



รายงานโครงการวิจัย

ความจุของการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่
(Absorption Capacity of CO₂ using New Amine Solvents)

จัดทำโดย

นางสาววรรษวัน	เทพอารยางกุล	รหัสนิสิต	5932958823
นางสาวอัจฉิมา	คำพูล	รหัสนิสิต	5932977723

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. ธีรวัฒน์ เสมอ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2562
ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ ความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่

ชื่อนิสิตผู้ทำโครงการ นางสาววรรณัน เทพอารยางกุล

นางสาวอัจฉิมา คำพูล

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ธีรวัฒน์ เสมมา

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นสาเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก ดังนั้นการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จึงมีความสำคัญ กระบวนการดูดซึมทางเคมี (Chemical Absorption) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม (เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเลียม ปิโตรเคมีคอล เชื้อเพลิงชีวภาพ) แต่กระบวนการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีนมีข้อจำกัดด้วยความจุของการดูดซึม (Absorption Capacity) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ (N-Methyl-4-Piperidinol หรือ MPDL-Monoethanolamine หรือ MEA) ที่เหมาะสมต่อการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแง่ของความจุของการดูดซึมและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรเชิงปฏิบัติการ ได้แก่ ความดันย่อยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราส่วนความเข้มข้นของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ ในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพิจารณาจากความจุของการดูดซึม ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 40 °C การเพิ่มอัตราส่วนความเข้มข้นของตัวทำละลาย MPDL มีผลทำให้ประสิทธิภาพของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ในแง่ของความจุของการดูดซึมสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และที่สภาวะความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์สูง ระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลเร็วกว่าที่สภาวะความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ

คำสำคัญ: การดูดซึมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์, ความจุของการดูดซึม, MPDL, MEA

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิสิต..... *วรรณัน เทพอารยางกุล*

ลายมือชื่อนิสิต..... *อัจฉิมา คำพูล*

สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก..... *[Signature]*

Title Absorption Capacity of CO₂ using New Amine Solvents

Student name Miss Watsawan Theparayangkul

Miss Aujjima Kampool

Advisor Dr. Teerawat Sema

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

ABSTRACT

Recently, the increasing in the release CO₂ lead to Greenhouse effect and impact to environment. Thus, the major concern is reduced carbon dioxide emission. Chemical absorption is one of the most effective technology and this technology can be well applied for many industries (such as energy, petroleum and petrochemical, and bioenergy and biofuels) but CO₂ absorption process by using amine solvents is limited by absorption capacity. The major goals of this research are to investigate the new amine solvents (N-methyl-4-piperidinol or MPDL- Monoethanolamine or MEA) in term of CO₂ absorption capacity and to study the effects of operating parameters such as partial pressure of CO₂ and blend ratio between MEA and MPDL on the CO₂ absorption capacity. The experimental results show that the increasing in blend ratio of MPDL lead to high effective CO₂ absorption in term of absorption capacity at 40 °C and the system at the high partial pressure of CO₂ can be reach to the equilibrium rapidly more than low partial pressure of CO₂.

Key word: CO₂ absorption, Absorption capacity, MPDL, MEA

Department of Chemical Technology

Student's signature 

Student's signature 

Major: Chemical Engineering

Advisor's signature 

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ เสมอ เนื่องจากได้ให้ความช่วยเหลือทั้งทางด้านความรู้และการให้คำปรึกษา ตลอดจนคำแนะนำในการทำงานวิจัย และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ได้มอบคำแนะนำ ให้การปรึกษา คำติชม และความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำให้งานวิจัยสามารถประสบความสำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยฉบับนี้ และขอขอบพระคุณเพื่อนและพี่ ๆ ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติมและสนับสนุนในด้านต่างๆ เสมอมา

สุดท้ายนี้ขอมอบความสุดท้ายนี้ขอมอบความดีทั้งหลายของงานวิจัยนี้ให้แก่ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้นและผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนาม มา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1	1
บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 วิธีการดำเนินงาน	2
1.4 ขอบเขตการดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 Monoethanolamine	3
2.2 N-Methyl-4-Piperidinol	4
2.3 กระบวนการที่เกี่ยวข้อง	5
2.4 กระบวนการดูดซึ่มโดยใช้ตัวทำละลายเอมีน	6
2.5 การพัฒนาตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่	7
2.6 สมการเคมีที่เกี่ยวข้องในการดูดซึ่มคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่	8
บทที่ 3	10
วิธีการดำเนินงานวิจัย	10
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	10

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	10
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	10
3.2 การทดลองเพื่อวัดความสามารถในการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะสมดุล	11
3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซึมในตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่	12
3.4 สภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรเชิงปฏิบัติการที่ทำการศึกษา	13
บทที่ 4	14
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	14
4.1 ผลของการตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือและอุปกรณ์	14
4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นโดยรวมของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ เป็น 6.0 M (5.0 M MEA และ 1.0 M MPDL)	15
4.3 ผลของการเพิ่มอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง MEA และ MPDL	16
บทที่ 5	18
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	18
5.1 ผลของการตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือและอุปกรณ์	18
5.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นโดยรวมของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ เป็น 6 M (5.0 M MEA และ 1.0 M MPDL)	18
5.3 ผลของการเพิ่มอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง MEA และ MPDL	18
5.4 ข้อเสนอแนะ	19
เอกสารอ้างอิง	20

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของ Monoethanolamine	3
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของ N-methyl-4-piperidinol	5
ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของกระบวนการ Absorption, Adsorption และ Membrane	6
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าความสามารถในการละลายในสภาวะสมดุล และพลังงานที่ใช้ในการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ของ 2.0 M MPDL	8
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนความเข้มข้นของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ที่ใช้ในงานวิจัย	13

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ Monoethanolamine	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ N-Methyl-4-Piperidinol	4
รูปที่ 2.3 กระบวนการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีน	6
รูปที่ 3.1 แผนภาพชุดอุปกรณ์ที่ใช้วัดความสามารถในการละลายของ คาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะสมดุล	11
รูปที่ 3.2 Chittick apparatus	13
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง CO ₂ loading และความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ของตัวทำละลายเอมีน 2.0 M MEA	14
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง CO ₂ loading และความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ที่มีความเข้มข้นโดยรวมเป็น 6.0 M (5.0 MEA และ 1.0 MPDL)	15
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง CO ₂ loading ในรูปของ mol CO ₂ /mol amine และความดันย่อยของ คาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 40 °C	16
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง CO ₂ loading ในรูปของ mol CO ₂ /L solvent และความดันย่อยของ คาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 40 °C	17

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานของประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยมาจากภาคการผลิตไฟฟ้า, ภาคอุตสาหกรรม, ภาคการขนส่ง และภาคเศรษฐกิจอื่นๆ^[1] คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่มีปริมาณมากขึ้นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนและปรากฏการณ์เรือนกระจก ซึ่งเป็นปัญหาที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก อีกทั้งยังมีผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากกระบวนการอุตสาหกรรมจึงมีความสำคัญอย่างมาก

