

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
คำนำ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
1.3 สมมติฐานการวิจัย	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา	5
1.6 คำชี้แจงเบื้องต้น	5
1.7 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	5
1.8 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
1.9 นิยามศัพท์เฉพาะ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ทฤษฎี	7
2.1.1 การดักจับและการกักเก็บคาร์บอน	7
2.1.2 ประเด็นสำคัญของการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์	8
2.1.3 การดักจับแอสคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าและความร้อน	8
2.1.4 ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	10

เรื่อง	หน้า
2.1.5 ทฤษฎีพื้นฐานในเรื่องต้นสำหรับปฏิกิริยาการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดักจับที่มีหมู่เอมีน และ รูปแบบการเตรียมตัวดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดของแข็งที่ยึดติดด้วยเอมีน	14
2.1.6 ตัวดูดซับของแข็งสำหรับการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์	16
2.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	24
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ แก๊สและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	24
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	24
3.1.2 แก๊สที่ใช้ในการวิจัย	24
3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	25
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	25
3.2.1 การเตรียมตัวดูดซับ	25
3.2.2 การทดสอบความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์	27
3.2.3 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ	27
3.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะตัวดูดซับ	29
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผลการวิจัย	31
4.1 การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของตัวดูดซับ	31
4.1.1 เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer, XRD)	31
4.1.2 เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคป (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)	34
4.1.3 เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน (CHN analyzer)	38
4.1.4 เทคนิคบีอีที (The Brunauer-Emmett-Teller, BET)	38
4.2 การออกแบบการทดลอง 2 ⁴ แฟคทอเรียล	40
4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง	49
4.4 การทดสอบการเลือกดักจับของตัวดูดซับในแก๊สผสมคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน	54

เรื่อง	หน้า
4.5 การทดสอบความคงทนของตัวดูดซับ	55
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	56
บรรณานุกรม	58
ผลผลิต	64

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	เทคนิคที่ใช้ในการผลิตไฮโดรเจน 9
2.2	รูปแบบทั่วไปของกระบวนการแยกหลักที่เกี่ยวข้องกับการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สที่ถูกแยกออกอาจจะเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน หรือแก๊สออกซิเจน ในรูปที่ 2b และ 2c หนึ่งในกระแสแก๊สที่ถูกแยก (A และ B) คือ กระแสที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน หรือแก๊สออกซิเจน และอื่นๆ ที่เป็นกระแสแก๊สกับแก๊สที่เหลืออยู่ในแก๊สเดิม (A+B) 11
2.3	ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และเอมีนในภาวะที่ไม่มีน้ำ โดยที่ B หมายถึง เอมีนชนิดปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ 14
2.4	ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และเอมีนตติยภูมิในภาวะที่มีน้ำ 15
2.5	ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และเอมีนปฐมภูมิหรือเอมีนทุติยภูมิในภาวะที่มีน้ำ 15
2.6	การเตรียมตัวดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดของแข็งที่ยึดติดด้วยเอมีน ในรูปแบบต่างๆ 16
4.1	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของตัวดูดซับ (a) ไฮโดรทาลไซต์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (b) ไฮโดรทาลไซต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมโคโคซิลซิลเฟต ร้อยละ 5 โดยมวล (c) เตตระเอทิลีนเพนตะมีน ร้อยละ 30 โดยมวล บนไฮโดรทาลไซต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมโคโคซิลซิลเฟต ร้อยละ 5 โดยมวล (d) เตตระเอทิลีนเพนตะมีน ร้อยละ 40 โดยมวล บนไฮโดรทาลไซต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมโคโคซิลซิลเฟต ร้อยละ 5 โดยมวล (e) เตตระเอทิลีนเพนตะมีน ร้อยละ 50 โดยมวล บนไฮโดรทาลไซต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมโคโคซิลซิลเฟต ร้อยละ 5 โดยมวล (f) เตตระเอทิลีนเพนตะมีน ร้อยละ 40 โดยมวล บนไฮโดรทาลไซต์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (g) เตตระเอทิลีนเพนตะมีน ร้อยละ 40 โดยมวล บนไฮโดรทาลไซต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมโคโคซิลซิลเฟต ร้อยละ 10 โดยมวล 32

