ระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่

AN AIRBORNE CARBON DIOXIDE CAPTURE SYSTEM FOR GROWING PLANTS INSIDE MODERN GREENHOUSES

นายกฤติเดช พายุเลิศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่

กฤติเดช พายุเลิศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่

An Airborne Carbon Dioxide Capture System for Growing Plants Inside Modern Greenhouses

ชื่อ – นามสกุล นายกฤติเดช พายุเลิศ

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์, Ph.D.

ปีการศึกษา 2566

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์, D.Eng.)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์พรรษา ลิบลับ, Ph.D.)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เกรียงไกร แซมสีม่วง, Ph.D.)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์, Ph.D.)

คณะวิศกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภวสุปรีย์, Ph.D.)

วันที่.....เดือน..... พ.ศ. 2565

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่
ชื่อ – นามสกุล	นายกฤติเดช พายุเลิศ
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2566

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน ทั่วโลกปล่อยก๊าซเรือนกระจกกว่า 5 หมื่นล้านตัน/ปี โดยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศโลกสูงสุด และส่งผลต่อปัญหาการเกิดภาวะโลกร้อน แต่ก๊าซดังกล่าวก็มีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต เพราะเป็นสารตั้งต้นที่พืชใช้ผลิตอาหารโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ระบบดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับการเพาะปลูกเรือนกระจกสมัยใหม่ เป้าหมายคือการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพื่อนำไปใช้ในโรงเรือนสมัยใหม่เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร

ระบบการตึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศถูกออกแบบให้ดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลอยอยู่ในอากาศผ่านฟิลเตอร์ โดยสารเคมีที่ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตึงคาร์บอนไดออกไซด์ มี 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายไตรเอทาโนลามีน โมโนเอทาโนลามีน (MEA) และแคลเซียมคาร์บอเนต จากนั้นก็สกัดเอาแก๊สชนิดนี้ออกจากอากาศโดยให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 80 องศาเซลเซียส ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์

จากการทดสอบหลังจัดสร้างต้นแบบ ผลการทดสอบคือสามารถดักคาร์บอนไดออกไซด์ได้จริง โดยมีอัตราไหลของสารอยู่ที่ 7 ลิตรต่อชั่วโมง และสามารถดักได้เฉลี่ยประมาณ 1500 ppm ต่อลิตร คิดเป็นความสามารถในการทำงาน 66.45 ppm/นาที โดยสารละลายไตรเอทาโนลามีนมีอัตราการคายซับมากที่สุด

คำสำคัญ: การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ การคายซับ การอัดอากาศ

Thesis Title	An Airborne Carbon Dioxide Capture System for Growing Plants Inside Modern Greenhouses
Name-Surname	Mr. Krittidet payulert
Program	Agricultural Machinery Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Kiattisak Sangpradit, Ph.D.
Academic year	2023

ABSTRACT

Currently, the world emits more than 50 billion tons of greenhouse gases annually. Carbon dioxide (CO2) is the most voluminous greenhouse gas released into the earth's atmosphere, affecting the problem of global warming significantly. But carbon dioxide also plays an important role in the survival of living things because it is a precursor that plants use to produce food through the process of photosynthesis. Therefore, this research aimed to investigate the use of a carbon dioxide capture system for plant cultivation in modern greenhouses with the goal of reduce the amount of carbon dioxide in the air so that it can be used to increase agricultural productivity.

An airborne carbon dioxide capture system was designed to trap carbon dioxide floating in the air through a filter. 3 types of chemicals were used and the capture efficiency of carbon dioxide including solution of triethanolamine, monoethanolamine , and calcium carbonate was compared between them. The gas was then extracted from the air by heating it to a temperature of 80 ° C. This process turned carbon dioxide into pure carbon dioxide.

From testing after prototype creation, test results were that the airborne capture system was able to actually trap CO_2 with a flow rate of 7 liters per hour and could capture an average of approximately 1500 ppm per liter, equivalent to a working capacity of 66.45 ppm/minute, with triethanolamine solution having the highest desorption rate.

Keywords: airborne carbon dioxide capture, desorption, air compression

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาและปรารถนาดีเป็นอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำ และติดตามการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งรองศาสตราจารย์รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรษา ลิบลับ และรองศาสตราจารย์เกรียงไกร แซมสีม่วง ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านวิศวกรรมให้กับผู้วิจัย อีกทั้งช่วยให้คำแนะนำในการนำเนื้อหาทางด้านวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย และช่วยติดตามการดำเนินการทดสอบ ขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ ร่วมชั้นในระดับปริญญาโท ที่ร่วมเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนประสบความสำเร็จอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุก ๆ คนในครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยดูแลให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ และเป็นกำลังใจที่ดี ที่ผ่านมา รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ตั้งแต่เริ่มโครงการจนเสร็จสิ้นโครงการวิจัย

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรหรือผู้ที่สนใจทั่วไป ส่วนข้อบกพร่อง ผู้วิจัยขอน้อมรับด้วยความยินดีเป็นอย่างยิ่ง

กฤติเดช พายุเลิศ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... (3)

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... (4)

กิตติกรรมประกาศ..... (5)

สารบัญ..... (6)

สารบัญตาราง..... (8)

สารบัญรูป..... (9)

บทที่ 1 บทนำ..... 11

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... 11

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 12

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 12

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 12

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 13

2.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนไดออกไซด์..... 13

2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงของพืช..... 15

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 21

2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 30

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 38

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ..... 38

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 43

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์..... 47

4.1 ผลการดำเนินงาน..... 47

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง..... 57

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 58

5.1 สรุป 58

5.2 ข้อเสนอแนะ 58

บรรณานุกรม 60

ภาคผนวก 64

ภาคผนวก ก ตารางผลการทดสอบ 65

ภาคผนวก ข การเขียนแบบทางวิศวกรรม 70

ภาคผนวก ค การเผยแพร่ผลงาน 80

ประวัติผู้เขียน 83

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบผลผลิตในโรงเรือนที่มีการควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์..... 20
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบผลผลิตในโรงเรือนที่มีการควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์..... 44
ตารางที่ 4.1 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกล่องดัก เมื่อเปิดใช้งานระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ที่สภาพแวดล้อมมีคาร์บอนไดออกไซด์ 226.10 ppm..... 51
ตารางที่ 4.2 ปริมาณการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ของสารละลายไตรเอทาโนลามีนที่ผ่านระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ..... 52
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ..... 53
ตารางที่ 4.4 รายการค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ..... 54
ตารางที่ ก.1 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกล่องดัก เมื่อเปิดใช้งานระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ที่สภาพแวดล้อมมีคาร์บอนไดออกไซด์ 226.10 ppm..... 66
ตารางที่ ก.2 ปริมาณการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ของสารละลายไตรเอทาโนลามีนที่ผ่านระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ 67
ตารางที่ ก.3 ความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ..... 68
ตารางที่ ก.4 การเปรียบเทียบผลผลิตในโรงเรือนที่มีการควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์..... 69

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 กราฟแสดงปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์..... 14
รูปที่ 2.2 กระบวนการสังเคราะห์แสง..... 15
รูปที่ 2.3 ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง..... 17
รูปที่ 2.4 ปัจจัยต่างที่ส่งผลต่อการเติบโตของพืช..... 18
รูปที่ 2.5 ผลการทดลองของ JEAN BAPTISTA VAN HELMONT..... 19
รูปที่ 2.6 กระบวนการดักจับคาร์บอนไดออกไซค์..... 22
รูปที่ 2.7 รูปแบบของกระบวนการแยกหลักที่เกี่ยวข้องกับการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์..... 24
รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และเอมีนในภาวะที่ไม่มีน้ำ..... 26
รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และเอมีนตติยภูมิในภาวะที่มีน้ำ..... 27
รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ และเอมีนปฐมภูมิหรือ
เอมีนทุติยภูมิในภาวะที่มีน้ำ..... 27
รูปที่ 2.11 การเตรียมตัวดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยึดติดด้วยเอมีนในรูปแบบ ต่าง ๆ..... 28
รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของเครื่อง DAC (DIRECT AIR CAPTURE)..... 34
รูปที่ 2.13 วัฏจักการใช้ความร้อนและคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่อง DAC..... 34
รูปที่ 2.14 เครื่อง DAC (DIRECT AIR CAPTURE)..... 35
รูปที่ 2.15 การติดตั้งอุปกรณ์เสริมสร้างการเจริญเติบโตของพืชผักในโรงเรือน..... 36
รูปที่ 2.16 เครื่องเสริมสร้างการเจริญเติบโตของพืชผัก..... 36
รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบระบบตึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับปลูกพืชในโรงเรือน..... 38
รูปที่ 3.2 ส่วนโครงสร้าง..... 39
รูปที่ 3.3 กล่องดักคาร์บอนไดออกไซด์..... 40
รูปที่ 3.4 ถาดปล่อยสาร..... 40
รูปที่ 3.5 แผงดักคาร์บอนไดออกไซด์..... 41
รูปที่ 3.6 ถังเก็บสาร..... 42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1 ปริมาณการคายซับคาร์บอนไดออกไซค์ของสารแต่ละชนิด..... 48
รูปที่ 4.2 ระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ..... 49
รูปที่ 4.3 แผงดักคาร์บอนไดออกไซด์..... 49
รูปที่ 4.4 โมดูลเซ็นเซอร์ MQ-135..... 50
รูปที่ 4.5 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่กำลังเพิ่มขึ้นในการทดสอบ 51

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในช่วงตลอดระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาหลายประเทศเริ่มหันกลับมาให้ความสำคัญ กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นในหลายด้าน ทั้งนี้เพื่อแก้ไขปัญหาโลกร้อนที่นับวันจะมีแต่ร้ายแรงขึ้นทุกขณะ มีการศึกษาและวิจัยมากมายเพื่อหาวิธีลดปริมาณการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศให้มากที่สุด รวมถึงการนำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผสมอยู่ในอากาศกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้งในอุสาหกรรมด้านต่าง ๆ มากมาย ซึ่งรวมไปถึงอุสาหกรรมด้านการเกษตร

โดยหนึ่งในประโยชน์สำคัญของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์คือเป็นปัจจัยหลักในการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารของพืชนั้นจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เลยหากปราศจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์[1] ที่ปะปนอยู่ในอากาศ หากแต่ด้วยความบริสุทธิ์ที่ต่ำ ประกอบกับสัดส่วนที่น้อยเพียงประมาณ 0.03% ในอากาศ[2] จึงทำให้ไม่เพียงพอสำหรับพืชบางชนิด ทำให้พืชมีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้าลง และมีผลให้ได้ผลผลิตที่น้อยกว่าที่ควรจะเป็น หรืออาจให้ผลผลิตที่ไม่สมบูรณ์ได้

ปัจจุบันเริ่มมีการนำแนวคิดในการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้ามาใช้ในโรงงานอุสาหกรรมหลายแห่งด้วยเครื่องจักรขนาดใหญ่ เพื่อเก็บสะสมและกรองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้บริสุทธิ์ เพื่อนำไปขายให้แก่แหล่งที่ต้องการ เช่น แหล่งเกษตรกรรม ที่ต้องการปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง หากแต่ด้วยต้นทุนและเครื่องจักรที่ใช้ในอุสาหกรรมขนาดใหญ่ก็ยังคงมีต้นทุนที่สูงและมากเกินความจำเป็นที่เกษตรกรทั่วไปจะสามารถจับต้องและนำมาใช้ได้จริงอยู่ดี

ทั้งนี้จากการศึกษาสภาพปัญหา ผลกระทบ และความเป็นไปได้ต่าง ๆ ทำให้ทางผู้จัดทำเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อนำมาใช้ในโรงเรือนสมัยใหม่เพื่อช่วยเร่งการสังเคราะห์แสงของพืช ให้มีความสมบูรณ์และมีความเร็วในการเจริญเติบโตมากขึ้น และยังเป็นการเพิ่มแนวทางการลดปัญหาคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่กำลังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคตอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ สำหรับใช้ในการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่

1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของพืชในการสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโต

1.2.3 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรึงและคายซับคาร์บอนไดออกไซด์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบสร้างและพัฒนาระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ โดยใช้สารเคมีเป็นซับในการดักคาร์บอนไดออกไซด์ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารละลายที่ใช้เป็นซับในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายไตรเอทาโนลามีน โมโนเอทาโนลามีน และแคลเซียมคาร์บอเนตใช้ความร้อนในการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อนำไปใช้ภายในโรงเรือนสมัยใหม่

1.3.2 ศึกษาการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของพืชในการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต โดยเลือกศึกษาจากพืชที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นที่ต้องการของตลาด สามารถเพาะปลูกในโรงเรือนได้ เป็นต้น

1.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ โดยใช้ปัจจัยในการทดสอบ คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถตรึงไว้ได้ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ที่ได้หลังผ่านกระบวนการคายซับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ สำหรับใช้ในการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่

1.4.2 ทราบปริมาณการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ส่งผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโตของพืช

1.4.3 ทราบประสิทธิภาพในการตรึงและคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ของสารเคมีที่ใช้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเพื่อทำการออกแบบและสร้างระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศสำหรับใช้ในการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่ และประเมินประสิทธิภาพ ของระบบนั้น มีทฤษฎีต่าง ๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ และหาแนวทางในการนำมาพัฒนาเพื่อปรับใช้กับงานวิจัย ดังนี้

2.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนไดออกไซด์

2.2 ทฤษฎีการสังเคราะห์แสงของพืช

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide), CO_2เป็นหนึ่งในแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse gases) เป็นส่วนประกอบของอากาศตามธรรมชาติ เนื่องจากมีปริมาณน้อยจึงไม่เป็นอันตรายต่อร่างการ หากร่างกายได้รับอากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์เข้มข้นสูง จะทำให้รู้สึกไม่สะบายตัวทั้ง จมูกและคอ เกิดจากสาเหตุ เมือกของอวัยวะ ไม่ละลายกับแก๊ส ซึ่งก่อให้เกิดกรดคาร์บอนิกอย่างอ่อนได้

คาร์บอนไดออกไซด์มีความหนาแน่น 1.98 kg/m3 หรือเป็นประมาณ 1.6 เท่าของอากาศ โมเลกุลประกอบด้วยพันธะคู่ 2 พันธะ (O=C=O) หรือ CO_2 น้ำหนักโมเลกุล 44.01 [1] มีคุณสมบัติไม่ติดไฟและไม่ทำปฏิกิริยา

คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในสถานะของแข็ง เรียกว่า คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง หรือ solid carbon dioxide ได้จากการเพิ่มความดัน ผ่านกระบวนการอัด จากนั้นทำให้เย็นตัวลงภายใต้ความดันสูง ก็จะได้คาร์บอนไดออกไซด์เหลว เมื่อทำการลดความดันลงอย่างรวดเร็ว ด้วยวิธีปล่อยออกสู่ความดันบรรยากาศ จะได้เป็นเกล็ดน้ำแข็งมีลักษณะคล้ายเกล็ดหิมะ จากนั้นจึงทำการเก็บตามรูปทรงภาชนะ [1] มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ที่อุณหภูมิ -78 องศาเซลเซียส (จะไม่ผ่านการเป็นสถานะของเหลว) กรณีที่ต้องการคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสถานะของเหลว ต้องประยุกต์กับความดันไม่น้อยกว่า 5 บรรยากาศ เมื่อมีสถานะของเหลว คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งคือคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำได้ร้อยละ 1 ของสารละลาย มักจะกลายเป็นกรดคาร์บอนิก แล้วเปลี่ยนรูปเป็นไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนต

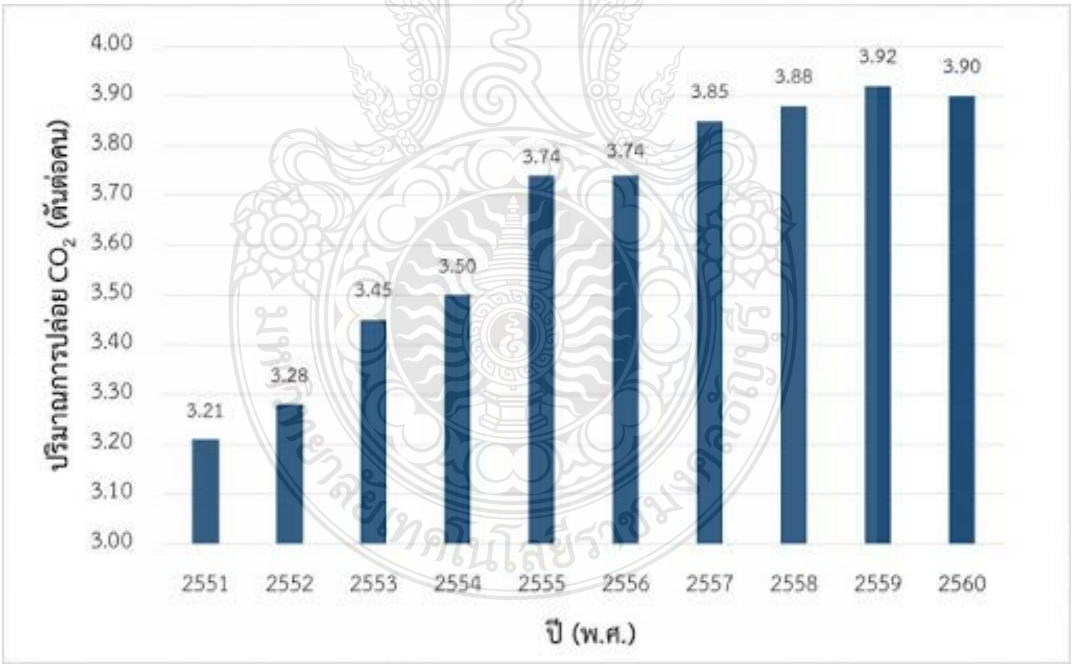
2.1.1 วิธีการทดสอบอากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบทำได้ ดังนี้

2.1.1.1. ใช้เทียนที่ติดไฟอยู่ ใส่เข้าไปในกล่องทดลองที่มีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ ถ้าพบว่าเทียนดับทันทีหรือค่อยๆหรี่ ขึ้นกับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ จากคุณสมบัติที่ไม่ช่วยในการติดไฟ จึงมีการประยุกต์นำมาใช้เป็นแก๊สดับเพลิง

2.1.1.2. ใช้น้ำปูนใส (แคลเซียมไฮดรอกไซด์) เป็นตัวกลาง เมื่อให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไปผ่านในน้ำปูนใส พบว่าน้ำปูนใสจะมีสภาพขุ่น ทั้งนี้เปลี่ยนสภาพเป็นแคลเซียมคาบอเนต

2.1.2 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม เนื่องจากคุณสมบัติหนึ่งคือเป็นแก๊สที่ทำหน้าที่บังรัสมีความร้อนไม่ให้ออกสู่ชั้นบรรยากาศ เมื่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถูกผลิตสูงขึ้น (ดูกราฟในรูปที่ 2.1) จึงมีผลต่ออุณหภูมิบนโลก สถานการณ์ปัจจุบัน พบว่าอัตราเพิ่มของคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างสูง ซึ่งส่วนใหญ่จากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้ชีวิตประจำวัน การขนส่ง โรงงานอุตสาหกรรม จากกระบวนการผลิตไฟฟ้า การใช้น้ำมันในยานพาหนะต่าง ๆ รวมทั้งเกิดจากกระบวนการในธรรมชาติ เช่น การหายใจของสิ่งมีชีวิต เป็นต้น



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคนสู่บรรยากาศ [2]

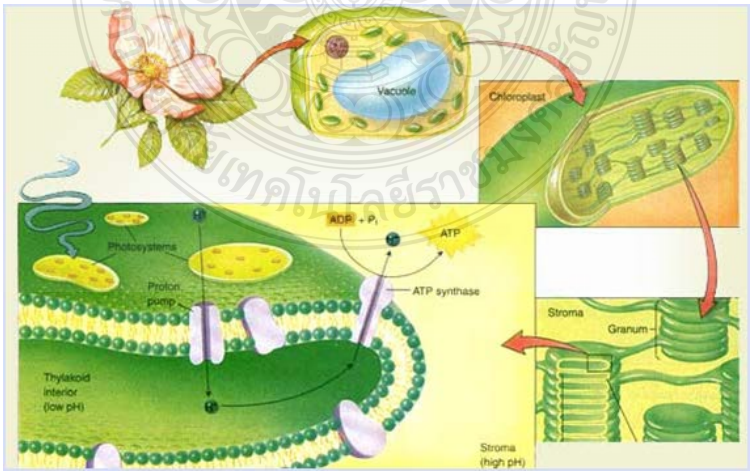
2.1.3 ความสำคัญของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ คือ เป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการสังเคราะห์แสง หรือการสร้างอาหารของพืช (photosynthesis) และยังมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์กับงานหลากหลายในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น การทำน้ำแข็งแห้ง การทำก๊าซเหลวในอุปกรณ์หล่อเย็นบางชนิด ใช้ในการทำสารดับเพลิง ใช้ในระดับอุตสาหกรรมอีกหลายอย่าง เช่น โรงงานที่ผลิตเกี่ยวกับวัสดุโฟม อุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก อุตสาหกรรมการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม เช่น โซดา น้ำอัดลม ฯลฯ อุตสาหกรรมการผลิตยา และเครื่องมือแพทย์ รวมทั้ง การเปลี่ยนสถานะให้เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการผลิตคอนกรีต เป็นต้น

