสดุดูดซับ มีโซพอรัสซิลาและเส้นใยเซลลูโลส และ โมเลกูลาร์ซีฟ ความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้า และอุณหภูมิการดูดซับ ต่อความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บนวัสดุดูดซับที่เตรียมได้ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC)

1.6.9 วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผล เผยแพร่ผลงาน และเขียนรูปเล่มรายงาน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ในด้านความรู้และประสบการณ์ต่อตัวนิสิตเอง

ได้รับความรู้จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูล ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเส้นใยเซลลูโลส ให้ได้มาซึ่งวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหมัก (fermented gas) เพื่อสร้างประสบการณ์ใหม่ในการทำการทดลองและฝึกความรับผิดชอบและระเบียบวินัย

ต่อตนเองอีกทั้งยังสามารถนำความรู้และประสบการณ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการงานอาชีพในอนาคต

1.7.2 ความรู้ความเข้าใจที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาของสังคมหรือสภาพแวดล้อม

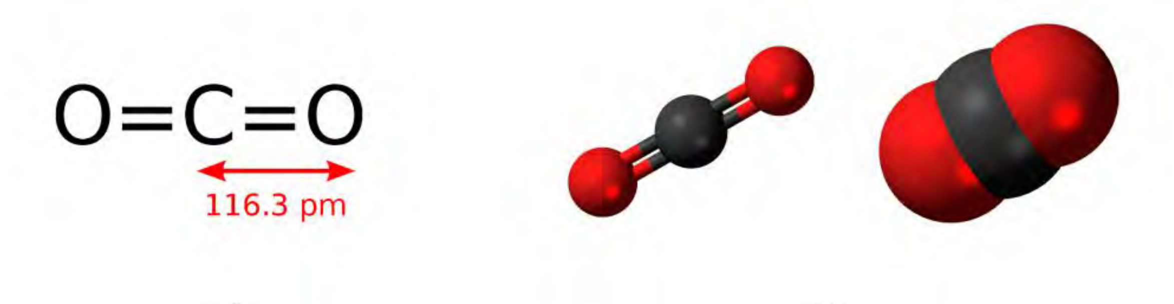
สามารถนำความรู้ ความเข้าใจจากการทำโครงงานครั้งนี้ไปช่วยพัฒนาและแก้ไขปัญหาด้านมลพิษทางอากาศและแก๊สเสียในประเทศให้มีความปลอดภัย สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1.1. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO_2)

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นองค์ประกอบหนึ่งของอากาศ โดยในปัจจุบัน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณในอากาศประมาณ 413.03 ส่วนต่อล้านส่วน[1] หนึ่งโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ประกอบด้วยธาตุ 2 ชนิด คือ คาร์บอน (Carbon, C) 1 อะตอม และออกซิเจน (Oxygen, O) 2 อะตอม เชื่อมกันด้วยพันธะคู่ 2 พันธะ มีสูตรโครงสร้างเป็น O=C=O ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 (ก) สูตรโครงสร้างของคาร์บอนไดออกไซด์และระยะห่างระหว่างพันธะ [2]
(ข) โครงสร้าง 3 มิติของคาร์บอนไดออกไซด์ [3-4]

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สไม่มีมีสี ไม่ติดไฟ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 44.01 และมีความหนาแน่น 1.98 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นประมาณ 1.5 เท่าของอากาศ จึงทำให้สามารถลอยตัวอยู่ในระดับต่ำกว่าอากาศ[5] คาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะของแข็ง มีอีกชื่อหนึ่งว่าน้ำแข็งแห้ง คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง (Solid carbon dioxide) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิ -78.5 องศาเซลเซียส โดยไม่ผ่านการเป็นของเหลวก่อน ในขณะที่การทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในสถานะของเหลวต้องใช้ความดันไม่น้อยกว่า 5.1 บรรยากาศ[6]

2.1.1.1. แหล่งที่มาของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เช่น กระบวนการหายใจของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต การย่อยสลายของสารอินทรีย์ นอกจากนั้นยังเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การตัดไม้ทำลายป่า การผลิตเชื้อเพลิงจากถ่านหิน รวมไปถึงการเผาไหม้สารที่มีองค์ประกอบคาร์บอน

จากรายงานการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของสำนักงานนโยบายและแผนงาน กระทรวงพลังงาน เมื่อพิจารณาแยกรายภาคเศรษฐกิจและรายชนิดเชื้อเพลิง พบว่า

