



โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อกำจัดฝุ่นละออง และมลพิษทางอากาศ

Development of Air Purifier for Elimination of Dust and Air Pollution

ชื่อนิสิต	นางสาวเสริมสุข	รอตรัมย์ก	เลขประจำตัว	5932972523
	นายอินทนนท์	แสงศิริ	เลขประจำตัว	5932982823

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักในงานวิจัย ที่สละเวลาในการให้คำปรึกษา แนะนำ และ ข้อคิดเห็น เพื่อนำไปแก้ไขส่วนที่บกพร่องในงานวิจัยให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ อีกทั้งยังทำให้ผู้วิจัยได้รับความรู้ ความเข้าใจในเรื่องที่ศึกษาได้อย่างชัดเจนถ่องแท้มากยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมี เทคนิค ที่กรุณาให้คำแนะนำ และคำปรึกษา ขอขอบพระคุณนางสาวกฤตยา พันพลู ที่ช่วยสอนและให้ คำปรึกษาในการแก้ปัญหาในระหว่างการทำวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนสถานที่และเงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัย รวมทั้งบุคลากรทุกท่านที่มี ส่วนช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ ทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาตลอดการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนครอบครัวของผู้ทำวิจัยเป็นอย่างสูง ที่ให้การ สนับสนุนและให้โอกาสในการศึกษา อีกทั้งยังคอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดจนสำเร็จการศึกษา

บทคัดย่อ

ชื่อโครงการ การพัฒนาอุปกรณ์เพื่อกำจัดฝุ่นละออง และมลพิษทางอากาศ

ชื่อนิติผู้ทำโครงการ นางสาวเสริมสุข รอดรังนก

นายอินทนนท์ แสงศิริ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นในประเทศหลาย ๆ ประเทศ รวมถึงประเทศไทย ที่ต้องรับมือกับปัญหาฝุ่นละออง โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็ก ขนาด 10 และ 2.5 ไมครอน ซึ่งก่อให้เกิด ความเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ปัญหาเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะขยายตัวและรุนแรงเพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยพัฒนา เครื่องฟอกอากาศ โดยใช้แผ่นกรองอากาศจากยางธรรมชาติเพื่อกำจัดฝุ่นละอองและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แผ่นกรองอากาศจากยางธรรมชาติร่วมกับซิลิกาตัดแปรพื้นผิวด้วยสารประกอบแอมีน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและ ประสิทธิภาพในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แผ่นกรองยางธรรมชาติที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยมี 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองยางแบบไม่เจาะรู (ชนิด A) แผ่นกรองยางแบบเจาะรู (ชนิด B) แผ่นกรองยางผสมซิลิกาแบบ เจาะรู (ชนิด C) และแผ่นกรองยางผสมซิลิกาตัดแปรแบบเจาะรู (ชนิด D) จากการทดลองพบว่าความสามารถ ในการดูดซับฝุ่น PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ คือ แผ่นกรองยาง ธรรมชาติชนิด $D > C > B > A$ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของฝุ่นละออง PM2.5 ร้อยละ 61.02, 58.18, 52.38, 45.79 และค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 41.42, 37.93, 31.19, 26.67 ตามลำดับ หลังจากนำแผ่นกรองยางชนิด D ไปผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าแผ่นกรองยางมีรอบ ในการนำมากลับมาใช้ซ้ำได้สูงสุด 3 ครั้ง โดยมีความสามารถในการดูดซับฝุ่นละออง PM2.5 และแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ลดลงร้อยละ 23.77 และ 27.75 ตามลำดับ

คำสำคัญ ฝุ่นละออง, ยางธรรมชาติ, แผ่นกรองอากาศ, การดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิติ **เสริมสุข รอดรังนก**

ลายมือชื่อนิติ **อินทนนท์ แสงศิริ**

สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา



ABSTRACT

Title Development of Air Purifier for Elimination of Dust and Air Pollution

Student name Ms. Surmsuk Rodrungnok
Mr. Inthanon Sangsiri

Advisor Assoc. Prof. Dr. Sirilux Poompradub

**Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University,
Academic Year 2018**

ABSTRACT

Air pollution is one of the pressing problems in many countries including Thailand that must deal with the dust problems, especially small particles of 10 and 2.5 microns which cause the health hazard. These problems tend to expand and grow violent. Thus, this study aims to develop the air purifier using natural rubber filter to filter dust and adsorb carbon dioxide. The natural rubber filter with silica modified by amine is prepared to enhance the surface area and carbon dioxide adsorption capacity. There are 4 types of natural rubber filters used in this research such as unperforated rubber filter (A type), perforated rubber filter (B type), perforated rubber filter with unmodified silica (C type) and perforated rubber filter with modified silica (D type). From the experiment, the results show that the ability to adsorb PM2.5 dust and carbon dioxide arranges in descending order as follows: $D > C > B > A$ with the PM2.5 reduction percentages of 61.02, 58.18, 52.38, 45.79 and the carbon dioxide reduction percentage of 41.42, 37.93, 31.19, 26.67, respectively. Finally, the D type-natural rubber filter is regenerated and it can be reused up to 3 cycles with the adsorption capacity of PM2.5 and carbon dioxide reduction by 23.77% and 27.75%, respectively.

Keywords: Dust, Natural rubber, Filter, Carbon dioxide capture

Department of Chemical Technology

Student's signature *Surmsuk Rodrungnok*

Student's signature *Inthanon Sangsiri*

Major: Chemical Engineering

Advisor's signature *Sirilux P.*

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
ABSTRACT	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂).....	4
2.2 ฝุ่น PM2.5	4
2.3 ยางธรรมชาติ (Natural rubber).....	6
2.4 การดูดซับ (Adsorption).....	10
2.5 ซิลิกา (Silica).....	12
2.6 หมู่แอมีน (Amine group).....	14
2.7 การตรึงแอมีนลงบนพื้นผิวตัวดูดซับ	15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีดำเนินงาน	18
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	18
3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	19
3.3 การดำเนินงานวิจัย.....	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	25
4.1 การทดลองการดักจับฝุ่นละออง	25
4.2 การทดลองการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์.....	27

4.3 การกำจัดฝุ่นละอองและสารเคมีในแผ่นกรองยางธรรมชาติเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	31
5.1 สรุปผลการทดลอง	31
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก ก	35
ภาคผนวก ข	53

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของสารมลพิษทางอากาศ	5
ตารางที่ 2.2	องค์ประกอบของยางธรรมชาติ	6
ตารางที่ 2.3	ปริมาณการใช้สารต่าง ๆ	10
ตารางที่ 2.4	สมบัติของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี.....	11
ตารางที่ 3.1	เครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบเครื่องกรองอากาศ การขึ้นรูปแผ่นกรองยางธรรมชาติและการสังเคราะห์ซิลิกา	18
ตารางที่ 3.2	สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	19
ตารางที่ 3.3	สูตรการเตรียมแผ่นกรองยางคอมพาวนด์.....	22
ตารางที่ 3.4	ชนิดของแผ่นกรองยางธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัย.....	23
ตารางที่ 4.1	เปรียบเทียบปริมาณ PM _{2.5} ที่ลดลงของแผ่นกรองยางธรรมชาติแต่ละชนิด	25
ตารางที่ 4.2	เปรียบเทียบปริมาณ CO ₂ ที่ลดลงของแผ่นกรองธรรมชาติแต่ละชนิด.....	27
ตารางที่ ก.1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM _{2.5} ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด A	35
ตารางที่ ก.2	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO ₂ ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด A.....	36
ตารางที่ ก.3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM _{2.5} ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด B.....	37
ตารางที่ ก.4	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO ₂ ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด B.....	38
ตารางที่ ก.5	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM _{2.5} ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด C	39
ตารางที่ ก.6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO ₂ ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด C.....	40
ตารางที่ ก.7	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM _{2.5} ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D	41
ตารางที่ ก.8	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO ₂ ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D.....	42
ตารางที่ ก.9	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM _{2.5} ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	43
ตารางที่ ก.10	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO ₂ ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1	44
ตารางที่ ก.11	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM _{2.5} ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	45
ตารางที่ ก.12	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO ₂ ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2	46
ตารางที่ ก.13	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM _{2.5} ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	47
ตารางที่ ก.14	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO ₂ ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3	48
ตารางที่ ก.15	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM _{2.5} ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	49
ตารางที่ ก.16	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO ₂ ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4	50
ตารางที่ ก.17	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM _{2.5} ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	51
ตารางที่ ก.18	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO ₂ ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5	52

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์.....	4
รูปที่ 2.2 ลักษณะการเกิดสภาพอากาศที่มีการผกผันกลับของอุณหภูมิ	5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ cis-1,4- Polyisoprene.....	7
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของซิลิกา	12
รูปที่ 2.5 แอมีนปฐมภูมิ แอมีนทุติยภูมิ และแอมีนตติยภูมิ.....	15
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของแอมีน	15
รูปที่ 2.7 การ Grafting ลงบนพื้นผิวตัวดูดซับ	16
รูปที่ 3.1 แบบร่างเครื่องกรองอากาศ.....	20
รูปที่ 3.2 ด้านหน้าและด้านข้างเครื่องกรองอากาศ.....	21
รูปที่ 3.3 การเตรียมแผ่นกรองยางธรรมชาติ.....	23
รูปที่ 3.4 การทดสอบประสิทธิภาพการดักจับฝุ่น PM2.5 และการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์.....	24
รูปที่ 4.1 กราฟการเปรียบเทียบปริมาณ PM2.5 เมื่อเวลาผ่านไปของแผ่นกรองยางธรรมชาติแต่ละชนิด	26
รูปที่ 4.2 กราฟการเปรียบเทียบปริมาณ CO ₂ เมื่อเวลาผ่านไปของแผ่นกรองยางธรรมชาติแต่ละชนิด	28
รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงปริมาณที่เปลี่ยนแปลงของ PM2.5 กับ CO ₂ และจำนวนรอบในการนำกลับมาใช้ใหม่ ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D.....	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นในเขตเมืองใหญ่ และประเทศใหญ่หลาย ๆ ประเทศทั่วโลก เช่น ประเทศจีน อินเดีย รวมถึงประเทศไทยกำลังเผชิญกับปัญหาฝุ่นละออง โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็ก ทั้ง PM10 และ PM2.5 เป็นเหตุให้เกิดผลกระทบและอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ทั้งทางตรงและทางอ้อม เนื่องจากฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจรวมถึงปอด ก่อให้เกิดการระคายเคืองและเกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ รวมถึงสร้างความเสียหายต่อวัสดุสิ่งก่อสร้าง เช่น การสึกกร่อนของโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง [1] ปัญหาฝุ่นละอองส่วนมากมักเกิดจากการขนส่ง การก่อสร้าง อุตสาหกรรม รวมถึงกิจกรรมครัวเรือน จากการศึกษาพบว่าประเทศไทยมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอันดับที่ 20 ของโลกและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จากกิจกรรมเศรษฐกิจในประเทศและการคมนาคมขนส่ง [2] ซึ่งการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าวเป็นสาเหตุสำคัญหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ ปัญหาเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะขยายตัวและทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หากไม่มีการดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหานี้

จากปัญหามลพิษที่ได้กล่าวถึง ผลผลิตภัณฑ์เครื่องกรองอากาศจึงเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจในการหาซื้อ มาติดตั้งในบ้านเรือนหรืออาคารต่าง ๆ แผ่นกรองในเครื่องกรองอากาศทำจากวัสดุหลากหลายชนิด มีตั้งแต่ราคาต่ำจนถึงราคาสูง ทำหน้าที่ดักจับฝุ่นละออง และมลพิษในอากาศ เพื่อให้ทำให้อากาศบริสุทธิ์ นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีดักจับและเก็บกักแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide capture and storage: CCS) ใช้ในการลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งต่าง ๆ ที่เกิดจากมนุษย์ หรือใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ในการลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากแหล่งโรงงานอุตสาหกรรม [3] รวมถึงใช้วัสดุที่มีรูพรุน เช่น ถ่านกัมมันต์ ซีโอไลต์ ซิลิกา และโครงข่ายโลหะ-สารอินทรีย์ (Metal-organic frameworks: MOFs) ควบคู่กับการดัดแปรพื้นผิวแอมีน [4]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ทางคณะผู้วิจัยมีความสนใจพัฒนาเครื่องกรองอากาศในการช่วยกำจัดฝุ่นละออง และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อลดมลพิษทางอากาศ โดยใช้กระบวนการดูดซับในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และใช้แผ่นกรองอากาศที่ผลิตจากยางธรรมชาติที่หาง่ายและมีต้นทุนไม่สูง รวมถึงการใช้สารตัวเติม คือ สารประกอบซิลิกาที่ดัดแปรพื้นผิวด้วยสารประกอบแอมีนโดยใช้ 3-แอมิโนโพรพิล ไตรเมทอกซีไฮดรอกซิลเลน (3-Aminopropyl trimethoxysilane: APTMS) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

ศึกษาและพัฒนาเครื่องกรองอากาศสำหรับดักจับฝุ่นละออง PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแผ่นกรองยางธรรมชาติ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.2.1 เตรียมสารประกอบซิลิกาที่มีการดัดแปรพื้นผิวด้วยแอมินเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- 1.2.2 เตรียมแผ่นกรองยางจากยางธรรมชาติร่วมกับการใช้ซิลิกาที่มีการดัดแปรพื้นผิวด้วยแอมิน
- 1.2.3 ศึกษาปริมาณการดูดซับฝุ่นละออง PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของแผ่นกรองยางธรรมชาติทั้ง 4 ชนิด