2.2 ทฤษฎีการสังเคราะห์แสงของพืช

2.2.1 หลักการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis)

หลักการสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการสำคัญของพืชสีเขียว ซึ่งมีขบวนการดูดกลืนแสงของพวกคลอโรฟิลล์เป็นตัวนำพลังงานแสงเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีมาใช้ในการสร้างอาหารจากโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำที่เป็นส่วนสำคัญ ทำให้ได้รับคาร์โบไฮเดรตคือน้ำตาลหรือแป้ง และปลดปล่อยออกซิเจนออกมา โดยประกอบปัจจัย 2 อย่าง คือสำหรับความหมายของคุณภาพชีวิตการทำงานนั้นได้นักวิชาการหลายท่านได้ให้ความหมายไว้ดังนี้

2.2.1.1 ประเภทของพืช หมายถึง ชนิดของพืช สีของพืช หรือสภาพทางสรีรวิทยาของพืชเอง ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงต่างกัน ถ้าเป็นใบอ่อนหรือแก่เกินไป การสังเคราะห์แสงต่ำ (เนื่องจากคลอโรฟิลล์ยังไม่เต็มที่ในใบที่อ่อน และการลดลงของขบวนการดูดกลืนแสงในใบที่แก่เกินไป) รวมทั้งการสูญเสียโครงสร้างที่สำคัญของใบ ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง



รูปที่ 2.2 กระบวนการการสังเคราะห์แสง [3]

2.2.1.2 สภาพแวดล้อม มีหลายปัจจัย ได้แก่

ปริมาณของแสง เนื่องจากการใช้พลังงานจากแสงมาสร้างเป็นอาหาร และเก็บสะสมพลังงานในรูปอาหารที่สร้างขึ้น พลังงานธรรมชาติ คือพลังงานจากแสงแดด และแสงจากไฟฟ้าซึ่งสามารถเลือกใช้แสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ที่เหมาะสมได้ในห้องปลูกพืช พืชแต่ละชนิดมีความต้องการความเข้มของแสงไม่เท่ากัน ต้องมีความเหมาะสมกับพืชนั้นๆ เพื่อให้พืชสามารถปรับอัตราการหายใจและเจริญเติบโตได้ดี

อุณหภูมิ มีความเหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดไม่เท่ากับ ซึ่งช่วงอุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ต่างกัน คือ 5-40 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ในปฏิกิริยา

ปริมาณความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มสูงขึ้น จะมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว

ธาตุอาหาร มีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ แมกนีเซียมและไนโตรเจน ซึ่งเป็นธาตุสำคัญในองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ อาการที่พืชขาดสารนี้ ทำให้พืชใบเหลืองซีด เรียกว่า คลอโรซิส

น้ำ เป็นปัจจัยหนึ่งที่พืชต้องการในการสังเคราะห์แสง เนื่องจากเป็นแหล่งของอิเล็กตรอน พืชขาดน้ำอัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง และมีผลต่อการปิดเปิดของปากใบ ทำให้การแพร่กระจายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในใบไม่ปกติ คือถ้าสภาพพืชที่ขาดน้ำปากใบจะปิดเพื่อลดการคายน้ำ ทำให้ขาดแคลนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง

2.2.2 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthetic Process)

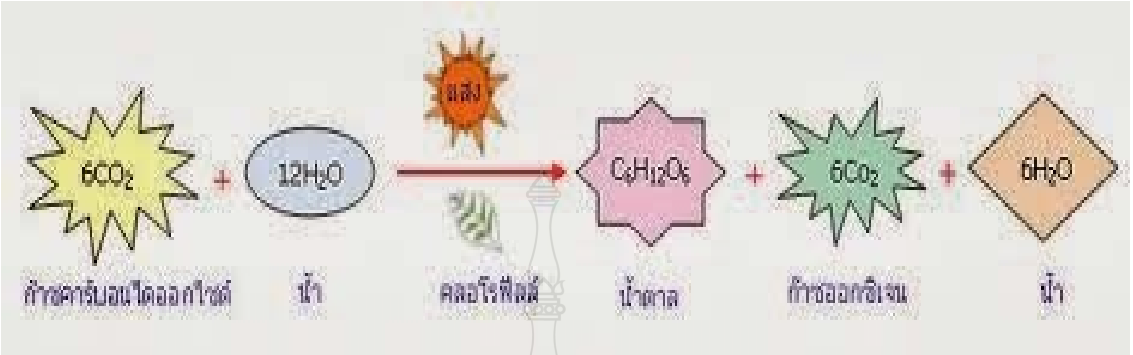
กระบวนการสังเคราะห์ของพืชคือการใช้พลังงานแสงเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี โดยมีน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบตั้งต้น ปฏิกิริยาของการสังเคราะห์แสงเขียนอธิบายสรุปได้ดังนี้

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow{\text{แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

คาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ ===> น้ำตาล + น้ำ + ออกซิเจน

ผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช คือออกซิเจนและ คาร์โบไฮเดรตเป็นน้ำตาลในพืช ประกอบด้วย คาร์บอน 6 อะตอม (กลูโคส กับน้ำ) และพลังงานที่สะสมในรูปสารประกอบ

อินทรีย์ เป็นประโยชน์สำหรับสิ่งมีชีวิตทั้งหลายในกระบวนการเมแทบอลิซึม เพื่อสร้างสารประกอบอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถสร้างอาหารได้เอง



รูปที่ 2.3 ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง [3]

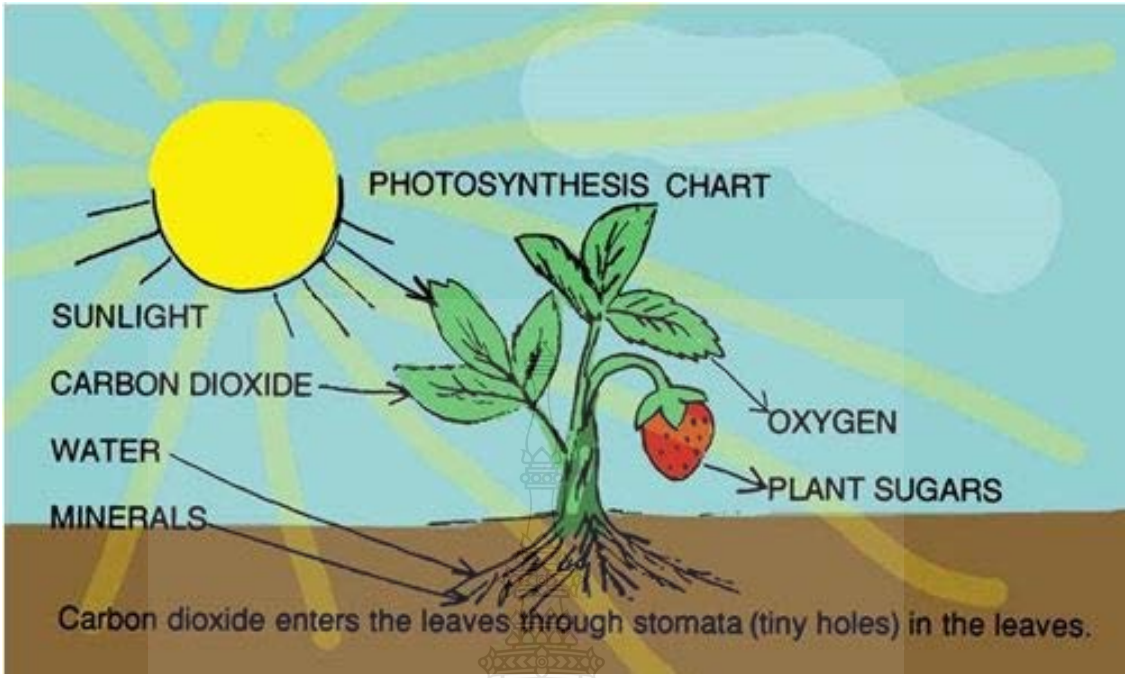
2.2.3 ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสังเคราะห์แสงของพืช

ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (ที่เพิ่มขึ้นจากระดับปกติที่มีในอากาศ) มีผลเพิ่มขึ้นของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (จนถึงระดับหนึ่ง) หากพืชได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าระดับการคายน้ำของพืชเป็นเวลานาน จะส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดต่ำลงได้

อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นอีกด้วย เช่น ความเข้มของแสง อุณหภูมิของอากาศ เป็นต้น

การปลูกพืชบางชนิดไว้ในเรือนกระจกที่แสงผ่านเข้าได้มาก แล้วให้คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่ม ซึ่งมีผลทำกระบวนการสังเคราะห์แสงมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย พืชจึงเจริญเติบโต ออกดอกผลผลิตได้เร็ว และยังออกดอกออกผลนอกฤดูกาลได้

เทคนิคที่ทำให้พืชที่ปลูกเจริญงอกงามดี โดยให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดีนั้น ต้องพัฒนาปัจจัยต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสังเคราะห์ของพืช ทำให้ต้นพืชแข็งแรง เติบโต มีความสมบูรณ์



รูปที่ 2.4 ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเติบโตของพืช[3]

การปรับปรุงปัจจัยเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการสังเคราะห์แสง มี ดังนี้

น้ำ ต้องมีการให้น้ำในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นตัวทำละลายแร่ธาตุ และนำพาสารอาหารส่งไปที่ใบพืช และส่วนต่าง ๆ ของพืช เพื่อสร้างส่วนที่เป็น ราก ลำต้น กิ่งก้าน ใบ ดอก และผลผลิต

ดิน เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำหน้าที่ยึดเกาะและพยุงลำต้นพืช ทำให้พืชมีลำต้นมั่นคง และเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารของพืช

แสงแดด เป็นปัจจัยสำคัญ คือเป็นแหล่งพลังงานที่ทำให้พืชสร้าง สะสมอาหารไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ปริมาณแดงแดดมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งผลผลิตที่ได้ ปกติพืชได้รับแสงแดดในเวลากลางวันได้ไม่เกิน 12 ชั่วโมง

ปัจจัยการเพิ่มประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง เช่น เพิ่มปริมาณใบหรือขนาดของใบพืช เพื่อพื้นผิวรับแสงแดด ซึ่งเป็นข้อจำกัดของพืชแต่ละชนิด ดังนั้น จึงควรพิจารณาที่ การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่พืชต้องใช้ในการสังเคราะห์แสง

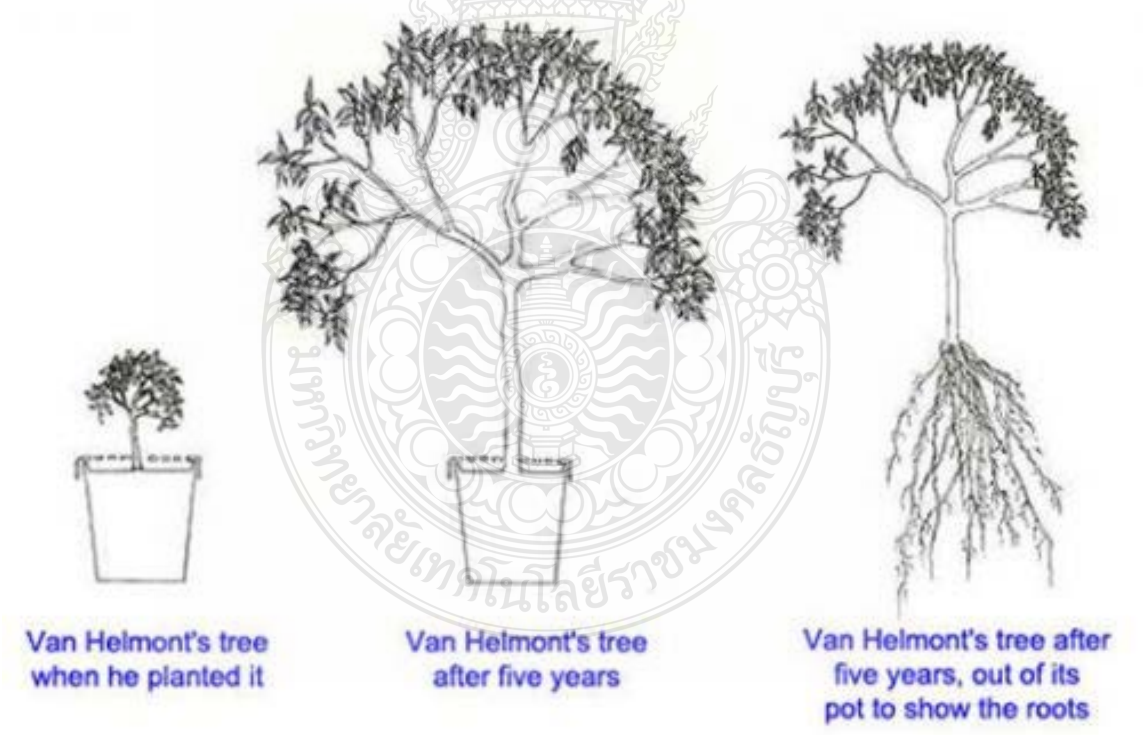
แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง

ในเมื่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยหนึ่ง ในการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางชีวเคมี เป็นการรวบรวม น้ำ วัตถุดิบ (แร่ธาตุ ปุ๋ย) ต่างๆ โดยมีแสงเป็นพลังงานใน

กระบวนการปรุงเป็นอาหาร (น้ำตาลและแป้ง) และหล่อเลี้ยง ส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช ส่วน

คาร์บอนไดออกไซด์ เสมือนเป็นวัตถุดิบหนึ่ง เพราะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกแยกเอาคาร์บอนออกมารวมกับสารตัวอื่นเพื่อสร้างตัวเป็นอาหารจำพวกแป้งและน้ำตาล และได้ออกซิเจนและน้ำ เมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูง พืชก็เจริญได้เร็วมากขึ้น อาจจะดูตัวอย่างการเจริญเติบโตของพืช บริเวณที่มีการเผาขยะเกิดควันไฟ หรือต้นไม้ที่อยู่ตามเกาะกลางถนนที่มีรถยนต์หนาแน่น เป็นต้น

Jean Baptista van Helmont [4] ได้ทดลองเพื่อดูการเจริญเติบโตของต้นไม้ที่เติบโตโดยการแปรผันสารในดินในการสร้างการเจริญเติบโตเป็นไม้ต้นใหญ่ ด้วยการปลูกต้น poplar (หยางหลิ่ว) น้ำหนักเริ่ม 5 ปอนด์ ในกระถาง 200 ปอนด์ ใช้เวลา 5 ปี ต้น poplar เจริญขึ้น แล้วบนำช่างหาน้ำหนักพบว่าน้ำหนักของดินคงใกล้เคียเดิมขาดไป 2 ปอนด์ แสดงว่า ต้น poplar ใช้สารในดิน (แร่ธาตุ) 2 ปอนด์ ได้น้ำหนักเพิ่มขึ้น 164 ปอนด์ แสดงว่า ต้นพืชไม่ได้ต้องใช้ปุ๋ยในปริมาณมากในการสร้างความเจริญเติบโตและผลผลิต



รูปที่ 2.5 อธิบายการทดลองของ Jean Baptista van Helmont [4]

สามารถอธิบายไดโดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมาจากน้ำ (เพราะพืชประกอบไปด้วยน้ำ 60 ถึง 90%) และระบบการทำงานสังเคราะห์แสง และพบว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชดูดซับเข้าไป แปรคาร์บอน (C) เป็นตัวตนของต้นพืช (สารอินทรีย์ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน)

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบผลผลิตในโรงเรือนที่มีการควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ [4]

พืช	ความเข้มข้น CO_2ที่เหมาะสม (ppm)	ผลลัพธ์
แตงร้าน	1500 - 2000	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 20-35 %
มะเขือ	1000 – 1500	ผลผลิตเพิ่มมากมาย แก่ – เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น 7-14 วัน
กล่ำปลี	800-1200	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 30 % คุณภาพดีมากเก็บเกี่ยวเร็วขึ้น 7- 14 วัน
ผักกาดหอม	1000-1500	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 30-40 % เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น
พริก	700-1200	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 25-30 % เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น
มะเขือเทศ	1000	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 30 %
คะน้า	800-1000	เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น
สตรอเบอร์รี่	1000-1500	ผลผลิตเพิ่มขึ้นมากเก็บเกี่ยวเร็วขึ้น 7 – 14 วัน
แคนตาลูป	800-100	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 15 % คุณภาพดีมาก

จากตารางที่ 2.1 ได้จากผลการทดลองเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ คาร์บอนไดออกไซด์ให้หนาแน่นภายในโรงเรือนเพาะปลูกในประเทศจีนด้วยเครื่องผลิตปุ๋ยคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าพืชที่ปลูกเติบโตเร็วขึ้น 30% - 40% และสามารถลดระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวได้เร็วขึ้น

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 กระบวนการดักจับและการกักเก็บคาร์บอน (Carbon capture and storage)

กระบวนการดักจับและการกักเก็บคาร์บอน (CCS) หรือ การดักจับและการคัดแยกคาร์บอน (Carbon capture and sequestration) เป็นกระบวนการในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ จากแหล่งกำเนิดอุสาหกรรม เช่น โรงไฟฟ้าที่เชื้อเพลิงฟอสซิล การคมนาคม อุตสาหกรรมและกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน เป็นต้น โดยมีจุดมุ่งหมายคือการป้องกันหรือลดการปลดปล่อย . คาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากสู่ชั้นบรรยากาศ อันก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ หรือที่รู้จักกันดีคือภาวะโลกร้อน[4] และลดความเป็นกรดของมหาสมุทร[5]

การกักเก็บ คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแนวคิดที่ค่อนข้างใหม่ ปรากฏในเชิงพาณิชย์ครั้งแรกเป็นของเวย์เบอร์น เมื่อปี ค.ศ. 2000[6] และที่อื่น ๆ ได้แก่ เขื่อนในเขตแดนของซาซค์พาวเวอร์ (SaskPower's Boundary Dam) และซึ่งเป็นโครงการเคมเปอร์พลังงานมิสซิสซิปปี (Mississippi Power's Kemper Project Kemper) นอกจากนี้กระบวนการดักจับและการกักเก็บคาร์บอนยังสามารถนำมาใช้อธิบายการแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากอากาศที่เป็น เทคนิควิศวกรรมสภาพภูมิอากาศ

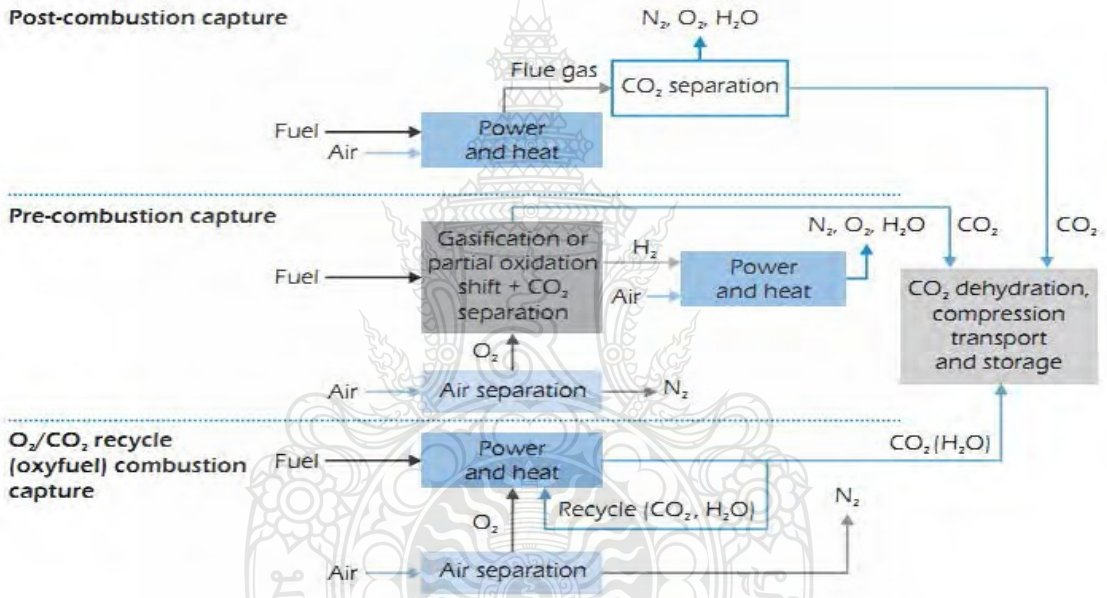
การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ถูกคาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นทั้งในทางธรณีวิทยา หรือในรูปแบบของแร่คาร์บอเนต การกักเก็บในทะเลลึกยังถือว่าเป็นไปได้แค่เพียงระยะสั้น เพราะเป็นการเพิ่มปัญหาอย่างมากที่ก่อให้เกิดความเป็นกรดของมหาสมุทร[7] ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ (The National Energy Technology Laboratory หรือ NETL) รายงานว่า อเมริกาเหนือมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากพอสำหรับระยะเวลา 500 ปี ด้วยกำลังการผลิตในปัจจุบัน[8] ปัญหาคือ อนาคตความปลอดภัยในการกักเก็บใต้น้ำหรือใต้ดินเป็นสิ่งที่บอกได้ยาก และไม่แน่นอน ทั้งยังมีความเสี่ยงที่อาจเกิดการรั่วไหลของคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ[9]