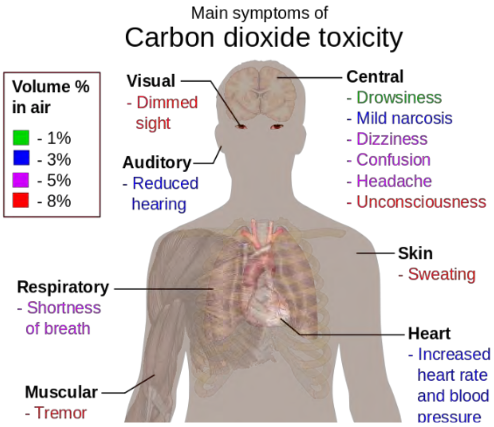
- **ภาคการผลิตไฟฟ้า** การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคการผลิตไฟฟ้ามีสัดส่วนสูงที่สุด คือ ร้อยละ 38 ของการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด และเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.4 เมื่อเทียบกับปี

ก่อนหน้า โดยการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้แก๊สธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้า 59.2 ล้านตัน จากการใช้ถ่านหินลิกไนต์ 34.9 ล้านตัน และจากการใช้น้ำมันสำเร็จรูป 0.1 ล้านตัน

- **ภาคการขนส่ง** มีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงร้อยละ 4.9 เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า โดยคิดเป็นการปล่อยแก๊สคาร์บอนได้ออกไซด์จากการใช้น้ำมันสำเร็จรูป 67.4 ล้านตัน และจากการใช้แก๊สธรรมชาติ (NGV) 4.1 ล้านตัน ซึ่งลดลงเป็น ร้อยละ 4.4 และ 11.8 ตามลำดับ เนื่องด้วยนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนของรัฐบาลและนโยบายการปรับโครงสร้างราคาแก๊สธรรมชาติ
- **ภาคอุตสาหกรรม** เชื้อเพลิงหลักที่ก่อให้เกิดการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ ถ่านหิน/ลิกไนต์ แก๊สธรรมชาติ และน้ำมันสำเร็จรูป โดยมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดรวมเป็น 69.6 ล้านตัน ซึ่งลดลงร้อยละ 11.2 เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า เนื่องจากการปรับตัวลดลงของการส่งออกตามการชะลอตัวของเศรษฐกิจประเทศคู่ค้าและการลงทุน
- **ภาคเศรษฐกิจอื่น ๆ** การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคเศรษฐกิจอื่น ๆ (ภาคธุรกิจและครัวเรือน) เกิดจากการใช้น้ำมันสำเร็จรูปเพียงอย่างเดียว มีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์รวม 15.0 ล้านตัน ซึ่งลดลงจากปีก่อนหน้าเป็นร้อยละ 5.6 [7]

2.1.1.2. ความอันตรายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สชนิดหนึ่งที่สามารถก่อให้เกิดความอันตรายต่อระบบหายใจและหลอดเลือดของมนุษย์ หากมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 5 ในอากาศ โดยจะทำให้การหายใจผิดปรกติ การมองเห็นและการได้ยินผิดปกติ มีอาการวิงเวียน ปวดศีรษะ อาเจียน ไม่รู้สึกตัว และอาจรุนแรงถึงขั้นทำให้เสียชีวิต[8-9] ดังแสดงในรูปที่ 2.2 นอกจากนี้ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังเป็นแก๊สเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดภาวะความร้อนสะสมในบรรยากาศของโลกด้วย[10]



รูปที่ 2.2 ผลกระทบจากการได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่มากเกินไปเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ [11]

2.1.1.3. ภาวะเรือนกระจก

ภาวะเรือนกระจก คือ ภาวะที่ชั้นบรรยากาศของโลกกระทำตัวเสมือนกระจกที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นผ่านลงมายังผิวโลกได้ แต่จะดูดกลืนรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดที่แผ่ออกจากพื้นผิวโลกเอาไว้ จากนั้นก็จะคายพลังงานความร้อนให้กระจายอยู่ภายในชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลกจึงเปรียบเสมือนกระจกที่

ปกคลุมผิวโลกให้มีภาวะสมดุลทางอุณหภูมิและเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตบนผิวโลก แต่ในปัจจุบันชั้นบรรยากาศของโลกมีปริมาณแก๊สบางชนิดมากเกิน สมดุลของธรรมชาติอันเป็นผลมาจากฝีมือมนุษย์ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน (CH_4) แก๊สคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC_8) และแก๊ส-ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เป็นต้น แก๊สเหล่านี้มีคุณสมบัติพิเศษคือสามารถดูดกลืนและคายรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดได้ดีมาก ดังนั้นเมื่อพื้นผิวโลกคายรังสีอินฟราเรดขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ แก๊สเหล่านี้จะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเอาไว้ ต่อจากนั้นมันก็จะคายความร้อนสะสมอยู่บริเวณพื้นผิวโลก และชั้นบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น พื้นผิวโลกจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น เราเรียกแก๊สที่ทำให้เกิดภาวะแบบนี้ว่าแก๊สเรือนกระจก (greenhouse gases)[12]

2.1.2. เทคโนโลยีการดักจับและการกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon capture and storage, CCS)