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1.3.1 ศึกษาเอกสารและสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.3.2 วางแผน ออกแบบเครื่องกรองอากาศ จัดหาอุปกรณ์ และสารเคมี
- 1.3.3 สังเคราะห์ซิลิกา และขึ้นรูปแผ่นกรองยางธรรมชาติโดยแบ่งเป็น 4 ชนิด คือ แผ่นกรองยางธรรมชาติแบบไม่เจาะรู (ชนิด A) แผ่นกรองยางธรรมชาติแบบเจาะรู (ชนิด B) แผ่นกรองยางธรรมชาติผสมซิลิกาแบบเจาะรู (ชนิด C) และแผ่นกรองยางธรรมชาติผสมซิลิกาตัดแปรแบบเจาะรู (ชนิด D)
- 1.3.4 วัดค่าฝุ่นละออง PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- 1.3.5 นำแผ่นกรองยางธรรมชาติที่วัดค่าเสร็จแล้วไปล้างน้ำเพื่อกำจัดฝุ่นละออง นำไปเป่าให้แห้งด้วยลมร้อนโดยใช้ไดร์เพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแผ่นกรองยางธรรมชาติออก เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Regeneration) แล้ววัดค่าฝุ่นละออง PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงจำนวน 5 ครั้ง
- 1.3.6 เปรียบเทียบปริมาณการดูดซับฝุ่นละออง PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของแผ่นกรองยางธรรมชาติทั้ง 4 ชนิด พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการนำกลับมาใช้ใหม่
- 1.3.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง
- 1.3.8 สรุปผลการทดลองอภิปรายและเขียนสรุปโครงการงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

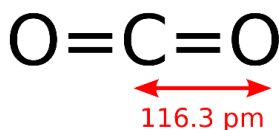
- 1.5.1 เข้าใจถึงหลักการ และการทำงานของอุปกรณ์เครื่องกรองอากาศ
- 1.5.2 เข้าใจผลของการใช้สารตัวเติมควบคู่กับการตัดแปรพื้นผิวด้วยสารประกอบแอมีน ในการเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
- 1.5.3 สามารถนำความรู้ไปแก้ไขปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นในปัจจุบันได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) [5]

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สที่ไม่มีสี อยู่ในชั้นบรรยากาศมีสัดส่วนประมาณ 0.03% โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอมและออกซิเจน 2 อะตอม แสดงในรูปที่ 2.1 เมื่ออยู่ในสถานะของแข็งจะเรียกว่า น้ำแข็งแห้ง (Dry Ice) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเกิดจากธรรมชาติ และเกิดจากฝีมือมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอย่างสมบูรณ์ โรงงานอุตสาหกรรม การตัดไม้ทำลายป่า เป็นต้น ปัจจุบันพบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในอากาศเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากแก๊สชนิดนี้สามารถสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศได้หลายปีส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจก จึงมีความจำเป็นต้องเฝ้าติดตามปริมาณความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ [6]

2.2 ฝุ่น PM2.5 [7]

ฝุ่น PM2.5 (Particulate matter with diameter of less than 2.5 micron) เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ซึ่งมีความร้ายแรง คือสามารถผ่านการกรองของขนจมูกและเข้าสู่ชั้นในสุดของปอดได้ แม้ว่าจะไม่ได้เป็นอันตรายแบบเฉียบพลัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปอาจเกิดการสะสมซึ่งจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย

2.2.1 สาเหตุการเกิดฝุ่นละออง

จากข้อมูลโดยกรมควบคุมมลพิษ การเผาไหม้น้ำมันดีเซลประกอยกับการจราจรที่ติดขัด เป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุดในการเกิดมลพิษทางอากาศ อีกทั้งยังเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลหรือถ่านหิน จากโรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้า อีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดฝุ่น PM2.5 คือสภาพภูมิอากาศ โดยปกติแล้วฝุ่น PM2.5 จะเกิดขึ้นมากในช่วงที่เปลี่ยนฤดูกาลจากฤดูหนาวสู่ฤดูร้อน บริเวณความกดอากาศสูงหรือมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนจะแผ่ลงมาปกคลุมเป็นระลอก ทำให้มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมประเทศไทยตอนบนมีกำลังแรงขึ้น ประเทศไทยตอนบนจะมีอุณหภูมิลดลง โดยมีอากาศเย็นถึงหนาว แต่มีบางช่วงความกดอากาศสูงที่แผ่ลงมาปกคลุมบริเวณดังกล่าวมีกำลังอ่อนลง จึงส่งผลให้มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีกำลังอ่อนลงหรือมีลมสงบตามไปด้วย ประกอบกับมีการผกผันกลับของอุณหภูมิ (Inversion) ในระดับล่างส่งผลให้ระดับ

เพดานการลอยตัวและการกระจายตัวของฝุ่นละอองอยู่ในระดับต่ำ การไหลเวียนและถ่ายเทของอากาศไม่ดี จึงทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละออง หมอก และควันในบรรยากาศมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะการเกิดสภาพอากาศที่มีการผกผันกลับของอุณหภูมิ [7]

2.2.2 ดัชนีคุณภาพอากาศ [7,8]

ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index หรือ AQI) เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ดัชนีคุณภาพอากาศ 1 ค่า ใช้เป็นตัวแทนค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ 5 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของสารมลพิษทางอากาศ [8]

สารมลพิษทางอากาศที่ใช้คำนวณ	ช่วงเวลาเฉลี่ยต่อชั่วโมง
แก๊สโอโซน	8
แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์	1
แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์	8
แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์	1
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	24
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	24

ทั้งนี้ดัชนีคุณภาพอากาศที่คำนวณได้จากสารมลพิษทางอากาศประเภทใดมีค่าสูงสุด จะถูกใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศของวันนั้น อย่างไรก็ตามค่าดัชนีคุณภาพอากาศเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย มาตรฐานค่าความเข้มข้น

ของ PM2.5 แบ่งเป็นค่าเฉลี่ยรายวันซึ่งอยู่ที่ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สำหรับกลุ่มเสี่ยงได้แก่ ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ ผู้ป่วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด เด็ก ผู้สูงอายุ และสตรีมีครรภ์ควรหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีค่ามลพิษทางอากาศสูงเกินมาตรฐาน โดยสามารถตรวจสอบค่าเหล่านี้ได้จากแอปพลิเคชัน Air4Thai ของกรมควบคุมมลพิษซึ่งเป็นหน่วยงานในกำกับของรัฐ

2.3 ยางธรรมชาติ (Natural rubber) [9]

ยางธรรมชาติมีต้นกำเนิดจากพืช ถูกสร้างขึ้นโดยกระบวนการทางเอนไซม์ (Enzymatic) มักปลูกพื้นที่ไร่ที่เขตอบอุ่น (อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน 25 - 28 ° C) และมีความชื้นประมาณ 80% เช่น ภูมิภาคของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แอฟริกาตะวันตก และตอนเหนือของอเมริกาใต้ ปัจจุบันการผลิตยางพาราอยู่ที่ประมาณ 3,000 - 3,500 กิโลกรัมต่อ 10,000 ตารางเมตรขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ และคุณภาพของดิน โดยพันธุ์ยางที่ปลูกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ พันธุ์ฮีเวียบราซิลเลียนซิส (*Hevea brasiliensis*) และน้ำยางที่กรี๊ดได้จากต้นยางพารา เรียกว่าน้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex)

2.3.1 น้ำยางธรรมชาติ

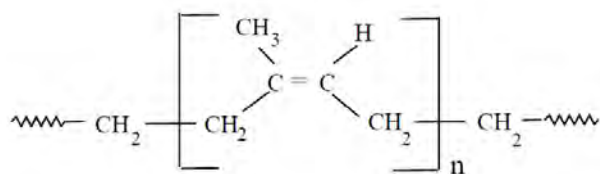
น้ำยางธรรมชาติได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในขั้นตอนนี้ Acetyl-coenzyme A ถูกสร้างขึ้นและถูกเปลี่ยนเป็น Iso-pentyl-pyrophosphate ผ่านกรดเมวาโลนิคและน้ำยางจะถูกสร้างขึ้นโดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว มีสภาพเป็นคอลลอยด์ น้ำยางแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางร้อยละ 35 ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยางร้อยละ 65 โดยมีองค์ประกอบของยางธรรมชาติ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของยางธรรมชาติ [9]

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)
ยางธรรมชาติ	30-40
โปรตีน	1.0-1.5
เรซิน	1.5-3.0
สารอินทรีย์	0.7-0.9
คาร์โบไฮเดรต	0.8-1.0
น้ำ	55-60

2.3.2 โครงสร้างของยางธรรมชาติ [10]

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วย ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4- Polyisoprene) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 มากกว่า 99.99% กล่าวคือมีหน่วยไอโซพรีน (Isoprene unit) ตั้งแต่ 15-20,000 หน่วยต่อโมเลกุล เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด จึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ ซึ่งจะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยางก็จะอ่อนตัวลงและกลับสู่สภาพเดิม ขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain induced crystallization) ทำใหยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนต่อการฉีกขาด (Tear resistance) และความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) สูง



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ cis-1,4- Polyisoprene

2.3.3 สมบัติของยางธรรมชาติ [10]

1. ยางธรรมชาติมีสมบัติดีในด้านการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมาก จึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น
2. ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) กล่าวคือมีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (Heat build-up) ที่เกิดขณะใช้งานต่ำและมีสมบัติการเหนียวติดกัน (Tack) ที่ดี
3. ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) สูงทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเปาะน้ำร้อน เป็นต้น

2.3.4 ปฏิกริยาวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) [10]

จากที่กล่าวมายางธรรมชาติจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพที่ไม่เสถียรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง นั่นคือยางจะอ่อนแ่้มและเหนียวเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้งานจึงจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่าง ๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ หรือ

สารตัวเร่งต่าง ๆ หลังจากการบดผสมยางที่ได้จะนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่า วัลคาไนเซชัน ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้ เรียกว่า ยางสุกหรือยางคงรูป (Vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

2.3.5 กระบวนการผลิตยาง [11]

สิ่งแรกที่สำคัญต่อคุณภาพและต้นทุนของผลิตภัณฑ์ คือการออกสูตรยาง จำเป็นต้องมีความรู้ เกี่ยวกับ สมบัติของยาง หน้าที่และความจำเป็นของการใช้สารเคมีผสมยาง รวมทั้งต้องพิจารณาถึงราคาของสารเคมีที่จะใช้ว่าเหมาะสม เพราะต้นทุนการผลิตก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งแรกสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง พื้นฐานของส่วนผสมของสูตรประกอบด้วยสารกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้

1. ยาง (Rubber)

การออกสูตรยางจะต้องทราบถึงข้อดีและข้อเสียของยางที่จะนำมาใช้ เช่น ยางธรรมชาติ มีข้อดี คือ มีความแข็งแรงของเนื้อยางล้วน (Pure gum) ดีมากนั้นคือไม่ต้องเติมสารเสริมแรงก็สามารถให้ความแข็งแรงได้ดี

2. สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agent or curing agent)

สารกลุ่มนี้จะทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้ยางอยู่ในสถานะที่ยึดหยุ่นได้สูง แบ่งเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบที่ใช้กำมะถัน (Sulfur) นิยมใช้ในยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มีพันธะคู่ในโมเลกุล และระบบที่ใช้เพอร์ออกไซด์ (Peroxide) ซึ่งนิยมใช้ในยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำ

2.1 ระบบยางคงรูปโดยกำมะถัน (Sulphur vulcanization system)

เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับการทำให้ยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลสูง เช่น ยางธรรมชาติหรือยาง SBR เพราะพันธะคู่ คือบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันด้วยกำมะถัน การทำให้ยางคงรูปด้วยกำมะถันจะทำให้ยางที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี แต่มีความทนต่อความร้อนต่ำ ระบบนี้ประกอบด้วย

- กำมะถัน ซึ่งเป็นสารคงรูป

- สารเร่งให้ยางคงรูป (Accelerator) เช่น TMTD (Tetramethyl thiuram disulfide) MBT (2-Mercaptobenzothiazole) และ CBS (n-Cyclohexyl benzothiazole-2-sulfenamide) เป็นต้น

- สารกระตุ้นสารเร่ง (Activator) ได้แก่ สารอินทรีย์พวกซิงก์ออกไซด์ (ZnO) สารอินทรีย์พวกกรดสเตียริก (Steric acid)

2.2 ระบบเพอร์ออกไซด์ (Peroxide system)

ระบบนี้สามารถใช้ในการทำให้ยางเกือบทุกชนิดคงรูปโดยเฉพาะยางสังเคราะห์ที่ไม่มีหรือมีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำ ยางที่คงรูปด้วยระบบนี้จะมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีนัก ต้นทุนสูงกว่าระบบการคงรูปด้วยกำมะถัน และยางคงรูปที่ได้มักมีกลิ่นของ Acetophenone ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (By-product) จากการทำปฏิกิริยารีดอกซ์ในเซชัน

3. สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Antidegradants)

เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของยางทั่วไป โดยเฉพาะยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะมีพันธะคู่อยู่ค่อนข้างมาก ยางจึงเสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อต้องสัมผัสกับ โอโซน แสงแดด ออกซิเจน ดังนั้นการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างของสารในกลุ่มป้องกันยางเสื่อมสภาพ ได้แก่ IPPD (N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine) TMQ (2,2,4-Trimethyl-1,2-dihydroquinoline) และ BHT (2,6-Ditert.butyl-p-cresol) เป็นต้น

4. สารตัวเติม (Filler)

สารตัวเติมเป็นสารที่ใช้ผสมกับยางเพื่อช่วยเสริมแรง (Reinforcement) ให้ผลิตภัณฑ์ยางหรือช่วยลดต้นทุนการผลิต สารตัวเติมที่ช่วยเสริมแรงจะเรียกว่า สารเสริมแรง (Reinforcing filler) ซึ่งเป็นสารที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก มีพื้นที่ผิวสูง ได้แก่ ผงเขม่าดำ (Carbon black) หรือซิลิกา เป็นต้น ส่วนสารตัวเติมที่ไม่ช่วยเสริมแรง (Inert filler or non-reinforcing filler) แต่นิยมใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต ได้แก่ ดินขาว (Clay) แป้ง แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

5. สารช่วยในกระบวนการผลิต (Processing aids)