2.3.2 ประเด็นสำคัญของการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์

กระบวนการดักจับและการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide capture and storage หรือ CCS) สามารถนำไปใช้กับอุสาหกรรมและโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวล (Fossil fuelled power plants) อุตสาหกรรม ในการผลิตเชื้อเพลิง และในส่วนของการเปลี่ยนรูป (Transformation sectors) ซึ่งการลดค่าใช้จ่ายในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการนำไปใช้งาน ซึ่งการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์จากการแยกแก๊สธรรมชาติ การผลิตเอทานอล และการผลิตปุ๋ย มีความเป็นไปได้ที่จะมีต้นทุนต่ำกว่ากระบวนการดักจับจากโรงไฟฟ้า การผลิตไฮโดรเจน และกระบวนการเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงอื่น ๆ ซึ่งเป็นที่น่าสนใจสำหรับกระบวนการดักจับและการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ในปัจจุบัน

2.3.3 การดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าและความร้อน (CO2 Capture in Electricity and Heat Generation)

การดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ประกอบด้วย 3 อย่างที่เป็นเทคโนโลยีการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ในการผลิตไฟฟ้าและความร้อน คือ การเผาไหม้หลัง (Post-combustion) ดักจับโดยใช้กระบวนการดูดซึมทางเคมี (Chemical absorption) การเผาไหม้ก่อน (Pre-combustion) และกระบวนการเผาไหม้ในออกซิเจน (Oxyfuel combustion หรือ denitrogenation) (ดูรูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 กระบวนการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์[10]

ในกระบวนการเผาไหม้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ประมาณ 4 – 8 % โดยปริมาตร สำหรับโรงไฟฟ้าเผาไหม้แก๊สธรรมชาติ (Natural gas-fired power plants) และ12 – 15 % โดยปริมาตร สำหรับโรงไฟฟ้าเผาไหม้ถ่านหิน (Coal-fired power plants) โดยทั่วไปแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งในบางครั้งก็ใช้ร่วมกับการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน (Membrane separation) ใช้เทคโนโลยีเบื้องต้น ใช้ตัวสารเคมีกลุ่มเอมีนได้ถูกนำมาเข้าขั้นตอนของ กิจกรรมอุตสาหกรรมบ้างแล้วแต่ก็ยังใช้ได้ แต่ความท้าทายคือการนำกลับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้พลังงานขั้นต่ำและต้นทุนในการดำเนินงานที่มีค่อนข้างสูง

การประยุกต์การดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับ กระบวนการเผาไหม้ สามารถนำมาใช้ในโรงงานถ่านหินหรือ แก๊สธรรมชาติ โดยเชื้อเพลิง จะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนหรือไอน้ำก่อน แล้วดำเนินการต่อไปในเครื่องปฏิกรณ์ ชิฟต์ (Shift reactor) เพื่อผลิตแก๊สผสมอยู่ในช่วง แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และ จับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ออกจาก สิ่งที่มีความดันสูง (สูงถึง 80 บาร์) ที่มีปริมาณ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อยู่ช่วง 15 % และ 40 % ส่วนแก๊สไฮโดรเจนถูกนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าและเพิ่มของอุณหภูมิในกังหันแก๊สวัฏจักรรวม (Combined- cycle gas turbine)

กระบวนการเผาไหม้ใน ออกซิเจนจะเกี่ยวข้องกับการแยกแก๊ส ไนโตรเจนออกจากอากาศในกระแสสารที่มีแก๊สออกซิเจนส่วนประกอบ โดย หลักในการแยกอากาศ (Air separation unit หรือ ASU) เชื้อเพลิงชีวมวลจะถูกเผาไหม้กับแก๊สออกซิเจนที่ความเข้มข้นใกล้บริสุทธิ์โดย ใช้แก๊สความร้อนมีโอกาศสลับใหม่ได้ (Recycled flue gas) ในการจำกัดความร้อน ของให้ความร้อน

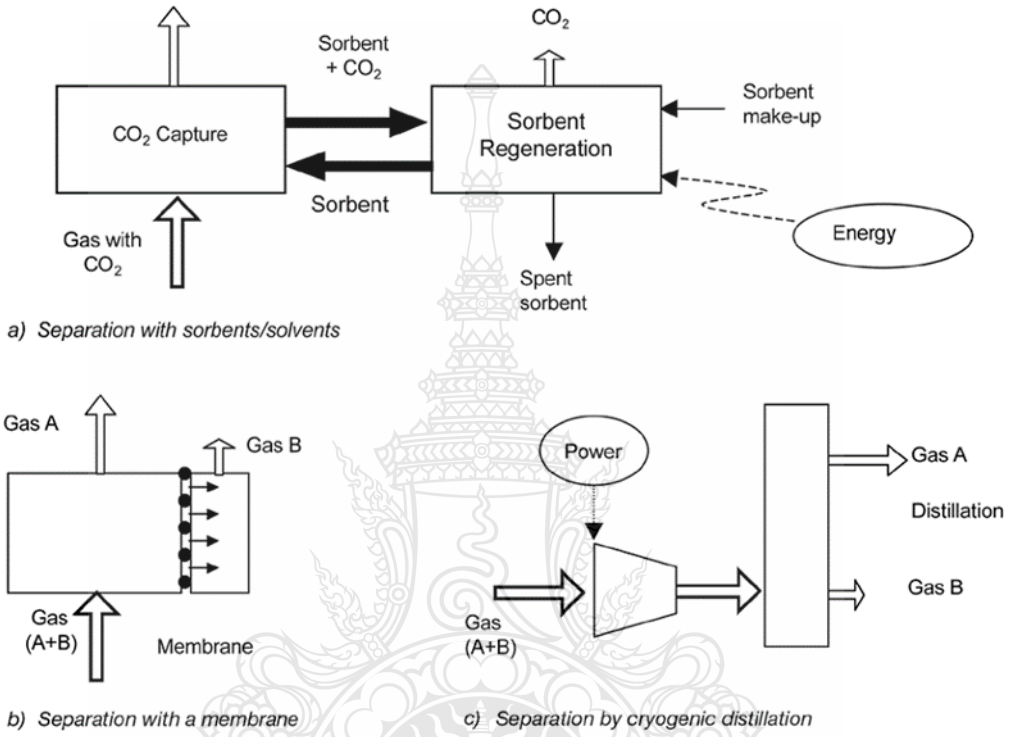
2.3.4 ประเภทของเทคโนโลยีการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

การพัฒนาวิธีการเพื่อดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นั้นใช้หลายเทคโนโลยีที่เป็นที่รู้จักกันสำหรับการแยกแก๊ส ประกอบด้วยเทคโนโลยีประเภทต่างๆ ดังนี้

2.3.4.1 การแยกด้วย ตัวดูดซับ/ตัวทำละลาย (Separation with sorbents /solvents)

การแยกทำได้โดยการผ่านแก๊สที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านของเหลวหรือ วัสดุชนิดใดชนิดหนึ่งที่มีความาสามารถในการจับ คาร์บอนไดออกไซด์ได้ รูปที่ 7a แสดงผังโดย ขั้นตอนการแยกตัวจับ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีการนำพาไปภาชนะที่แตกต่างกัน และลดอุณหภูมิของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในขั้นตอนของการฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) หลังจากขั้นตอนการฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในคล้ายกับสลับกันและกัน เช่นด้วยกัน วัสดุชนิดใดชนิดหนึ่งที่มี การตัวดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จะไม่สลับกันและกัน ไม่หมุนเวียน เนื่องจากการดูดซับและการฟื้นฟูสภาพทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงแบบวงจร บริเวณที่มีการดูดซับ และ ดูดซับใหม่เข้ามาเสมอเพื่อชดเชยออกไซด์ของแข็งทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงชีวมวลในภาชนะ ได้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ข้อจำกัด และหลักการในการดูดซับจะถูกนำมามาใช้ใหม่อีกครั้งและส่งต่อเข้าสู่กระบวนการกับตัวดูดซับใหม่บางส่วนเติมเพิ่มมา แผนผังแสดงใน รูปที่ 2.7 มีปัจจัยที่มี ผลต่อระบบการดักจับ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สำคัญมาก และเป็นตัวเลือกแรกๆ ในเชิงการค้า เช่น กระบวนการดูดซึมทางเคมี กระบวนการดูดซึมทางกายภาพ และการกระบวนการดูดซับ กระบวนการที่เกิดขึ้นใหม่อื่น ๆ ที่ใช้ตัวดูดซับของเหลวใหม่หรือตัวดูดซับของแข็งใหม่ 2.7 a นั้นรุนแรง เพื่อให้สนองกับสิ่งที่ต้องดำเนินการ กับการไหลที่มากขึ้นของแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดำเนินการในโรงไฟฟ้า ดังนั้นจำนวนวัสดุและต้นทุนที่

ต้องใช้ในการฟื้นสภาพตัวดูดซับต้องเหมาะสม กับจำนวนที่มาดูดซับซึ่งจะทำให้ต้นทุนที่สูงขึ้น และยังมีต้นทุนเพิ่มขึ้นที่เกี่ยวข้องกับการซื้อตัวดูดซับและการกำจัดสารพิษหรือวัสดุที่คงเหลือค้างของตัวดูดซับที่ใช้แล้ว ประสิทธิภาพการทำงานของตัวดูดซับที่ดีภายใต้สภาวะที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงในหลายรอบซ้ำ ๆ เป็นสภาวะที่จำเป็นในระบบการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 2.7 รูปแบบทั่วไปของกระบวนการแยกหลักที่เกี่ยวข้องกับ การดักจับแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ [11]

รูปที่ 2.7 แสดงถึงรูปแบบทั่วไปของกระบวนการแยกหลักที่เกี่ยวข้องกับ การดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สที่ถูกแยกออกอาจจะเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน หรือแก๊สออกซิเจน อยู่รูปที่ 2.7 b ,2.7c สิ่งที่ถูกแยกออกมา (A และ B) คือ แก๊สที่มีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน หรือแก๊สออกซิเจน และสิ่งเจือปนอื่น ๆ ที่เป็นแก๊สที่เหลืออยู่ (A +B) [11]

2.3.4.2 การแยกด้วยตระแกรงเลือกผ่าน (Separation with membranes)

ตะแกรงหลากหลายขนาด(รูปที่ 2.7b) เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นเพื่อช่วยให้การซึมผ่านของแก๊สบางชนิดจากแก๊สผสมมากขึ้นหรือน้อยลง การซึมผ่านของเยื่อแผ่นเลือกผ่านสำหรับแก๊สขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของ

วัสดุที่ใช้ทำตะแกรง แต่การไหลของแก๊สผ่านเตะแกรงเท่าที่จำเป็นที่ต้องใช้แรง ความดัน โดยใช้ความแตกต่าง ของความดันไหลลอดตระแกรงแผ่น ดังนั้น กระแสแรงดันสูงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการแยกด้วยตะแกรงเลือกผ่าน ซึ่งวัสดุที่ใช้ทำเยื่อแผ่นมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ซึ่งสามารถดัดแปลงนำมาใช้ในการดักจับ แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การแยกแก๊สไฮโดรเจนออกจากกระแสแก๊สเชื้อเพลิง การแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการ หรือ การแยกแก๊สออกซิเจนออกจากอากาศ แก๊สออกซิเจนที่ถูกแยกจะถูกส่งต่อเพื่อผลิตกระแสคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง

การแยกด้วยระบบตะแกรงหลากหลายขนาดมีการพบว่า ใช้กันอยู่คอนข้างมากและยังทำการค้าอยู่มากในโรงงานที่ขนาดใหญ่เช่นเดียวกับการแยก แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากแก๊สธรรมชาติ ซึ่งยังไม่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และสภาพความคิดว่ามุมของความน่าเชื่อถือความเชื่อมั่นและต้นทุนที่ต่ำสำหรับระบบการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หน่วยวิจัยและพัฒนาขนาดใหญ่ระดับโลกมีความพยายามที่จะติดตามความก้าวหน้า โดยเป้าหมายไปที่การผลิตในวัสดุเยื่อแผ่นอื่น ๆ ที่เหมาะสมกว่าสำหรับการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการใช้งานขนาดใหญ่

2.3.4.3 การกลั่นกระแสแก๊สเหลว และ การแยกที่ใช้ ความเย็น (Distillation of a liquefied gas stream and refrigerated separation) แก๊สสามารถทำเป็นของเหลวโดย กระบวนการการบีบอัด (Compression) คายความร้อน (Cooling) และการขยายตัว (Expansion) ขณะอยู่ในรูปของเหลว องค์ประกอบของแก๊สสามารถแยกได้ ถ้าอากาศการดำเนินการนี้จะดำเนินการบริเวณใหญ่ขึ้น แก๊สออกซิเจนสามารถแยกออกในอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 5c และมีการนำไปใช้ในระหว่างการดักจับแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (การเผาไหม้ในออกซิเจน และ การดักจับการเผาไหม้ก่อน) มีข้อสังเกตุสำคัญความจำเป็นในการใช้แก๊สออกซิเจนมีจำนวนมาก เหนือสิ่งอื่นใดการแยกในขณะที่ลดความร้อนลงแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากแก๊สอื่น ๆ และยังสามารถแยกแก๊สเจือปนออกจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ค่อนข้างมีความบริสุทธิ์ หรือ จากกรณีการเพิ่มความร้อน ในแก๊สออกซิเจนและสำหรับการ แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ออกจาก แหล่ง ธรรมชาติหรือ สังเคราะห์ขึ้นเอง มาจากการเปลี่ยน คาร์บอนมอนอกไซด์ ไปเป็น แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ในปฏิกิริยาชิฟต์

ต้นทุนในการทำงานหรือขั้นตอน การจับ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ติดตั้งในโรงงาน อาจมีทางเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพโรงงาน และการเพิ่มประสิทธิภาพของจะต้องมีการออกแบบและพัฒนาระบบพลังงาน แต่พบว่าการดัดแปลงโรงงานที่มีอยู่เดิม อาจพบปัญหาและข้อจำกัด คือ

- ความพร้อมสถานที่หน้างานหรือจะมีเงื่อนไขของสถานที่ เช่น ที่ดิน ,สภาพแวดล้อม

- โรงงานที่ล้าสมัยจะมีต้นทุนเป็นค่าใช้จ่ายจำนวนมากสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์การดักจับคาร์บอนไดออกไซด์
- โรงงานที่ล้าสมัยมีมีโอกาศในการดักจับ คาร์บอนไดออกไซค์ในโรงงานได้มากว่าโรงงานสมัยใหม่

เทคโนโลยีในการออกแบบระบบพลังงานแบบใหม่ จะช่วยให้สามารถสร้างส่วนดักจับโดยเลือกออกแบบสร้างปัจจัยที่สำคัญและจำเป็น ในการเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับและใช้พื้นที่ที่เหมาะสมเพียงพอรวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ดักจับคาร์บอนไดออกไซด์

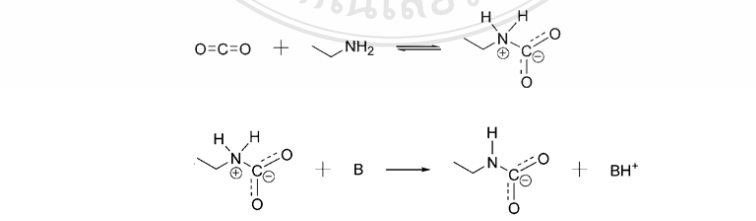
นอกจากพัฒนาเปลี่ยนแปลงนวัตกรรมของระบบการดักจับ เช่นประเมินการเพิ่มความร้อนในออกซิเจนจากการจับภาพการเผาไหม้ รวมทั้ง อุปกรณ์ที่ปรับปรุงใหม่ ส่วนอื่นๆ สามารถสร้างขึ้นแยกเป็นสัดส่วน บนสถานที่กำหนดไว้ และปรับสภาพระบบหม้อไอน้ำและกังหันไอน้ำเป็นแบบที่สมัยใหม่ที่มีของเทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงกว่าเดิมและระบบการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ก็มีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียกับสภาพของโรงงานเดิมที่ไม่ได้ติดตั้งระบบการดักจับ

2.3.5 ทฤษฎีพื้นฐาน ปฏิกิริยาการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกำหนดสสารที่มีความสามารถในการดักจับ และ รูปแบบการเตรียมดักจับคาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์ของตัวดักจับซึ่งปรากฏในหมู่เอมีน เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สที่มีคุณสมบัติ ในการรับอิเล็กตรอนจากเบสลิวอิสได้ ส่วนเอมีนถูกจัดเป็นประเภทเบสลิวอิส (Lewis base) เนื่องจากหมู่เอมีน (-NH2) ประกอบด้วยไนโตรเจนที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนกันได้

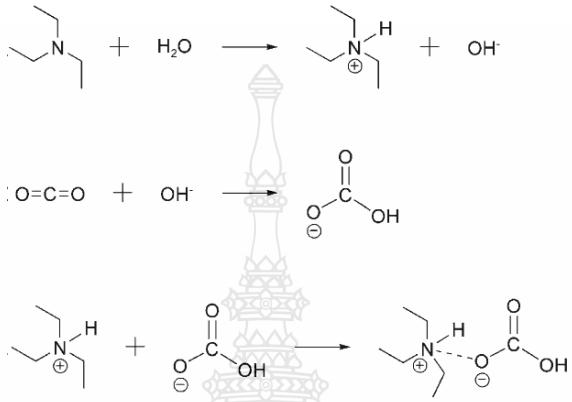
การดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยหมู่เอมีน มี 2 แนวทาง คือ แนวทางที่1 กรณีที่ทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้น้ำ และแนวทางที่ 2 ปฏิกิริยาต้องใช้น้ำ

แนวทางที่ 1 ที่ทำปฏิกิริยาโดยไม่ใช้น้ำ (In absence of water) เมื่อ 1 โมเลกุลเของเอมีน ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ อิเล็กตรอนส่วนโดดเดี่ยวของไนโตรเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์จับคู่กัน (ดูรูปที่ 2.8)



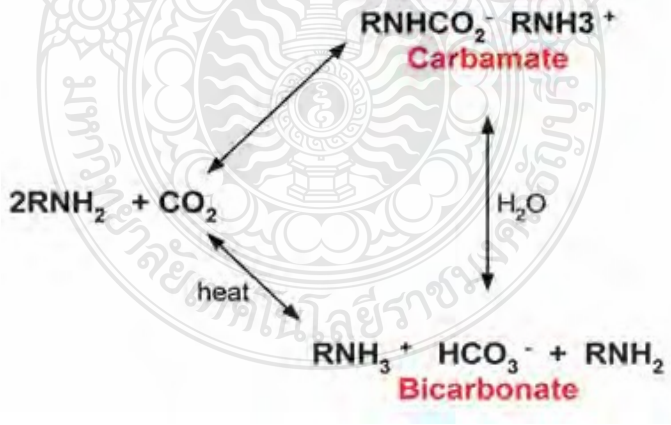
รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และเอมีนในภาวะที่ไม่มีน้ำ โดยที่ B หมายถึง เอมีนชนิดทุติยภูมิ และ เอมีนชนิดปฐมภูมิ [12]

แนวทางที่ 2 ถ้าปฏิกิริยาต้องใช้น้ำ (In presence of water) เอมีนระดับตติยภูมิ (Tertiary amines) มีน้ำเป็นองค์ประกอบ เมื่อไนโตรเจนกับน้ำจะมีอิออนกระจายอยู่ทั่วไปเป็นผลที่ตามมาคือ ไฮดรอกไซด์อิออนก็จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นไบคาร์บอเน็ตแอน์อิออน รวมตัวกันเนื่องจากแรงระหว่างอิออน (ดูรูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และเอมีนระดับตติยภูที่มีน้ำ [12]

ยังพบว่ามีสัดส่วนของเอมีนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดในปฏิกิริยา เป็น 1:1 (รูปที่ 2.10) ทำให้มีการกระจายตัวของเอมีนได้เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และเอมีนชนิดปฐมภูมิ หรือ เอมีนชนิดทุติยภูมิมีน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยา [13]

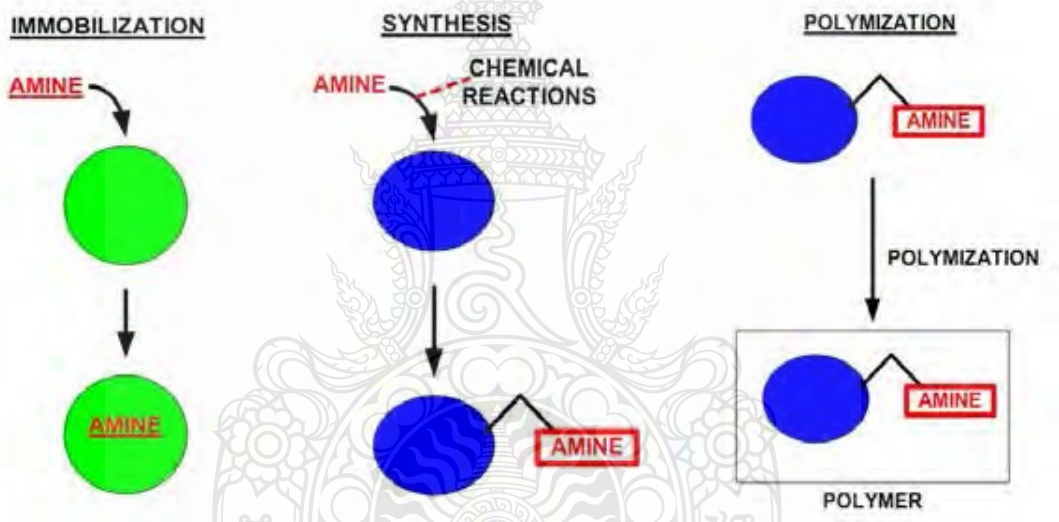
รูปแบบการเตรียมตัวดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีเอมีนเคลือบ

ขั้นตอนในกระบวนการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดของวัสดุที่มีโอกาศยึดด้วยเอมีนสามารถจำแนกได้ 3 แนวทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ดังนี้คือ

1) โฟกัสการเคลื่อนไหว (Immobilization) คือ โดยเลือกเอา เอมีนไปเคลือบที่พื้นด้านนอกวัสดุแข็งโดยตรงด้วยกระบวนการฝังตัว (Impregnation)

2) การสังเคราะห์ (Synthesis) คือ การทำให้เอมีนเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือเกิดการเชื่อมปฏิกิริยาเคมีระหว่างเอมีนกับพื้นผิวของแข็ง

3) พอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) คือ กระบวนการสร้างสารจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่



รูปที่ 2.11 การเตรียมตัวดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดของแข็งที่ยึดติดด้วยเอมีนในแบบต่าง ๆ [14]

2.3.6 ตัวดูดซับของแข็งสำหรับการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ (Solid sorbents for carbon dioxide capture)

ตัวดูดซับของแข็งสำหรับการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงและเป็นโอกาศในการหาทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสำหรับการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่และขนาดย่อม[15]

ความพร้อมด้านเทคโนโลยีของตัวดูดซับของแข็งสำหรับกระบวนการตัวดูดซับของแข็งแสดง ให้เห็นถึงประสิทธิภาพในเชิงการค้าของตัวดูดซับในการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลง แต่ยังไงก็ตาม

ตัวดูดซับของแข็งนั้นมีความเหมาะสำหรับการดักจับและการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์และได้รับความสนใจในการวิจัยด้านวัสดุศาสตร์ แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีดังกล่าวยังมีโอกาศที่จะพัฒนาไปอีกหลากหลายด้าน

การเปรียบเทียบกับตัวดูดซึมสารละลายเอมีน

สารละลายเอมีนที่มีน้ำเป็นสารละลายทางเคมีที่มีคุณสมบัติสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านการก่อตัวที่ผันกลับได้ (Reversible formation) ของแอมโมเนียมคาร์บาเมต (Ammonium carbamate) แอมโมเนียมคาร์บอเนต (Ammonium carbonate) และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (Ammonium bicarbonate)[16] โดยเทียบเคียงในสารละลาย ขึ้นอยู่กับเอมีนที่เฉพาะแล้วแต่ชนิดของเอมีนที่ถูกนำมาปรับใช้ เหมือนกับอุณหภูมิและความดันของแก๊สผสมคาร์บอนไดออกไซด์ดูดซึมได้ดีโดยเอมีนที่ความร้อนลดลงและออกมาเมื่อมีความร้อนเพิ่มขึ้น ขณะที่สารละลายเคมีเอมีนได้ถูกนำให้กับในกิจกรรมต่างๆ อาจจะกำจัดแก๊สในรูปของกรด เทคโนโลยีการคัดแยกด้วยเอมีนยังคงอยู่ในการพัฒนาสำหรับการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ [17]

ข้อดีของตัวดูดซับของแข็ง

มีการศึกษาข้อมูลได้รับเป็นจำนวนมาก เอมีนที่แตกต่างกันของกระบวนการตัวดูดซับของวัสดุแข็งมีคุณสมบัติเลือกดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยไม่สามารถดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) โดยค่าอุณหภูมิจากกระบวนการดูดซับที่ลดลง (Lower heat of adsorption) สำหรับวัสดุต้องใช้ไม่มากกว่าอัตราการดูดซึม (Desorption) คาร์บอนไดออกไซด์ออกพื้นผิวด้านนอก จะทำให้มีโอกาศของเอมีนชนิดปฐมภูมิและเอมีนชนิดทุติยภูมิ (Primary or secondary amines) ในของเหลว สำหรับพื้นผิวของวัสดุที่แข็งการดูดซับรวมที่มีอัตราสูงมากจะทำให้มีโอกาศดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี และในกระบวนการดูดซับแบบเปลี่ยนอุณหภูมิ (Temperature swing adsorption) มีการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ของอัตราดูดซับที่ต่ำกว่าของแข็งเพื่อที่จะลดการอัตราการใช้พลังงานที่เหมาะสมที่จำเป็นสำหรับการฟื้นฟูตัวดูดซับ[18]แต่ยังคงมีความวิตกด้านสิ่งแวดล้อมต่อผลที่ตามมาที่ร้ายแรงของการใช้เอมีนเหลว จึงหันมาใช้ตัวดูดซับของแข็งแทน[19]

ข้อเสียของตัวดูดซับของแข็ง

ในการผลิตตัวดูดซับของแข็งสำหรับการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ มีความคิดเรื่องของต้นทุนของเอมีนขั้นพื้นฐานที่มีคุณสมบัตินำออกมา เพราะ แก๊สไอเสีย (Flue gas) มีสิ่งปนเปื้อนบางส่วนทำให้ตัวดูดซับ มีคุณสมบัติที่ลดลง นี่คือ ปัญหาใหม่ที่ต้องคิดและติดตามเพื่อเป็นยืดอายุการใช้งานของตัวจับคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งยังมีพลังงานที่เหมาะสมและจำเป็นสำหรับการปรับสภาพของตัวดูดซับ ไม่ให้ศักยภาพในตัวดูดซับน้อยลงเมื่อมีการผ่าน ความร้อน และไม่ให้ค่าใช้จ่ายสูง

ตัวดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorbents)

การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของวัสดุที่มีรูพรุนจำนวนมากจะเกิดผ่านปฏิสัมพันธ์แวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals interactions) คาร์บอนไดออกไซด์จะโอกาศดูดซับในอัตตาได้ดีกว่าอย่างสูงเมื่อเทียบกับไนโตรเจนเพราะโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์มีขั้วที่ปริมาณมากกว่า[18] และเกิดการดูดซับปริมาณได้ดีขึ้นในสรูปที่มีน้ำที่เกี่ยวข้องกับวิธีการของการดูดซับทางกายภาพ ต้องหาวิธีในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ของสภาวะทีมีแก๊สไอเสียโดยใช้กรรมวิธีการดูดซับทางกายภาพในขอบเขตงานวิจัยที่ศึกษา

ตัวดูดซับทางเคมี (Chemical adsorbents)

เป็นประเภทของแข็งที่ซุบเอมีน (Amine impregnated solids) ที่พบมากส่วนใหญ่อยู่ในรูปเป็นตัวดูดซับที่มีรูพรุนจำนวนมาก แต่เนื่องจากการเกิดอัตราการดูดซับอย่างอ่อนทำให้ไม่เพียงพอต่อการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพภายนอกของบรรยากาศ มีโอกาศเพิ่มปริมาณหรือศักยภาพในอัตราดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ความดันต่ำ ในอดีตที่มีมาได้มีโอกาศนำเอาของจำพวกโพลิเมอร์และโครงร่างโลหะอินทรีย์[15] วัสดุพวกนี้จะมีเอมีนผสมอยู่บ้างถูกนำมาใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาเคมีกรดเบสของคาร์บอนไดออกไซด์กับเอมีนกับเอมีน มีคุณสมบัติในการเจือจางเอมีนผ่านการบรรจุในรูพรุนของของแข็งได้กกว่ากรณีที่สารละลายเอมีนใช้น้ำเป็นตัวทำละลายได้ดีเมื่อวัดความแตกต่างกับตัวดูดซับของแข็งอื่น ๆ[20]

2.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 Adsorption and regeneration study of the mesoporous adsorbent SBA-15 adapted to the capture/separation of carbon and 4 CH_4

Liu และคณะ[21] ศึกษาการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์แบบสลับของตัวดักจับ SBA-15 ที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงด้วยไทรเอทาโนลามีนในแก๊สผสมระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน พบว่า การปรับปรุง SBA-15 ด้วยไทรเอทาโนลามีนช่วยเพิ่มการเลือกจับคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มขึ้นว่ามีเทนมากถึง 7 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับ SBA-15 ที่ไม่ผ่านการกระบวนการปรับปรุง โดยไทรเอทาโนลามีนไม่ได้เข้าไปเปลี่ยนโครงสร้างของ การเปลี่ยนแปลงครั้งนี้ช่วยทำให้ขั้นตอนเพิ่มขึ้น โดยเกิดขึ้นที่ความร้อนปกติโดยใช้แก๊สมีเทนบริสุทธิ์ การทำซ้ำระหว่างกระบวนการดักจับและการสลับเป็นข้อยืนยันถึงเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการแยกคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สมีเทนของตัวดักจับนี้

2.4.2 Adsorption performance of MCM-41 impregnated with amine for carbon removal

Kamarudin และคณะ[22] ศึกษาการตรึงเอมีนบนพื้นผิวของ MCM-41 โดยเปรียบเทียบของสารเคมีหรือตัวทำละลายทางเคมี (เอมีน) 2 ชนิด โมโนเอทาโนลามีน และไดเอทาโนลามีน พบว่าการตรึงเอมีนบนพื้นด้านนอกเพิ่มศักยภาพในกระบวนการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น โดยการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ด้านนอกของกระบวนการดักจับแต่ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของกระบวนการตึง โมโนเอทาโมลามีน สามารถทำได้สูงสุดที่ 25 % โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการตรึงเอมีนด้วย ไดเอทาโมลามีน บนพื้นผิว MCM-41 การทดลองกระบวนการดักจับโดยวิธีการเปลี่ยนแรงดันแสดงให้เห็นถึงเสถียรภาพของตัวดูดซับซึ่งมีการทดลองได้ถึง 10 รอบการทดลอง

2.4.3 Effect of pore expansion and amine functionalization of mesoporous silica on CO_2 adsorption over a wide range of conditions

Belmabkhout และคณะ[23] ศึกษาการดักจับของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงกว้างโดยใช้ตัวดักจับซิลิกาที่มีรูพรุนระดับซึ่งมีขนาดของรูพรุนหลากหลายขนาด และ การเปลี่ยนแปลงด้านนอกด้วยไตรเอมีน การดักจับคาร์บอนไดออกไซด์และข้อมูลจุลนพลศาสตร์แสดง สำหรับการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ในการแยกและการทำให้แก๊สบริสุทธิ์ และมีการเลือกจับคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นมีการทนกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและความชื้นที่ เพิ่มขึ้น

2.4.4 Adsorption of CO_2 on Hydrotalcite-Derived Mixed Oxides: Sorption Mechanisms and Consequences for Adsorption Irreversibility

León และคณะ[24] ศึกษาออกไซด์คู่ควบของอลูมิเนียมและแมกนีเซียมที่ได้มาจากการให้เพิ่มอุณหภูมิของไฮโดรทาลไซต์สำหรับศึกษาการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับมีความสัมพันธ์กับสปีชี่ส์ยูนิเดนเทตคาร์บอนไดออกไซด์ (Unidentate CO_2) กับตัวดูดซับ กับตำแหน่งการดูดซับอย่างแข็งแรง ในขณะที่ไบเดนเทต (Bidentate) และไบคาร์บอเนต (Bicarbonates) แบบพื้นผิวนำไปการสลับกระบวนการดูดซับความเข้มข้นมาก โดยมีแนวคิดว่าการศึกษาที่นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของไซต์ชนิดเบสไม่ได้นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และจะนำไปสู่การอิ่มตัวในระบบ

2.4.5 Suitability of a Solid Amine Sorbent for CO_2 Capture by Pressure Swing Adsorption.

Ebner และคณะ[25] ศึกษาเอมีนที่เป็นของแข็งประกอบด้วย poly (ethylenimine) ตรึงเป็นพื้นผิวบนซิลิกา สารเคมีดูดซับสำหรับการใช้งานในขั้นตอนของการดูดซับแบบความดันแกว่ง (PSA) สำหรับการจับคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงการเผาไหม้ (postcombustion) ซึ่งความร้อนที่ใช้อยู่ประมาณ 5-12 องศาเซลเซียส ความดันบางส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงร้อยละ 1.5 - 90 โดย ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในสภาพแวดล้อมที่แห้งถึงร้อยละ 2 โดยปริมาตรและจำนวนรอบของอัตราการทำงานอยู่ในช่วงประมาณ 5-78 รอบ จากผลการศึกษาขพบว่าเอมีนมีเสถียรภาพมากในขณะที่ทดสอบ มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำมีส่งผลไม่มากเท่าไรและอัตราการคายคาร์บอนไดออกไซด์ความจุทำงานของคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิคงที่อยู่ระหว่าง 0.25 และ 2.8 โมลต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นแสดง ความร้อนที่เพิ่มขึ้น อาจจะทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสูงสุดและการผลิตความร้อนของการดูดซับปฏิกิริยาราว 50.0 กิโลจูลต่อโมล และกำหนดโดยอุณหภูมิสถานที่ทดสอบสำหรับกระบวนการ PSA อยู่ที่ประมาณ 80 องศาเซลเซียส ความดันบางส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ >10 กิโลปาสคาลและ 60-70 องศาเซลเซียส ความดันบางส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ <10 กิโลปาสคาล

2.4.6 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สชีวภาพด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ด้วยเอมีน

ปรีชา กสิกรรมไพบูลย์ และอุไรวรรณ ขุนจันทร์[26] ศึกษาการดัดแปลงพื้นผิวแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ด้วยโมโนเอทาโนลามีน (MEA) และนำไปใช้ในการดูดซับ CO_2 ในแก๊สชีวภาพ โดยการสังเคราะห์ McO แล้วดัดแปลงด้วย MEA เพื่อให้มีปริมาณ MEA เท่ากับ 0 10 20 และ 30% โดยน้ำหนัก การทดลองดูดซับ CO_2 ทำโดยใช้แก๊สชีวภาพสังเคราะห์ซึ่งมี CO_2 เข้มข้น 30% ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของตัวดูดซับที่เตรียมได้มีค่าลดลงตามสัดส่วนของ MEA ที่เพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับ CO_2 ของ MgO ที่มี MEA 0 10 20 และ 30% โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับ 18.34 35.36 61.57 และ 49.78 มก./ก. ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า MgO ที่ดัดแปลงพื้นผิวด้วย MEA สามารถดูดซับ CO_2 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.7 การเลือกดักจับแก๊สเรือนกระจกคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สผสมกระแสไฮโดรเจนความเข้มข้นในตัวดูดซับของแข็งที่ดัดแปลงหมู่ฟังก์ชันพื้นผิวด้วยสารประเภทเอมีน

รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธยาน์ พงศ์สถาบดี และคณะ[27] ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับไฮโดรทาลไซต์ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยความร้อนและด่าง และฟังก์ชันด้วยเตตระเอทิลีนเพนตะที่มีปริมาณความ

เข้มข้นต่างๆ และหาสภาวะที่ดีที่สุดที่ทำให้ได้ค่าความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ด้วยการ ออกแบบและการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยศึกษาลักษณะเฉพาะของตัวดูดซับด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี การวิเคราะห์ธาตุธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน การหาพื้นที่ผิวจำเพาะหรือบีอีที และการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนหรือทีจีเอ การดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ดำเนินการภายใต้ความดันบรรยากาศและสภาวะที่แห้ง เพื่อประเมินระดับความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญที่มีต่อค่าความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นผลตอบสนอง ผลกระทบหลักทั้งสี่ คือ ปริมาณเตตระเอทิลีนเพนตะมีนในตัวดูดซับ (ร้อยละ 30-40 โดยมวล) อุณหภูมิการดูดซับ (40-80 องศาเซลเซียส) อัตราส่วน WIF ratio (0.9-1.8 กรัม วินาทีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อย ละ 10-30 โดยปริมาตร) และอันตรกิริยาของผลกระทบหลัก ซึ่งพบว่า ความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่าในแต่ละผลกระทบหลักทั้งสี่ นั่นคือ ผลกระทบหลักทั้งสี่มีอิทธิพลในเชิงบวกต่อการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ สภาวะที่ดีที่สุดที่ทำให้ได้ค่าความสามารถในการดูดซับที่สูงที่สุดโดยใช้การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง อยู่ในช่วงของปริมาณ TEPA ในตัวดูดซับ ร้อยละ 35-36 โดยมวล อุณหภูมิ 74-80 องศาเซลเซียส อัตราส่วน W/F 1.72-1.80 กรัม วินาทีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 27-30 โดยปริมาตร ซึ่งค่าความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้อยู่ในช่วง 6.1-6.2 มิลลิโมลต่อกรัม จากการทดสอบความคงทนของตัวดูดซับ พบว่าตัวดูดซับมีความคงทนภายใต้สภาวะที่ศึกษา

2.4.8 นักวิจัยสหรัฐกำลังจะสร้างเครื่อง Recycle คาร์บอนไดออกไซด์

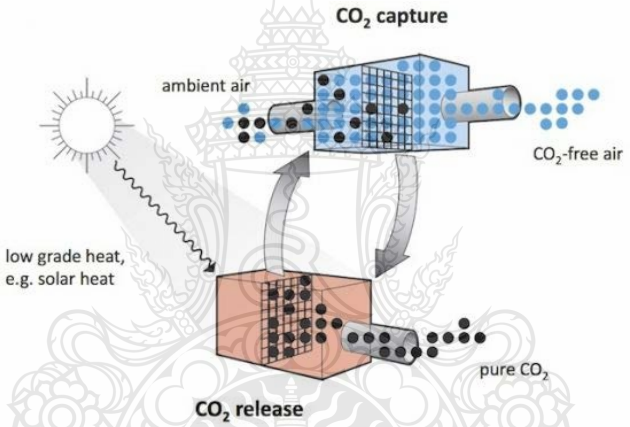
ศาสตราจารย์เคลาส์ แลคเนอร์ (Klaus Lackner) [28] ผู้เชี่ยวชาญและทีมวิจัยจาก Center for Negative Carbon Emission มหาวิทยาลัยแอริโซน่าสเตต สหรัฐอเมริกา กำลังผลิตเครื่องที่สามารถนำคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ได้ ด้วยการดักจับโมเลกุลของแก๊สที่ลอยมากับอากาศ แล้วเปลี่ยนไปให้อยู่ในรูปแบบของไบคาร์บอเนต จากนั้นนำไปผ่านขบวนการระบบน้ำเพื่อช่วยเปลี่ยนรูปสารจากโมเลกุลไบคาร์บอนเนตให้เป็นคาร์บอเนตไอออน และเราจะได้สารประกอบที่เปลี่ยนรูปตัวเองกลับไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์อีกครั้ง และสามารถนำไปบรรจุลงในถังเพื่อนำไปใช้ต่อไปได้

2.4.9 DAC (Direct Air Capture) เทคโนโลยีดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของบริษัทในสวิสเซอร์แลนด์

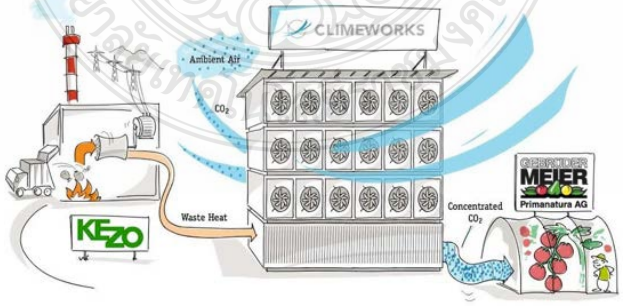
Limeworks [29] บริษัทพัฒนาด้านพลังงานในสวิสเซอร์แลนด์ได้คิดค้นเทคโนโลยีดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงจากอากาศสำเร็จ ซึ่งพวกเขาเรียกมันว่า DAC (Direct Air Capture)

นวัตกรรมนี้ถูกออกแบบมาสำหรับใช้ในการดึงเอาคาร์บอนไดออกไซด์มากักเก็บและแปรสภาพเพื่อใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

การทำงานของเจ้าเครื่อง DAC เริ่มจากการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลอยอยู่ในอากาศผ่านฟิลเตอร์ จากนั้นก็สกัดเอาแก๊สชนิดนี้ออกจากอากาศโดยให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส กระบวนการดังกล่าวจะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ ซึ่งสามารถนำไปเป็นตัวตั้งต้นในการใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ทั้งการเกษตร การเป็นวัตถุดิบในน้ำอัดลม และการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์ โดย Climeworks ผลิตถังเก็บกักก๊าซออกมาจำนวน 6 ใบแต่ละใบมีความสูง 40 ฟุต สามารถดักจับและเก็บก๊าซได้ 35 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือ 300 เมตริกตันต่อปี และความร้อนส่วนเกินจากกระบวนการทำงานยังนำกลับมาใช้ในกระบวนการได้อีก



รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของเครื่อง DAC (Direct Air Capture) [29]



รูปที่ 2.13 วัฏจักการใช้ความร้อนและคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่อง DAC (Direct Air Capture) [29]

รูปที่ 2.14 เครื่อง DAC (Direct Air Capture) [29]