เป็นกระบวนการการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งกำเนิด จากนั้นจะทำการคัดแยกและขนส่งไปยังสถานที่จัดเก็บที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถกลับเข้าสู่บรรยากาศได้ สถานที่ดังกล่าวมักจะเป็นโพรงทางธรณีวิทยาที่อยู่ใต้ดิน โดยมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้มีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมากสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

- **การดักจับ** เป็นการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยการดักจับจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในจุดที่เป็นแหล่งกำเนิดของแก๊ส และในบางครั้งจะมีการนำกระบวนการฟอกมาใช่ร่วมด้วยเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในกระแสแก๊สออกไป โดยเทคโนโลยีการดักจับมีอยู่ 4 วิธี ได้แก่ การดักจับก่อนการเผาไหม้ (Pre-combustion capture) การดักจับหลังการเผาไหม้ (Post-combustion capture) การดักจับโดยการเผาไหม้ด้วยแก๊สออกซิเจน (Oxy-fuel combustion capture) และการเผาไหม้สารเคมีวนลูป (Chemical looping combustion capture)
- **การขนส่ง** หลังจากที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการดักจับแล้ว จะถูกขนส่งผ่านทางเรือหรือเคลื่อนที่ผ่านทางท่อใต้ดิน รวมทั้งการขนส่งไปพร้อมกับรถบรรจุถังในสภาวะที่เหมาะสม
- **การกักเก็บ** สถานที่ที่เหมาะสมต่อการกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ คือ แหล่งสะสมแก๊สหรือแหล่งสะสมน้ำมันที่ประกอบด้วยชั้นหินเกลือซึ่งเป็นหินที่มีรูพรุนสูง เมื่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้รับการขนส่งถึงสถานที่กักเก็บแล้ว จะถูกฉีดลงไปเก็บในชั้นหินที่มีรูพรุนตามหลักธรณีวิทยาซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ลึกจากเปลือกโลกหลายกิโลเมตร โดยในชั้นเปลือกโลกที่มีทั้งอุณหภูมิและความดันที่สูงจะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในสถานะของเหลวหรือสถานะวิกฤตยิ่งยวดซึ่งจะสามารถถูกกักเก็บไว้ได้เป็นระยะเวลานาน[13]

2.1.3. เทคโนโลยีการแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

2.1.3.1. กระบวนการดูดซึม (Absorption)

การดูดซึมเป็นกระบวนการที่โมเลกุลของสารที่ต้องการดักจับเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ชั้นในสุดของวัสดุที่ใช้เป็นตัวดูดซึมไม่ว่าจะเป็นสถานะของแข็ง ของเหลวหรือแก๊ส วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม แก๊สธรรมชาติ โรงไฟฟ้าถ่านหิน รวมไปถึงการแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมเคมี แต่วิธีการนี้มีข้อเสีย คือ มีประสิทธิภาพในการดูดซึมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ ใช้พลังงานสูงในการคืนสภาพตัวดูดซึมที่ผ่านการใช้งานแล้ว อีกทั้งยังมีอัตราการกัดกร่อยเครื่องมือสูงเนื่องจากความเป็นเบสของตัวดูดซึม กระบวนการดูดซึมแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

- **การดูดซึมทางกายภาพ (Physical absorption)** การดูดซึมชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะสามารถดูดซึมได้ดีภายใต้สภาวะที่มีความดันสูงและอุณหภูมิต่ำ และใช้พลังงานไม่สูงมากในการคืนสภาพตัวดูดซึม
- **การดูดซึมทางเคมี (Chemical absorption)** การดูดซึมชนิดนี้จะใช้ในกรณีที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เจือจางในแก๊สผสม จึงจำเป็นต้องใช้แรงปฏิกิริยาทางเคมีช่วยในการเลือกดูดซึมเฉพาะแก๊ส การคืนสภาพให้กับตัวดูดซึมที่ผ่านการใช้งานแล้วใช้พลังงานสูงเนื่องจากต้องใช้ทำลายพันธะเคมี[14]

2.1.3.2. กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว แก๊สกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุล หรือ คอลลอยด์ ที่ถูกดูดจับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent) โดยประเภทของการดูดซับ ได้แก่

- **การดูดซับแบบเปลี่ยนสลับอุณหภูมิ (Temperature swing adsorption)** เป็นกระบวนการที่เกิดการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ช่วงอุณหภูมิต่ำ โดยการผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปที่หน่วยดูดซับ เมื่อกระบวนการดูดซับเสร็จสิ้นจึงทำการเพิ่มอุณหภูมิในหน่วยดูดซับและปล่อยแก๊สตัวพาเพื่อให้เกิดการคายซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูง และเมื่อกระบวนการคายซับเสร็จสิ้นจึงทำการลดอุณหภูมิในหน่วยดูดซับลงจนกระทั่งมีค่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิการดูดซับ สลับกันเป็นไปมาเป็นวัฏจักร
- **การดูดซับแบบเปลี่ยนสลับความดัน (Pressure swing adsorption)** เป็นกระบวนการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ภาวะที่มีความดันสูงและมีอุณหภูมิต่ำ เมื่อกระบวนการดูดซับเสร็จสิ้นจึงทำการลดความดันในหน่วยดูดซับ