สารกลุ่มนี้ทำหน้าที่เฉพาะตัวต่าง ๆ กัน เช่น สารที่ช่วยให้ยางนิ่มในระหว่างการบดผสม ได้แก่ พวบน้ำมัน (Oils) และ สารเคมีย่อยยาง (Peptizer) เช่น Pepton22 สารบางตัวช่วยควบคุมไม่ให้อายุมีความหยุ่นตัว (Nerve) สูงมากเกินไปเพราะจะทำให้ สารเคมีที่เป็นผงเข้าเนื้ออย่างได้ยากในระหว่างการบดผสม เพราะยางจะพันลูกกลิ้งยาก สารพวกนี้ ได้แก่ Factice เป็นต้น

6. สารกลุ่มอื่น ๆ (Miscellaneous ingredients)

สารกลุ่มนี้โดยทั่วไปแล้วไม่จำเป็นต้องใช้ในการออกสูตร แต่ในบางกรณีที่ต้องการให้ยางมีสมบัติพิเศษบางประการจำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีบางตัวเข้าช่วย เช่น

6.1 สารหน่วง (Retarder)

ใช้เมื่อต้องการชะลอไม่ให้อายุที่กำลังบดผสมคงรูปเสียก่อน (Scorch) หรือที่เรียกว่ายางตาย ตัวอย่างของสารหน่วง ได้แก่ Benzoic acid หรือ Salicylic acid เป็นต้น

6.2 สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agent)

ใช้สำหรับการทำให้ยางฟูในการทำยางพองน้ำ ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ สาร Sodium bicarbonate หรือ Dinitrosopentamethylene tetramine เป็นต้น

6.3 สารทำให้เกิดสี (Pigments)

อาจเป็นสื่อนินทรีย์ เช่น Cadmium sulfide (ให้สีแดงเข้ม-ส้มและเหลือง) Chromiumoxide (ให้สีเขียวขุ่น) และ Titanium dioxide (ให้ยางมีสีขาว มีความสว่าง หรือช่วยให้ยางมีสีที่สดขึ้น) ส่วนที่เป็นสื่อนินทรีย์ จะให้สีสด ทนต่อความร้อนได้ดีกว่าสื่อนินทรีย์

การออกสูตรยางจะกำหนดปริมาณสารต่าง ๆ ในสัดส่วนต่อยาง 100 ส่วน (โดยน้ำหนัก) และเรียกเป็น phr หรือ pphr (part per hundred of rubber) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการใช้สารต่าง ๆ [11]

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr)
ยางธรรมชาติ	100
กำมะถัน	2.5-3.5
สารกระตุ้น	1-5
สารเร่งให้ยางคงรูป	0.5-2.0
สารตัวเติม	ตามต้องการ
สารทำให้ยางนิ่ม	5-10
สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ	1-2

2.4 การดูดซับ (Adsorption) [12]

การดูดซับ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารถูกดูดซับ (Adsorbate) ที่สัมผัสโดยตรงกับสารดูดซับ (Adsorbent) โดยสารที่มีพลังงานอิสระที่ผิว (Surface free energy) ต่ำจะถูกดูดซับได้แต่สารที่มีพลังงานอิสระที่ผิวสูงจะไม่ถูกดูดซับ ซึ่งการดูดซับจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวสัมผัส (Interface) โดยที่มีวัฏภาคหนึ่งเป็นของแข็งเสมอ และเป็นวัฏภาคคายความร้อน โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ เกาะอยู่บนผิวหน้าของของแข็งของสารดูดซับ ดังนั้นการดูดซับด้วยของแข็งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของสารดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้น เนื่องจากแรงดึงดูดที่พื้นผิวของของแข็งซึ่งเป็นสารดูดซับมีค่ามากกว่าค่าพลังงานจลน์ของโมเลกุลของของเหลวนั้น

2.4.1 พฤติกรรมการดูดซับ [13]

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) เกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับโดยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน ๆ และเป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทางเช่นแรงแรงแวนเดอร์วาลส์ หรือพันธะ

ไฮโดรเจนซึ่งมีทิศทาง นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ง่ายและการดูดซับอาจเกิดขึ้นซ้อนกันได้เป็นหลายชั้น

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงและมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งการกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยากและการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

ตารางที่ 2.4 สมบัติของการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี [12]

การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
ค่าความร้อนของการดูดซับประมาณ 20 kJ/mol	ค่าความร้อนของการดูดซับประมาณ 50-400 kJ/mol
เกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ	เกิดได้ที่อุณหภูมิสูง
เกิดการผันกลับได้เป็นส่วนใหญ่	ไม่เกิดการผันกลับ
เกิดการดูดซับหลายชั้น	เกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียว
ไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง	มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง
แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารถูกดูดซับ เป็นแรงดึงดูดอย่างอ่อน ๆ (แรงแวนเดอร์วาลส์)	แรงดึงดูดของสารดูดซับกับสารถูกดูดซับ เป็นแรงดึงดูดที่แข็งแรง (เกิดพันธะเคมี)

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [14]

1. สมบัติของตัวดูดซับ พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุน หากรูพรุนมีมากจะทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมีมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดได้ดีเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย หากรูพรุนมีมากแต่มีขนาดเล็กหรือรูพรุนมีขนาดใหญ่แต่ปากรูพรุนมีขนาดเล็กก็ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น

2. สมบัติของสารที่ถูกดูดซับ สมบัติของสารที่มีผลต่อการดูดซับที่เด่นชัด 2 ประการ คือสภาพการละลายได้กับน้ำหนักและขนาดโมเลกุล สารที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูกดูดซับได้น้อย เนื่องจาก ก่อนที่เกิดกระบวนการดูดซับจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายก่อน ซึ่งถ้าไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถเกิดการดูดซับได้ รวมถึงถ้าน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ดูดซับเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น โมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นแบบกิ่งจะถูกดูดซับได้ดีกว่าโมเลกุลที่เป็นเส้นตรง

3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง การดูดซับขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น หาก pH ลดลง ส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) บนพื้นที่ผิวดูดซับเพิ่มขึ้นทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น

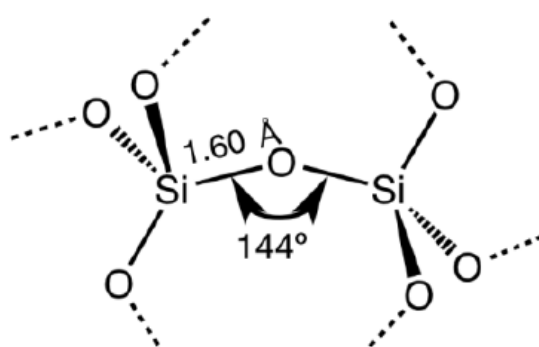
4. อุณหภูมิ การเพิ่มของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

2.5 ซิลิกา (Silica) [15]

ซิลิกา หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นสารประกอบของซิลิกอน และออกซิเจน มีลักษณะเป็นผลึก ไม่มีสี หรือเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น และรส พบมากในดิน ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน อาทิ เป็นสารดูดซับความชื้น เป็นสารเพิ่มความเงา เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้าง และใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

2.5.1 โครงสร้างของซิลิกา

ซิลิกาเป็นสารประกอบของธาตุซิลิกอน (Si) และธาตุออกซิเจน(O) มีการจัดเรียงตัวแบบเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) แบบตาข่าย 3 มิติแบบไม่รู้จักจบ โดยมีซิลิกอนเป็นอะตอมกลาง และล้อมรอบด้วย 4 อะตอม ของออกซิเจน เป็น SiO_4 ซึ่งมีอะตอมของออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงรูปของซิลิกาจะเกิดขึ้นได้ช้ามาก แต่จะเกิดขึ้นได้เร็วมากเมื่อหลอมรวมกับอัลคาไล (Alkali) วานาเดต (Vanadate) คลอไรด์ (Chloride) และบอเรต (Borate) แต่จะไม่เปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพมากนัก



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของซิลิกา [16]

2.5.2 ประเภทของซิลิกา

สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

1. แบ่งตามขนาดรูพรุน

- ไมโครพอร์ซิลิกา (Microporous Silica) คือซิลิกาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนน้อยกว่า 2 nm.
- เมโซพอร์ซิลิกา (Mesoporous Silica) คือซิลิกาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนอยู่ระหว่าง 2 nm. ถึง 50 nm.
- แมโครพอร์ซิลิกา (Macroporous Silica) คือซิลิกาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมากกว่า 50 nm.

2. แบ่งตามรูปแบบโครงสร้าง

- ซิลิกาผลึก (Crystalline Silica) เป็นซิลิกาที่พบในรูปแบบสินแร่ มีการจัดเรียงอะตอมของโครงสร้างอย่างมีระเบียบ และต่อเนื่อง มีรูปร่างเป็นระบบผลึกที่แน่นอนภายใต้ความดันปกติ
- ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous silica) เป็นซิลิกาที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (biogenic silica) และสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ มีลักษณะเป็นของแข็ง มีรูปไม่แน่นอน ไม่เป็นผลึก มีการจัดเรียงอะตอมภายในโครงสร้างไม่เป็นระเบียบ อาจอยู่ในรูปของไฮเดรต (Hydrate) หรือ แอนไฮเดรต (Anhydrate) มีพันธะหลายรูปแบบ เช่น siloxane (-Si-O-Si-), silanol (-Si-O-H-), silane (-Si-H), Organic silicon (-Si-O-R หรือ -Si-C-R)

2.5.3 สมบัติทางเคมีของซิลิกา

ซิลิกามีสมบัติทางเคมีที่ค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิปกติ และไม่ทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีหลายชนิด แต่สามารถเปลี่ยนรูปแบบได้ โดยซิลิกาชนิดอสัณฐานจะไวต่อปฏิกิริยามากกว่าซิลิกาชนิดผลึก เพราะซิลิกาอสัณฐานมีพื้นผิวมากกว่า ส่วนสารละลายกรดจะไม่มีผลต่อซิลิกา ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับซิลิกาจนได้ H_2SiF_6 ทั้งนี้ ซิลิกาในรูปแบบที่ต่างกันจะเกิดปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกได้ต่างกัน ขึ้นกับความหนาแน่นเป็นหลัก โดยซิลิกาที่มีความหนาแน่นสูงจะเกิดปฏิกิริยาได้น้อยกว่าซิลิกาที่มีความหนาแน่นต่ำ

2.5.4 การสังเคราะห์ซิลิกาด้วยกระบวนการโซล-เจล [17]

กระบวนการโซลเจล (Sol-gel progress) เป็นกระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์วัสดุนาโน โดยการเปลี่ยน สถานะจากของเหลวที่เรียกว่า “Sol” ส่วนมากอยู่ในรูปของสาร แขนวนลอยที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.1-1 ไมครอน เป็น ของแข็งที่เรียกว่า “Gel” โดยการนำสารละลายต่าง ๆ มาทำปฏิกิริยา

สารประกอบที่เกิดขึ้นจะอยู่ในลักษณะของโซล เมื่อ โซลเกาะตัวกันเป็นร่างแหอย่างไม่เป็นระเบียบจะทำให้เกิดเป็นเจล ในกระบวนการผลิตทั้งจากภาวะที่เป็น Sol และ Gel เมื่อ เข้าสู่กระบวนการทำให้แห้งหรือเผาที่อุณหภูมิต่ำจะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เส้นใย (Fiber) แอโรเจล (Aerogel) ซีโรเจล (Xerogel) อนุภาคผง (Powder) และการเคลือบฟิล์ม (Coating film) สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ต่อไป ปฏิกริยาที่สำคัญในการกระบวนการโซล - เจล มี 3 ปฏิกริยา คือ

- ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)
- การควบแน่นด้วยน้ำ (Water condensation)
- การควบแน่นด้วยแอลกอฮอล์ (Alcohol condensation)

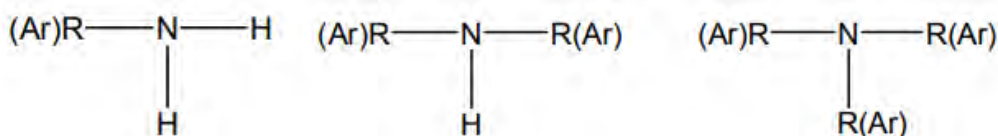
โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกริยา คือ pH ตัวเร่งปฏิกริยา อัตราส่วนของน้ำและโลหะ และอุณหภูมิ ดังนั้นการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ในภาวะที่ต่างกัน ทำให้เกิดเป็นโซลและเจลที่ได้มีสมบัติและโครงสร้างต่างกัน

2.5.5 การประยุกต์ใช้ซิลิกาในอุตสาหกรรมยาง

ซิลิกาสามารถใช้เป็นสารเสริมแรงที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมยาง เพราะการเติมสารตัวเติมลงไปนี้จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของยางให้ดีขึ้น โดยเฉพาะค่าความแข็ง (Hardness) โมดูลัส (Modulus) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) และความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) เป็นต้น โดยซิลิกาที่นิยมใช้มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 10-40 นาโนเมตร (nm) ซิลิกาจะไม่อยู่โดดเดี่ยว ในรูปของอนุภาคปฐมภูมิ แต่จะจับกลุ่มรวมกันเป็นก้อนที่เรียกว่า แอกริเกต (Aggregate) เกิดเป็นโครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure) ซึ่งโครงสร้างนี้ไม่สามารถถูกทำลายได้ในระหว่างการกวนผสม ปัจจุบันซิลิกาที่นิยมใช้เป็นสารตัวเติมในยางคือ ซิลิกา ในรูปคอลลอยด์ (Colloidal silica) หรือ ปริซิพิเตตซิลิกา (Precipitate silica) สามารถแบ่งได้หลายเกรด ซิลิกาแต่ละเกรดจะแตกต่างกันตามขนาดของอนุภาคปฐมภูมิ (Primary particle size) หรือพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) โดยทั่วไปซิลิกาอนุภาคปฐมภูมิเล็ก หรือพื้นที่ผิวจำเพาะสูงจะ ช่วยเสริมแรงได้ดีกว่าอนุภาคใหญ่

2.6 หมู่เอมีน (Amine group) [18]