2.4.10 อุปกรณ์เสริมสร้างความเจริญเติบโตของพืชผัก

บริษัทในจีนผลิตอุปกรณ์เสริมสร้างความเจริญเติบโตของพืช โดยใช้การสลายตัวของแอมโมเนียมไบคาร์บอเนทเพื่อผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในโรงเรือนเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช พร้อมกับนักศึกษาของประเทศจีนคอยให้ความรู้แก่เกษตรกรว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นั้นเป็นปุ๋ยเป็นปุ๋ยที่มีอยู่ทั่วไปในอากาศเหมือนปุ๋ยตัวอื่น ๆ แต่ละชนิดที่ต้องการไม่เท่ากัน จึงมีการค้นคว้าและศึกษาของขั้นตอนการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์เหนือบรรยากาศที่ ทำให้เกษตรกรเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เป็นรูปธรรมได้ชัดเจน และแอมโมเนียมไบคาร์บอเนทก็เป็น CO_2 มีคุณค่าและประโยชน์กับต้นพืชมากกว่าไนโตรเจนหลายเท่าตัว

ปัจจุบันเกษตรกรจีนเริ่มทยอยติดตั้งเครื่องผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กันขนานใหญ่ เนื่องจากเกษตรกรมีความรู้ในด้านวิชาการกับขั้นตอนสำคัญทางชิวเคมีของต้นพืช (Photosynthesis) และพืชมีความจำเป็นจะต้องใช้คาร์บอนไดออกไซด์รวมกับน้ำ อาหารของพืชต่างๆและแสงแดดเพื่อความเจริญเติบโตของพืชรวมถึงผลผลิตของพืช

รูปที่ 2.15 อุปกรณ์เพิ่มการเจริญเติบโตของพืชผักในโรงเรือน [30]

รูปที่ 2.16 เครื่องเสริมสร้างการเจริญเติบโตของพืชผัก [30]

สินค้า : อุปกรณ์เสริมสร้างการใช้ปุ๋ยทางใบ

ชื่อสิทธิบัตร : ย่อยสลายแอมโมเนียมไบคาร์บอเนตด้วยน้ำเพื่อผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

หมวดหมู่ผลิตภัณฑ์ : เครื่องกำเนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ขอบเขตการใช้งาน : พืชสีเขียวทุกชนิด (ในโรงเรือน)

วัตถุดิบ : น้ำปุ๋ยแอมโมเนียมไปคาร์บอเนต

ขั้ตตอน ผลิต : แอมโมเนียมไบคาร์บอเนตไฮโดรไลซิส

ลักษณะของสิ่งผลิต : ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ระบบการทำงาน : อัตโนมัติ

ประสิทธิภาพเครื่อง : โมเดล A3,300กรัม/ ชม. โมเดลB5,500กรัม/ ชั่วโมง

พื้นที่ครอบคลุมการใช้งาน : โมเดล A0.42 ถึง 0.63 ไร่ โมเดล B0.63 ถึง 10. ไร่

แรงดันไฟฟ้า : 220 โวลต์

การทำงานไฟฟ้า : พลังงานอัตโนมัติ

กำลังไฟฟ้า : 1 หน่วยไฟฟ้า / การทำงาน

ค่าใช้จ่าย : 800 บาท /รอบฤดูกาลผลิต

กำไรต่อรอบการผลิต : 6,360. ถึง 31,800 บาท แล้วแต่ชนิดของผัดนั้นๆ

2.4.11 การเจริญเติบโตของต้นกล็อกซิเนียในสภาวะที่มีการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

สุนิสา สุดไทย และ ดร.สิริวัฒน์ สาครวาสี [31] ทำการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล็อกซิเนีย ภายใต้สภาวะที่มีการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง โดยกล็อกซิเนีย (Sinningia speciosa) เป็นไม้ประดับที่มีเด่นสวยงามคือดอก การใช้ระบบโรงงานผลิตพืช (Plant Factory) ที่มีการปรับสภาพภูมิอากาสแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตน่าจะทำให้สามารถผลิตต้นกล็อกซิเนียคุณภาพสูงได้ในหลากหลายฤดูกาล แต่จำเป็นจะต้องทำการวิจัยเพื่อศึกษาการปลูก เทคนิดการดูแลรักษาที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลก่อน งานวิจัยนี้จึงมี จุดมุ่งหมายในการศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นกล็อกซิเนียภายใต้แสงเทียมจากหลอดไฟแอลอีดี(LEDs) ระหว่างการปลูกภายใต้ระบบปิดที่มีระดับของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ระดับ 400 ppm และ 1,000 ppm ทดสอบโดยใช้ต้นกล็อกซิเนีย 3 สายพันธุ์คือ 1.Avanti mix 2.Double brocade blue และ 3.Double brocade mix พบว่าในกล็อกซิเนียสายพันธุ์DBM มีน้ำหนักแห้งรากสูงที่สุด สายพันธุ์ DBB มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบและอัตราการคายน้ำของปากใบ และในสายพันธุ์ AM มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมสูงที่สุด

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

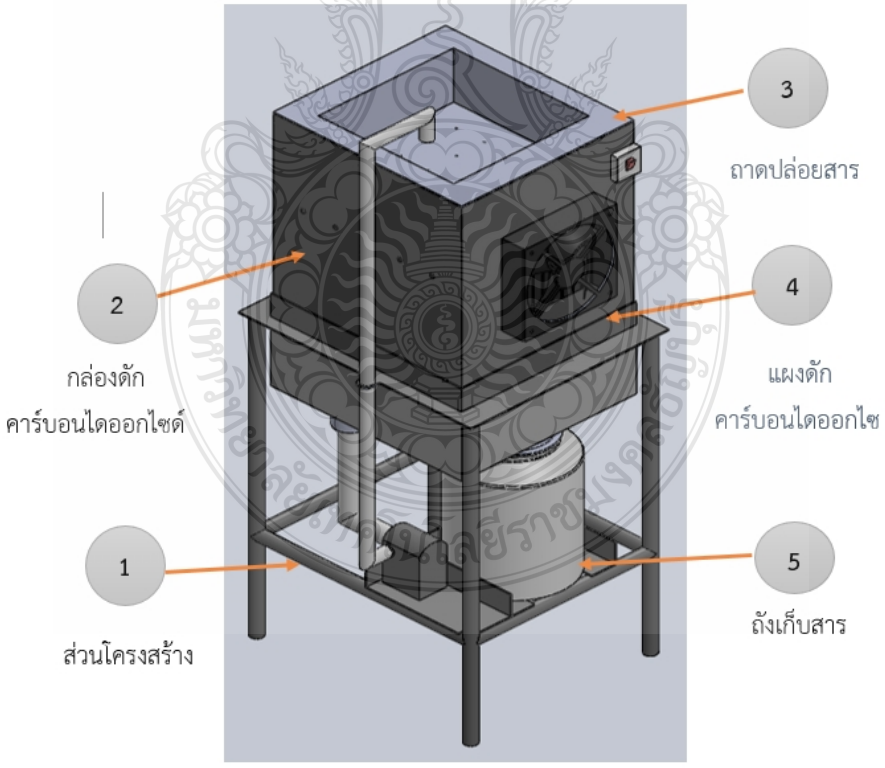
จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้นำข้อมูลต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสร้าง ทดสอบ และประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่เพื่อให้มีประสิทธิภาพ สามารถนำมาใช้งานได้จริง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

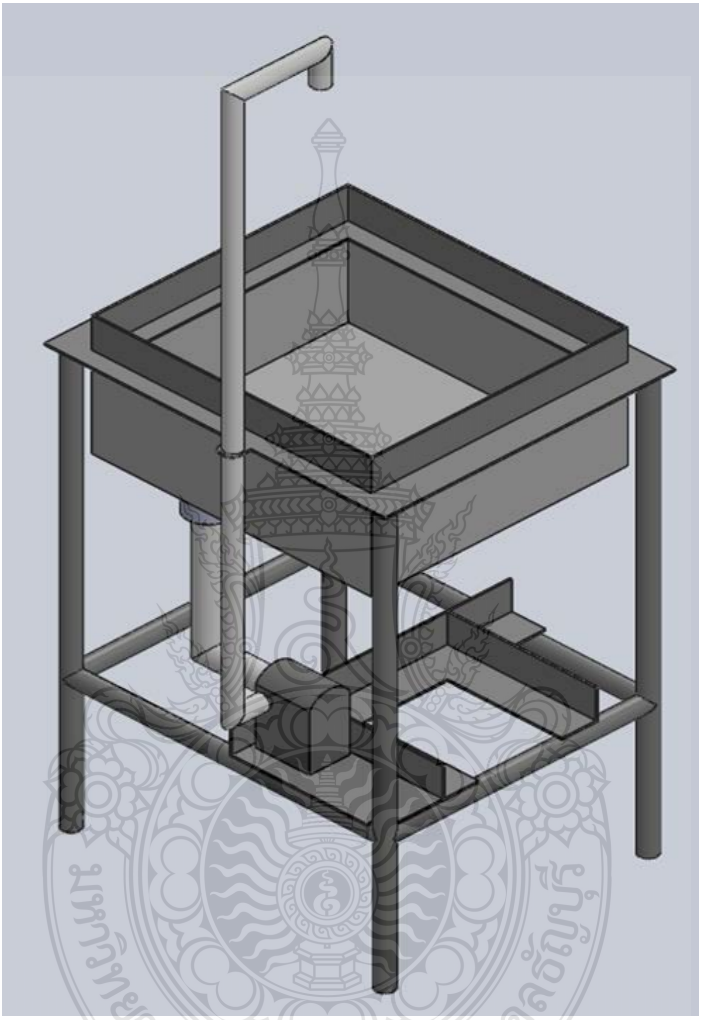
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1 ระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่



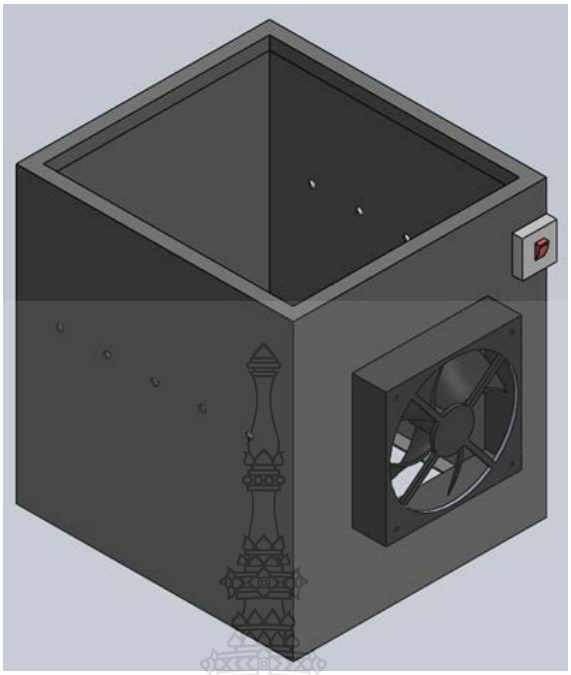
รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับปลูกพืชในโรงเรือน

โดยระบบจะมีส่วนสำคัญอยู่ 5 ส่วนด้วยกันได้แก่ ส่วนโครงสร้าง กล่องดักคาร์บอนไดออกไซด์ ถาดปล่อยสาร แผงดักคาร์บอนไดออกไซด์ ถังเก็บสาร โดยแต่ละส่วนจะมีหน้าที่ดังนี้



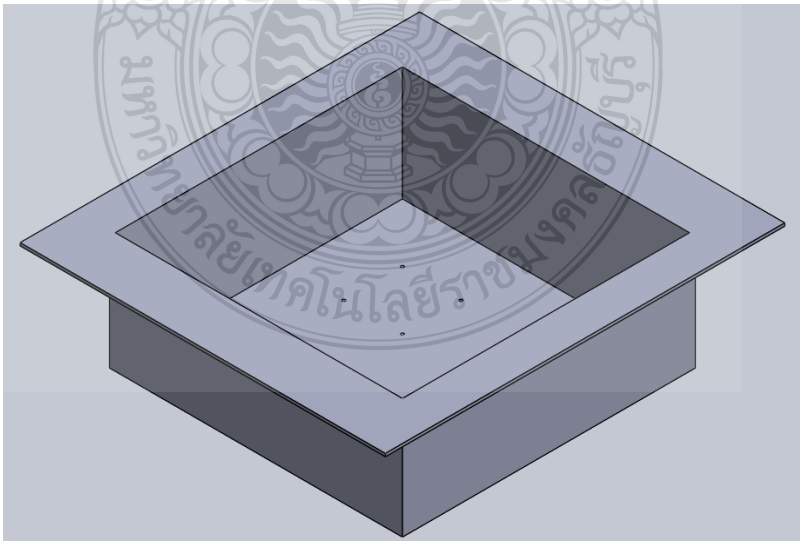
รูปที่ 3.2 ส่วนโครงสร้าง

ส่วนโครงสร้างทำหน้าที่รองรับส่วนอื่น ๆ และนอกจากนี้ยังมีบริเวณอ่างซึ่งไว้ใช้พักสารในระบบ และมีปั๊มเพื่อให้สารสามารถหมุนภายในระบบในกรณีที่บริเวนที่มีคาร์บอนไดออกไซด์น้อย ซึ่งสารอาจไม่สามารถดักคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงต้องมีการปล่อยสารวนซ้ำเพื่อให้สารสัมผัสกับอากาศได้มายิ่งขึ้น



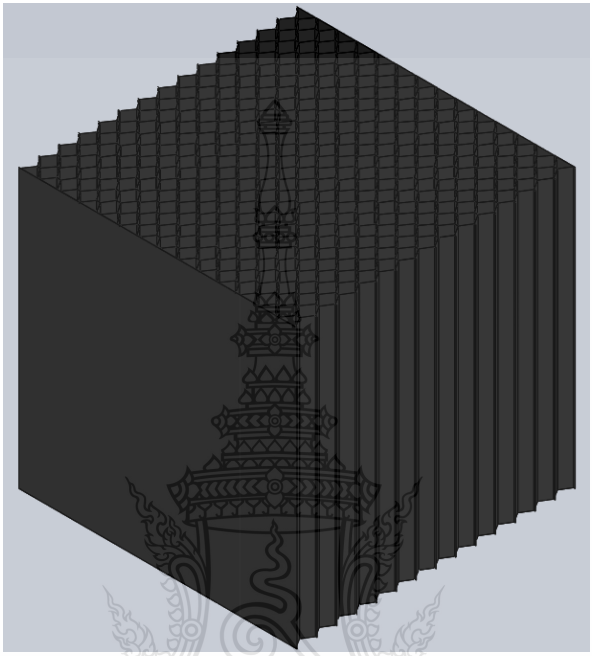
รูปที่ 3.3 กล่องดักคาร์บอนไดออกไซด์

กล่องดักคาร์บอนไดออกไซด์ ทำหน้าที่ดักคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ภายใน เพื่อให้สารที่ไหลผ่านมีโอกาสสัมผัสคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้น



รูปที่ 3.4 ถาดปล่อยสาร

ถาดปล่อยสาร ทำหน้าที่พักสารและปล่อยสารออกไปเพื่อให้สารสามารถดักคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีอัตตราการไหลอยู่ที่ 0.3 ลิตร/นาที ซึ่งเป็นอัตตราเร็วที่ไม่จำเป็นต้องวนสารซ้ำในสภาพพื้นที่อากาศปกติ



รูปที่ 3.5 แผงดักคาร์บอนไดออกไซด์

แผงดักคาร์บอน ช่วยให้สารสามารถสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น และยังช่วยตึงคาร์บอนให้ค้างอยู่ภายในกล่องดักคาร์บอนไดออกไซด์

รูปที่ 3.6 ถังเก็บสาร

ถังเก็บสาร ทำหน้ากักเก็บสารที่ผ่านระบบมาเรียบร้อยแล้ว เพื่อนำสารที่เก็บไปผ่านความร้อน และทำให้เกิดปฏิกิริยาและคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

3.1.2 คาร์บอนไดออกไซด์จากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์ Yamaha Finn 115i ปี 2020

รูปที่ 3.7 รถจักรยานยนต์ Yamaha Finn 115i ปี 2020

3.1.3 สารเคมีหรือตัวทำละลายเคมี (chemical solvent) เลือกสารทีมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ และจัดหาได้ง่าย โดยใช้สาร 3 ชนิด

- ไตรเอทาโนลามีน
- โมโนเอทาโนลามีน
- แคลเซียมคาร์บอเนต

3.1.4 อุปกรณ์ในการทดสอบ

- sensor MQ-135
- บอร์ด Arduino

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงงานที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้จัดทำจึงได้วางแผนการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

3.2.1 ศึกษาข้อมูลการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของพืชชนิดต่าง ๆ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่าง ๆ

3.2.2 สร้างระบบการตรึง คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่

3.2.3 ขั้นตอนการทดสอบระบบการตรึง คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

3.2.4 ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ศึกษาข้อมูลการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของพืชชนิดต่าง ๆ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่าง ๆ

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาข้อมูลการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของพืชชนิดต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้อ้างอิงในการศึกษา และใช้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ส่งผลต่อพืชชนิด ต่าง ๆ และนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

โดยจากการศึกษาข้อมูลพืชชนิดต่าง ๆ พบว่ามีพืชหลายชนิดที่การเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สามารถช่วยในการเพิ่มผลผลิตได้ ซึ่งมีพืชหลายชนิดที่เหมาะสมที่จะนำเทคโนโลยีดักคาร์บอนไดออกไซด์เข้าใช้ร่วม เพราะเป็นพืชที่เจริญเติบโตง่าย การดูแลไม่ลำบาก ระยะเวลาการ

เจริญเติบโตสั้น มีราคาขายค่อนข้างสูงมีความคุ้มค่าที่จะทำการปลูกในโรงเรือน และที่สำคัญคือมีข้อมูลผลการทดสอบในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในการเพาะปลูก ซึ่งสามารถให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้จริงที่ 30-40% และยังลดระยะเวลาในการเติบโตทำให้เก็บเกี่ยวได้เร็วขึ้นดังข้อมูลในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบผลผลิตในโรงเรือนที่มีการควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

พืช	ความเข้มข้นCO_2 ที่เหมาะสม (ppm)	ผลลัพธ์
แตงร้าน	1500 - 2000	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 20-35 %
มะเขือ	1000 – 1500	ผลผลิตเพิ่มมากมาย แก่ – เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น 7-14 วัน
กล่ำปลี	800-1200	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 30 % คุณภาพดีมากเก็บเกี่ยวเร็วขึ้น 7- 14 วัน
ผักกาดหอม	1000-1500	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 30-40 % เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น
พริก	700-1200	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 25-30 % เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น
มะเขือเทศ	1000	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 30 %
คะน้า	800-1000	เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น
สตรอเบอร์รี่	1000-1500	ผลผลิตเพิ่มขึ้นมากเก็บเกี่ยวเร็วขึ้น 7 – 14 วัน
แคนตาลูป	800-100	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 15 % คุณภาพดีมาก

3.2.2 สร้างระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่

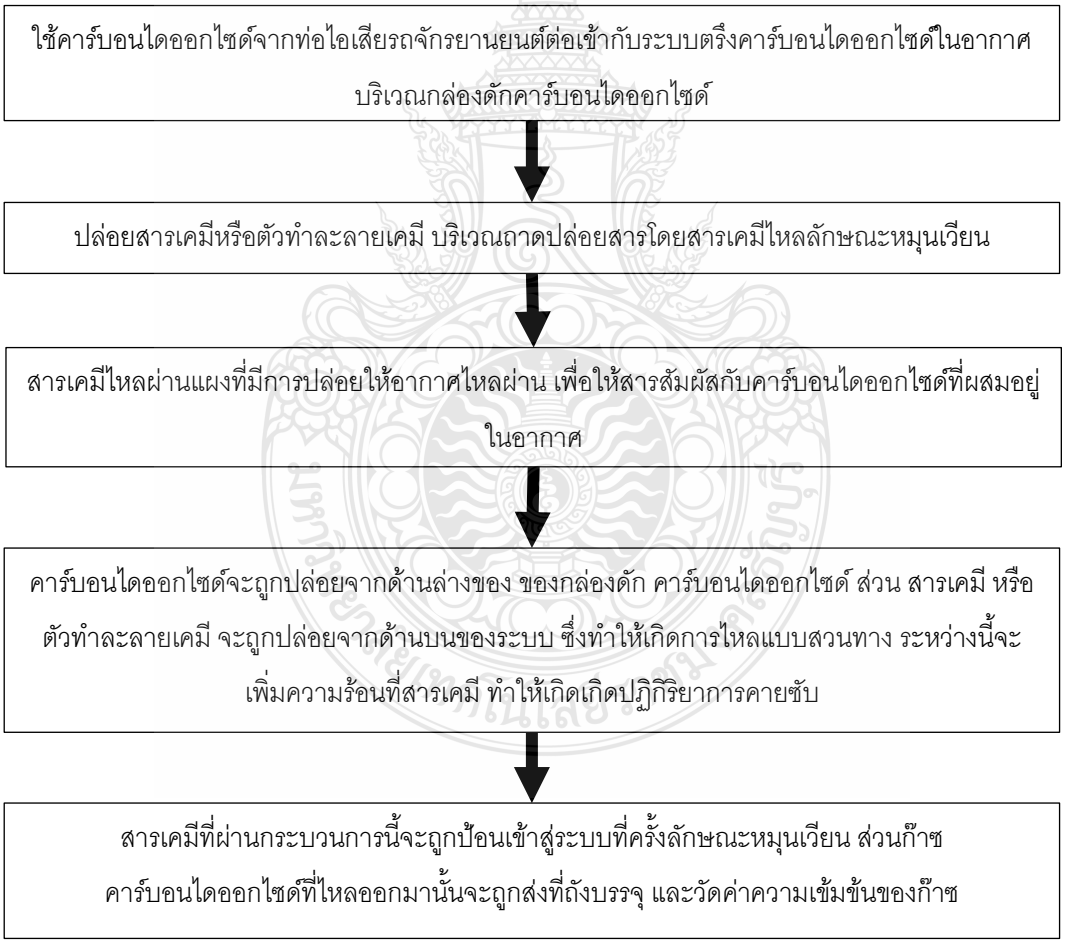
การศึกษาในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และจากการศึกษาโดยตรงของผู้จัดทำ ได้แก่ ลักษณะและคุณสมบัติของคาร์บอนไดออกไซด์และการตรึงและคายซับคาร์บอนไดออกไซด์