ทั้งนี้การดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถทำได้หลายวิธีเช่น Membrane Separation, Adsorption และ Absorption โดยเทคโนโลยีที่จะทำการศึกษาคือ การดูดซึมทางเคมี (Chemical Absorption) ซึ่งเทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงและมีการใช้อย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรม การพิจารณาประสิทธิภาพของตัวดูดซึมเคมี (Chemical Absorbent) ที่ใช้ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์นั้นจำเป็นต้องศึกษาความจุของการดูดซึม (Absorption Capacity) โดยตัวดูดซึมเคมีที่มีความจุของการดูดซึมสูงจะส่งผลให้การดักจับคาร์บอนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับมีมากขึ้น^[2] และสามารถลดการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศได้อย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีนที่มีการผสมกันระหว่าง Monoethanolamine (MEA) และ Methyl-diethanolamine (MDEA) ถูกศึกษามาเป็นระยะเวลาอันยาวนานและถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรม โดย MEA เป็นเอมีนที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์สูง เนื่องจาก MEA เป็นเอมีนปฐมภูมิ ส่วน MDEA เป็นเอมีนที่ใช้พลังงานต่ำในการฟื้นฟูตัวทำละลายเอมีน^[3] ดังนั้นจึงต้องศึกษาตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ที่มีความจุของการดูดซึมสูงกว่าตัวทำละลายเอมีนแบบดั้งเดิม ซึ่งตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ที่จะทำการศึกษาคือ สารละลายเอมีนที่มีตัวทำละลายเอมีน MEA เป็นตัวทำละลายหลัก และมี N-methyl-4-piperidinol (MPDL) เป็นตัวทำละลายที่สองในระบบเอมีนผสมแบบใหม่ เนื่องจาก MPDL เป็นเอมีนที่มีความจุของการดูดซึมและอัตราการเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า MDEA และใช้พลังงานในการฟื้นฟูตัวทำละลายต่ำกว่า MDEA ในโครงการวิจัยนี้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรเชิงปฏิบัติการ ได้แก่ ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ (5-100 kPa) และอัตราส่วนความเข้มข้นของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ (5-7 M) ที่อุณหภูมิ 40 °C โดยพิจารณาจากความจุของการดูดซึมในรูปของค่า CO₂ loading (mol CO₂/mol amine)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาเอมีนชนิดใหม่ที่เหมาะสมต่อการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ในแง่ของความจุของการดูดซึม
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรเชิงปฏิบัติการ ได้แก่ ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราส่วนความเข้มข้นของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพิจารณาจากความจุของการดูดซึม

1.3 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาเครื่องมือที่ใช้วัดความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ที่มีผลต่อความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะสมดุล
3. ศึกษาผลของความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะสมดุล
4. วิเคราะห์ สรุปผลการทดลอง และอภิปรายผล

1.4 ขอบเขตการดำเนินการ

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ของตัวแปรเชิงปฏิบัติการ ได้แก่ ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราส่วนความเข้มข้นของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ ที่อุณหภูมิ 40°C โดยพิจารณาจากความจุของการดูดซึมในรูปของค่า CO_2 loading ($\text{mol CO}_2/\text{mol amine}$)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

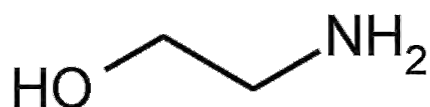
1. ในด้านความรู้และประสบการณ์ต่อตัวนิสิตเอง
 - สภาวะเชิงปฏิบัติการที่เหมาะสมในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ในแง่ของความจุของการดูดซึม
 - เกิดองค์ความรู้และประสบการณ์ใหม่ต่อตัวผู้ดำเนินโครงการด้านการพัฒนาตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์
2. ความรู้ ความเข้าใจที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาของสังคมหรือสภาพแวดล้อม
 - ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีความจุของการดูดซึมสูงกว่าตัวทำละลายเอมีนที่ใช้อยู่เดิมในภาคอุตสาหกรรม
 - นำองค์ความรู้และประสบการณ์ดังกล่าวไปสู่การแก้ไขปัญหาของภาคอุตสาหกรรม สิ่งแวดล้อม และสังคม

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 Monoethanolamine

Monoethanolamine หรือ MEA มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีกลิ่นของแอมโมเนียเล็กน้อย เป็นสารจำพวก Ethanolamine อย่างง่าย ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันเอมีนปฐมภูมิ (Primary amine) และหมู่ฟังก์ชันแอลกอฮอล์ (Alcohol group) ต่ออยู่อย่างละ 1 หมู่ ที่มีสูตรโมเลกุลคือ C_2H_7NO มีน้ำหนักโมเลกุล 61.08 กรัมต่อโมล และมีชื่อทางเคมีว่า 2-Aminoethanol^[4]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของ Monoethanolamine^[5]

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของ Monoethanolamine^[6]

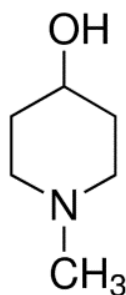
สมบัติทางกายภาพและเคมี	ข้อมูล
สูตรทางเคมี	C_2H_7NO
มวลโมเลกุล	61.08 กรัมต่อโมล
สถานะและสี	ของเหลว ไม่มีสี
ความถ่วงจำเพาะ	1.017 kg/m^3
จุดวาบไฟ	$96 \text{ }^\circ\text{C}$
จุดหลอมเหลว	$10.5 \text{ }^\circ\text{C}$
จุดเดือด	$170.4 \text{ }^\circ\text{C}$

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของ Monoethanolamine (ต่อ)

สมบัติทางกายภาพและเคมี	ข้อมูล
สมบัติการละลายใน 100 ส่วน น้ำ	ละลายดีมาก
Methanol	ละลายดีมาก
Acetone	ละลายดีมาก
ค่าดัชนีหักเหแสง	1.4539
ค่าความดันไอ ที่ 20 °C	<1
ความหนืดสมบูรณ์ ที่ 20 °C	24.1 cP

2.2 N-methyl-4-piperidinol

N-Methyl-4-Piperidinol หรือ MPDL มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีกลิ่นของแอมโมเนียเล็กน้อย มีโครงสร้างเป็น Cyclic tertiary amine^[7] ที่มีสูตรโมเลกุลคือ $C_6H_{13}NO$ มีน้ำหนักโมเลกุล 115.17 กรัมต่อโมล และมีชื่อทางเคมีว่า N-Methyl-4-Piperidinol^[8]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ N-methyl-4-piperidinol^[7]

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของ N-methyl-4-piperidinol^[8]

สมบัติทางกายภาพและเคมี	ข้อมูล
สูตรทางเคมี	C ₆ H ₁₃ NO
มวลโมเลกุล	115.17 กรัมต่อโมล
สถานะและสี	ของเหลว ไม่มีสี
ความถ่วงจำเพาะ	0.98 kg/m ³
จุดวาบไฟ	87 °C
จุดหลอมเหลว	29-31 °C
จุดเดือด	200 °C
สมบัติการละลายน้ำ	ละลายดีมาก
ค่าดัชนีหักเหแสง	1.479