เอมีน (Amine) เป็นอนุพันธ์ของแอมโมเนียที่มีหมู่แอลคิลหรือหมู่เอริลหนึ่งหมู่หรือ มากกว่าแทนที่อะตอมไฮโดรเจนหรือเกิดพันธะกับอะตอมไนโตรเจน ดังนั้นจึงแบ่งเอมีนออกเป็น 3 ชนิดคือ เอมีนปฐมภูมิ (Primary amine) เอมีนทุติยภูมิ (Secondary amine) และเอมีนตติยภูมิ (Tertiary amine) ตามจำนวนหมู่แอลคิลหรือหมู่เอริลที่เกิดพันธะกับอะตอม ไนโตรเจนจำนวน 1, 2 หรือ 3 หมู่ตามลำดับ และเอมีนถือว่าเป็นตัวอย่างที่สำคัญของเบสอินทรีย์

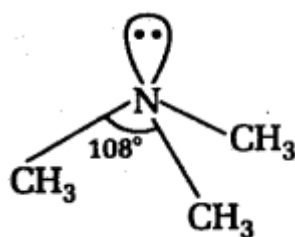


(a) primary amine (b) secondary amine (c) tertiary amine

รูปที่ 2.5 (a) แอมีนปฐมภูมิ (b) แอมีนทุติยภูมิ (c) แอมีนตติยภูมิ [19]

2.6.1 โครงสร้างของแอมีน

ในแอมีนส่วนใหญ่จะมีอะตอมของไนโตรเจนคล้ายกับแอมโมเนีย คือ มีไฮบริดเซชันเป็นแบบ sp^3 โดยมีหมู่แอลคิลทั้ง 3 หมู่ อยู่บริเวณมุมทั้ง 3 มุม ส่วน sp^3 orbital ที่มีอิเล็กตรอนคูโดดเดี่ยวจะอยู่บริเวณมุมที่เหลือ Geometry ของแอมีนจึงเป็นแบบ Trigonal pyramidal ดังแสดงในรูป 2.5



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของแอมีน [20]

2.6.2 สมบัติทางกายภาพของแอมีน

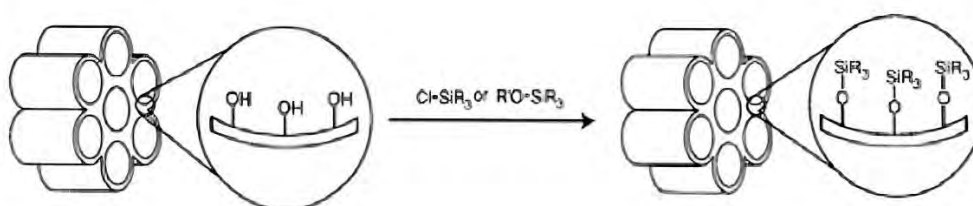
แอมีนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมน้อย มีสถานะเป็นแก๊สภายใต้ความดันปกติ และมีสถานะเป็นของเหลวเมื่อมีจำนวนอะตอมคาร์บอนเพิ่มขึ้น แอมีนเป็นโมเลกุลมีขั้วมีค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ค่อนข้างสูงเพราะมีอิเล็กตรอนคูโดดเดี่ยวบนอะตอมไนโตรเจน แอมีนปฐมภูมิและทุติยภูมิสามารถเกิดพันธะ H-NH หรือพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้แต่พันธะจะอ่อนกว่าพันธะ H-OH เนื่องจาก N มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีน้อยกว่า O พันธะ N-H จึงมีขั้วน้อยกว่า ส่วนแอมีนตติยภูมิไม่สามารถเกิดได้เพราะไม่มีอะตอมไฮโดรเจนที่เกาะอยู่กับอะตอมไนโตรเจนเหลืออยู่เลย แต่มันสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารที่มีพันธะ O-H หรือ N-H อยู่ในโมเลกุล เช่น โมเลกุลของน้ำ เป็นต้น

2.7 การตรึงแอมีนลงบนพื้นผิวตัวดูดซับ [21]

การตรึงแอมีนลงบนพื้นผิวตัวดูดซับ (Immobilization) คือ การนำแอมีนไปเคลือบที่ผิวของตัวรองรับและยึดกันด้วยแรงอ่อน ๆ วิธีนี้อาจเรียกได้ว่า วิธีฝังตัว (Impregnation) โดยทั่วไปมักใช้ตัวรองรับที่มีพื้นที่ผิวสูง อาทิ ถ่านกัมมันต์ ซีโอไลต์ เมโซพอร์สซิลิกา (ชนิด SBA, MCM) เป็นต้น การเพิ่มแอมีนบนพื้นผิวทำให้ความจุการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นตามปริมาณแอมีนที่ตรึง แต่ทั้งนี้หากตรึงแอมีนที่มากเกินไป อาจ

ก่อให้เกิดการบดบังและกีดขวางระหว่างแอมีนด้วยกัน และอาจทำให้ความจุการดูดซับลดลง แอมีนที่ใช้ในวิธีนี้ มักใช้แอมีนทั่วไปอาทิ Monoethanolamine (MEA), Diethanolamine (DEA) หรือ Triethylenetetramine (TETA) เป็นต้น ข้อดีของวิธีนี้คือ ง่ายต่อการตรึงแอมีนลงบนพื้นผิว แต่ก็มีข้อเสียอย่างเช่น มีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำ แอมีนอาจเกิดการหลุดออกจากพื้นผิวได้ ซึ่งทำให้ตัวดูดซับมีความจุการดูดซับลดลง

กระบวนการ Grafting แอมีนลงบนพื้นผิวดูดซับ คือ การทำให้แอมีนเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือเกิดการเชื่อมพันธะระหว่างแอมีนกับพื้นผิวของตัวดูดซับ วิธีนี้คล้ายกับวิธีฝังตัว แต่เนื่องจากแอมีนและตัวรองรับยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมี จึงมีความแข็งแรงกว่า และมีเสถียรภาพสูงกว่า แต่ทั้งนี้วิธีการสังเคราะห์ตัวดูดซับชนิดนี้ซับซ้อนกว่าวิธีฝังตัว โดยแอมีนที่ใช้ในกระบวนการนี้ มักเป็นพวก แอมิโนไซเลน (Aminosilane) เช่น 3-Aminopropyltriethoxysilane (APTES) แสดงดังรูปที่ 2.6 ที่ส่วนปลายโมเลกุลจะมีหมู่ไซเลน (Si-R) ทำหน้าที่เป็นหมู่ฟังก์ชันที่ยึดกับตัวรองรับผ่านพันธะซิลอกเซน



รูปที่ 2.7 การ Grafting ลงบนพื้นผิวดูดซับ [22]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Figuroa et al. [23] ศึกษาการใช้อัลคานอลแอมีนที่เป็นของเหลว (เช่น โมโนเอทานอลแอมีน และ ไดเอทานอลแอมีน) ในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ภาวะบรรยากาศ แต่เป็นการใช้พลังงานสูงในระหว่างการนำตัวทำละลายมาใช้ใหม่ ธรรมชาติที่มีฤทธิ์กัดกร่อนของแอมีนต่ออุปกรณ์ และมีการสูญเสียแอมีนในบรรยากาศ ในระหว่างกระบวนการ จึงจำเป็นต้องหาทางเลือกอื่น และพบว่าถ่านกัมมันต์, ซีโอไลต์, เมโซพอร์สซิลิกา และโครงข่ายโลหะ-สารอินทรีย์ (MOFs) สามารถใช้เป็นตัวดัดแปรพื้นผิวแอมีน สำหรับดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ความดันต่ำได้ อย่างไรก็ตามความไม่แน่นอนทางโครงสร้าง และการลดลงอย่างรวดเร็วของความสามารถในการดูดซับ ภายใต้เงื่อนไขส่วนใหญ่ ของซีโอไลต์และ MOFs

Xu et al. [24] ศึกษาและพัฒนาการเคลือบฝังด้วยพอลิเอทิลีนแอมีน (polyethylenimine (PEI)-impregnated) พบว่ามีค่าความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง (3 โมลคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลกรัม) และใช้เมโซพอร์สซิลิกา เช่น MCM-41, SBA-15, KIT-6, MCF และแอโรเจลที่ถูกต้องเพื่อทำให้มี

ประสิทธิภาพการดูดซับดีขึ้น และพบว่าความสามารถในการดูดซับ ขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ขนาด และปริมาตรของรูพรุน รวมถึงประเภทของแอมีน

Zai et al. [25] ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพสูง พบว่าการเพิ่มกิ่งของหมู่ฟังก์ชันแอมีนลงบนโครงสร้างของซิลิกา โดยที่ไม่มีการทำลายสมบัติทางกายภาพของซิลิกาแอโรเจล ส่วนใหญ่ซิลิกาแอโรเจลที่ดัดแปลงพื้นผิวด้วยแอมีน ที่ใช้เป็นตัวดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ มักจะเตรียมโดยวิธีการสองขั้นตอนคือ การสังเคราะห์ซิลิกาบริสุทธิ์ หลังจากนั้นตามด้วยการดัดแปลงโดยการเติมแอมีน อย่างไรก็ตามวิธีนี้มักจะนำไปสู่การกระจายที่ไม่สม่ำเสมอและมีการควบคุมปริมาณของหมู่แอมีนที่ไม่ค่อยแม่นยำ ที่เลวร้ายยิ่งกว่านั้นแอมีนไฮโดรเจนมักปิดกั้นรูพรุนของซิลิกาแอโรเจล ยกตัวอย่างซิลิกาที่ถูกดัดแปลงพื้นผิวด้วยแอมีนสามารถเตรียมได้โดยการแช่ซิลิกาเปียกกลงใน 3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไฮโดรเจน (3-aminopropyltriethoxysilane : APTES) ในสารละลายเอทานอล APTES จะแพร่กระจายลงในเจลด้วยแรงดึงดูดตามรูเล็ก แล้วเกิดการตอกแอมีนบนพื้นผิวซิลิกาเจลโดยปฏิกิริยาการควบแน่นกับหมู่ Si-OH ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของซิลิกาที่ได้รับการดัดแปลงพื้นผิวนั้นมีเพียง 2.0 มิลลิโมลต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 298 เคลวิน แสดงให้เห็นว่าการตอกแอมีนนั้นสามารถสร้างความเสียหายต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแอโรเจลได้ ดังนั้นการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จึงลดลง มีการใช้วิธีที่คล้ายกันนี้สำหรับการกราฟต์มอนอ-, ได- และไตร-แอมีนไฮโดรเจนลงบนพื้นผิวของซิลิกาแอโรเจล

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการดำเนินงาน

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบเครื่องกรองอากาศ การขึ้นรูปแผ่นกรองยางธรรมชาติ และการสังเคราะห์ซิลิกา แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือ และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบเครื่องกรองอากาศ การขึ้นรูปแผ่นกรองยางธรรมชาติและการสังเคราะห์ซิลิกา

เครื่องมือ	รุ่น/ยี่ห้อ/รายละเอียดวัสดุ
สว่านไฟฟ้า	ยี่ห้อ BOSCH รุ่น GMB 10 RE ประเทศเยอรมัน
เลื่อยฉลุไฟฟ้า	ยี่ห้อ MAKITA รุ่น 4327 ประเทศญี่ปุ่น
ตลับเมตร	ยี่ห้อ STANLEY รุ่น 5 เมตร ประเทศสหรัฐอเมริกา
กาวติดไม้	ยี่ห้อ 3M ประเทศไทย
พัดลมระบายอากาศ	ขนาด 10 นิ้ว ยี่ห้อ Panasonic รุ่น FV-25LUT3 ประเทศไทย
ไม้อัด	หนา 1 นิ้ว บริษัท ซีอาร์ซี ไทวัสดุ จำกัด ประเทศไทย
เครื่องชั่งสาร	ยี่ห้อ Mettler Toled ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
ตู้ดูดควัน	ยี่ห้อ SAFETY LAB ประเทศไทย
เครื่องปั่น	ยี่ห้อ OTTO ประเทศไทย
เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)	ยี่ห้อ BOECO ประเทศเยอรมัน
ตู้อบ	ยี่ห้อ WTB Binder รุ่น FD115 ประเทศสหรัฐอเมริกา
เครื่องกวนสารละลาย	ยี่ห้อ IKA รุ่น C-MAG-HS7 ประเทศเยอรมัน
ชุดเครื่องกรองสูญญากาศ	ยี่ห้อ SIBATA ประเทศญี่ปุ่น
เครื่องวัดค่าฝุ่น PM 2.5	ยี่ห้อ NOKLEAD รุ่น A8 ประเทศจีน
เครื่องวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์	ยี่ห้อ EXTECH รุ่น CO250 ประเทศสหรัฐอเมริกา
กระดาษกรอง เบอร์ 5	ยี่ห้อ WHATMAN ประเทศอังกฤษ
อลูมิเนียมฟอยล์	ยี่ห้อ DIAMOND ประเทศจีน
ขวดแก้วใสสารเคมี 500, 250 มิลลิลิตร	ยี่ห้อ DURAN ประเทศเยอรมัน
หลอดหยด	-
กระบอกตวง 10, 50, 100 มิลลิลิตร	-
ปิเกตอร์ 50, 100, 600 มิลลิลิตร	-
แม่พิมพ์แก้ว	-
ไม้พายพลาสติก	-

3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรองยางธรรมชาติ และการดัดแปรพื้นผิวซิลิกา แสดงดังตารางที่ 3.2