ลงจนกระทั่งมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ จากนั้นจึงหยุดการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการดูดซับและทำการปล่อยแก๊สตัวพาหรือแก๊สที่สารดูดซับสามารถดูดซับได้ไม่ดีเข้าไปแทนที่ โดยเมื่อทำการคายซับเสร็จสิ้นแล้วจึงทำการเพิ่มความดันให้สูงขึ้นเพื่อให้เกิดการดูดซับวนเป็นวัฏจักร[15-16]

2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mello M. และคณะ (17) ได้ทำการศึกษาการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับเมโสพอรัสซิลิกา MCM-41 ที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอมีน (MCM-41-NH_2) เปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับเมโสพอรัสซิลิกา MCM-41 โดยดัดแปรหมู่ฟังก์ชันด้วย 3-Aminopropyltriethoxysilane บนวัสดุดูดซับเมโสพอรัสซิลิกา MCM-41 เชิงพาณิชย์ภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุดูซับด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectrometry (FTIR) และ Transmission electron microscopy (TEM) และทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับด้วยเทคนิค Microcalorimetry

จากการทดลองพบว่า การดัดแปรหมูฟังก์ชันด้วยเอมีน ไม่มีผลลักษณะโครงสร้างแบบหกเหลี่ยมของเมโสพอรัสซิลิกา MCM-41 จากการวิเคราะห์องประกอบของ MCM-41-NH_2 พบว่ามีปริมาณของเอมีนเท่ากับ 2.48 มิลลิโมลต่อกรัมของวัสดุดูดซับซึ่งปกคลุมไม่ทั่วทั้งพื้นผิวของตัวดูดซับ เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวดูดซับที่ผ่านการดัดแปรด้วยเอมีนนั้นมีความสามารถในการเลือกจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น ที่ความดันต่ำ (0.1 บาร์) ความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับเมโสพอรัสซิลิกา MCM-41 ที่ดัดแปรด้วยเอมีนนั้นสูงกว่าตัวดักจับเมโสพอรัสซิลิกา MCM-41 ที่ไม่ผ่านการดัดแปร แต่ในขณะเดียวกัน ที่ความดันสูง (2.1 บาร์) ความสามารถของตัวดักจับทั้งสองชนิดนั้นมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าเอมีนสามารถทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่าในสภาวะความดันต่ำ[17]

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1) เยื่อกระดาษการค้าเคมีฟอก (Bleach kraft pulp, BKP)
2) โมเลกุลาร์ซีฟ 5A (Molecular sieve 5A)
3) เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethanol, EtOH) เกรดวิเคราะห์ (AR grade)
4) เตตระเอทิลีนเพนตะมีน (Tetraethylenepentamine, TEPA)
5) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตรในฮีเลียม (30% carbon dioxide (CO_2) in helium (He))
6) แก๊สฮีเลียม ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 โดยปริมาตร (Ultra-high purity helium, He)
7) น้ำกลั่น (Distilled Water)

3.2 วัสดุและอุปกรณ์

1) บีกเกอร์ (Beaker)
2) แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
3) ช้อนตักสาร (Spatula)
4) หลอดหยด (Dropper)
5) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
6) พาราฟิล์ม เอ็ม (Parafilm M)
7) แปรงล้างเครื่องแก้ว (Brush)
8) กรวยโลหะ (Stainless steel funnel)
9) คอลัมน์แก้ว (Glass column)
10) ขวดแก้วสีชา (Glass bottle)
11) โกร่งบดสาร (Mortar and pestle)

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องทดสอบการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography, GC)
2) เครื่องให้ความร้อนและกวนสารเคมี (Hot plate and stirrer)
3) เครื่องชั่งน้ำหนักขนาดเล็ก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Compact scale)
4) เครื่องชั่งน้ำหนักแม่นยำสูง ทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Precision balance)

3.5 ระเบียบวิธีวิจัย

3.5.1 การดัดแปรหมู่ฟังก์ชันด้วยเอมีนบนวัสดุดูดซับ

3.5.1.1 การดัดแปรหมู่ฟังก์ชันด้วยเอมีนบนมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลส

ผสมมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสที่เตรียมไว้ลงในบีกเกอร์ จากนั้นหยดเอทิลแอลกอฮอล์ลงบนสารผสมจนมีลักษณะเปียกหมาด ๆ เติมเตตระเอทิลีนเพนตะมีนลงไปในปริมาตรร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้ง นำบีกเกอร์ที่บรรจุสารผสมตั้งบนเตาให้ความร้อนโดยให้อุณหภูมิเป็น 60 องศาเซลเซียส จากนั้นใช้แท่งแก้วคนสารกวนสารให้เข้ากัน เมื่อสารเริ่มแห้งจึงนำบีกเกอร์ที่มีสารผสมไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศา-เซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.5.1.2 การดัดแปรหมู่ฟังก์ชันด้วยเอมีนบนโมเลกุลาร์ซีฟ

ทำการบดโมเลกุลาร์ซีฟให้ละเอียดด้วยโกร่งบดสารแล้วใส่ในบีกเกอร์จากนั้นหยดเอทิลแอลกอฮอล์ลงบนสารผสมจนมีลักษณะเปียกหมาด ๆ เติมเตตระเอทิลีนเพนตะมีนลงไปในปริมาตรร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้ง นำบีกเกอร์ที่บรรจุสารผสมตั้งบนเตาให้ความร้อนโดยให้อุณหภูมิเป็น 60 องศาเซลเซียส จากนั้นใช้แท่งแก้วคนสารกวนสารให้เข้ากัน เมื่อสารเริ่มแห้งจึงนำบีกเกอร์ที่มีสารผสมไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศา-เซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.5.2 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูซับ

ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับจากมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสที่ดัดแปรหมู่ฟังก์ชันด้วยเอมีน และโมเลกุลาร์ซีฟที่ดัดแปรหมู่ฟังก์ชันด้วยเอมีน โดยชั่งน้ำหนักวัสดุดูดซับปริมาณ 0.4 กรัม บรรจุลงในคอลัมน์แก้วโดยใช้กรวยโลหะ จากนั้นติดตั้งคอลัมน์แก้วเข้ากับเครื่อง

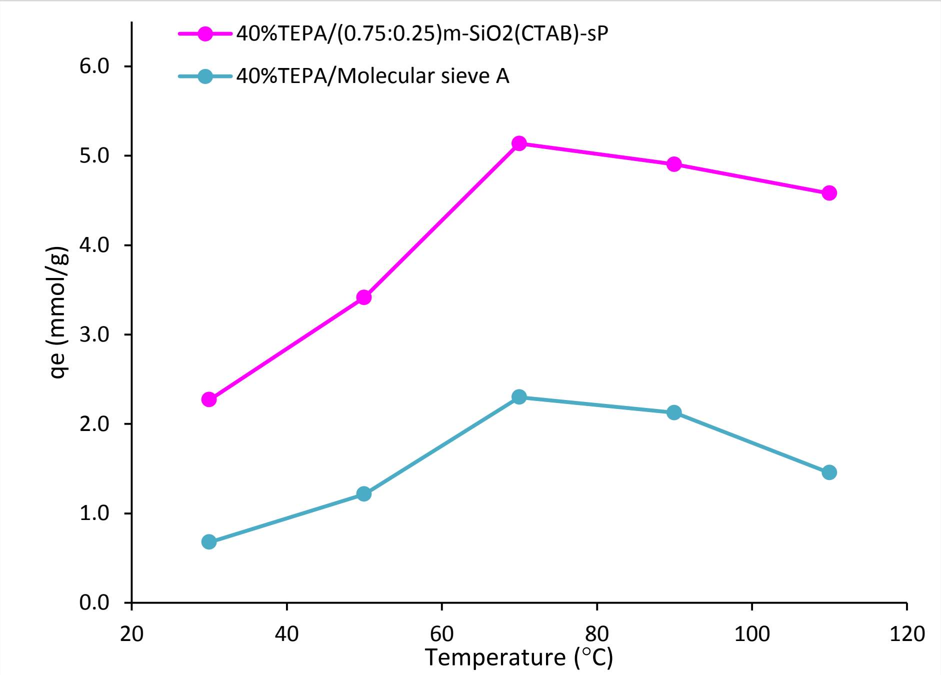
ปฏิกรณ์การจับยึดแก๊ส ทำการ Pre-treatment เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงปรับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่จะทำการทดลอง จ่ายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตรในฮีเลียม เข้าสู่ระบบด้วยอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการทดสอบการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลา 40 นาที แก๊สที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์จะเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี โดยเครื่องจะตรวจจับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลผ่านตัวอย่างตัวดูดซับ นำค่าที่ประมวลผลได้ไปเปรียบเทียบกับปริมาณแก๊สที่จ่ายเข้าสู่ระบบโดยที่ในคอลัมน์แก้วไม่ได้บรรจุวัสดุดูดซับเพื่อคำนวณหาปริมาณการดูดซับ

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของตัวแปรต่อความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บนวัสดุดูดซับ