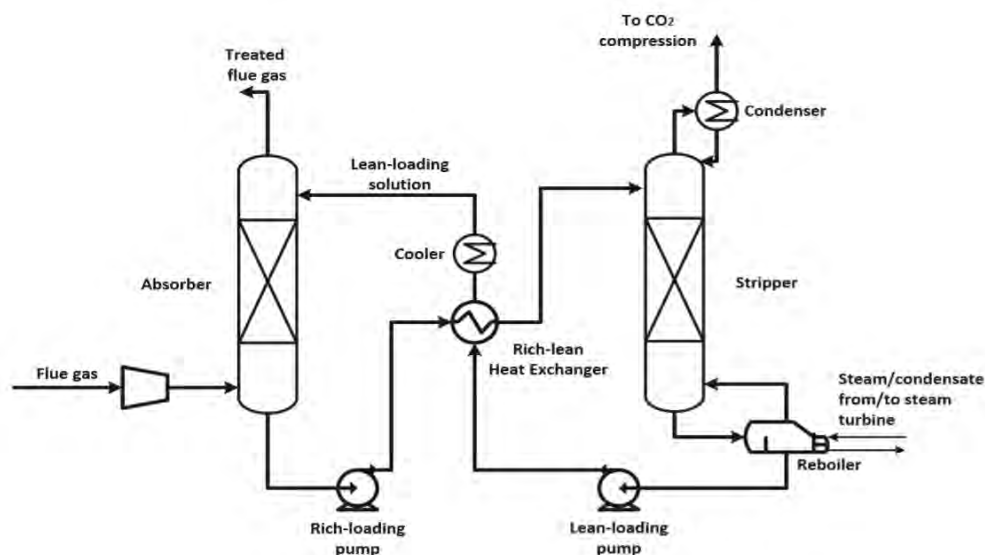
2.3 กระบวนการที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบัน มีหลายกระบวนการที่ใช้ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันไป ซึ่งมีทั้งกระบวนการทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ กระบวนการดูดซึม (Absorption), กระบวนการดูดซับ (Adsorption), Membrane และ Cryogenics^[9] จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีนได้รับการยอมรับว่าเป็นหนึ่งในกระบวนการที่มีประสิทธิภาพที่สุด และสามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม^[10,11] คำกล่าวข้างต้นได้รับการยืนยันจากงานวิจัย SaskPower Boundary Dam Carbon capture project (ตั้งอยู่ที่ Saskatchewan, Canada) ซึ่งเป็นการศึกษาการวิจัยในการนำกระบวนการไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่มีการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากที่สุด และเป็นอุตสาหกรรมแห่งแรก ที่สามารถดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 1.0 ล้านตัน ของการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี และในปี 2014 สามารถดักจับคาร์บอนไดออกไซด์จากการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงผลิตไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหิน (coal fired Boundary Dam power generation plant) ได้มากกว่า 2 ล้านตัน ยิ่งไปกว่านั้น ยังได้รับการยืนยันในงานวิจัย Quest carbon capture and storage project (ตั้งอยู่ที่ Alberta, Canada) แสดงให้เห็นว่าการนำกระบวนการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ไปประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพอย่างมาก โดยสามารถดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 1 ล้านตันต่อปี และภายใน 3 ปีแรกของการนำไปประยุกต์ใช้สามารถดักจับและกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์อย่างปลอดภัยได้เกือบ 3 ล้านตัน^[12, 13]

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของกระบวนการ Absorption, Adsorption และ Membrane^[14, 15]

กระบวนการ	ข้อดี	ข้อเสีย
กระบวนการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีน	<ol style="list-style-type: none"> 1. เทคโนโลยีนี้มีการใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการอุตสาหกรรม 2. สามารถรองรับไอเสียได้ในปริมาณมาก 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีการใช้พลังงานอย่างมากเพื่อฟื้นฟูตัวทำละลาย 2. ตัวทำละลายมีฤทธิ์กัดกร่อน 3. การลดลงของปริมาณตัวทำละลาย
กระบวนการดูดซับ	<ol style="list-style-type: none"> 1. กระบวนการไม่มีความซับซ้อน 2. ทนต่อความร้อนและสารเคมี 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ตัวดูดซับเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย 2. ประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ
Membrane	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทนต่อความร้อนและสารเคมี 2. เกิดการสัมผัสกันระหว่างแก๊สและของเหลวได้ดี 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ต้องการเงินลงทุนมาก 2. ต้องการงานวิจัยมารองรับอย่างเพียงพอ

2.4 กระบวนการดูดซึมโดยใช้ตัวทำละลายเอมีน



รูปที่ 2.3 กระบวนการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีน^[16]

จากรูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบกระบวนการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์โดยทั่วไป ไม่เพียงแต่เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวทำละลายชนิด MEA แต่เป็นรูปแบบที่ใช้โดยทั่วไปกับตัวทำละลายชนิดอื่นด้วย

กระบวนการเริ่มต้นจากแก๊สจากการเผาไหม้เข้าสู่ส่วนล่างของหอดูดซึม (Absorber column) และแพร่กระจายขึ้นไปภายในหอดูดซึม ในขณะที่ตัวทำละลายเอมีนที่มีสถานะเป็นของเหลวจะไหลลงไปตามด้านล่างของหอดูดซึม เกิดการไหลสวนทางกัน (Counterflow) และเกิดการสัมผัสกันของทั้งสองสายคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปนอยู่ในสายของแก๊สที่มาจากเผาไหม้จะถูกดูดซึมเข้าไปในสารละลายเอมีน จากนั้นสารละลายเอมีนที่ดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ซึ่งเรียกว่า Rich-loading solution จะถูกปั๊มเข้าไปทางด้านบนของหอฟื้นฟู (Stripper column) ในหอฟื้นฟูนั้น จะเกิดการไหลสวนทางเช่นเดียวกันกับในหอดูดซึม โดยสารละลายเอมีนที่ดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์แล้วนั้น จะไหลลงไปสู่ด้านล่างของหอฟื้นฟู และจะมีไอน้ำที่ผลิตโดยหม้อต้ม (Reboiler) ไหลสวนทางขึ้นไปทางด้านบนของหอฟื้นฟู พันธะเคมีระหว่างโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์และตัวทำละลาย จะถูกทำลายเนื่องจากการได้รับความร้อนจากไอน้ำ ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกพาขึ้นไปข้างบนของหอฟื้นฟูโดยไอน้ำ และไปยังเครื่องควบแน่น ส่วนไอน้ำที่ถูกควบแน่นแล้วจะไหลกลับเข้าไปในหอฟื้นฟู เรียกว่า รีฟลักซ์ (Reflux) สายผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ถึง 99% จากนั้นสายผลิตภัณฑ์จะถูกบีบอัด และถ่ายโอนไปเก็บในส่วนของถังเก็บสารในส่วนล่างของหอฟื้นฟู สารละลายเอมีนที่ถูกฟื้นฟูแล้ว จะไหลเวียนกลับไปยังส่วนบนของหอดูดซึม ซึ่งก่อนที่จะเข้าสู่หอดูดซึม สายสารละลายที่ถูกฟื้นฟูแล้วยังมีความร้อนหลงเหลืออยู่ จึงนำความร้อนนี้ไปใช้ในการฟื้นฟูสาย Rich-loading solution ในบางกรณี Condensate จากเครื่องควบแน่น จะถูกส่งกลับไปยังหอดูดซึมแทนหอฟื้นฟู เนื่องจากยังสามารถลดอุณหภูมิในหอฟื้นฟูได้อีก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าพลังงานที่ใช้ในการฟื้นฟูตัวทำละลายมีความจำเป็นอย่างมาก จึงมีการศึกษาทำการวิจัยเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการฟื้นฟูตัวทำละลายโดยใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าที่สุด^[16]