จากการศึกษาข้อมูลที่จำเป็น ทำให้สามารถร่างแบบระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่ได้ โดยจะแบ่งตัวเครื่องและระบบออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน

ส่วนที่ 1 คือสารที่ใช้เป็นฟิลเตอร์ในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าสารเคมีที่เหมาะจะนำมาใช้เป็นฟิลเตอร์ในการดักจับได้แก่ ไตรเอทาโนลามีน โมโนเอทาโนลามีน และแคลเซียมคาร์บอเนต เพราะสารทั้งสามตัวมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ และหาได้ง่ายตามท้องตลาด มีอุณหภูมิในการคายซับที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในส่วนที่ 2

ส่วนที่ 2 คือชุดดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะทำให้สารไหลผ่านแผงที่มีการปล่อยให้อากาศไหลผ่าน เพื่อให้สารสัมผัสกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผสมอยู่ในอากาศ และดักจับเอาไว้ ก่อนจะไหลลงสู่ถังบรรจุ ซึ่งต้องมีการนำไปผ่านความร้อนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาคายซับต่อไป

3.2.3 ขั้นตอนการทดสอบระบบการตรึง คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานโดยมีการ วิเคราะห์ 5 ส่วนด้วยกัน ได้แก่



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทดสอบระบบการตรึง คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

3.2.4 ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชภายในโรงเรือนสมัยใหม่ เมื่อดำเนินการผลิตเครื่องเสร็จเรียบร้อย ผู้จัดทำจะทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานโดยมีการ วิเคราะห์ 5 ส่วนด้วยกัน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ทดสอบเลือกสารเคมีที่ใช้เป็นซับในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์เปรียบเทียบปริมาณการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถตรึงได้จากสารเคมีซึ่งเป็นคายซับทั้ง 3 ชนิด ที่ได้จากการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อหาสารที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด และสามารถเข้าถึงได้ง่ายที่สุด

ส่วนที่ 2 ทดสอบระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ สำหรับการปลูกพืชในโรงเรือนหลังจากออกแบบและจัดสร้างระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเครื่องต้นแบบเสร็จจึงต้องมีการทดสอบการทำงานของระบบต่าง ๆ และทดสอบการว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งมีปัญหาใดหรือไม่ เพื่อจัดการแก้ไขและดำเนินการต่อไป

ส่วนที่ 3 ผลการทดสอบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่ดักจับ และปริมาณการคายซับของสารไตรเอทาโนลามีนที่ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ทดสอบใช้งานระบบในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ โดยเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถคายซับออกมาได้ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศบริเวณที่ทดสอบ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักภายในชุดดัก เทียบกับระยะเวลาที่ใช้ดักและการคายซับ โดยวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ผ่าน sensor MQ-135

ส่วนที่ 4 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ทดสอบใช้งานระบบในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ โดยเปรียบเทียบการเพิ่มอุณหภูมิกับปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถคายซับออกมาได้ กับโดยวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ผ่าน sensor MQ-135

ส่วนที่ 5 วิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นการวิเคราะเพื่อประเมินความคุ้มค่าของระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ สำหรับการปลูกพืชในโรงเรือน ว่ามีความคุ้มค่าและเหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาต่อยอดทางธุรกิจหรือไม่

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

4.1 ผลการดำเนินงาน

จากวิธีการดำเนินการวิจัยที่กล่าวมา จึงแยกการเสนอผลการวิจัยออกเป็น 5 หัวข้อ

4.1.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการดักและคายซับสารเคมี เพื่อเลือกใช้เป็นซับในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์

4.1.2 ผลการทดสอบระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชในโรงเรือน

4.1.3 ผลการทดสอบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่ดักจับ และปริมาณการคายซับของสารไตรเอทาโนลามีนที่ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

4.1.4 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

4.1.5 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

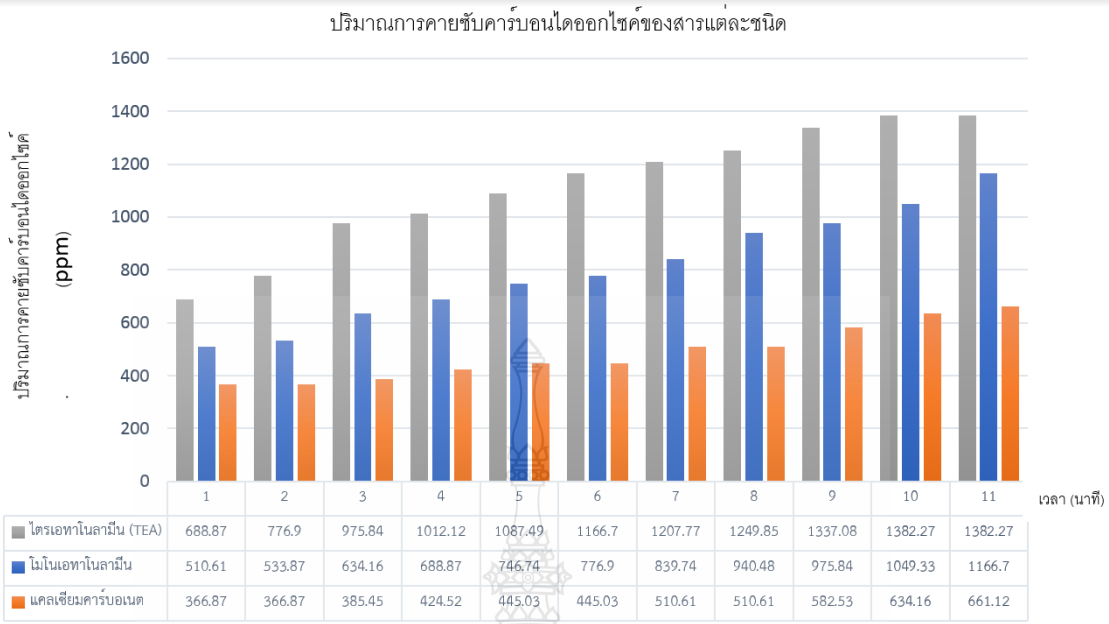
โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ทดสอบประสิทธิภาพในการดักและคายซับสารเคมี เพื่อเลือกใช้เป็นซับในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการดักและคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ของสารเคมี 3 ชนิด ได้แก่ไตรเอทาโนลามีน , โมโนเอทาโนลามีน และ แคลเซียมคาร์บอเนต โดยการนำสารทั้ง 3 ชนิดไปผ่านการอัดคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ปิด และใช้คาร์บอนไดออกไซด์จากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์ Yamaha Finn 115i ปี 2020 (เลขไมล์ 3464 กิโลเมตร) ซึ่งจากการวัดพบว่ามีอัตราการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยที่ประมาณ 800 ppm/นาที เป็นเวลา 10 นาที และวัดที่สภาพอากาศในพื้นที่ปิด ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นที่ 226.1 ppm

พบว่า ไตรเอทาโนลามีน มีอัตราการดักและคายซับที่มากที่สุด รองลงมาเป็น โมโนเอทาโนลามีน มีอัตราการดักและคายซับ ลำดับสอง และแคลเซียมคาร์บอเนตนั้นมีอัตราการดักและคายซับที่น้อยกว่าอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 4.1

และจากการจัดหาสารทั้ง 3 ชนิด พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตมีราคาถูกที่สุด ในขณะที่ โมโนเอทาโนลามีน มีราคาสูงที่สุด และจัดหาได้ค่อนข้างลำบาก ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ ไตรเอทาโนลามีน ในการใช้เป็นสารภายในระบบที่จะดำเนินการออกแบบและจัดสร้างต่อไป



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ไตรเอทาโนลามีน (TEA)	688.87	776.9	975.84	1012.12	1087.49	1166.7	1207.77	1249.85	1337.08	1382.27	1382.27
โมโนเอทาโนลามีน	510.61	533.87	634.16	688.87	746.74	776.9	839.74	940.48	975.84	1049.33	1166.7
แคลเซียมคาร์บอเนต	366.87	366.87	385.45	424.52	445.03	445.03	510.61	510.61	582.53	634.16	661.12

รูปที่ 4.1 ปริมาณการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ของสารแต่ละชนิด

4.1.2 ผลการทดสอบระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ สำหรับการปลูกพืชในโรงเรือน

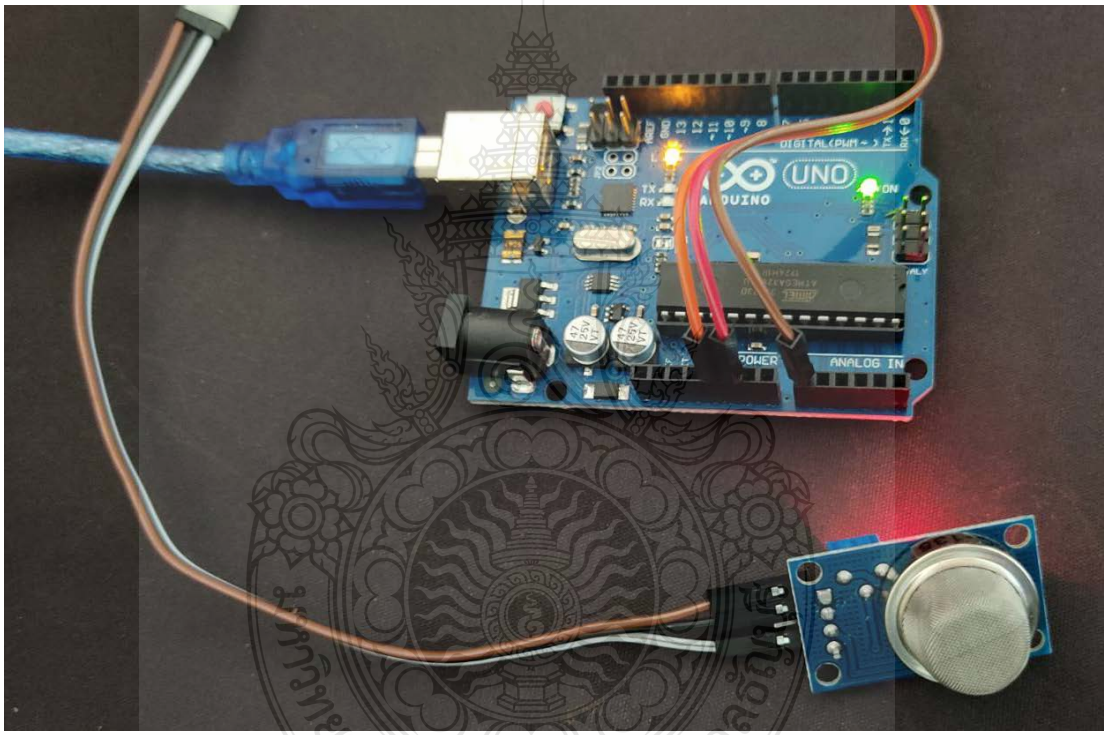
เมื่อจัดสร้างระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศตามที่ได้ออกแบบไว้เรียบร้อย จึงได้ดำเนินการทดสอบการทำงานส่วนต่าง ๆ เช่นปั้มที่ใช้ตรึงสาร อัตราการไหลของสาร พัดลมที่ทำหน้าที่อัดอากาศเข้าไปภายในกล่องดัก และประสิทธิภาพของกล่องดัก ซึ่งพบว่าเมื่อเปิดปั้มเพียงอย่างเดียวไม่สามารถดึงสารให้กลับมาวนผ่านถาดปล่อยสารได้ เพราะมีแรงดันต่ำไป แต่เมื่อเปิดพัดลมอัดอากาศทำให้ปั้มสามารถตรึงสารได้ในอัตราไหลที่ 0.7 ลิตร/นาที ซึ่งมากกว่าที่ถาดจะปล่อยสารได้ 7 ลิตร /ชั่วโมง จึงต้องทำการแยกสวิทช์กันเพื่อให้สามารถเปิดใช้งานแยกกันได้ ส่วนตัวกล่องดักและแผงดักคาร์บอนไดออกไซด์สามารถทำการดักและกักคาร์บอนไดออกซ์ได้ ซึ่งหลังเปิดทำงาน 10 นาที โดยไม่ใส่สาร พบว่าจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในกล่องมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1049.33 ppm จากที่เริ่มต้นมีค่าเพียง 145.95 ppm

รูปที่ 4.2 ระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

รูปที่ 4.3 แผงดักคาร์บอนไดออกไซด์

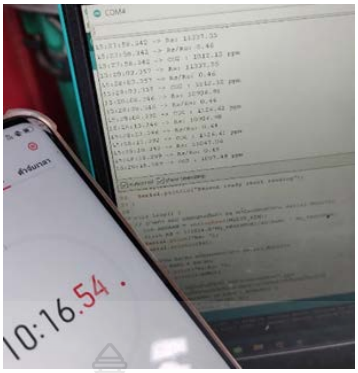
4.1.3 ผลการทดสอบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่ดักจับ และปริมาณการคายซับของสารไตรเอทาโนลามีนที่ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

ในการทดสอบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่ดักจับ และปริมาณการคายซับของสารไตรเอทาโนลามีนที่ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ โดยใช้โมดูลเซ็นเซอร์ MQ-135 ในการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์วัดภายในกล่องดักในระหว่างที่เดินระบบที่อยู่ในสภาพแวดล้อมซึ่งมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 226.10 ppm และวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในพื้นที่ปิดที่มีอากาศจากภายในถังใส่สารซึ่งถูกให้ความร้อน ซึ่งสามารถวัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุดที่ประมาณ 2000 ppm เนื่องจากถึงความละเอียดสูงสุดของเซ็นเซอร์



รูปที่ 4.4 โมดูลเซ็นเซอร์ MQ-135

จากการทดสอบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่ดักจับ พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในระบบจะเพิ่มขึ้นตลอดเวลา และเริ่มเพิ่มขึ้นช้าลงหลังผ่านไปประมาณ 12 นาที แต่ยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นต่อไปดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.5 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่กำลังเพิ่มขึ้นในการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกล่องดัก เมื่อเปิดใช้งานระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ที่สภาพแวดล้อมที่คาร์บอนไดออกไซด์ 226.10 ppm

ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)
0	127	16	1126
1	188	17	1382
2	298	18	1207
3	424	19	1292
4	533	20	1292
5	582	21	1249
6	717	22	1292
7	807	23	1382
8	906	24	1428
9	940	25	1524
10	1012	26	1337
11	1049	27	1382
12	1126	28	1337
13	1207	29	1524
14	1252	30	1428
15	1249		

จากการทดสอบปริมาณการคายซับของสารไตรเอทาโนลามีนที่ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศพบว่ามีอัตราการคายซับที่มากกว่าสารไตรเอทาโนลามีนที่ผ่านการอัดคาร์บอนโดยไม่ได้ผ่านระบบ ในระยะเวลาที่เท่ากัน ซึ่งสังเกตได้จากการปริมาณการคายคาร์บอนไดออกไซด์ที่เริ่มคายตั้งแต่ที่อุณหภูมิยังเพิ่มขึ้นไม่เต็มที่ ไปจนถึง 80 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2 ปริมาณการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ของสารละลายไตรเอทาโนลามีนที่ผ่านระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

ระยะเวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)
0	24	366.87
1	33	533.87
2	40	634.16
3	45	717.4
4	50	807.9
5	54	906.01
6	58	975.84
7	60	1049.33
8	62	1126.61
9	68	1249.85
10	72	1337.08
11	75	1475.83
12	80	1624.44
13	81	1838.65
14	82	1952.93
15	84	เกินกว่าปริมาณที่เซนเซอร์จะวัดได้

4.1.4 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

จากการทดสอบความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ระบบมีการคายซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)
24	366.87
33	533.87
40	634.16
45	717.4
50	807.9
54	906.01
58	975.84
60	1049.33
62	1126.61
68	1249.85
72	1337.08
75	1475.83
80	1624.44
81	1838.65
82	1952.93
84	เกินกว่าปริมาณที่เซนเซอร์จะวัดได้

4.1.5 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากผลการทดสอบระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ สำหรับปลูกพืชในโรงเรือน ที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นโดยใช้แรงงานคนปฏิบัติงาน 1 คน กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใช้งาน 15 วัตต์ต่อชั่วโมง ความสามารถในการทำงาน ดักคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสาร 7 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถคายซับได้โดยประมาณ 2000 ppm ต่อสาร 1 ลิตร (เซ็นซ็นไม่สามารถวัดค่าเกิน 2000 ppm) ทำงานปีละ 300 วัน ระยะเวลาคืนทุนและจุดคุ้มทุนของระบบดักคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ สำหรับภายในโรงเรือน ได้ดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการทำงาน

คำนวณได้จากต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.4 รายการค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1 เหล็กกล่อง เหล็กกลม เหล็กฉาก	1,200
2 อลูมิเนียมแผ่น	1,200
3 เซ็นเซอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1,800
4 อุปกรณ์ทั่วไป	1,500
5 ถังอลูมิเนียม	840
6 เชื่อมแก๊ส	800
รวมค่าใช้จ่าย	7,340

ข้อมูลระบบคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

ราคาเครื่อง	(P)	7,340	บาท			
อัตราดอกเบี้ย	(I)	10	%			
มูลค่าซาก	(S)	10	% ของราคาเครื่อง			
	=	10 %	x 7,340	=	734	บาท

การคำนวณหาความสามารถในการทำงานของเครื่อง

ตัวอย่างการคำนวณหาความสามารถในการทำงานของเครื่อง

การอัดคาร์บอนไดออกไซด์สาร 1 ลิตรใช้เวลาเฉลี่ย 8.57 นาที

เวลาในการคายซับจนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เกินที่เซ็นเซอร์วัดได้คือ 14 นาที

เวลารวม 8.57 + 14 = 22.57 นาที

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่คายซับได้โดยเฉลี่ยต่อสาร 1 ลิตร คือ 1500 ppm

$$\text{ความสามารถในการทำงาน (ppm/นาที)} = \frac{\text{จำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ที่คายซับได้ทั้งหมด}}{\text{เวลาในการทำงานทั้งหมด}}$$

$$= \frac{1500}{22.57}$$

$$= 66.45 \text{ ppm / นาที}$$

จะได้ความสามารถในการทำงานของเครื่องเท่ากับ 66.45 ppmต่อนาที

ความสามารถในการทำงาน		66.45 ppmต่อนาที	
ค่าเสื่อมราคา (D)	=	(มูลค่าเครื่อง – มูลค่าซาก) ÷ จำนวนปี (คิดที่ 5 ปี)	
	=	(7,340 - 734) / 5 =	1,321 บาท
ค่าดอกเบี้ย (OC)	=	(มูลค่าเครื่อง + มูลค่าซาก ÷ 2) x อัตราดอกเบี้ย	
	=	(7,340 + 734/2) x 0.1 =	770 บาท
ค่าต้นทุนคงที่ (FC)	=	ค่าเสื่อมราคา + ค่าดอกเบี้ย	
	=	1,321 + 770 =	2,091 บาท
คนดำเนินการใช้เครื่อง 1 คน	ทำงานจำนวน	1,800 ชั่วโมงต่อปี	
อัตราการจ้าง (B)	=	400 บาท	
ค่าสารเคมีอื่นๆเฉลี่ย	=	100 บาท / ชั่วโมง	
ค่าบำรุงรักษาเฉลี่ย	=	50 บาท	
ค่าจ้างแรงงาน	=	50 บาท / ชั่วโมง	
ต้นทุนแปรผัน	=	ค่าสารเคมีอื่นๆเฉลี่ย + ค่าบำรุงรักษาเฉลี่ย +ค่าจ้างแรงงาน	
	=	100 + 50 + 50 = 200 บาท /ชั่วโมง	
ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่อง	=	(ค่าต้นทุนคงที่ ÷ ชั่วโมงต่อปี) + ต้นทุนแปรผัน	
	=	(2,091 / 1,800) + 200 = 201.16	บาท/ชั่วโมง

จุดคุ้มทุน (BEP) = ค่าต้นทุนคงที่ ÷ (อัตราการจ้าง– ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่อง)

= 2091 / (400 – 201.16) = 10.51 ชั่วโมง

จุดคุ้มทุนในการทำงานเท่ากับ = 10.51 ชั่วโมง / ปี

ระยะเวลาในการคืนทุน

ค่าไฟฟ้า (E) / ชม. = กำลังไฟฟ้า (KW.) x อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

โดยที่คิดมอเตอร์ปั๊มที่ 1/4 HP กินกระแส 5 A. แรงดัน 220 V. อัตราค่าไฟ หน่วยละ 5 บาท

กำลังไฟฟ้า (KW.) = กระแสใช้งาน (A.) x แรงดันที่ใช้งาน (V.)