4.1.1 ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

การศึกษาผลของชนิดวัสดุดูดซับระหว่างมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสกับโมเลกุลาร์ซีฟต่อความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับ ภายใต้ภาวะที่ใช้ในการทดสอบที่ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระแสแก๊สร้อยละ 30 โดยปริมาตร อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 0 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการดูดซับ 30 ถึง 110 องศาเซลเซียส และน้ำหนักวัสดุดูดซับ 0.4 กรัม แสดงในรูปที่ 4.1

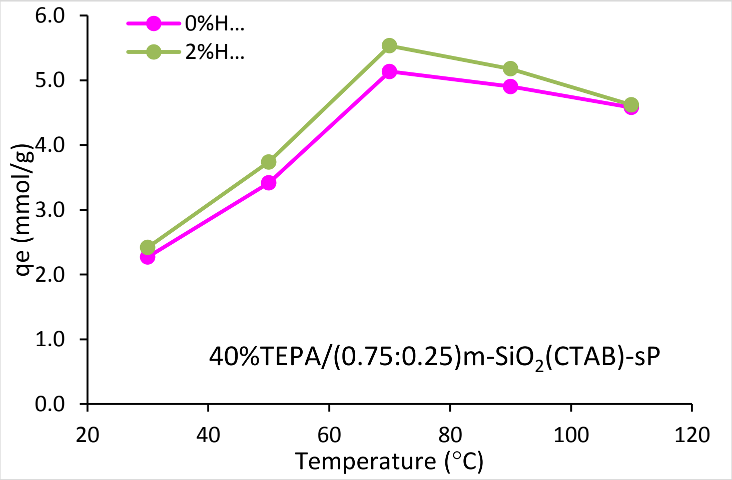


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับอุณหภูมิการดูดซับของวัสดุดูดซับระหว่างมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสกับโมเลกุลาร์ซีฟ

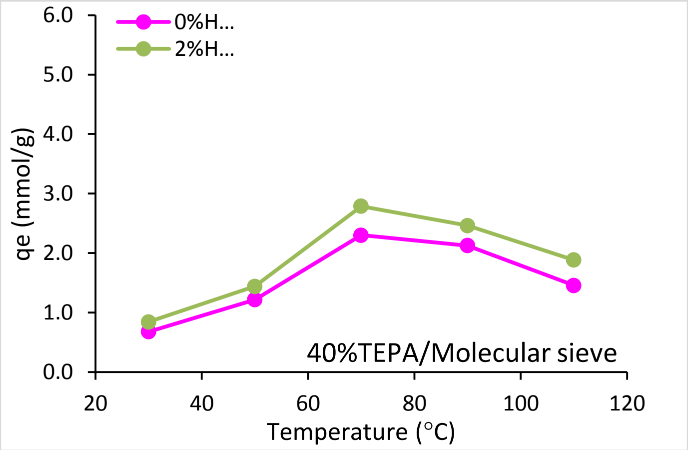
จากผลการทดลองพบว่า วัสดุดูดซับมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสที่ตรึงด้วยเตตระเอทิลีน-เพนตะมีนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (40%TEPA/(0.75:0.25)m-$SiO_2^{(CTAB)}$) มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าโมเลกุลาร์ซีฟที่ตรึงด้วยเตตระเอทิลีนเพนตะมีนร้อยละ 40 โดยน้ำหนักในทุกช่วงอุณหภูมิการดูดซับ เนื่องจาก โมเลกุลาร์ซีฟ มีขนาดรูพรุนขนาดไมโคร ซึ่งมีขนาดรูที่เล็กกว่ามีโซพอรัสซิลิกาและมีรูพรุนที่เล็กกว่าเอมีน ทำให้เอมีนไม่สามารถเข้าไปได้และอีกทั้งเอมีนทำหน้าที่เกาะพื้นผิวด้านนอกได้เท่านั้น จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสสูงกว่าโมเลกุลาร์ซีฟ อีกทั้งรูพรุนไม่ได้ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับอีกด้วย

4.1.2 ความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้า

การศึกษาผลของความชื้นในระบบดูดซับต่อความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับ ภายใต้ภาวะที่ใช้ในการทดสอบที่ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระแสแก๊สร้อยละ 30 โดยปริมาตร อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 0 ถึง 2 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิการดูดซับ 30 ถึง 110 องศาเซลเซียส และน้ำหนักวัสดุดูดซับ 0.4 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับอุณหภูมิการดูดซับของวัสดุดูดซับที่มีความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 0 ถึง 2 โดยปริมาตร ของมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลส



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับอุณหภูมิการดูดซับของวัสดุดูดซับที่มีความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 0 ถึง 2 โดยปริมาตร ของโมเลกุลาร์ซีฟ

จากผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ภายใต้ภาวะความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 2 โดยปริมาตร วัสดุดูดซับมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสที่ตรึงด้วยเตตระเอทิลีนเพน-ตะมีนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (40%TEPA/(0.75:0.25)m-$SiO_2^{(CTAB)}$) มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด เท่ากับ 5.532 มิลลิโมลต่อกรัม โมเลกุลาร์ซีฟที่ตรึงด้วยเตตระเอทิลีนเพนตะมีนร้อย