2.5 การพัฒนาตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่

ปัจจุบันมีความน่าสนใจอย่างยิ่งในการพัฒนาตัวทำละลายเอมีนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเป็นหนึ่งในความต้องการในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีน ในเชิงการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม ทางเลือกใหม่ของการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการดูดซึมจึงเป็นการพัฒนาตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ หรือตัวทำละลายเอมีนผสม และในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยังแสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซึมโดยใช้ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ หรือตัวทำละลายเอมีนผสมนั้น แสดงถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซึมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการดูดซึมโดยใช้ตัวทำละลายเอมีนแบบดั้งเดิม^[17] จากข้อสรุปของ Liang และคณะ^[22] มีการให้ความสนใจอย่างมากในการพัฒนากระบวนการดูดซึมโดยใช้ตัวทำละลายเอมีนทั้งในปัจจุบันและอนาคต และในปัจจุบันหลายบริษัทได้มีการพัฒนาตัวทำละลายเอมีนเพื่อใช้ในการลดความเป็นกรดของแก๊ส บริษัทที่กล่าวมาข้างต้น ได้แก่ Mitsubishi, Exxon, Shell, Siemens, and Kansai Electric นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยหลายฉบับที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการพัฒนาตัวทำละลายเอมีนที่ได้ทำการจดสิทธิบัตร โดยรวมได้กล่าวถึงตัวทำละลายมากกว่า 100 ชนิด^[18]

Xiao และคณะ^[7] ได้ทำการศึกษาความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลาย N-methyl-4-piperidinol (MPDL) ซึ่งมีโครงสร้างเป็น Cyclical tertiary amine ดังรูปที่ 2.2 จากโครงสร้างของ MPDL ประกอบด้วย 1. คาร์บอน 3 อะตอม ระหว่างหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล และหมู่ฟังก์ชันเอมีน 2. เป็นเอมีนที่มีโครงสร้างแบบวง (Cyclical amine) เนื่องจาก Dubois and Thomas ได้ทำการศึกษาและมีข้อสรุปว่าโครงสร้างแบบวงแสดงถึงอัตราในการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดี^[19] ดังนั้นจากความเข้าใจเบื้องต้นว่า MPDL ควรมีความจุของการดูดซึมที่สูงและอัตราการดูดซึมที่ดี จากค่ากล่าวข้างต้นในเชิงของความจุของการดูดซึม ยืนยันได้จากการทำการทดลองโดย Xiao และคณะ^[7] โดยได้รายงานว่า ความสามารถในการละลายในสถานะสมดุลของ MPDL มีค่าสูงกว่าตัวทำละลายเอมีนแบบดั้งเดิม ได้แก่ MDEA, DEA และ MEA ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าความสามารถในการละลายในสถานะสมดุล และพลังงานที่ใช้ในการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ของ 2.0 M MPDL^[7]

Amine	Equilibrium CO ₂ Loading (α , mol CO ₂ •mol amine ⁻¹)	CO ₂ Absorption Heat (ΔH_{abs} , kJ mol ⁻¹)
MEA	0.641	-84.3
DEA	0.699	-66.9
MDEA	0.578	-54.6
MPDL	0.707	-49.1

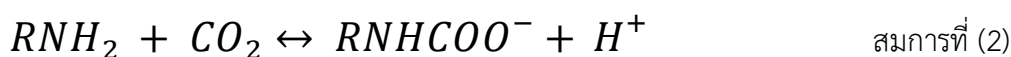
2.6 สมการเคมีที่เกี่ยวข้องในการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่

การดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวทำละลายเอมีนเป็นปฏิกิริยากรด-เบส มีสมการเคมีที่เกี่ยวข้องดังนี้

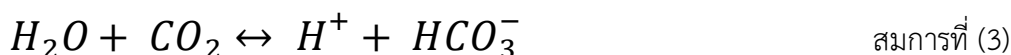
การเกิด Protonated ของเอมีนปฐมภูมิ



การเกิด Carbamate ของเอมีนปฐมภูมิ



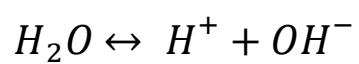
การเกิด Bicarbonate



การแตกตัวของ Bicarbonate

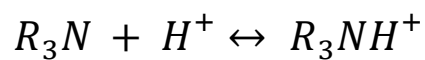


การแตกตัวของน้ำ



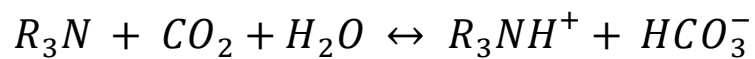
สมการที่ (5)

การเกิด Protonated ของเอมีนตติยภูมิ



สมการที่ (6)

การเกิด Protonated ของเอมีนตติยภูมิและ Bicarbonate



สมการที่ (7)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเอมีนชนิดใหม่และสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรเชิงปฏิบัติการ ได้แก่ ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราส่วนความเข้มข้นของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยพิจารณาจากความจุของการดูดซึม

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) โมโนเอทานอลามีน (Monoethanolamine)
- 2) เมทิลไดเอทานอลามีน (Methyldiethanolamine)
- 3) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)
- 4) น้ำกลั่น (Distilled water)
- 5) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)
- 6) ไนโตรเจน (Nitrogen)
- 7) เมทิลออเรนจ์ (Methyl orange)
- 8) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)
- 9) โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate)