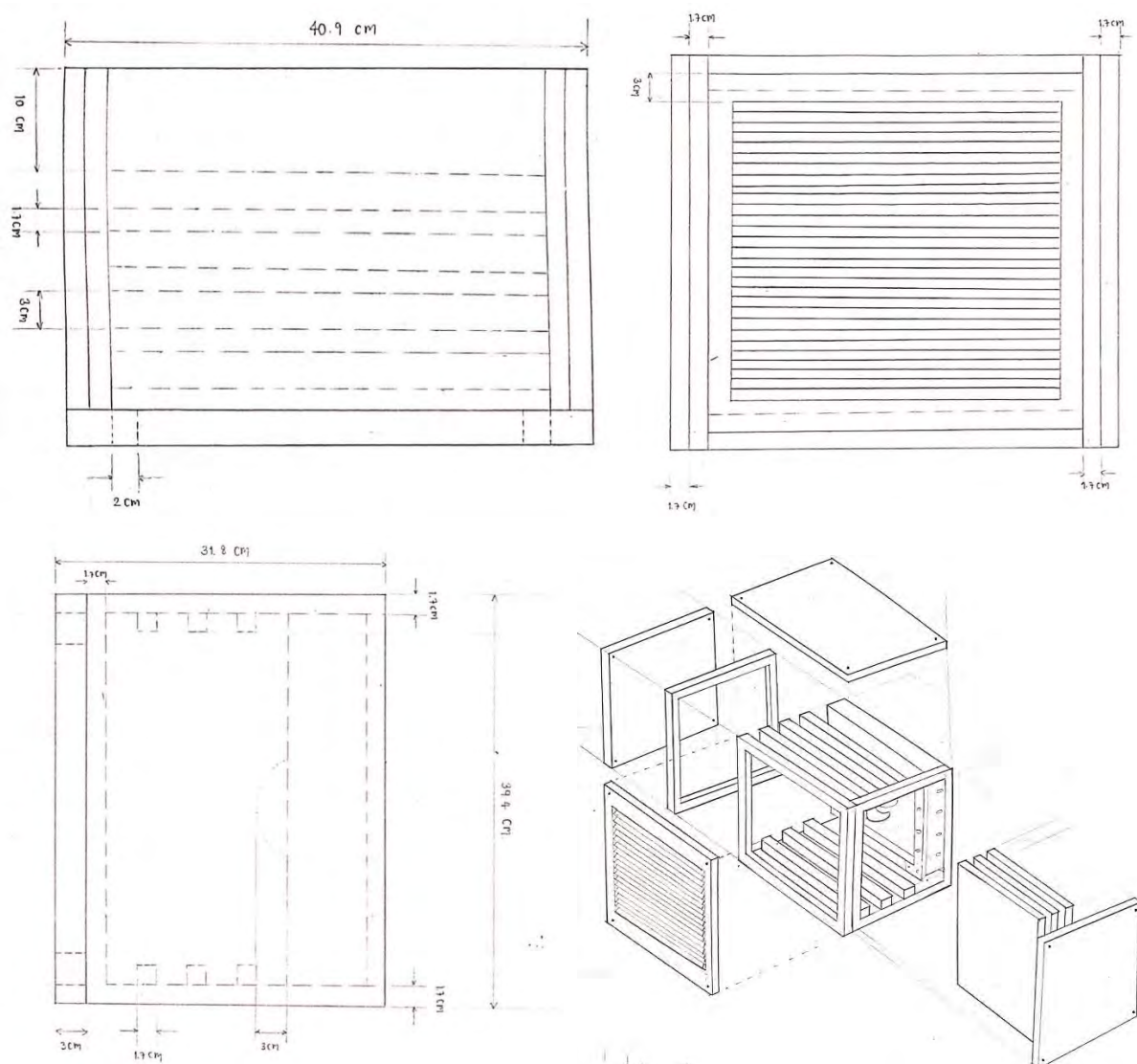
ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมี	เกรด/บริษัท
60% น้ำยางธรรมชาติ (60% Natural rubber latex)	DRC ฝ้ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง ประเทศไทย
10% โพแทสเซียมโอเลต (10% Potassium oleate)	ฝ้ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง ประเทศไทย
50% ซัลเฟอร์ (50% Sulfur)	ฝ้ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง ประเทศไทย
50% ซิงค์ไดเอทิลไทโอคาร์บอเนต (50% Zinc diethylthiocarbonate : ZDEC)	ฝ้ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง ประเทศไทย
50% ซิงค์ 2-เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล (50% Zinc 2-mercaptobenzothiazole : ZMBT)	ฝ้ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง ประเทศไทย
50% ริงสแตย์แอล (50% Wingstay L)	ฝ้ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง ประเทศไทย
50% สังกะสีออกไซด์ (50% Zinc oxide)	ฝ้ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง ประเทศไทย
33% ไดฟีนิลกัวนิดีน (33% Diphenyl guanidine : DPG)	ฝ้ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง ประเทศไทย
12.5% โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (12.5% Sodium silicofluoride : SSF)	ฝ้ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง ประเทศไทย
99.9% เอทานอล (99.9% Ethanol)	AR บริษัท Qrec Chemicals ประเทศไทย
99% เตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต (99% Tetraethylorthosilicate : TEOS)	บริษัท Sigma Aldrich Chemistry ประเทศสหรัฐอเมริกา
28% แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (28% Ammonium hydroxide)	AR บริษัท Qrec Chemicals ประเทศไทย
97% 3-แอมิโนโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (97% 3-aminopropyltrimethoxysilane, APTMS)	AR บริษัท Sigma Aldrich Chemistry ประเทศสหรัฐอเมริกา

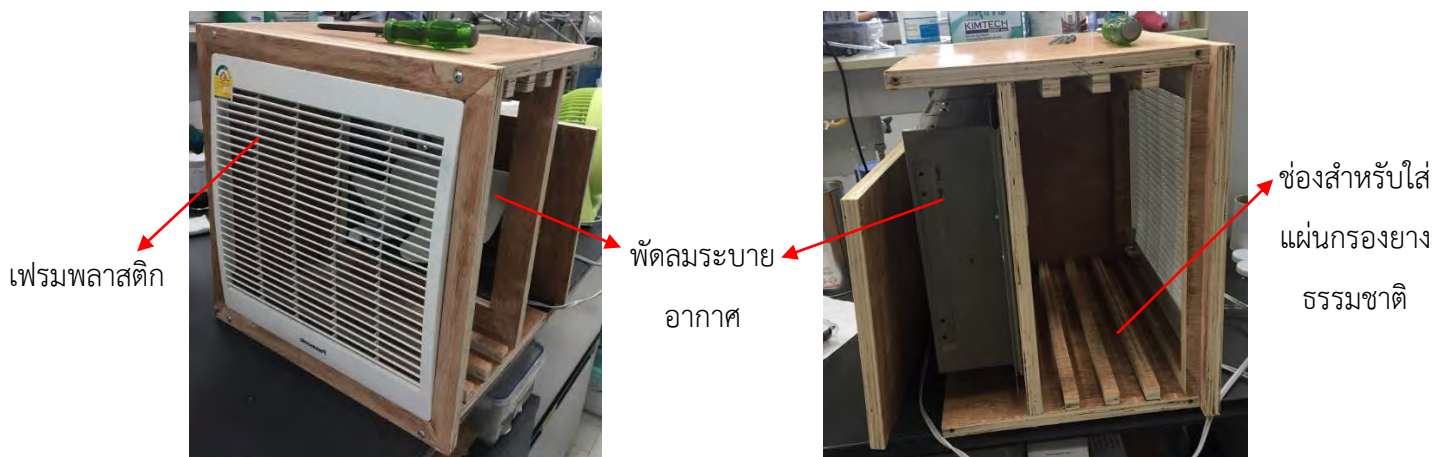
3.3 การดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การออกแบบเครื่องกรองอากาศ

การออกแบบเครื่องกรองอากาศ เริ่มจากการเขียนแบบลงบนกระดาษ แสดงดังรูปที่ 3.1 เครื่องกรองอากาศสร้างจากไม้อัด มีขนาดกว้างประมาณ 41 เซนติเมตร ยาว 32 เซนติเมตร และสูง 39.5 เซนติเมตร โดยด้านหน้าคือเฟรมพลาสติกของพัดลมระบายอากาศ มีลักษณะเป็นช่อง เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมที่มีขนาดใหญ่ถูกดูดเข้าไปในเครื่องกรองอากาศ ด้านในแบ่งออกเป็นช่อง ขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร สำหรับใส่แผ่นกรองอากาศ ส่วนด้านหลังคือพัดลมระบายอากาศ ด้านหน้าและด้านข้างของเครื่องกรองอากาศ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แบบร่างเครื่องกรองอากาศ



รูปที่ 3.2 ด้านหน้าและด้านข้างเครื่องกรองอากาศ

3.3.2 การสังเคราะห์ซิลิกา

การสังเคราะห์ซิลิกาที่ไม่ผ่านการดัดแปรพื้นผิว (Unmodified silica) โดยการเตรียมสารละลายเอทานอลจำนวน 92 มิลลิลิตร แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จำนวน 4 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน 28 มิลลิลิตร ผสมกันลงในขวดแก้วใสสารเคมีที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายเอทานอลจำนวน 72 มิลลิลิตร และเตตระเอทิลอโทซิลิเกต (TEOS) จำนวน 12 มิลลิลิตร กวนต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นำสารแขวนลอยที่ได้มาเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็วรอบ 6000 rpm เป็นเวลา 20 นาที แล้วกรองเอาแต่ตะกอนซิลิกาออก นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักซิลิกาคงที่

การสังเคราะห์ซิลิกาที่ดัดแปร (Modified silica) พื้นผิวด้วยแอมิน โดยการเตรียมสารละลายเอทานอลจำนวน 92 มิลลิลิตร แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จำนวน 4 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน 28 มิลลิลิตร ผสมกันลงในขวดแก้วใสสารเคมี กวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายเอทานอลจำนวน 72 มิลลิลิตร เตตระเอทิลอโทซิลิเกต จำนวน 12 มิลลิลิตร และสารละลาย 3-แอมิโนโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (APTMS) จำนวน 5.08 มิลลิลิตร กวนต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ใช้การกรองแยกแทนการเซนตริฟิวจ์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักซิลิกาคงที่

3.3.3 การเตรียมแผ่นกรองยางและแผ่นกรองยางคอมพอสิต

เตรียมสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปคอมพอสิตยาง โดยแบ่งสารเป็น 4 เซต ประกอบด้วย เซต A, B, C และ D ตามสูตรในการเตรียมยางคอมพาวนด์ ดังแสดงในตาราง 3.3 โดยใช้เครื่องปั่นกวน แสดงดังรูปที่ 3.3 เริ่มต้นจากการเตรียมน้ำยางธรรมชาตินำไปใส่ในหม้อปั่นกวน ตามด้วยใส่สารเซต A ปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง

ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบ 10 นาที ให้เติมสารเซต B ลงไปในหม้อปั่นกวน เมื่อครบ 1 นาทีให้เติมสารเซต C หลังจากนั้น 1 นาทีเติมสารเซต D ปั่นกวนต่ออีก 30 วินาที จึงหยุดปั่นกวนและทำการเทโฟมยางลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ (ขนาดกว้าง 37 เซนติเมตร ยาว 38 เซนติเมตร และสูง 3 เซนติเมตร) นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในการเตรียมแผ่นกรวยคอมพอสิต เตรียมโดยการเติมซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จากขั้นตอน 3.3.2 ลงในสารเคมีเซต A ส่วนขั้นตอนที่เหลือทำเช่นเดียวกันกับการเตรียมแผ่นกรวยแบบธรรมชาติ

แผ่นกรวยหลังอบ เมื่อแกะออกมาจากพิมพ์จะมีขนาดกว้าง 37 เซนติเมตร ยาว 38 เซนติเมตร หนา 1.5 เซนติเมตร จึงต้องใช้แผ่นกรวย 2 แผ่น เย็บติดกัน จะได้แผ่นกรวยที่มีความหนา 3 เซนติเมตร เพื่อให้พอดีกับช่องใส่แผ่นกรวยในเครื่องกรองอากาศ

ตารางที่ 3.3 สูตรการเตรียมแผ่นกรวยคอมพาวนด์

Chemicals	Weight (phr)	Weight (g)
60% NR Latex	100	250
Unmodified silica or modified silica	8	12
Set A		
10% Potassium Oleate	15	22.5
Set B		
50% Sulfur	4	6
50% Zinc diethylthiocarbonate (ZDEC)	2	3
50% Zinc 2-mercaptobenzothiazole (ZMBT)	2	3
50% Wingstray L	2	3
Set C		
33% Diphenyl guanidine (DPG)	2	3
50% Zinc oxide	10	15
Set D		
12.5% Sodium silicofluoride	8	12







รูปที่ 3.3 การเตรียมแผ่นกรองยางธรรมชาติ

3.3.4 ชนิดของแผ่นกรองยางธรรมชาติที่ใช้ในการทดสอบงานวิจัย

ชนิดและรายละเอียดของแผ่นกรองยางธรรมชาติที่ใช้ทดสอบในงานวิจัย แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ชนิดของแผ่นกรองยางธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัย

ชนิด A	ชนิด B	ชนิด C	ชนิด D
			
แผ่นกรองยางธรรมชาติ แบบไม่เจาะรู	แผ่นกรองยางธรรมชาติ แบบเจาะรู	แผ่นกรองยางธรรมชาติ ผสมซิลิกาแบบเจาะรู	แผ่นกรองยางธรรมชาติผสม ซิลิกาตัดแปรแบบเจาะรู

3.3.5 การทดสอบประสิทธิภาพการดักจับฝุ่น PM2.5 และการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

- นำแผ่นกรองยางธรรมชาติ ที่ทำหน้าที่เป็นแผ่นกรองมาประกอบเข้ากับตัวเครื่องกรองอากาศ
- นำเครื่องวัดค่าฝุ่น PM2.5 วางไว้ด้านหน้าเครื่องกรองอากาศเพื่อวัดค่า PM2.5 ก่อนผ่านเครื่องกรองอากาศ และใช้อีกเครื่องวางไว้ด้านหลังแผ่นกรองยางเพื่อวัดค่า PM2.5 หลังผ่านแผ่นกรอง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ตรวจสอบให้แน่ใจว่าค่า PM2.5 มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 2 เครื่อง

3. วัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยใช้เครื่องวัดคาร์บอนไดออกไซด์วัดบริเวณรอบนอกของเครื่องกรองอากาศ หลังจากวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศแล้วให้นำเครื่องวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์วางไว้ด้านหลังแผ่นกรองยาง ที่ตำแหน่งเดียวกับเครื่องวัด PM2.5

4. เปิดสวิตช์เครื่องกรองอากาศ และจับเวลา บันทึกค่า PM 2.5 ที่เปลี่ยนแปลงไปของทั้ง 2 เครื่อง และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หลังผ่านแผ่นกรองทุก 1.30 นาที จนกระทั่งค่า PM2.5 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และมีค่าใกล้เคียงทั้ง 2 เครื่อง

5. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนชนิดของแผ่นกรองยาง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และสร้างกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นกรองยางในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และการดักจับฝุ่น PM2.5