ละ 40 โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด เท่ากับ 2.789 มิลลิโมลต่อกรัม และภายใต้ภาวะความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 0 โดยปริมาตร วัสดุดูดซับมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสที่ตรึงด้วยเตตระเอทิลีนเพนตะมีนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (40%TEPA/(0.75:0.25)m-$SiO_2^{(CTAB)}$) มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด เท่ากับ 5.136 มิลลิโมลต่อกรัม โมเลกุลาร์ซีฟที่ตรึงด้วยเตตระเอทิลีนเพนตะมีนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด เท่ากับ 2.300 มิลลิโมลต่อกรัม

ภายใต้ภาวะความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 0 และ 2 โดยปริมาตร พบว่า ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูซับ ที่ภาวะความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 2 โดยปริมาตร มีค่ามากกว่า ที่ภาวะความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้า ร้อยละ 0 โดยปริมาตร เนื่องจากในภาวะที่ไม่มีไอน้ำ ในแก๊สผสมขาเข้า หมู่เอมีนจะทำปฏิกิริยา กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราส่วน 2:1 กล่าวคือ กลไกการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับต้องใช้หมู่ เอมีน 2 หมู่ ในการจับกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบคาร์บาเมต (Carbamate, $RNHCO_2^- RNH_3^+$) ดังแสดงในสมการที่ 4.1

$$2RNH_2 + CO_2 \leftrightarrow RNHCO2^- \ RNH3^+ \qquad (4.1)$$

ในขณะที่การดูดซับอยู่ภายใต้ภาวะความเข้มข้นของไอน้ำ ในแก๊สผสมขาเข้าร้อยละ 2 โดย ปริมาตร ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของไอน้ำ ในแก๊สผสมขาเข้าจะช่วยให้มีปริมาณไอน้ำมากขึ้นในการทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็น สารประกอบไบคาร์บอเนต (Bicarbonate, $2RNH_3^+ \ HCO_3^-$) โดยที่หมู่เอมีนจะทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราส่วน 1:1 ดังแสดงในสมการที่ 4.2

$$RNH_2 + CO_2 + H_2O \leftrightarrow RNH_3^+ \ HCO_3^- \qquad (4.2)$$

อีกทั้งสารประกอบคาร์บาเมตยังสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบไบคาร์บอเนต ดังแสดงในสมการที่ 4.3

$$RNHCO_2^- \ RNH_3^+ + CO_2 + H_2O \leftrightarrow 2RNH_3^+ \ HCO3^- \qquad (4.3)$$

พบว่า การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของไอน้ำ ในแก๊สผสมขาเข้า ที่มากเกินไปจะทำให้วัสดุดูดซับมีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงเนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสเป็น Hydrophilic หรือสารที่มีสมบัติชอบน้ำจึงเกิดการดูดซับน้ำ ได้ดี เมื่อเส้นใยเซลลูโลสที่เกิดการดูดซับน้ำมากเกินไปส่งผลให้เกิดการขัดขวางแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ให้สามารถสัมผัสกับบริเวณว่องไว (Active site) ของเอมีนได้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) ให้ได้มาซึ่งวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหมัก (fermented gas) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับที่เตรียมได้จากเส้นใยเซลลูโลสและโมเลกุลาร์ซีฟที่มีหมู่ฟังก์ชันเอมีนภายใต้ความดันบรรยากาศ ตัวแปรที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ชนิดของวัสดุดูดซับ อัตราส่วนโดยมวลระหว่างมีโซพอรัสซิลิกาต่อเส้นใยเซลลูโลสและโมเลกุลาร์ซีฟ ความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้า และอุณหภูมิการดูดซับ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาชนิดของวัสดุดูดซับระหว่างมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสกับโมเลกุลาร์ซีฟต่อความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับ วัสดุดูดซับที่มีมีโซพอรัสซิลิกาเป็นส่วนประกอบมีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง และวัสดุดูดซับที่มีอัตราส่วนมีโซพอรัสซิลิกามากกว่าเส้นใยเซลลูโลส คือ 0.75:0.25 มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดีที่สุด จากการศึกษาชนิดของ วัสดุดูดซับมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสที่ตรึงด้วยเตตระเอทิลีน-เพนตะมีนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก (40%TEPA/(0.75:0.25)m-$SiO_2^{(CTAB))}$ มีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าโมเลกุลาร์ซีฟที่ตรึงด้วยเตตระเอทิลีนเพนตะมีนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ในทุกช่วงอุณหภูมิการดูดซับ จากการศึกษาความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้า พบว่า การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของไอน้ำในแก๊สผสมขาเข้าจากร้อยละ 0 ถึง 2 โดยปริมาตร ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับมากขึ้น จากการศึกษาอุณหภูมิการดูดซับ พบว่า ความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับเพิ่มขึ้น เรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่ง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการดูดซับให้สูงขึ้น ไปอีกกลับพบว่า ความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุดูดซับมีค่าลดลง เนื่องจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน โดยในช่วงอุณหภูมิการดูดซับต่างจะเป็นการดูดซับทางกายภาพในขณะที่ช่วงอุณหภูมิการดูดซับสูงจะเป็นการดูดซับทางเคมี