= 5 (A) x 220 (V) = 1.1 KW

ค่าไฟฟ้า (E) / ชม. = 1.1 KW x 5 บาท = 5.5 บาท คิดที่ 10 บาท / ชั่วโมง

ค่าไฟฟ้า (E) / ปี. = 10 บาท / ชั่วโมง x 1,800 ชั่วโมงทำงาน/ปี = 18,000 บาท/ปี

ค่าบำรุงรักษา (M) = 30 บาท / ชั่วโมง x 1800 ชั่วโมงทำงาน/ปี = 54,000 บาท/ปี

ค่าจ้างแรงงาน (W) = 50 บาท / ชั่วโมง x 1800 ชั่วโมงทำงาน/ปี = 90,000 บาท/ปี

ต้นทุนแปรผัน (VC) = ค่าไฟฟ้า (E) + ค่าบำรุงรักษา (M) + ค่าจ้างแรงงาน (W)

= 18,000 + 54,000 + 90,000

= 162,000 บาท / ปี

ต้นทุนรวม (AC) = (ค่าต้นทุนคงที่ – ค่าเสื่อม) + ต้นทุนแปรผัน

= (2,091 – 1,321) + 162,000

= 162,770 บาท/ปี

อัตราการจ้าง(B) = 400 × 300 = 120,000 บาท/ปี

ระยะเวลาในการคืนทุน (PBP = ราคาเครื่อง ÷ (อัตราการจ้าง – ต้นทุนรวม)

= 7,340 / (120,000 – 162,770) = 0.17 y หรือ 2 เดือน

จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์พบว่าระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมีราคาค่าเครื่อง 7,340 บาทและใช้เวลาในการทำงาน 1,800 ชั่วโมงต่อปี จึงกำหนดอัตราการจ้าง 400 บาท จากการคำนวณพบว่าค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่อง 201 บาทต่อชั่วโมง จุดคุ้มทุน ในการทำงานเท่ากับ 10.51 ชั่วโมงต่อปี และระยะเวลาในการคืนทุน 2 เดือน

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าสารเคมีที่เหมาะสมนำมาใช้เป็นซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมคือไตรเอทาโนลามีน เพราะมีราคาไม่สูงมาก มีอัตราการดักและคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่าสารชนิดอื่น หาซื้อได้ง่าย สามารถใช้ซ้ำได้ และไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายเพราะเป็นสารในกลุ่มทำความสะอาดซึ่งมักใช้ผสมในสบู่ หรือน้ำยาล้างต่าง ๆ

จากการออกแบบและสร้างระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศทำให้พบว่าระบบที่ออกแบบนั้นสามารถใช้ได้จริง ทั้งนี้เพราะการนำอากาศอัดเข้าไปภายในกล่องทำให้จำนวนโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ประกอบกับแผงที่ช่วยชะรอการไหลของสาร ทำให้สารสัมผัสกับคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้น และดักได้อย่างมีประสิทธิภาพ.

จากการทดสอบวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าเครื่องมีประสิทธิภาพในการใช้งานจริง แต่ด้วยเป็นเครื่องต้นแบบอาจจะไม่ได้มาตรฐาน แต่ก็ยังสามารถดักและคายซับคาร์บอนออกมาได้จนเกินกว่าเซนเซอร์ที่มีจะวัดได้ แสดงให้เห็นว่าระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืชในโรงเรือนยังสามารถพัฒนาต่อไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำได้อีกมาก

จากการทดสอบความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ระบบมีการคายซับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและด้วยผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมยิ่งแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการใช้งาน ซึ่งสามารถนำไปเป็นแนวทางเพื่อพัฒนาต่อไปได้

บทที่ 5
สรุป และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาข้อมูล วางแผนดำเนินงาน ออกแบบและสร้างระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับปลูกพืชในโรงเรือน ตลอดจนการทดลองต่าง ๆ จนแล้วเสร็จ ทำผู้จัดทำจึงขอสรุปผลการดำเนินงานทั้งหมด และฝากข้อเสนอแนะไว้ดังนี้

5.1 สรุป

จากการดำเนินงานออกแบบและสร้างระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ผ่านการทดลองสอบโดยการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาพอากาศปกติจำนวน 5 ครั้ง ปรากฏว่าสามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้จริงทุกครั้ง โดยความสามารถในการทำงานเฉลี่ย ดักคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสาร 7 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถคายซับได้ประมาณ 1500 ppm ต่อสาร 1 ลิตร (เซ็นเซอร์ไม่สามารถวัดค่าเกิน 2000 ppm) คิดเป็นความสามารถในการทำงาน 66.45 ppmต่อนาที และสารที่เหมาะสมจะใช้เป็นซับในการดักคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดคือไตรเอทาโนลามีน เนื่องจากมีปริมาณการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงที่สุดในการทดสอบดักคาร์บอนไดออกไซด์โดยการอัดคาร์บอนจากรถจักรยานยนต์เป็นเวลา 10 นาที และยังเป็นสารที่หาซื้อได้ง่าย ปลอดภัย ประหยัด และสามารถนำกลับไปใช้ซ้ำได้ ซึ่งจากคำนวณทางเศรฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมีระยะเวลาในการคืนทุน 2 เดือน ซึ่งถือว่ามีความคุ้มค่า สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเกษตรในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1ในการทดลองหรือพัฒนาควรใช้เซ็นเซอร์ที่มีความละเอียดมากขึ้น เพื่อสามารถวัดปริมาณการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แม่นยำมากขึ้น

5.2.2 ควรเพิ่มระบบกรองอากาศและกรองสาร เนื่องจากสารที่ผ่านระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ในอากาศมาและนำไปผ่านกระบวนการให้คายซับแล้วนั้น สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ จึงควรมีการกรองฝุ่นละอองต่าง ๆ เพื่อยืดอายุการใช้งานสารออกไป

5.2.3 สามารถต่อยอดเพื่อทำให้เกิดเป็นระบบที่สมบูรณ์ได้ โดยการเพิ่มระบบทำความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส เพื่อให้สารเกิดการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ และเพิ่มระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการคายซับมาเก็บไว้เพื่อนำไปใช้ รวมถึงการเพิ่มระบบที่สามารถควบคุมปริมาณในการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปได้

5.2.4 หากไม่ได้ต้องการใช้คาร์บอนบริสุทธิ์ สามารถต่อยอดโดยการนำสารที่เป็นซับออกจากระบบ และเพิ่มระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมอยู่ในกล่องดักได้

5.2.5 เมื่อนำไปใช้ภายในโรงเรือน เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์เกินกว่า 1500 ppm ไม่ควรให้มีคนอยู่ภายในโรงเรือน เพราะอาจเป็นอันตรายได้

5.2.6 ในการทดลองควรเพิ่มการทดสอบจริงในการปลูกพืชภายในโรงเรือนที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่กำหนด

บรรณานุกรม

[1] จุฑารัตน์ ฉัตรวิริยาวงศ์และวิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์.2555.สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธุ์ 2563. คาร์บอนไดออกไซด์. ที่มา https://gsbooks.gs.kku.ac.th/56/grc14/files/pmo10.pdf

[2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2561).สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธุ์ 2563. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ DEPARTMENT OF ENVIRONMETAL QULITY PROMOTION ที่มา https://actionforclimate.deqp.go.th/?p=6236

[3] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้. (2557).การสังเคราะห์แสงของพืช สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธุ์ 2563.ที่มาhttp://kamlerdjaruwan.blogspot.com/2014

[4] “IPCC Special Report Carbon Dioxide Capture and Storage Summary for Policymakers” (PDF). Intergovernmental Panel on Climate Change. Retrieved 2011-10-05. from: www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_summary

[5] "Introduction to Carbon Capture and Storage - Carbon storage and ocean cidification activity". Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) and the GlobalCCSInstitute.Retrieved2013-0703.Available from:http://www.globalccsinstitute.com

[6] Burying the problem., Canadian Geographic. Available from: http://www.canadiangeographic.ca

[7] Scientific Facts on CO_2 Capture and Storage, 2012. Available from: http://www.greenfacts.org/en/co2-capture-storage/.

[8] NETL 2007 Carbon Sequestration Atlas, 2007. Available from: http://www.netl.doe.gov /technologies/carbon /index.html.

[9] Phelps, J., Blackford, J., Holt, J., and Polton, J., Modelling Large-Scale CO_2 Leakages in the North Sea, International Journal of Greenhouse Gas Control, 38 (2015) 210–220.

[10] Tanaka, N. CO_2 CAPTURE AND STORAGE: A key carbon abatement option. International Energy Agency (IEA) Publications, France, 2008, ISBN: 978-92-64-04140-0.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[11] Oh, T.H. Carbon Capture and Storage Potential in Coal-fired Plant in Malaysia-a Review, Renewable Sustainable Energy reviews 14 (2010) 2697–2709.

[12] Gray, M.L., Champagne, K.J., Fauth, D., Baltrus, J.P., and Pennline, H. Performance of immobilized tertiary amine solid sorbents for the capture of carbon dioxide, International Journal of Greenhouse Gas Control 2 (2008): 3–8.

[13] Gray, M.L., Soong, Y., Champagne, K.J., Pennline, H., Baltrus, J.P., Stevens Jr., R.W., Khatri, R., Chuang, S.S.C., and Filburn, T. Improved immobilized carbon dioxide capture sorbents, Fuel Processing Technology 86 (2005): 1449–1455.

[14] Gray, M.L., Champagne, K., Hoffman, J., Hedge, S., Fauth, D., Baltrus, J., and Pennline, H. Systematic Design of Immobilized Solid Amine Sorbents for the Capture of Carbon Dioxide, The National Energy Technology Laboratory (NETL), Proceeding paper.

[15] Lu, A.H., and Dai, S. Porous Materials for Carbon Dioxide Capture, Springer, 2014.

[16] Boot-Handford, M.E., Abanades, J.C., Anthony, E.J., Blunt, M.J., Brandani, S., Dowell, N.M., Fernández, J.R., Ferrari, M.-C., Gross, R., Hallett, J.P., Haszeldine,R.S Heptonstall, P., Lyngfelt, A., Makuch, Z., Mangano, E., Porter R.T.J., Pourkashanian M., Rochelle, G.T., Shah, N., Yaoa, J.G., and Fennell, P.S. Carbon capture and storage update, Energy & Environmental Science 7 (2014) 130–189.

[17] Rochelle, G. Amine scrubbing for CO2 capture, Science 325 (2009) 1652-1654.

[18] Sumida, K. Rogow, D.L., Mason, J.A., McDonald, T.M., Bloch, E.D., Herm, Z.R., Bae T -H., and Long, J.R. Carbon dioxide capture in metal–organic frameworks. Chemical Reviews 112 (2012) 724–781.

[19] NETL, "Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants" Volume 1: Bituminous Coal and Natural Gas to Electricity. Available from: http://www.netl.doe.gov/energy-analyses/pubs/BitBase_FinRep_Rev2.pdf.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[20] Solid sorbents for carbon capture, Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Solid_ sorbents_for_carbon_capture.

[21] Liu, X.W., Zhou, L., Fu, X., Sun, Y., Su, W., and Zhou, Y.P. Adsorption and regeneration study of the mesoporous adsorbent SBA-15 adapted to the capture/separation of CO2 and CH4, Chemical Engineering Science 62 (2007): 1101-1110.

[22] Kamarudin, K.S.N., and Alias, N. Adsorption performance of MCM-41 impregnated with amine for CO_2 removal, Fuel Processing Technology 106 (2013):332–337.

[23] Belmabkhout, Y., and Sayari, A. Effect of pore expansion and amine functionalization of mesoporous silica on CO_2 adsorption over a wide range of conditions. Adsorption 15 (2009): 318–328.

[24] León, M., Díaz, E., Bennici, S., Vega, A., Ordóñez, S., Auroux, A. Adsorption of CO2 on Hydrotalcite-Derived Mixed Oxides: Sorption Mechanisms and Consequences for Adsorption Irreversibility. Industrial & Engineering Chemistry Research 49 (2010): 3663–3671.

[25] Ebner, A.D., Gray, M.L., Chisholm, N.G., Black, Q.T., Mumford, D.D., Nicholson, M.A., Ritter, J.A. Suitability of a Solid Amine Sorbent for CO_2 Capture by Pressure Swing Adsorption. Industrial & Engineering Chemistry Research 50 (2011): 5634– 5641.

[26] ปรีชา กสิกรรมไพบูลย์ และอุไรวรรณ ขุนจันทร์. (2560). การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สชีวภาพด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ที่ดัดแปลงพื้นผิวด้วยเอมีน. ปัตตานี : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[27] ณัฐธยาน์ พงศ์สถาบดี และคณะ. (2558). การเลือกดักจับแก๊สเรือนกระจกคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สผสมกระแสไฮโดรเจนเข้มข้นบนตัวดูดซับของแข็งชนิดดินที่ดัดแปลรหมู่ฟังก์ชันพื้นผิวด้วยเอมีน. กรุงเทพฯ : คลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR).

บรรณานุกรม (ต่อ)

[28] เคลาส์ แลคเนอร์. (2562, 3 มีนาคม). เครื่องช่วยดูดคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ อาจสร้างโอกาสทางธุรกิจในอนาคต. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธุ์ 2563, แหล่งที่มา . https://themomentum.co/klaus-s-lackner-carbon-dioxide-reuse/

[29] Climeworks (2559). นวัตกรรมดักจับ CO_2 มาแปรสภาพเป็นพลังงานสะอาด รักเรา รักษ์โลก. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธุ์ 2563. แหล่งที่มา . https://www.creativemove.com/design/direct-air-capture/

[30] “คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อีกแล้ว ”. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธุ์ 2563, แหล่งที่มา http://www.eco-agrotech.com/เกษตรไฮเทค/คาร์บอนไดออกไซค์อีกแล้ว

[31] สุนิสา สุดไทย และ สิริวัฒน์ สาครวาสี. (2562). การเจริญเติบโตของต้นกล็อกซิเนีย ภายใต้สภาวะที่มีการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 20.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางผลการทดสอบ

ตาราง ก.1 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกล่องดัก เมื่อเปิดใช้งานระบบตึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ที่สภาพแวดล้อมมีคาร์บอนไดออกไซด์ 226.10 ppm

ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)
0	127	16	1126
1	188	17	1382
2	298	18	1207
3	424	19	1292
4	533	20	1292
5	582	21	1249
6	717	22	1292
7	807	23	1382
8	906	24	1428
9	940	25	1524
10	1012	26	1337
11	1049	27	1382
12	1126	28	1337
13	1207	29	1524
14	1252	30	1428
15	1249		

ตาราง ก.2 ปริมาณการคายซับคาร์บอนไดออกไซด์ของสารละลายไตรเอทาโนลามีนที่ผ่านระบบตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

ระยะเวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)
0	24	366.87
1	33	533.87
2	40	634.16
3	45	717.4
4	50	807.9
5	54	906.01
6	58	975.84
7	60	1049.33
8	62	1126.61
9	68	1249.85
10	72	1337.08
11	75	1475.83
12	80	1624.44
13	81	1838.65
14	82	1952.93
15	84	เกินกว่าปริมาณที่เซนเซอร์จะวัดได้

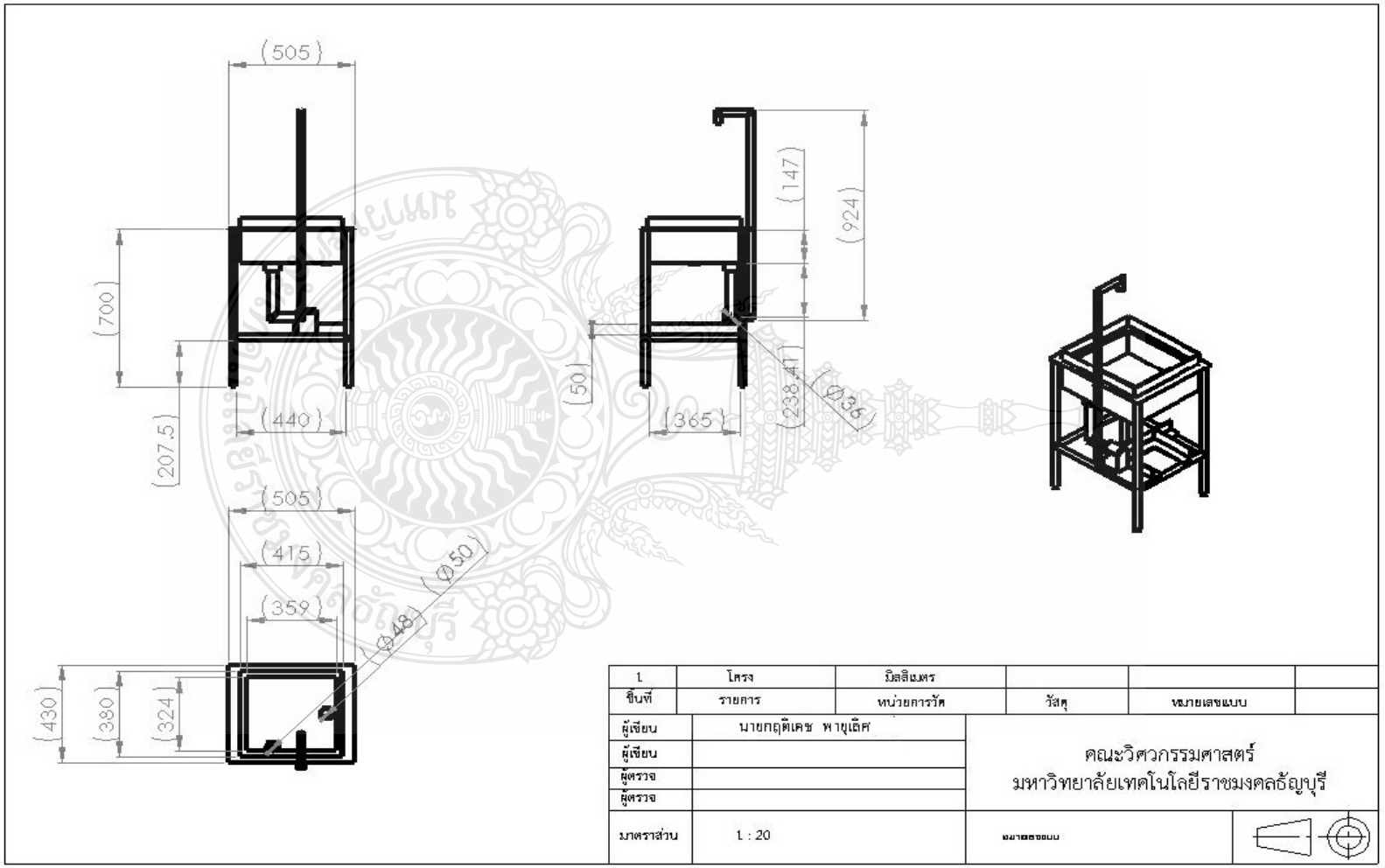
ตาราง ก.3 ความสัมพันธ์ของการเพิ่มอุณหภูมิกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)
24	366.87
33	533.87
40	634.16
45	717.4
50	807.9
54	906.01
58	975.84
60	1049.33
62	1126.61
68	1249.85
72	1337.08
75	1475.83
80	1624.44
81	1838.65
82	1952.93
84	เกินกว่าปริมาณที่เซนเซอร์จะวัดได้

ตาราง ก.4 การเปรียบเทียบผลผลิตในโรงเรือนที่มีการควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