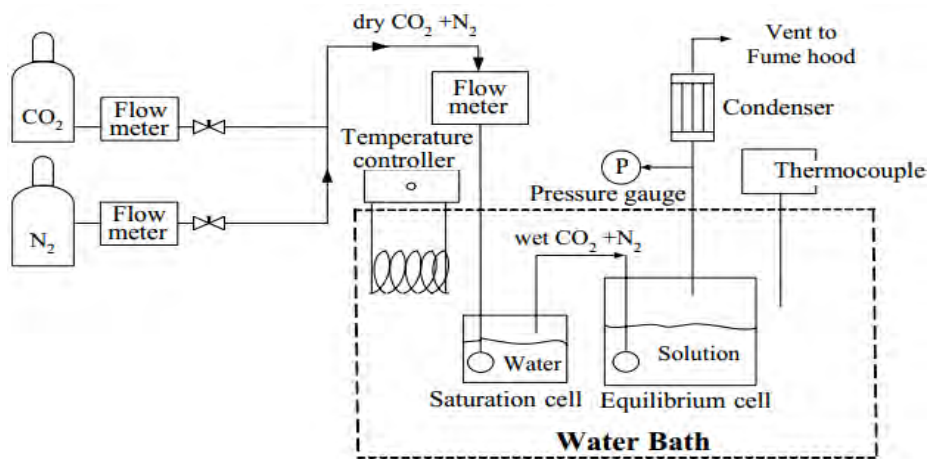
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1) บีกเกอร์	ขนาด	50	มิลลิลิตร	2	ใบ
2) บีกเกอร์	ขนาด	500	มิลลิลิตร	1	ใบ
3) บีกเกอร์พลาสติก	ขนาด	1000	มิลลิลิตร	1	ใบ
4) กระบอกตวง	ขนาด	10	มิลลิลิตร	1	ใบ
5) ขวดรูปชมพู่	ขนาด	250	มิลลิลิตร	2	ใบ
6) ขวดวัดปริมาตร	ขนาด	25	มิลลิลิตร	2	ใบ
7) บิวเรตต์	ขนาด	50	มิลลิลิตร	1	อัน
8) ปีเปตต์	ขนาด	1	มิลลิลิตร	2	อัน
9) หลอดหยดสาร				1	อัน
10) แท่งแก้วคนสาร				1	แท่ง

11) ซ้อนตักสาร	2	คัน
12) กรวยพลาสติก	1	อัน
13) ขวดน้ำกลั่น	1	ขวด
14) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Bar)	1	แท่ง
15) เครื่องกวนสารละลายและให้ความร้อน (Hotplate Stirrer)	1	เครื่อง
16) Chittick apparatus	1	ชุด
17) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)	1	เครื่อง
18) เครื่องวัดอัตราการไหลของแก๊ส (Flow Meter)	1	เครื่อง
19) Absorption cell	2	อัน
20) เครื่องควบแน่น (Condenser)	1	เครื่อง
21) ป้อน้ำขนาดเล็ก	1	เครื่อง
22) เทอร์โมมิเตอร์	1	เครื่อง
23) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล	1	เครื่อง
24) เครื่องตรวจวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ Sensor)	1	เครื่อง

3.2 การทดลองเพื่อวัดความสามารถในการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะสมดุล

ในงานวิจัยนี้ใช้ Absorption cell หรือ Equilibrium cell ที่อยู่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เพื่อหาความสามารถในการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลายเอมีนที่สภาวะสมดุล



รูปที่ 3.1 แผนภาพชุดอุปกรณ์ที่ใช้วัดความสามารถในการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะสมดุล^[20]

จากรูปที่ 1 แสดงแผนภาพชุดอุปกรณ์ที่ใช้วัดความสามารถในการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สถานะสมดุล แก๊สผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนจะถูกป้อนเข้าไปใน Saturation cell ที่ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการ โดยการวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการจะใช้เครื่องตรวจวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Sensor) และใช้โปรแกรม Gaslab 2.1 จากนั้นแก๊สจะถูกป้อนเข้าไปใน Absorption cell ที่มีตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ในอัตราส่วนความเข้มข้นต่าง ๆ และมีเครื่องควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้ความเข้มข้นของสารละลายเอมีนเปลี่ยนแปลง

3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซึมในตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่

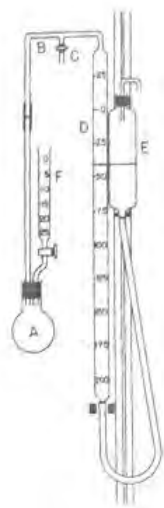
ทั้งนี้การวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซึมในตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่โดยพิจารณาจากความจุของการดูดซึมในรูปของค่า CO₂ loading (mol CO₂/mol amine) สามารถทำได้โดยวิธี Acidification technique โดยใช้ Chittick apparatus ดังแสดงในรูปที่ 3.2 นั่นคือการนำตัวอย่างของสารละลายเอมีนจาก Absorption cell ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 M โดยใช้เมทิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซึมในตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่จะแทนที่เข้าไปใน Displacement solution (ประกอบไปด้วยกรดไฮโดรคลอริก, เมทิลออเรนจ์, โซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมไบคาร์บอเนต) ทำให้ทราบปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซึมในตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่จำนวนโมลคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซึมจะสามารถคำนวณได้จากกฎแก๊สอุดมคติ โดยแก๊สอุดมคติ 1 โมลที่สถานะมาตรฐาน ความดันเท่ากับ 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 273 K จะมีปริมาตร 22.4 ลิตร

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{22400}$$

โดยที่ n_{CO_2} คือ จำนวนโมลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซึมในตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่

V_{CO_2} คือ ปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่แทนที่เข้าไปใน Displacement solution (มิลลิลิตร)

โดยการวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซึมในตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ จะทำทุกๆ 2 ชั่วโมงจนกระทั่งระบบเข้าสู่สถานะสมดุล และจะรายงานความจุของการดูดซึมที่สถานะสมดุลในรูปของค่า CO₂ loading (mol CO₂/mol amine)



รูปที่ 3.2 Chittick apparatus^[23]

3.4 สภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรเชิงปฏิบัติการที่ทำการศึกษา

ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ที่จะทำการศึกษาคือ สารละลายเอมีนที่มีส่วนผสมระหว่าง MEA และ MPDL ในอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง 5-7 M แสดงในตารางที่ 3.1 โดยใช้สารละลายเอมีน MEA ความเข้มข้น 5 M เป็นสารละลายมาตรฐาน และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40 °C ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 5-100 kPa

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนความเข้มข้นของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ที่ใช้ในงานวิจัย