รูปที่ 3.4 การทดสอบประสิทธิภาพการดักจับฝุ่น PM2.5 และการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

3.3.6 กระบวนการนำแผ่นยางกลับมาใช้ใหม่ (Regeneration process)

นำแผ่นกรองยางที่ผ่านกระบวนการดูดซับฝุ่นละอองและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ไปล้างน้ำเพื่อกำจัดฝุ่นละอองและสิ่งเจือปน จากนั้นนำไปเป่าลมร้อนด้วยไดร์จนแห้งเพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดซับไว้ในตัวแผ่นยางออก นำไปวัดค่า PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จนถึงค่าที่สมดุล ซึ่งใช้เวลาประมาณ 20 นาที จดบันทึกค่า PM 2.5 ที่เปลี่ยนแปลงไปและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หลังผ่านแผ่นกรองทุก 1.30 นาที นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟเพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับฝุ่นละออง PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบกับเวลา

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

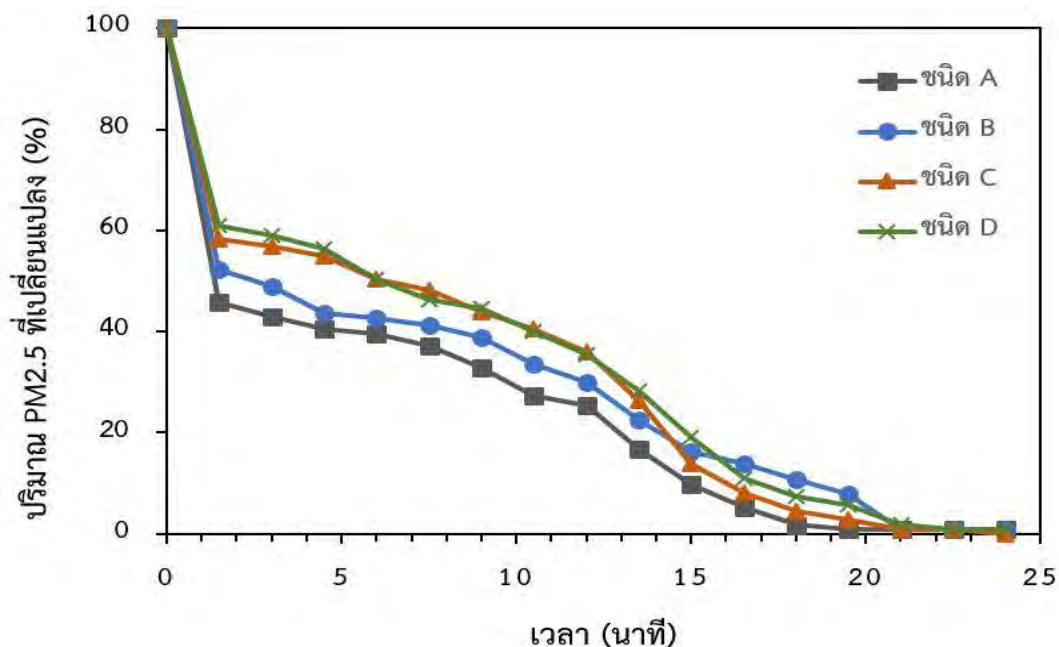
4.1 การทดลองการดักจับฝุ่นละออง

การทดลองการวัดปริมาณ PM2.5 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองของแผ่นกรองยางธรรมชาติ 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด A, B, C และ D การเปรียบเทียบปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง (%) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และกราฟที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณ PM2.5 ที่ลดลงของแผ่นกรองยางธรรมชาติแต่ละชนิด

เวลา (นาที)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง (%) ของแผ่นกรองยางธรรมชาติ			
	ชนิด A	ชนิด B	ชนิด C	ชนิด D
1.5	45.79	52.38	58.18	61.02
3.0	42.86	49.02	56.73	58.97
4.5	40.54	43.64	54.87	56.25
6.0	39.45	42.59	50.46	50.45
7.5	37.25	41.23	48.15	46.30
9.0	32.82	38.79	43.94	44.68
10.5	27.27	33.59	40.60	40.00
12.0	25.40	30.00	35.92	35.42
13.5	16.81	22.55	26.43	28.26
15.0	9.80	16.36	13.86	19.09
16.5	5.13	13.76	8.11	11.01
18.0	1.74	10.81	4.59	7.41
19.5	0.92	7.76	2.91	5.61
21.0	0.93	0.91	0.98	1.89
22.5	0.89	0.88	0.94	0.89
24.0	0.88	0.89	0.00	0.88

หมายเหตุ วิธีการคำนวณปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง (%) ของแผ่นกรองยางธรรมชาติอยู่ในภาคผนวก ข



รูปที่ 4.1 กราฟการเปรียบเทียบปริมาณ PM2.5 เมื่อเวลาผ่านไปของแผ่นกรองยางธรรมชาติแต่ละชนิด

จากการทดลองการศึกษาลักษณะโครงสร้างภายนอกของแผ่นกรองยางธรรมชาติที่มีผลต่อปริมาณการดักจับฝุ่นละออง โดยเปรียบเทียบแผ่นกรองยางธรรมชาติ 2 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด A และ B พบว่าปริมาณ PM2.5 ที่ลดลงเมื่อใช้แผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด B ในแต่ละเวลาลดลงมากกว่าเมื่อใช้แผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด A สังเกตได้จากเวลาในช่วงแรกที่ทำกรทดลอง แผ่นกรองยางจะมีประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองได้ดีที่สุดเนื่องจากแผ่นกรองยังไม่เคยผ่านการใช้งาน ทำให้ไม่มีฝุ่นละอองเข้าไปอุดตันในแผ่นกรองยาง ซึ่งแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด A และ B มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณฝุ่นละอองในที่ดักจับได้เมื่อวัดค่าครั้งแรก คือ 52.38% และ 45.79% ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด B เป็นแผ่นกรองยางธรรมชาติแบบเจาะรู ซึ่งการเจาะรูเป็นการลดความหนาบางส่วนของยางทำให้อากาศสามารถไหลผ่านแผ่นกรองยางธรรมชาติได้ดีกว่า ส่งผลให้ยางสามารถดักจับฝุ่นละอองได้มากกว่า (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1)

จากการทดลองการศึกษาลักษณะผลของการใส่สารตัวเติมในแผ่นกรองยางธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบแผ่นกรองยางธรรมชาติ 2 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด C และ D พบว่าแผ่นกรองยางธรรมชาติทั้งสองแบบมีแนวโน้มปริมาณ PM2.5 ที่ลดลงมากกว่าแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด B คือแผ่นกรองยางธรรมชาติเจาะรูแบบธรรมดาที่ไม่มีการเติมซิลิกา ซึ่งการเติมซิลิกาที่มีสมบัติรูพรุนนี้ ฝุ่นละอองสามารถเข้าไปในรูพรุนทั้งซิลิกาและรูพรุนของยางธรรมชาติได้ จึงส่งผลให้แผ่นกรองยางธรรมชาติสามารถดักจับฝุ่นละอองได้มากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบแผ่นกรองยางธรรมชาติทั้งสองชนิด C และ D พบว่าแนวโน้มปริมาณ PM2.5 ที่ลดลงโดยรวมมีความใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.1)

เมื่อทดลองหาขีดจำกัดในการดักจับฝุ่นละออง เพื่อหาประสิทธิภาพการใช้งานของแผ่นกรองยางธรรมชาติพบว่าแผ่นกรองทั้ง 4 ชนิดสามารถดักจับฝุ่นละอองได้สูงสุดที่ประมาณ 21 นาทีโดยสังเกตจากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM_{2.5} ที่เข้าใกล้ศูนย์เนื่องจากมีฝุ่นละอองเข้าไปอุดในรูพรุนของแผ่นกรองยางธรรมชาติ จึงทำให้ไม่มีการดักจับฝุ่นละออง (ตารางที่ 4.1)

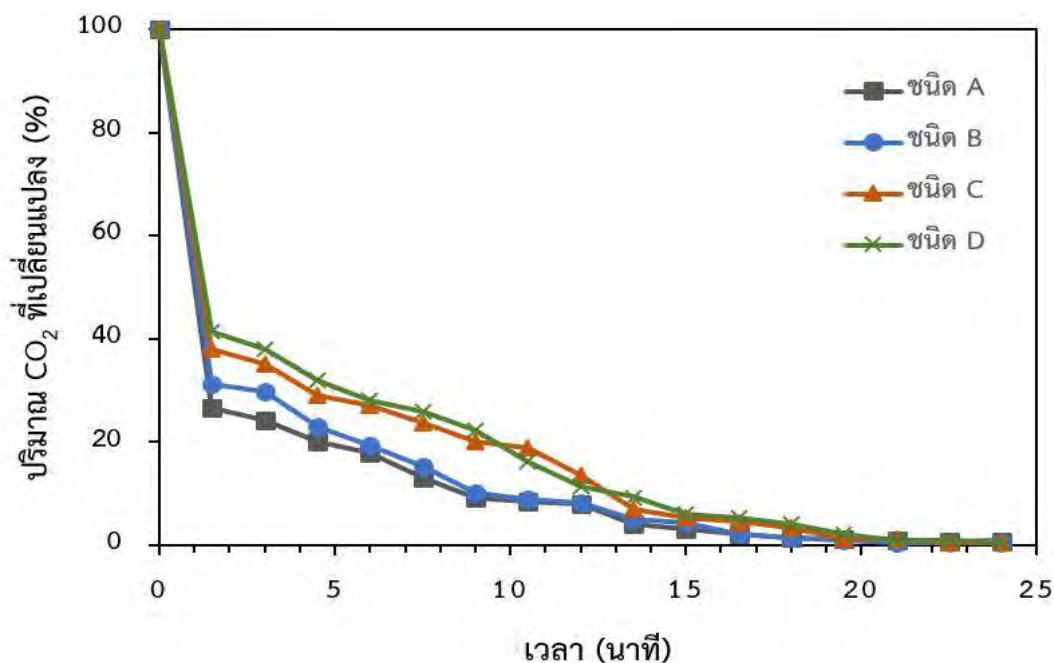
4.2 การทดลองการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

การทดลองการวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของแผ่นกรองยางธรรมชาติ 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด A, B, C และ D ซึ่งเปรียบเทียบเป็นปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง (%) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และกราฟที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบปริมาณ CO₂ ที่ลดลงของแผ่นกรองธรรมชาติแต่ละชนิด

เวลา (นาที)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (%) ของแผ่นกรองธรรมชาติ			
	ชนิด A	ชนิด B	ชนิด C	ชนิด D
1.5	26.67	31.19	37.93	41.42
3.0	24.24	29.78	35.08	38.10
4.5	20.15	22.96	29.17	31.90
6.0	17.96	19.33	27.07	28.15
7.5	13.06	15.26	23.67	25.82
9.0	9.10	10.06	20.07	22.25
10.5	8.58	9.07	18.98	16.20
12.0	8.04	8.28	13.59	11.29
13.5	4.16	5.16	7.07	9.33
15.0	3.21	4.43	5.31	6.11
16.5	2.18	2.18	4.47	5.31
18.0	1.40	1.40	3.37	4.20
19.5	1.21	0.94	1.16	2.23
21.0	1.02	0.58	1.15	0.98
22.5	0.71	0.42	0.56	0.86
24.0	0.84	0.42	0.43	0.44

หมายเหตุ วิธีการคำนวณปริมาณ CO₂ ที่ลดลง (%) ของแผ่นกรองยางธรรมชาติอยู่ในภาคผนวก ข



รูปที่ 4.2 กราฟการเปรียบเทียบปริมาณ CO₂ เมื่อเวลาผ่านไปของแผ่นกรองยางธรรมชาติแต่ละชนิด

จากการทดลองการศึกษาลักษณะโครงสร้างภายนอกของแผ่นกรองยางธรรมชาติที่มีผลต่อปริมาณการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยเปรียบเทียบแผ่นกรองยางธรรมชาติ 2 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองยางธรรมชาติ ชนิด A และ B พบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงมากกว่าเมื่อใช้แผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด B ซึ่งแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด A และ B มีค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ครั้งแรก คือ 31.19% และ 26.57% ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด B เป็นแผ่นกรองยางธรรมชาติแบบเจาะรู ซึ่งการเจาะรูเป็นการลดความหนาบางส่วนของยางทำให้อากาศสามารถไหลผ่านแผ่นกรองยางธรรมชาติได้ดีกว่า ส่งผลให้แผ่นกรองสามารถดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่า เช่นเดียวกับความสามารถในการดักจับฝุ่นละออง (ตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2) และพบว่าแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด B มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด A ด้วยเช่นกัน