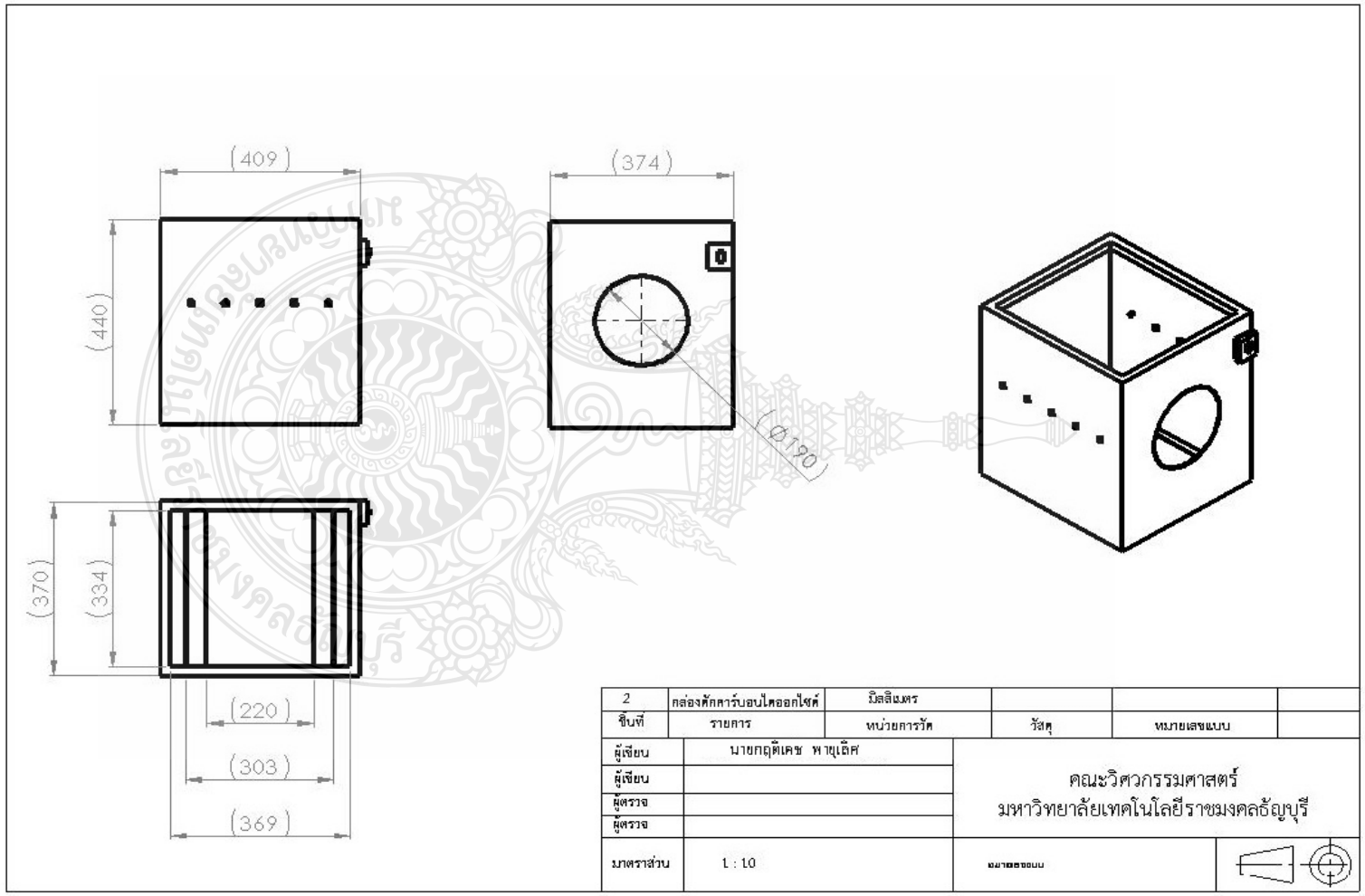
พืช	ความเข้มข้น CO_2 ที่เหมาะสม (ppm)	ผลลัพธ์
แตงร้าน	1500 - 2000	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 20-35 %
มะเขือ	1000 – 1500	ผลผลิตเพิ่มมากมาย แก่ – เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น 7-14 วัน
กล่ำปลี	800-1200	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 30 % คุณภาพดีมากเก็บเกี่ยวเร็วขึ้น 7- 14 วัน
ผักกาดหอม	1000-1500	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 30-40 % เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น
พริก	700-1200	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 25-30 % เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น
มะเขือเทศ	1000	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 30 %
คะน้า	800-1000	เก็บเกี่ยวเร็วขึ้น
สตรอเบอร์รี่	1000-1500	ผลผลิตเพิ่มขึ้นมากเก็บเกี่ยวเร็วขึ้น 7 – 14 วัน
แคนตาลูป	800-100	ผลผลิตเพิ่มขึ้น 15 % คุณภาพดีมาก

ภาคผนวก ข
การเขียนแบบทางวิศวกรรม



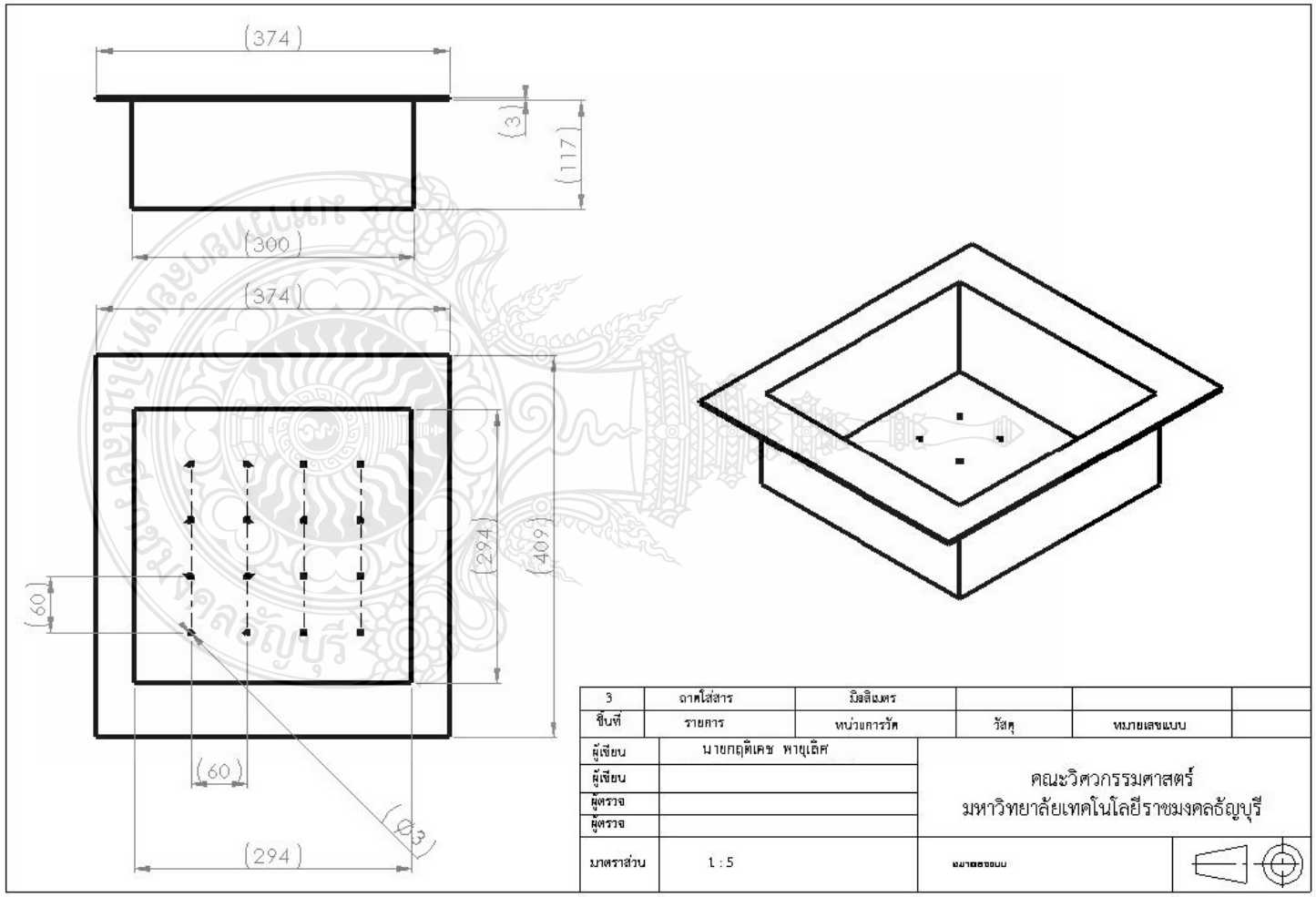
1	โครง	มิลลิเมตร			
ชิ้นที่	รายการ	หน่วยการวัด	วัสดุ	หมายเลขแบบ	
ผู้เขียน	นายกฤติเดช พายุเดิศ				
ผู้เขียน					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ					
มาตราส่วน	1 : 20				

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

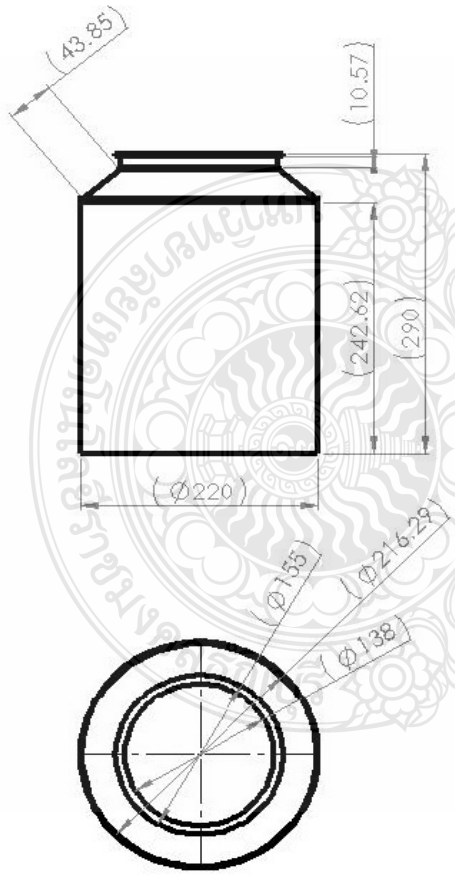


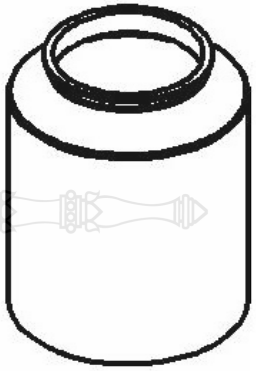
2	กล่องหักลาร์บอนไดออกไซด์	มิลลิเมตร			
ชิ้นที่	รายการ	หน่วยการวัด	วัสดุ	หมายเลขแบบ	
ผู้เขียน	นายกฤติเดช พายุเดิศ				
ผู้เขียน					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ					
มาตราส่วน	1 : 10				

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

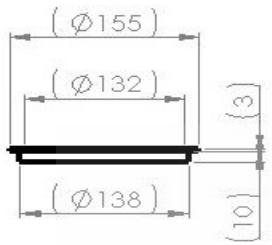

374
3
117
300
374
294
409
60
60
294
Ø3
3
ฉากใส่สาร
มิลลิเมตร
ชิ้นที่
รายการ
หน่วยการวัด
วัสดุ
หมายเลขแบบ
ผู้เขียน
นายกฤติเดช พายุเดิศ
ผู้เขียน
ผู้ตรวจ
ผู้ตรวจ
มาตราส่วน
1 : 5
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

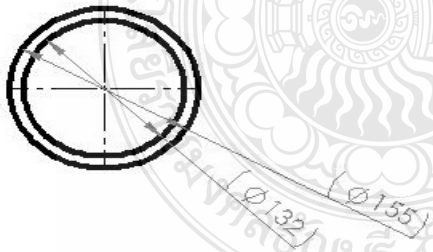
(300)
(300)

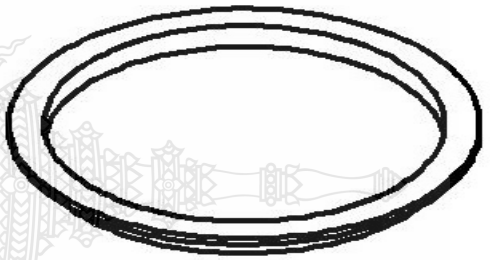




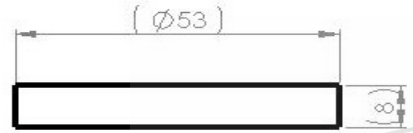
5	ถังเก็บสาร	มิลลิเมตร			
ชิ้นที่	รายการ	หน่วยการวัด	วัสดุ	หมายเลขแบบ	
ผู้เขียน	นายกฤติเดช พาขุเดิศ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้เขียน					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ					
มาตราส่วน	1 : 5		หมายเลขแบบ		

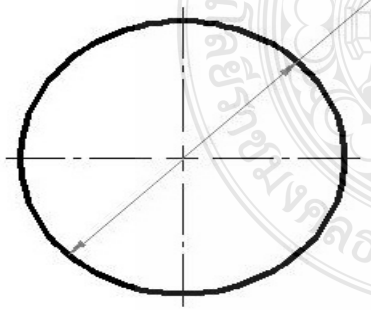


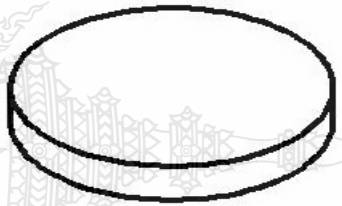




6	ฝาปิดถังใส่สาร	มิลลิเมตร			
ชิ้นที่	รายการ	หน่วยการวัด	วัสดุ	หมายเลขแบบ	
ผู้เขียน	นายกฤติเดช พายุเติศ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้เขียน					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ					
มาตราส่วน	1 : 5		หมายเลขแบบ		





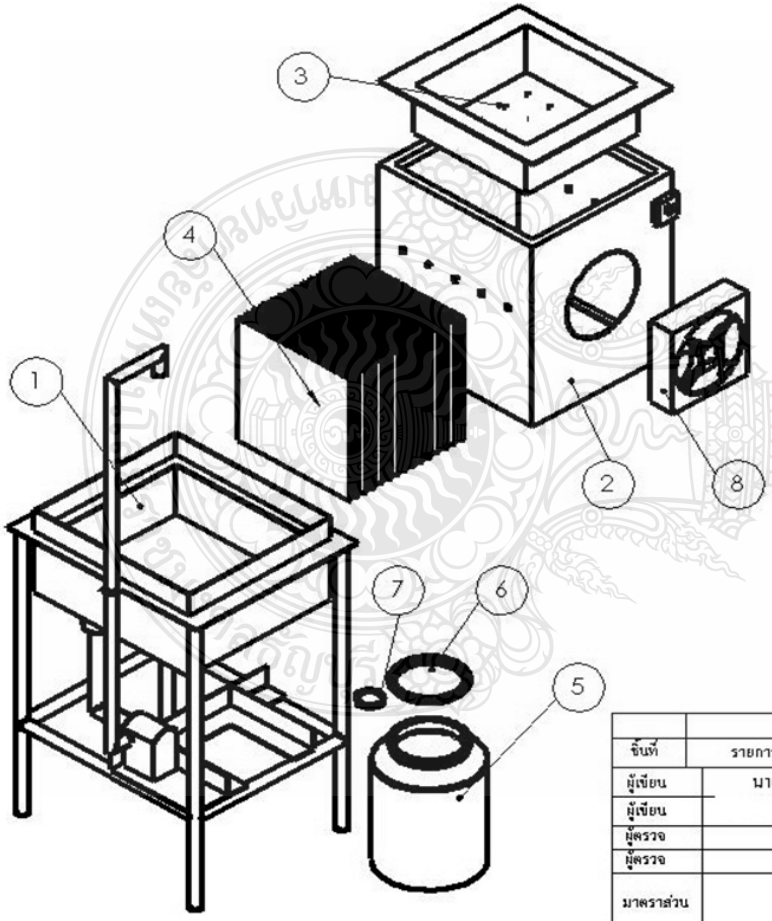


นายกฤติเดช พายุเดิศ

7	ฝาปิดช่องระบายสาร	มิลลิเมตร			
ชิ้นที่	รายการ	หน่วยการวัด	วัสดุ	หมายเลขแบบ	
ผู้เขียน	นายกฤติเดช พายุเดิศ				
ผู้เขียน					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ					
มาตราส่วน	1 : 1				

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

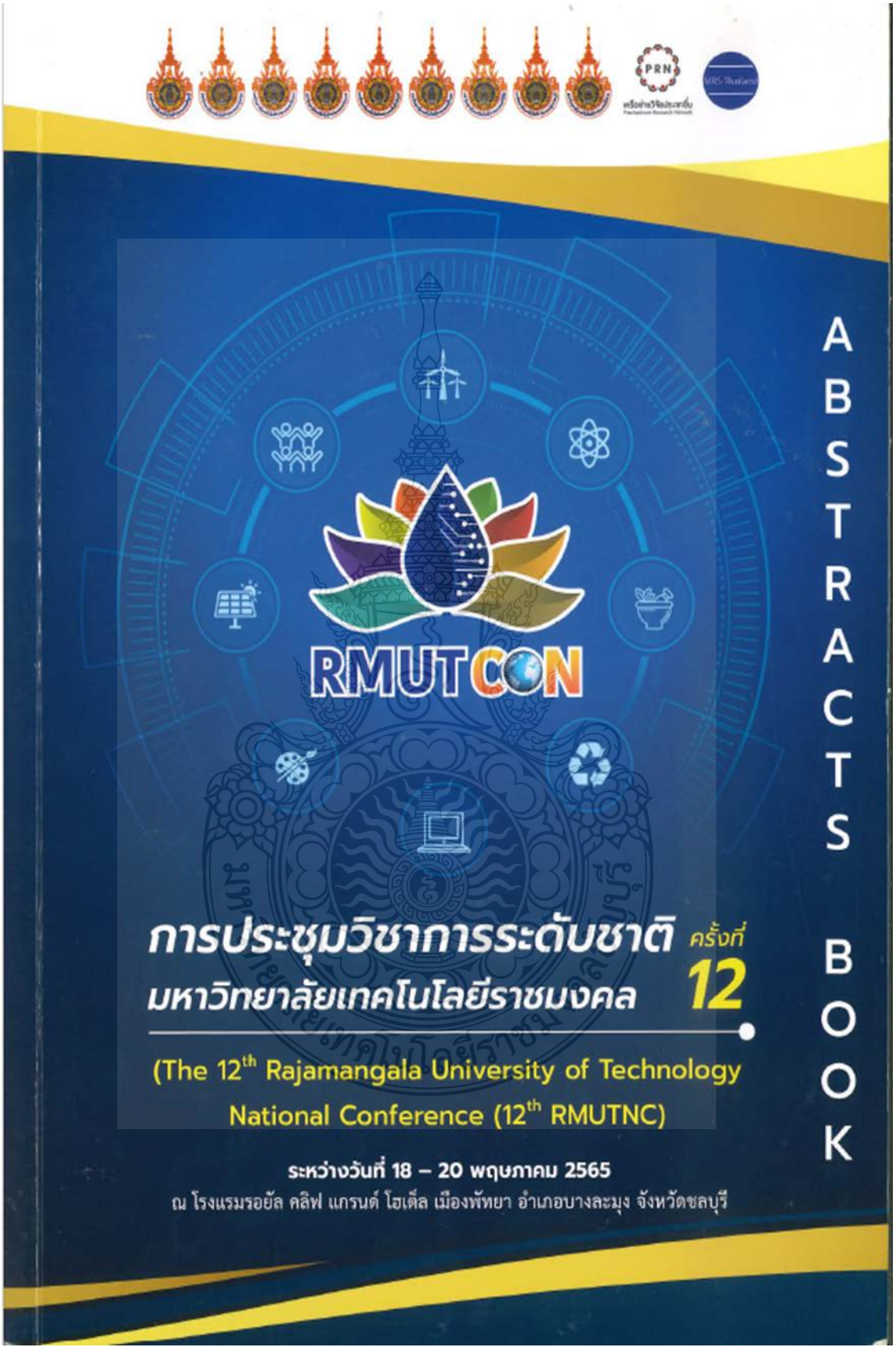
8	พัดลม	มิลลิเมตร			
ชิ้นที่	รายการ	หน่วยการวัด	วัสดุ	หมายเลขแบบ	
ผู้เขียน	นายกฤติเดช พายุเดิศ		คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
ผู้เขียน					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ					
มาตราส่วน	1 : 5		ชื่อแบบ		



ชิ้นที่	รายการ
1	โครง
2	กล่องดักคาร์บอนไดออกไซด์
3	ถาดใส่สาร
4	แผงดักคาร์บอนไดออกไซด์
5	ถังเก็บสาร
6	ฝาปิดถังเก็บสาร
7	ฝาปิดช่องระบายสาร
8	พัดลม

ชิ้นที่	รายการ	หน่วยการวัด	วัสดุ	หมายเลขแบบ	
ผู้เขียน	นายกฤติเดช พาขุเถิศ			คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	
ผู้เขียน					
ผู้ตรวจ					
ผู้ตรวจ					
มาตราส่วน			หมายเลขแบบ		

ภาคผนวก ค
การเผยแพร่ผลงาน


RMUTCON
การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 12
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
(The 12th Rajamangala University of Technology
National Conference (12th RMUTNC)
ระหว่างวันที่ 18 – 20 พฤษภาคม 2565
ณ โรงแรมรอยัล คลิฟ แกรนด์ โฮเต็ล เมืองพัทยา อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี
ABSTRACTS BOOK

การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 12 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
การประกวดสิ่งประดิษฐ์ ครั้งที่ 4 และนวัตกรรมราชมงคล
นำเสนอภาคบรรยาย
โดย
กฤติเดช พายุเลิศ และ เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์
ผลงานเรื่อง
ระบบการตึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศสำหรับการปลูกพืช ภายในโรงเรือนสมัยใหม่
Session 3 : สาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
รองศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด
อธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
18-20 พฤษภาคม พ.ศ. 2565
ณ รอยัล คลิฟ แกรนด์ โฮเต็ล, พัทยา, ประเทศไทย
RMUTCON

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล	นายกฤติเดช พายุเลิศ
วัน-เดือน-ปี เกิด	30 สิงหาคม 2522
ที่อยู่	281/16 ถ.สุรวงศ์ แขวงสี่พระยา เขตบางรัก กทม. 10500
การศึกษา	ปี 2544 ปริญญาตรี สาขาเกษตรกลวิธาน สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตบางพระ ปี 2547 ปริญญาโท สาขาบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ประสบการณ์การทำงาน	ปัจจุบัน ผู้จัดการ บริษัท ทวีผลการเกษตร (2013) จำกัด บริษัท เทอราโกร จำกัด บริษัท สยามจีโอ เทคนิด จำกัด บริษัท เกษตรทิพย์ จำกัด บริษัท พรพัฒนสิน จำกัด 16 ก.ค. 2550 เริ่มงานกับบริษัทในเครือ TCC
เบอร์โทรศัพท์	081-9340479
อีเมล์	Krittidet.p@tcc-private.com