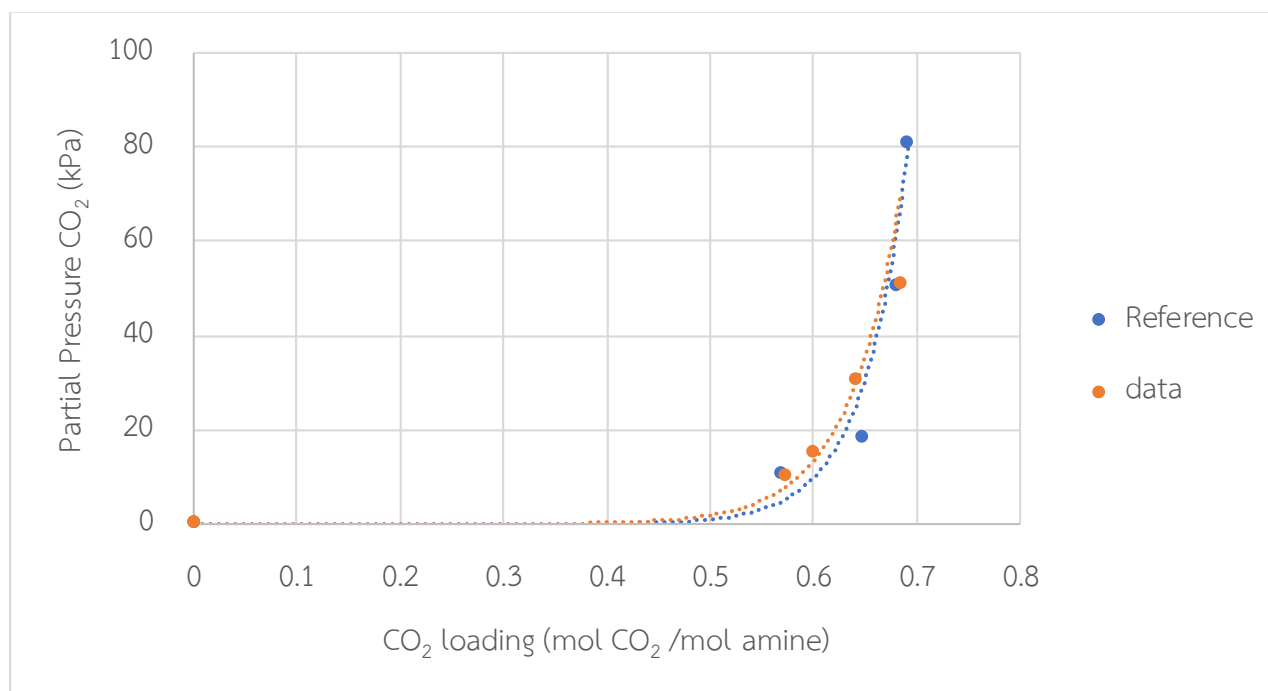
ความเข้มข้นของ MEA (M)	ความเข้มข้นของ MPDL (M)	ความเข้มข้นรวม (M)
5.0	0.5	5.5
5.0	1.0	6.0
5.0	1.5	6.5
5.0	2.0	7.0

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปฏิบัติการ และ อัตราส่วนความเข้มข้นของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ในแง่ของความจุของการดูดซึม โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40 °C และความดันบรรยากาศ อีกทั้งได้ทำการปรับเปลี่ยนความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง MEA และ MPDL

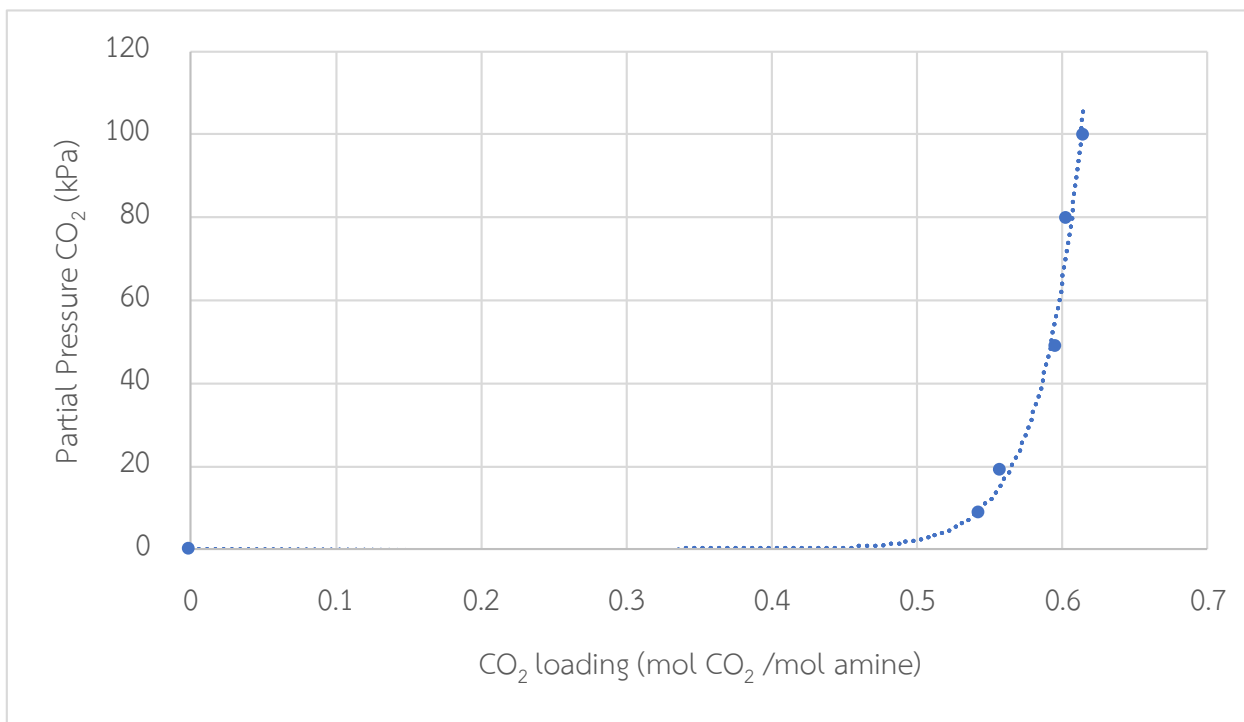
4.1 ผลของการตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือและอุปกรณ์



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง CO₂ loading และความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 40 °C ของตัวทำละลายเอมีน 2.0 M MEA^[21]

ค่าความสามารถในการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะสมดุลเป็นตัวแปรสำคัญที่บ่งบอกถึง ความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากที่สุดของสารละลายเอมีน จากกราฟแสดง ความสัมพันธ์ ระหว่าง CO₂ loading และความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 40 °C ของตัวทำละลายเอมีน 2.0 M MEA ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่า ค่าความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์จากการทดลองมีค่า ใกล้เคียงกับค่าที่มาจากแหล่งอ้างอิง^[21] ที่ความดันย่อยคาร์บอนไดออกไซด์ 10, 20, 30 และ 50 kPa มีค่า ความคลาดเคลื่อน 3.45, 1.61, 1.56 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแหล่งอ้างอิง^[21] ซึ่งค่า ความคลาดเคลื่อนโดยรวมมีค่าน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือเป็นค่าที่ยอมรับได้ สำหรับนำไปพิจารณาผลของ การศึกษาต่อไป