5.2 ข้อเสนอแนะ

- เมื่อทำการเตรียมวัสดุดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากมีโซพอรัสซิลิกาและเส้นใยเซลลูโลสที่มีหมู่ฟังก์ชันเอมีนเสร็จสิ้นแล้ว ควรเก็บรักษาในภาชนะที่มีฝาปิดเพื่อป้องการดูดซับแก๊สในบรรยากาศและหลีกเลี่ยงการปน เปื้อนทางกายภาพ (Physical contamination) การปนเปื้อนทางเคมี (Chemical-contamination) รวมทั้งการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ (Microbiological contamination) ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาทำให้สมบัติของวัสดุดูดซับเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Carbon Dioxide. 2020, April. [cited April 21, 2020]; Available from: https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/

[2] Carbon-dioxide-2D-dimensions. 2007, September. [cited April 12, 2020]; Available from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbon-dioxide-2Ddimensions.svg.

[3] Carbon dioxide 3D ball. 2011, July 15. [cited April 12, 2020]; Available from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbon_dioxide_3D_ball.png.

[4] Carbon dioxide 3D spacefill. 2011, July 15. [cited April 12, 2020]; Available from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbon_dioxide_3D_spacefill.png.

[5] The Editors of Encyclopaedia Britannica, Carbon dioxide. 2019, April 20.

[6] สดุาวรรณ อ่วมอ่อง, ความรู้เกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ: น้ำแข็งแห้ง. 2004, April 18.

[7] สำนักงานนโยบายและแผนงาน กระทรวงพลังงาน. การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้พลังงาน ปี 2562

[8] Carbon dioxide: Toxicity. 2020, April 22. [cited April 22, 2020]; Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide#Toxicity

[9] Permentier K., Vercammen S., Soetaert S., Schellemans C., 2017. Carbon dioxide poisoning: a literature review of an often forgotten cause of intoxication in the emergency department. Int J Emerg Med. 10, 14.

[10] ความรู้อุตุนิยมวิทยา: ภาวะเรือนกระจก [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=20 [เข้าถึงเมื่อ 20 เม.ย. 2563].

[11] Häggström, M., Main symptoms of carbon dioxide toxicity. 2009, February 28.

[12] ปรากฏการเรือนกระจก. [อินเทอร์เน็ต]. 2556 [เข้าถึงเมื่อ 24 เมษายน 2562]. เข้าถึงได้จาก: https://guru.sanook.com/2698/

[13] Carbon capture and storage. 2020, April 22. [cited April 22, 2020]; Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_capture_and_storage

[14] Absorption (chemistry). 2020, April 14. [cited April 22, 2020]; Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Absorption_(chemistry)

[15] เดชา ฉัตรศิริเวช, กระบวนการดดูซับ (ADSORPTION PROCESSES). 2009. 45.

[16] กระบวนการดดูซับ. 2012. [citedทApril 22, 2020]; Available from: https://www.slideshare.net/VivekKumar36/adsorption-regenerationvivek-kumarneeri

[17] Mello M.R., Phanon D., Silveira G.Q., Llewellyn P.L., Ronconi C.M., 2011. Amine-modified MCM-41 mesoporous silica for carbon dioxide capture. Microporous and Mesoporous Materials. 143, 174-179.

ประวัติผู้เขียน

1. ชื่อ-สกุล นางสาว พัทธวรรณ เปี่ยมดำรงศักดิ์

วัน เดือน ปีเกิด 13 พฤษภาคม 2540

สถานที่เกิด จังหวัดพิษณุโลก

วุฒิการศึกษา กำลังศึกษาชั้นปีที่ 5 สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่อยู่ปัจจุบัน 111/17 ถนนริมคลองด่าน แขวงบางค้อ (The Key BTS วุฒากาศ) เขตจอมทอง กรุงเทพมหานคร 101

2. ชื่อ-สกุล นางสาว วทัยพรรณ อยู่ทวี

วัน เดือน ปีเกิด 24 กันยายน 2539

สถานที่เกิด จังหวัดพิษณุโลก

วุฒิการศึกษา กำลังศึกษาชั้นปีที่ 5 สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่อยู่ปัจจุบัน 585/587 ซิตี้โฮมรัชดา-ปิ่นเกล้า 2 ชั้น 22 แขวงบางอ้อ เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700