รูปที่

หน้า

- 4.2 รูปแบบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดด้วยเทคนิคเอฟทีไออาร์ของ (a) ไฮโดรทาลไซต์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (b) ไฮโดรทาลไซต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ร้อยละ 5 โดยมวล (c) เตตระเอทิลีนเพนตะมีน ร้อยละ 30 โดยมวล บนไฮโดรทาลไซต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ร้อยละ 5 โดยมวล (d) เตตระเอทิลีนเพนตะมีน ร้อยละ 40 โดยมวล บนไฮโดรทาลไซต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ร้อยละ 5 โดยมวล (e) เตตระเอทิลีนเพนตะมีน ร้อยละ 50 โดยมวล บนไฮโดรทาลไซต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ร้อยละ 5 โดยมวล (f) เตตระเอทิลีนเพนตะมีน ร้อยละ 40 โดยมวล บนไฮโดรทาลไซต์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (g) เตตระเอทิลีนเพนตะมีน ร้อยละ 40 โดยมวล บนไฮโดรทาลไซต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ร้อยละ 10 โดยมวล (เส้นทึบ หมายถึง ตัวดูดซับก่อนใช้ในการดูดซับ และ เส้นประ หมายถึง ตัวดูดซับหลังผ่านการดูดซับแล้ว) 35
- 4.3 แผนภูมิพาเรโต (Pareto chart) สำหรับการออกแบบ 2^4 แฟคทอเรียล ซึ่งตัวแปรเข้ารหัสแสดงในตารางที่ 4.4 45
- 4.4 พล็อตความน่าจะเป็นปกติ (Normal probability plot) ของตัวแปร 4 ตัวแปร (ตัวแปร A–D) และอันตรกิริยาของตัวแปร สำหรับการออกแบบ 2^4 แฟคทอเรียล ซึ่งตัวแปรเข้ารหัสแสดงในตารางที่ 4.4 46
- 4.5 พล็อตเพอร์เทอร์เบชัน (Perturbation plot) ของตัวแปรหลัก 4 ตัวแปร สำหรับการออกแบบ 2^4 แฟคทอเรียล ซึ่งตัวแปรเข้ารหัสแสดงในตารางที่ 4.4 48
- 4.6 พล็อตระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองจริงและค่าที่ได้จากการทำนาย 49
- 4.7 พล็อตความน่าจะเป็นปกติกับส่วนตกค้างสำหรับการออกแบบพื้นผิวตอบสนอง 52
- 4.8 พล็อตส่วนตกค้างกับค่าที่ได้จากการทำนายสำหรับการออกแบบพื้นผิวตอบสนอง 52
- 4.9 พล็อตโครงร่างของผลกระทบหลักทั้งสี่สำหรับการออกแบบพื้นผิวตอบสนอง 53
- 4.10 การเลือกดูดซับของตัวดูดซับเตตระเอทิลีนเพนตะมีน ร้อยละ 40 โดยมวล บนไฮโดรทาลไซต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตร้อยละ 5 โดยมวล ในแก๊สผสมคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิ 40–100 องศาเซลเซียสและความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 30 โดยปริมาตร 54

รูปที่

หน้า

- 4.10 วิจัยการดูดซับและการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดูดซับเตตระเอทิลีนเพน-
ตะมีน ร้อยละ 40 โดยมวล บนไฮโดรทาลไซต์ที่ปรับปรุงด้วยโซเดียมโคเดซิลซัลเฟต
ร้อยละ 5 โดยมวล ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของคาร์บอนได-
ออกไซด์ ร้อยละ 30 โดยปริมาตร

55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างวัสดุของแข็งที่ใช้เป็นตัวดูดซับ	19
4.1 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของคาร์บาเมตและโบคาร์บอเนตบนตัวดูดซับ	37
4.2 ลักษณะเฉพาะของตัวดูดซับ	39
4.3 ตัวแปรการทดลองที่ถูกเข้ารหัสสำหรับการออกแบบ 2^4 แฟคทอเรียล โดยทดลอง 16 การทดลองและเพิ่ม 3 จุดกึ่งกลาง	41
4.4 แสดงค่าจริงและค่าเข้ารหัสของตัวแปรสำหรับการออกแบบ 2^4 แฟคทอเรียล	42
4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเทอมที่มีความสำคัญสำหรับการออกแบบ 2^4 แฟคทอเรียล	43
4.6 ตัวแปรการทดลองที่ถูกเข้ารหัสสำหรับการออกแบบพื้นผิวตอบสนอง FCCCD-RSM โดยทดลอง 14 การทดลองและเพิ่ม 4 จุดกึ่งกลาง	50
4.7 แสดงค่าจริงและค่าเข้ารหัสของตัวแปรสำหรับการออกแบบพื้นผิวตอบสนอง	51