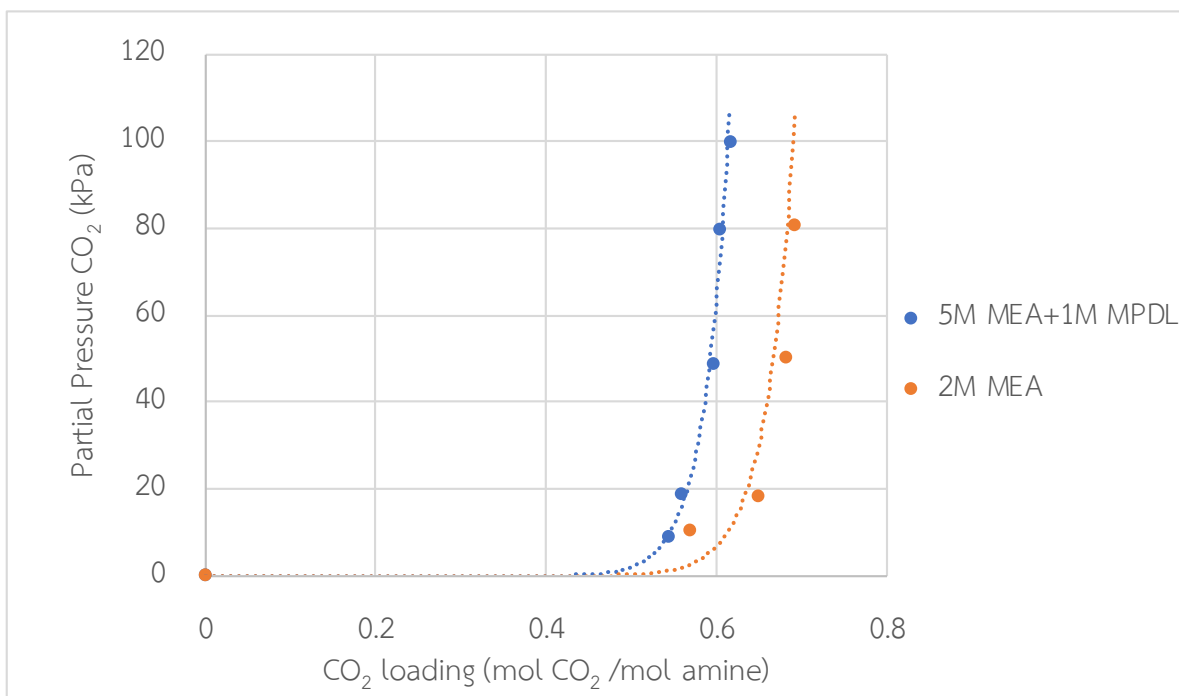
4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นโดยรวมของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ เป็น 6.0 M (5.0 M MEA และ 1.0 M MPDL)



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง CO₂ loading และความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 40 °C ของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ ที่มีความเข้มข้นโดยรวมเป็น 6.0 M (5.0 MEA และ 1.0 MPDL)

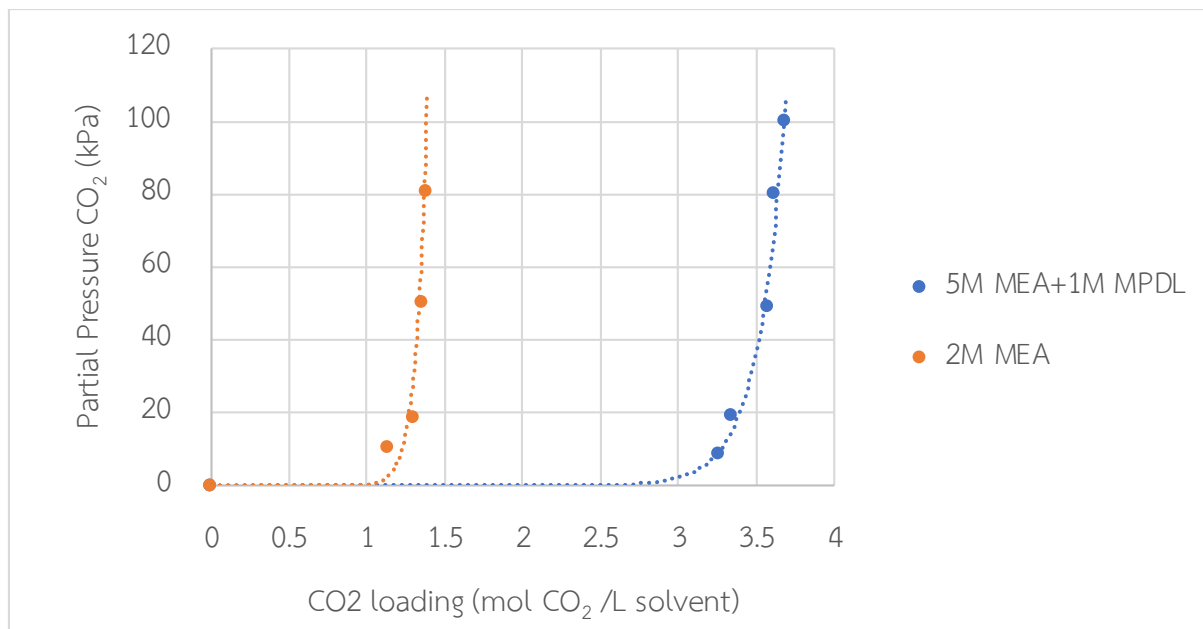
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CO₂ loading และความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 40 °C ของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ ความเข้มข้นโดยรวมเป็น 6 M (5.0 MEA และ 1.0 MPDL) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่า เมื่อความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อเพิ่มความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าไปในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่สามารถดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์มากยิ่งขึ้น จะส่งผลให้ค่าความจุของการดูดซึมมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งยังส่งผลให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับการทดลองที่ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ ๆ

4.3 ผลของการเพิ่มอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง MEA และ MPDL



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง CO₂ loading ในรูปของ mol CO₂/mol amine และความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 40 °C

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CO₂ loading และความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์อุณหภูมิ 40 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่า ที่ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์เดียวกัน ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ (5.0 M MEA และ 1.0 M MPDL) มีค่าความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าตัวทำละลายเอมีน MEA (2.0 M) เนื่องจากค่าจำกัดความของค่าความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์คือ mol CO₂/mol amine ถึงแม้ว่าตัวทำละลายเอมีน MEA-MPDL ที่ประกอบด้วยเอมีนปฐมภูมิและเอมีนตติยภูมิทำให้ดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่า MEA ก็จริง แต่ความเข้มข้นของตัวทำละลายเอมีน MEA-MPDL (6.0 M) มากกว่าตัวทำละลายเอมีน MEA (2.0 M) ถึง 3 เท่า จึงทำให้ค่าความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ของตัวทำละลายเอมีน MEA-MDEA มีค่าต่ำ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง CO₂ loading ในรูปของ mol CO₂/L solvent และความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 40 °C

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความจุของการดูดซึมที่แท้จริงระหว่างตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่และตัวทำละลายเอมีนแบบดั้งเดิม โดยทำการเปลี่ยนค่าจำกัดความของค่าความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์คือ mol CO₂/mol amine ไปอยู่ในรูป mol CO₂/L solvent ตัวอย่างเช่น ที่ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 60 kPa ค่าความจุของการดูดซึมของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่และตัวทำละลายเอมีนแบบดั้งเดิมเป็น 3.60 และ 1.36 mol CO₂/L solvent ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าความจุของการดูดซึมในรูปของ mol CO₂/L solvent ของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่มีค่ามากกว่าตัวทำละลายเอมีนแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะปฏิบัติการ และ อัตราส่วนความเข้มข้นของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ในแง่ของความจุของการดูดซึม โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40 ° C และความดันบรรยากาศ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ผลของการตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือและอุปกรณ์