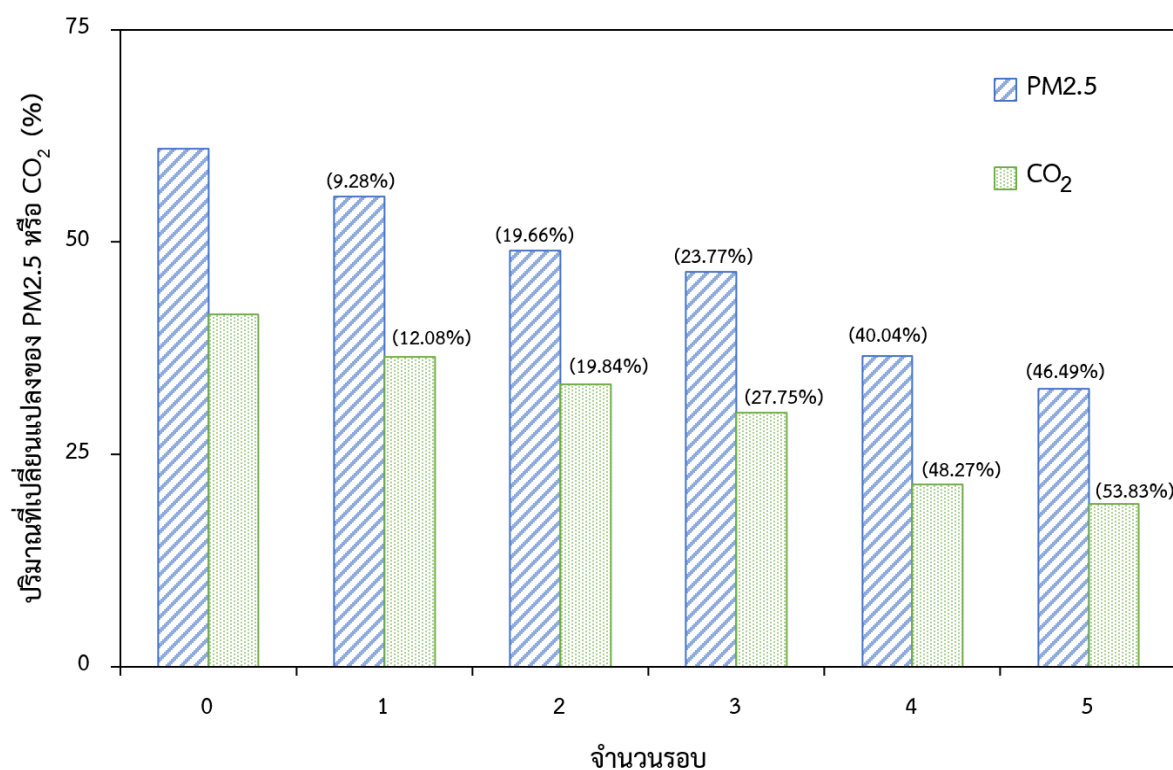
การศึกษาผลของการใส่สารตัวเติม โดยเปรียบเทียบแผ่นกรองยางธรรมชาติ 2 ชนิด ได้แก่ แผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด C และ D พบว่าแผ่นกรองยางธรรมชาติทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การลดลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด B เนื่องจากการเติมซิลิกาเป็นการเพิ่มรูพรุน ทำให้แผ่นกรองยางธรรมชาติสามารถดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบแผ่นกรองยางธรรมชาติทั้งสองชนิด พบว่าแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงมากกว่าแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D (รูปที่ 4.2) เนื่องจากซิลิกาตัดแปรพื้นผิวด้วยสารประกอบแอมิน เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ไม่มีผลในการดักจับฝุ่นละอองในอากาศ ส่งผลทำให้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ไม่เพิ่ม

ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละออง จะเห็นได้ว่าแผ่นกรองยางธรรมชาติทั้งสองชนิด C และ D มีแนวโน้มของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.1)

เมื่อทดลองหาขีดจำกัดในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อหาประสิทธิภาพการใช้งานของแผ่นกรองยางธรรมชาติ พบว่าแผ่นกรองทั้ง 4 ชนิดสามารถดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ได้สูงสุดที่ประมาณ 21 นาที เช่นเดียวกับค่าฝุ่นละออง PM2.5

4.3 การกำจัดฝุ่นละอองและสารเคมีในแผ่นกรองยางธรรมชาติเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

แผ่นกรองยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการดูดซับฝุ่นละออง PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว ถูกไปล้างน้ำเพื่อกำจัดฝุ่นละออง และนำไปเผาให้แห้งด้วยลมร้อนโดยการใช้อิฐ ซึ่งเป็นการไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแผ่นกรองยางธรรมชาติออก เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำและศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับหลังกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยเลือกศึกษาจากแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D เนื่องจากมีแนวโน้มการดูดซับฝุ่นละออง PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีที่สุด



รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของ PM2.5 กับ CO₂ จำนวนรอบในการนำกลับมาใช้ใหม่ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D และปริมาณการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่ (xx%) แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ข

จากรูปที่ 4.3 พบว่าหลังการนำกลับมาใช้ใหม่ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D มีแนวโน้มปริมาณ PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงเช่นเดียวกับก่อนการนำไปใช้ใหม่ แต่มีเปอร์เซ็นต์การลดลงที่น้อยกว่าเนื่องจากการนำกลับมาใช้ใหม่และด้วยเป็นการอบที่ไม่ได้ใช้แรงดันจึงไม่สามารถไล่ฝุ่นละอองและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ในแผ่นกรองยางธรรมชาติออกได้หมด จึงอาจมีสิ่งเจือปนติดค้างบางส่วน ทำให้มีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองลดลง และพบว่าแผ่นกรองยางธรรมชาติสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำในการดูดซับฝุ่นและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด 3 ครั้ง มีค่าความจุในการดักจับฝุ่นละออง PM2.5 ลดลงร้อยละ 9.28 19.66 และ 23.77 ตามลำดับเมื่อเทียบกับก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่ (ครั้งที่ 0) ส่วนค่าความจุในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดจ้อยละ 12.08 19.84 และ 27.75 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่ (ครั้งที่ 0) แต่การนำแผ่นกรองยางธรรมชาติมาใช้ซ้ำในครั้งที่ 4 เป็นต้นไปสังเกตได้ว่าค่าปริมาณ PM2.5 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นั้นมีค่าลดลงอย่างมาก 40.04% และ 48.27% เนื่องจากการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีที่มีการให้ความร้อนจึงทำให้ซิลิกาและแอมินในแผ่นกรองยางธรรมชาติสลายตัว ค่าที่ได้จึงเป็นเพียงค่าการดูดซับของแผ่นกรองยางธรรมชาติเท่านั้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

แผ่นกรองยางธรรมชาติเจาะรูที่เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้สารประกอบซิลิกาตัดแปรพื้นผิวด้วยสารประกอบแอมินซึ่งใช้ 3-แอมิโนโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีที่สุด ซึ่งเปอร์เซ็นต์ปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงสูงสุดเท่ากับ 61.02% และ 41.42% ตามลำดับ และสามารถใช้งานต่อเนื่องสูงสุดประมาณ 21 นาที เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับฝุ่นละออง PM_{2.5} และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ คือ แผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D > C > B > A หลังจากนำไปผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อนำแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D มาใช้ซ้ำ พบว่าแผ่นกรองยางธรรมชาติสามารถดูดซับฝุ่นละออง PM_{2.5} และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยกว่าแผ่นกรองยางธรรมชาติใหม่ โดยสามารถนำมากลับมาใช้ใหม่ได้สูงสุด 3 ครั้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองการวัดปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นการวัดเพื่อหาแนวโน้มประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศ ถ้าหากต้องการข้อมูลตัวเลขที่แม่นยำควรศึกษาวิธีการทดสอบที่เป็นระบบปิดและครอบคลุมมากกว่านี้ รวมถึงศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพและฟังก์ชันของแผ่นกรองอากาศให้มีการใช้งานได้กว้างขวางเพิ่มมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทัวโลกจัดการกับปัญหามลพิษทางอากาศอย่างไร?. Greenpeace Thailand. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.greenpeace.org/thailand/story/2134/tackle-air-pollution-around-the-world> [2563, มกราคม 25].
- [2] บทบาทของประเทศไทยกับการลดก๊าซเรือนกระจก. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=1746:article-20161114-01&catid=49&Itemid=251 [2563, มกราคม 25].
- [3] ชิชณพงค์ ประทุม. ความเป็นไปได้ในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพจากโรงงานอุตสาหกรรม, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2(2561): 106-133.
- [4] ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร. วัสดุรูปทรงคืออะไร, คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 1(2554): 61-69.
- [5] Thailand Reference Material. วัสดุอ้างอิงเพื่อการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ, สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 1(2561): 1.
- [6] แก๊สเรือนกระจก. Wikipedia thailand. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://th.wikipedia.org/wiki/แก๊สเรือนกระจก> [2563, มีนาคม 15].
- [7] กลุ่มเฝ้าระวังฝุ่น. เรียนรู้เกี่ยวกับฝุ่น PM2.5, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 1(2562): 1-20.
- [8] ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ. กรมควบคุมมลพิษ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php [2563, มีนาคม 17].
- [9] Matador. RUBBER CHEMISTRY, CONTINENTAL MATADOR RUBBER, 1(2009): 6-11.
- [10] พงษ์ธร แซ่ฮุย. ยาง: ชนิด สมบัติและการใช้งาน. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2547.
- [11] ดร.พงษ์ธร แซ่ฮุย. กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ และ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง, 1(2558): 1-10.
- [12] วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. ประสิทธิภาพการดูดซับโอโซนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ. รายงานวิจัยปรัชญาดุษฎีบัณฑิต. 2558.

- [13] เจริญศรี ยิ้มพะ. การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมไอออนด้วยโคโตซานที่ปรับโครงสร้างด้วยกรดอะมิโน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. 2549.
- [14] ดร.นิตาพร มุหะมัด และคณะ. การดูดซับสี้อมด้วยกากชา. รายงานวิจัยของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. 2559.
- [15] ซิลิกา (Silica/SiO_2) และประโยชน์ซิลิกา. Siamchemi. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://www.siamchemi.com/ซิลิกา/>. [2563, มีนาคม 17].
- [16] จุกรัตน์ อาชวรัตน์ถาวร. กระบวนการโซลเจล (Sol Gel Technology). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.dpim.go.th/ppr/title.phpMtid=-00000110628718>. [2563, มีนาคม 20].
- [17] ดร. พชรินทร์ วรธนกุล. Sol-Gel เทคโนโลยีสังเคราะห์ซิลิกาจากขานอ้อย. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 36(2010) : 39-43.
- [18] เอมีน (Amines). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/amine1.htm> [2563, มีนาคม 20].
- [19] Amines and Amides. BCcampus. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://opentextbc.ca/chemistry/chapter/20-4-amines-and-amides/> [2563, มีนาคม 20].
- [20] NEET Chemistry Notes Organic Compounds Containing Nitrogen Amines. CBSE Tuts. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://www.cbsetuts.com/neet-chemistry-notes-organic-compounds-containing-nitrogen-amines/>. [2563, มีนาคม 20].
- [21] ภูวเดช พรอรุณธรรม. การจับยึดคาร์บอนไดออกไซด์บนมอนต์มอริลโลไนต์ดัดแปรด้วยเอมีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. 2556.
- [22] Y. Xie, A.S. Hill, Z. Xiao, H. Militz and C. Mai. Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 41 (2010): 806-819.
- [23] J.D. Figueroa, T. Fout, S. Plasynski, H. McIlvried and R.D. Srivastava. Advances in CO₂ capture technology–The U.S. Department of Energy’s Carbon Sequestration Program. International Journal of Greenhouse Gas Control, (2)2008: 9–20.

- [24] X. Xu, C. Song, J.M. Andresen, B.G. Miller and A.W. Scaroni. Novel polyethyleneimine-modified mesoporous molecular sieve of MCM-41 type as high-capacity adsorbent for CO₂ capture. *Energy Fuels*, 16(2002): 1463–1469.
- [25] Z.D. Shao, X. Sheng and Y.M. Zheng, Facile co-precursor sol-gel synthesis of a novel amine-modified silica aerogel for high efficiency carbon dioxide capture. *Journal of Colloid and Interface Science* (2018): 412–423.

ภาคผนวก ก

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM2.5 และ CO₂ จากแผ่นกรอง

ตอนที่ 1 ก่อนเข้ากระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่

ตารางที่ ก.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM2.5 ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด A

เวลา (นาที)	ปริมาณ PM2.5 ก่อนเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 หลังเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง (%)
1.5	105	50	55	52.38
3.0	102	52	50	49.02
4.5	110	62	48	43.64
6.0	108	62	46	42.59
7.5	114	67	47	41.23
9.0	116	71	45	38.79
10.5	128	85	43	33.59
12.0	130	91	39	30.00
13.5	102	79	23	22.55
15.0	110	92	18	16.36
16.5	109	94	15	13.76
18.0	111	99	12	10.81
19.5	116	107	9	7.76
21.0	110	109	1	0.91
22.5	114	113	1	0.88
24.0	112	111	1	0.89

ตารางที่ ก.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO₂ ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด A

เวลา (นาที)	ปริมาณ CO ₂ ก่อนเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ หลังเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (%)
1.5	747	514	233	31.19
3.0	759	533	226	29.78
4.5	784	604	180	22.96
6.0	802	647	155	19.33
7.5	819	694	125	15.26
9.0	835	751	84	10.06
10.5	816	742	74	9.07
12.0	821	753	68	8.28
13.5	697	661	36	5.16
15.0	654	625	29	4.43
16.5	687	672	15	2.18
18.0	716	706	10	1.40
19.5	746	739	7	0.94
21.0	689	685	4	0.58
22.5	706	703	3	0.42
24.0	714	711	3	0.42

ตารางที่ ก.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM2.5 ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด B

เวลา (นาที)	ปริมาณ PM2.5 ก่อนเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 หลังเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง (%)
1.5	107	58	49	45.79
3.0	105	60	45	42.86
4.5	111	66	45	40.54
6.0	109	66	43	39.45
7.5	102	64	38	37.25
9.0	131	88	43	32.82
10.5	143	104	39	27.27
12.0	126	94	32	25.40
13.5	113	94	19	16.81
15.0	102	92	10	9.80
16.5	117	111	6	5.13
18.0	115	113	2	1.74
19.5	109	108	1	0.92
21.0	108	107	1	0.93
22.5	112	111	1	0.89
24.0	114	113	1	0.88

ตารางที่ ก.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO₂ ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด B

เวลา (นาที)	ปริมาณ CO ₂ ก่อนเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ หลังเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (%)
1.5	720	528	192	26.67
3.0	759	575	184	24.24
4.5	784	626	158	20.15
6.0	802	658	144	17.96
7.5	819	712	107	13.06
9.0	835	759	76	9.10
10.5	816	746	70	8.58
12.0	821	755	66	8.04
13.5	697	668	29	4.16
15.0	654	633	21	3.21
16.5	687	672	15	2.18
18.0	716	706	10	1.40
19.5	746	737	9	1.21
21.0	689	682	7	1.02
22.5	706	701	5	0.71
24.0	714	708	6	0.84

ตารางที่ ก.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM2.5 ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด C

เวลา (นาที)	ปริมาณ PM2.5 ก่อนเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 หลังเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง (%)
1.5	110	46	64	58.18
3.0	104	45	59	56.73
4.5	113	51	62	54.87
6.0	109	54	55	50.46
7.5	108	56	52	48.15
9.0	132	74	58	43.94
10.5	133	79	54	40.60
12.0	142	91	51	35.92
13.5	140	103	37	26.43
15.0	101	87	14	13.86
16.5	111	102	9	8.11
18.0	109	104	5	4.59
19.5	103	100	3	2.91
21.0	102	101	1	0.98
22.5	106	105	1	0.94
24.0	107	107	0	0.00