เมื่อพิจารณาผลของการตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือและอุปกรณ์ ค่าความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่มาจากแหล่งอ้างอิง ค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมมีค่าน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือเป็นค่าที่ยอมรับได้ สำหรับนำไปพิจารณาผลของการศึกษาต่อไป

5.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นโดยรวมของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ เป็น 6 M (5.0 M MEA และ 1.0 M MPDL)

เมื่อพิจารณาผลของผลของการเปลี่ยนแปลงความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นโดยรวมของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ เป็น 6 M (5.0 M MEA และ 1.0 M MPDL) เมื่อความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งยังส่งผลให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับการทดลองที่ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ ๆ

5.3 ผลของการเพิ่มอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง MEA และ MPDL

เมื่อพิจารณาผลของการเพิ่มอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง MEA และ MPDL ที่ ความดันย่อยของคาร์บอนไดออกไซด์เดียวกัน ตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่ (5.0 M MEA และ 1.0 M MPDL) มีค่าความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าตัวทำละลายเอมีน MEA (2.0 M) เนื่องจากค่าจำกัดความของค่าความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์คือ mol CO₂/mol amine

สามารถทำการเปรียบเทียบค่าความจุของการดูดซึมที่แท้จริงระหว่างตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่และตัวทำละลายเอมีนแบบดั้งเดิม โดยทำการเปลี่ยนค่าจำกัดความของค่าความจุของการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์คือ mol CO₂/mol amine ไปอยู่ในรูป mol CO₂/L solvent แสดงให้เห็นว่าค่าความจุของการดูดซึมในรูปของ mol CO₂/L solvent ของตัวทำละลายเอมีนชนิดใหม่มีค่ามากกว่าตัวทำละลายเอมีนแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซึมในตัวทำละลายเอมีนทุก ๆ 1 ชั่วโมง
2. ไม่ควรเตรียมตัวทำละลายเอมีนทิ้งไว้นาน เนื่องจากอาจทำให้คุณสมบัติของสารเปลี่ยนแปลงไป
3. ในส่วนของ Chittick Apparatus ควรเป็นระบบปิดอย่างสมบูรณ์ เพื่อไม่ให้เกิดการอ่านปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซึมโดยตัวทำละลายเอมีนคลาดเคลื่อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Greenpeace Thailand. [Online]. 2019. Available from: <http://www.greenpeace.org/seasia/th/solargen/climate-change/solutions/>. [Accessed April 18, 2020]
- [2] Nouryon. 2019. Technical Data Sheet, Ethylene Amines Quality and Technical Service.
- [3] Zhang R., Yang Q., Lou X., Jin B., Zhang H., Liang Z., The comparison of CO₂ absorption performance between DEAPA (3-Diethylaminopropylamine) and blends of MEA-MDEA. *Journal of Energy Procedia* 114(2017): 1877-1882.
- [4] N-Methyl-4-piperidinol. [Online]. 2019. Available from: <https://www.chemblink.com/products/106-52-5.htm>. [Accessed April 22, 2020].
- [5] The Dow Chemical Company. 2003. Ethanolamine.
- [6] Leung, D.Y.C., G. Caramanna, and M.M. Maroto-Valer, An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014. 39: p. 426-443.
- [7] Xiao, M., et al., A new model for correlation and prediction of equilibrium CO₂ solubility in N-methyl-4-piperidinol solvent. *AIChE Journal*, 2017. 63(8): p. 3395-3403.
- [8] Hwang S., Lee M., Kim H., Lee K., Cyclic CO₂ absorption capacity of aqueous single and blended amine solvents. *Journal of Industrial and Engineering* 65(2018): 95-103.
- [9] Monoethanolamine. [Online]. 2019. Available from: https://www.drugfuture.com/Pharmacopoeia/USP32/pub/data/v32270/usp32nf27s0_m54720.html. [Accessed April 22, 2020].
- [10] Bostick, D., T. Stoffregen, and S. Rigby, Final Techno-Economic Analysis of 550 MWe Supercritical PC Power Plant CO₂ Capture with Linde-BASF Advanced PCC Technology. 2017, Linde LLC, Murray Hill, NJ (United States).
- [11] Rao, A.B. and E.S. Rubin, A Technical, economic, and environmental assessment of amine-based CO₂ capture technology for power plant greenhouse gas control. *Environmental Science and Technology*, 2002. 36(20): p. 4467-4475.
- [12] Cotton, A., L. Gray, and W. Maas, Learnings from the Shell Peterhead CCS project front end engineering design. *Energy Procedia*, 2017. 114: p. 5663-5670.

- [13] Stéphenne, K., Start-up of world's first commercial post-combustion coal fired CCS project: contribution of Shell Cansolv to SaskPower Boundary Dam ICCS project. *Energy Procedia*, 2014. 63: p. 6106-6110.
- [14] Wang, Y., et al., A Review of post-combustion CO₂ capture technologies from coal-fired power plants. *Energy Procedia*, 2017. 114: p. 650-665.
- [15] Markewitz, P., et al., Worldwide innovations in the development of carbon capture technologies and the utilization of CO₂. *Energy and Environmental Science*, 2012. 5(6): p. 7281-7305.
- [16] Oexmann, J. Post-Combustion CO₂ Capture: Energetic Evaluation of Chemical Absorption Processes in Coal-Fired Steam Power Plants. Technische Universität Hamburg Harburg, 2011. 14. Astarita, G., D. W. Savage, and A. L. Bisio, *Gas Treating with Chemical Solvents*. 1983.
- [17] Astarita, G., D. W. Savage, and A. L. Bisio, *Gas Treating with Chemical Solvents*. 1983.
- [18] Maneeintr, K., et al., Physical and transport properties of aqueous amino alcohol solutions for CO₂ capture from flue gas streams. *Process Safety and Environmental Protection*, 2008. 86(4): p. 291-295.
- [19] Dubolis, L., and Thomas, D., Screening of aqueous amine-based solvents for postcombustion CO₂ capture by chemical absorption. *Chemical Engineering and Technology*, 2012. 35(3): p. 513-524.
- [20] Sema, T., et al., Correlations for equilibrium solubility of carbon dioxide in aqueous 4-(diethylamino)-2-butanol solutions. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2011. 50(24): p. 14008-14015.
- [21] Shen K., Li M., Solubility of Carbondioxide In Aqueous Mixtures of Monoethanolamine with Methyldiethanolamine. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 1992. 37: p. 96-100.
- [22] Liang, Z., et al., Review on current advances, future challenges and consideration issues for post-combustion CO₂ capture using amine-based absorbents. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2016. 24(2): p. 278-288.
- [23] AOAC international, AOAC Official Method 923.02 Carbon Dioxide (Total) in Baking Powders. Gasometric Determination, 1923.