ตารางที่ ก.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO₂ ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด C

เวลา (นาที)	ปริมาณ CO ₂ ก่อนเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ หลังเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (%)
1.5	812	504	308	37.93
3.0	801	520	281	35.08
4.5	792	561	231	29.17
6.0	798	582	216	27.07
7.5	807	616	191	23.67
9.0	852	681	171	20.07
10.5	843	683	160	18.98
12.0	861	744	117	13.59
13.5	834	775	59	7.07
15.0	659	624	35	5.31
16.5	671	641	30	4.47
18.0	713	689	24	3.37
19.5	687	679	8	1.16
21.0	696	688	8	1.15
22.5	714	710	4	0.56
24.0	692	689	3	0.43

ตารางที่ ก.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM2.5 ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D

เวลา (นาที)	ปริมาณ PM2.5 ก่อนเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 หลังเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง (%)
1.5	118	46	72	61.02
3.0	117	48	69	58.97
4.5	112	49	63	56.25
6.0	111	55	56	50.45
7.5	108	58	50	46.30
9.0	141	78	63	44.68
10.5	140	84	56	40.00
12.0	144	93	51	35.42
13.5	138	99	39	28.26
15.0	110	89	21	19.09
16.5	109	97	12	11.01
18.0	108	100	8	7.41
19.5	107	101	6	5.61
21.0	106	104	2	1.89
22.5	112	111	1	0.89
24.0	113	112	1	0.88

ตารางที่ ก.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO₂ ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D

เวลา (นาที)	ปริมาณ CO ₂ ก่อนเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ หลังเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (%)
1.5	787	461	326	41.42
3.0	819	507	312	38.10
4.5	812	553	259	31.90
6.0	785	564	221	28.15
7.5	794	589	205	25.82
9.0	863	671	192	22.25
10.5	852	714	138	16.20
12.0	859	762	97	11.29
13.5	847	768	79	9.33
15.0	712	668	44	6.11
16.5	678	642	36	5.31
18.0	691	662	29	4.20
19.5	716	700	16	2.23
21.0	714	707	7	0.98
22.5	694	688	6	0.86
24.0	682	679	3	0.44

ตอนที่ 2 ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D

ตารางที่ ก.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM2.5 ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	ปริมาณ PM2.5 ก่อนเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 หลังเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง (%)
1.5	56	25	31	55.36
3.0	57	26	31	54.39
4.5	57	27	30	52.63
6.0	53	28	25	47.17
7.5	52	28	24	46.15
9.0	54	32	22	40.74
10.5	79	51	28	35.44
12.0	76	50	26	34.21
13.5	77	52	25	32.47
15.0	77	56	21	27.27
16.5	78	59	19	24.36
18.0	76	62	14	18.42
19.5	64	53	11	17.19
21.0	66	57	9	13.64
22.5	66	58	8	12.12
24.0	67	63	4	5.97
25.5	67	65	2	2.99
27.0	65	64	1	1.54
28.5	66	66	0	0.00
30.0	65	64	1	1.54

ตารางที่ ก.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO₂ ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	ปริมาณ CO ₂ ก่อนเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ หลังเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (%)
1.5	486	309	177	36.42
3.0	487	322	165	33.88
4.5	482	329	153	31.74
6.0	488	356	132	27.05
7.5	491	370	121	24.64
9.0	494	392	102	20.65
10.5	591	505	86	14.55
12.0	587	505	82	13.97
13.5	594	515	79	13.30
15.0	597	531	66	11.06
16.5	583	525	58	9.95
18.0	584	537	47	8.05
19.5	559	530	29	5.19
21.0	557	536	21	3.77
22.5	552	535	17	3.08
24.0	556	547	9	1.62
25.5	549	547	2	0.36
27.0	551	550	1	0.18
28.5	548	548	0	0.00
30.0	554	554	0	0.00

ตารางที่ ก.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM2.5 ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	ปริมาณ PM2.5 ก่อนเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 หลังเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง (%)
1.5	51	26	25	49.02
3.0	51	27	24	47.06
4.5	51	27	24	47.06
6.0	51	29	22	43.14
7.5	51	32	19	37.25
9.0	51	33	18	35.29
10.5	51	34	17	33.33
12.0	51	38	13	25.49
13.5	51	38	13	25.49
15.0	51	39	12	23.53
16.5	51	43	8	15.69
18.0	51	46	5	9.80
19.5	51	48	3	5.88
21.0	51	50	1	1.96
22.5	51	50	1	1.96
24.0	51	51	0	0.00
25.5	51	51	0	0.00
27.0	51	51	0	0.00
28.5	51	50	1	1.96
30.0	51	50	1	1.96

ตารางที่ ก.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO₂ ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	ปริมาณ CO ₂ ก่อนเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ หลังเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (%)
1.5	512	342	170	33.20
3.0	512	352	160	31.25
4.5	512	356	156	30.47
6.0	512	367	145	28.32
7.5	512	396	116	22.66
9.0	512	412	100	19.53
10.5	512	438	74	14.45
12.0	512	457	55	10.74
13.5	512	460	52	10.16
15.0	512	468	44	8.59
16.5	512	476	36	7.03
18.0	512	498	14	2.73
19.5	512	503	9	1.76
21.0	512	505	7	1.37
22.5	512	505	7	1.37
24.0	512	510	2	0.39
25.5	512	511	1	0.20
27.0	512	506	6	1.17
28.5	512	508	4	0.78
30.0	512	510	2	0.39

ตารางที่ ก.13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM2.5 ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	ปริมาณ PM2.5 ก่อนเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 หลังเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง (%)
1.5	43	23	20	46.51
3.0	43	26	17	39.53
4.5	43	29	14	32.56
6.0	43	30	13	30.23
7.5	43	30	13	30.23
9.0	43	31	12	27.91
10.5	43	34	9	20.93
12.0	43	36	7	16.28
13.5	43	36	7	16.28
15.0	43	37	6	13.95
16.5	43	38	5	11.63
18.0	43	39	4	9.30
19.5	43	40	3	6.98
21.0	43	42	1	2.33
22.5	43	42	1	2.33
24.0	43	43	0	0.00
25.5	43	43	0	0.00
27.0	43	43	0	0.00
28.5	43	42	1	2.33
30.0	43	43	0	0.00

ตารางที่ ก.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO₂ ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	ปริมาณ CO ₂ ก่อนเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ หลังเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (%)
1.5	548	384	164	29.93
3.0	548	404	144	26.28
4.5	548	409	139	25.36
6.0	548	416	132	24.09
7.5	548	437	111	20.26
9.0	548	450	98	17.88
10.5	548	463	85	15.51
12.0	548	483	65	11.86
13.5	548	496	52	9.49
15.0	548	506	42	7.66
16.5	548	525	23	4.20
18.0	548	536	12	2.19
19.5	548	540	8	1.46
21.0	548	546	2	0.36
22.5	548	547	1	0.18
24.0	548	548	0	0.00
25.5	548	548	0	0.00
27.0	548	547	1	0.18
28.5	548	546	2	0.36
30.0	548	548	0	0.00

ตารางที่ ก.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM2.5 ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4

เวลา (นาที)	ปริมาณ PM2.5 ก่อนเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 หลังเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง (%)
1.5	41	26	15	36.59
3.0	41	27	14	34.15
4.5	41	29	12	29.27
6.0	41	32	9	21.95
7.5	41	33	8	19.51
9.0	41	33	8	19.51
10.5	41	34	7	17.07
12.0	41	38	3	7.32
13.5	41	38	3	7.32
15.0	41	39	2	4.88
16.5	41	40	1	2.44
18.0	41	41	0	0.00
19.5	41	41	0	0.00
21.0	41	40	1	2.44
22.5	41	41	0	0.00
24.0	41	41	0	0.00
25.5	41	41	0	0.00
27.0	41	41	0	0.00
28.5	41	41	0	0.00
30.0	41	41	0	0.00

ตารางที่ ก.16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO₂ ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 4

เวลา (นาที)	ปริมาณ CO ₂ ก่อนเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ หลังเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (%)
1.5	476	374	102	21.43
3.0	476	392	84	17.65
4.5	476	400	76	15.97
6.0	476	413	63	13.24
7.5	476	422	54	11.34
9.0	476	425	51	10.71
10.5	476	436	40	8.40
12.0	476	460	16	3.36
13.5	476	466	10	2.10
15.0	476	469	7	1.47
16.5	476	474	2	0.42
18.0	476	474	2	0.42
19.5	476	475	1	0.21
21.0	476	476	0	0.00
22.5	476	475	1	0.21
24.0	476	475	1	0.21
25.5	476	476	0	0.00
27.0	476	475	1	0.21
28.5	476	476	0	0.00
30.0	476	476	0	0.00

ตารางที่ ก.17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM2.5 ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5

เวลา (นาที)	ปริมาณ PM2.5 ก่อนเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 หลังเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่ลดลง (%)
1.5	49	33	16	32.65
3.0	49	34	15	30.61
4.5	49	35	14	28.57
6.0	49	36	13	26.53
7.5	49	39	10	20.41
9.0	49	40	9	18.37
10.5	49	41	8	16.33
12.0	49	44	5	10.20
13.5	49	47	2	4.08
15.0	49	47	2	4.08
16.5	49	49	0	0.00
18.0	49	48	1	2.04
19.5	49	49	0	0.00
21.0	49	49	0	0.00
22.5	49	49	0	0.00
24.0	49	48	1	2.04
25.5	49	48	1	2.04
27.0	49	49	0	0.00
28.5	49	49	0	0.00
30.0	49	49	0	0.00

ตารางที่ ก.18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ CO₂ ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 5

เวลา (นาที)	ปริมาณ CO ₂ ก่อนเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ หลังเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่ลดลง (%)
1.5	481	389	92	19.13
3.0	481	392	89	18.50
4.5	481	413	68	14.14
6.0	481	421	60	12.47
7.5	481	428	53	11.02
9.0	481	439	42	8.73
10.5	481	452	29	6.03
12.0	481	460	21	4.37
13.5	481	465	16	3.33
15.0	481	473	8	1.66
16.5	481	474	7	1.46
18.0	481	473	8	1.66
19.5	481	475	6	1.25
21.0	481	478	3	0.62
22.5	481	481	0	0.00
24.0	481	480	1	0.21
25.5	481	479	2	0.42
27.0	481	481	0	0.00
28.5	481	481	0	0.00
30.0	481	480	1	0.21

ภาคผนวก ข

การคำนวณการเปลี่ยนแปลงปริมาณ PM2.5 และ CO₂

ตัวอย่าง

แผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D

วิธีการคำนวณ

จากข้อมูลตาราง ก.1

ครั้งที่	ปริมาณ PM2.5 ก่อนเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 หลังเข้าเครื่อง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่เปลี่ยนแปลง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ปริมาณ PM2.5 ที่เปลี่ยนแปลง (%)
1	118	46	72	61.02

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ PM2.5 ที่เปลี่ยนแปลง} &= \text{ปริมาณ PM2.5 ก่อนเข้าเครื่อง} - \text{ปริมาณ PM2.5 หลังเข้าเครื่อง} \\ &= 118 - 46 = 72 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณ PM2.5 ที่เปลี่ยนแปลง} &= \frac{\text{ปริมาณ PM2.5 ที่เปลี่ยนแปลง} \times 100}{\text{ปริมาณ PM2.5 ก่อนเข้าเครื่อง}} \\ &= \frac{72 \times 100}{118} = 61.02\% \end{aligned}$$

จากข้อมูลตาราง ก.2

ครั้งที่	ปริมาณ CO ₂ ก่อนเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ หลังเข้าเครื่อง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่เปลี่ยนแปลง (ppm)	ปริมาณ CO ₂ ที่เปลี่ยนแปลง (%)
1	787	461	326	41.42

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ CO}_2 \text{ ที่เปลี่ยนแปลง} &= \text{ปริมาณ CO}_2 \text{ ก่อนเข้าเครื่อง} - \text{ปริมาณ PM CO}_2 \text{ หลังเข้าเครื่อง} \\ &= 787 - 461 = 326 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณ CO}_2 \text{ ที่เปลี่ยนแปลง} &= \frac{\text{ปริมาณ CO}_2 \text{ ที่เปลี่ยนแปลง} \times 100}{\text{ปริมาณ CO}_2 \text{ ก่อนเข้าเครื่อง}} \\ &= \frac{326 \times 100}{787} = 41.42\% \end{aligned}$$

การคำนวณปริมาณการเปลี่ยนแปลง (%) เมื่อเทียบกับก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่

ตัวอย่าง

แผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1

วิธีการคำนวณ

ครั้งที่	ปริมาณ PM2.5 ที่เปลี่ยนแปลง (%)	ปริมาณ CO ₂ ที่เปลี่ยนแปลง (%)
0	61.02	41.42
1	55.36	36.42

เปอร์เซ็นต์ปริมาณการเปลี่ยนแปลง PM2.5 ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1 เทียบกับก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่

$$= \frac{(\text{ปริมาณ PM2.5 ครั้งที่ 0} - \text{ปริมาณ PM2.5 ครั้งที่ 1}) \times 100}{\text{ปริมาณ PM2.5 ครั้งที่ 0}}$$

$$= \frac{(61.02 - 55.36) \times 100}{61.02} = 9.28\%$$

เปอร์เซ็นต์ปริมาณการเปลี่ยนแปลง CO₂ ของแผ่นกรองยางธรรมชาติชนิด D ที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ครั้งที่ 1 เทียบกับก่อนการนำกลับมาใช้ใหม่

$$= \frac{(\text{ปริมาณ CO}_2 \text{ ครั้งที่ 0} - \text{ปริมาณ CO}_2 \text{ ครั้งที่ 1}) \times 100}{\text{ปริมาณ CO}_2 \text{ ครั้งที่ 0}}$$

$$= \frac{(41.42 - 36.42) \times 100}{41.42} = 12.08\%$$