

ฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ผสม
เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ สำหรับแยกก๊าซ CO₂/CH₄
จากก๊าซชีวภาพ

EVA COPOLYMER FILM FILLED WITH
LAYER DOUBLE HYDROXIDES (LDHs) FOR CO₂/CH₄
SEPARATION FROM BIOGAS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2565
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVA COPOLYMER FILM FILLED WITH
LAYER DOUBLE HYDROXIDES (LDHs) FOR CO₂/CH₄
SEPARATION FROM BIOGAS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2022
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|----------------------|---|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | ฟิล์มเอทิลีนไวน์ลอะซิเตดโคพอลิเมอร์ผสมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ สำหรับแยกก๊าซ CO ₂ /CH ₄ จากก๊าซชีวภาพ |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาว กิตติญา ะหาโร รหัสนักศึกษา 62050260 นางสาว อุไรพร ทองคำภา รหัสนักศึกษา 62050363 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) |
| ภาควิชา | เคมี |
| คณะ | วิทยาศาสตร์ |
| มหาวิทยาลัย | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) |
| ปีการศึกษา | 2565 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย ผศ.ดร. สุภารัตน์ รักชลธี |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาฟิล์มเอทิลีนไวน์ลอะซิเตดโคพอลิเมอร์ผสมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDHs) สำหรับแยกก๊าซ CO₂/CH₄ จากก๊าซชีวภาพ เพื่อเพิ่มค่าการซึมผ่านและค่าคัดสรรของก๊าซให้ดีขึ้น ทดสอบการซึมผ่านของก๊าซผสมอัตราส่วน CO₂/CH₄ เท่ากับ 60:40 ผ่านโมดูลเมมเบรนโดยใช้กลไกความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซ ทดสอบฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) ในอัตราส่วน 100:0:0, 90:10:0, 90:9.5:0.5 และ 89.5:10:0.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีการเติม LDHs มีการเตรียมมาสเตอร์แบบ 2 วิธี คือ แบบหลอมเหลวและแบบสารละลาย จากนั้นทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมระบบปิดและขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม จากการศึกษาหามุมฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์พบพีคของ EVA ที่ความยาวคลื่น 1735 cm⁻¹ ของหมู่คาร์บอนิล เมื่อมีการเติม EVA18 ส่งผลให้การสั่นยืดของหมู่คาร์บอนิลและการสั่นยืดแบบงอของ CH₃ ลดลง ส่งผลให้ความมีขั้วลดลง เนื่องจาก EVA18 มีโครงสร้างของเอทิลีนมาก ส่งผลให้พีคลดลง เมื่อมีการเติม LDHs ทำให้เกิดอันตรกิริยากับหมู่เอสเทอร์และคาร์บอนิลที่ตำแหน่ง 1018 และ 1735 cm⁻¹ ตามลำดับ ส่งผลให้ค่า Absorbance ลดลง เกิดการเปลี่ยนแปลงของความมีขั้วเนื่องจากไดโพลโมเมนต์ (Dipole moment) จากการศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่า การเติม LDHs ที่เตรียมมาสเตอร์แบบสารละลายเกิดการกระจายตัวของ LDHs ที่ดีกว่า เนื่องจากในการเตรียมมาสเตอร์แบบใช้ EVA28 ที่มีความหนืดน้อยผสมกับ LDHs จากนั้นเมื่อนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนที่สอนวิชานี้เท่านั้น ไม่ควรเอาไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

ผสมในเครื่องผสมระบบปิดกับ EVA18 ที่มีแรงเหนียวมาก ช่วยเพิ่มการกระจายตัวของ LDHs ได้ดี จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าฟิล์ม EVA28 และ EVA28/18 มีค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาการเติม LDHs ส่งผลให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัสของยังมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจาก LDHs เป็นสารอนินทรีย์มีวัฏภาคเป็นของแข็งสามารถเกิดอันตรกิริยาได้ดีกับพอลิเมอร์ ส่งผลให้ฟิล์ม มีความแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้วัฏภาคของแข็งหน่วงการเกิดผลึกของ EVA ทำให้ค่าร้อยละความเป็นผลึกของ EVA มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ผลจากการวัดมุมสัมผัสพบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ทุกสูตรมีค่ามุมสัมผัสที่ใกล้เคียงกันและเมื่อทดสอบการซึมผ่านของก๊าซผสม CO_2/CH_4 พบว่าฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S) มีค่าการคัดสรรของก๊าซผสม CO_2/CH_4 สูงที่สุด เนื่องจากการเตรียมมาสเตอร์แบบบสารละลายเกิดการกระจายตัวของ LDHs ได้ดีในฟิล์มพอลิเมอร์ ทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นก๊าซ CO_2 และ CH_4 จึงซึมผ่านออกมาได้น้อยลง อย่างไรก็ตามการที่ฟิล์มมีขั้วเนื่องจากมีหมู่คาร์บอนิลในไวนิลอะซิเตตและโครงสร้างของ LDHs มีคาร์บอนอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้น สามารถดูดซับก๊าซ CO_2 ได้ดี ทำให้ฟิล์มมีความสามารถในการเลือกผ่านก๊าซ CO_2 สูงกว่าก๊าซ CH_4 ส่งผลให้มีค่าการคัดสรรก๊าซเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติม LDHs ช่วยในการขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์มได้ง่าย อีกทั้งพบว่าฟิล์มสูตร EVA28-18/0.5LDHs (S) มีค่าการคัดสรรก๊าซสูงที่สุด เมื่อทำการทดสอบการซึมผ่านของก๊าซผสม CH_4/CO_2 เริ่มต้นที่อัตราส่วนเท่ากับ 60:40 พบว่ามีความเข้มข้นของก๊าซ CH_4 สูงสุดที่ 68.34%

คำสำคัญ : โคพอลิเมอร์, มาสเตอร์แบบ, เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์, เมเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์, การแยกก๊าซ CO_2/CH_4

| | |
|----------------------|---|
| Title | EVA COPOLYMER FILM FILLED WITH LAYER DOUBLE HYDROXIDES (LDHs) FOR CO ₂ /CH ₄ SEPARATION FROM BIOGAS |
| Students | Miss Kittiya Waharo Student ID 62050260 Miss Uraiporn Thongkampha Student ID 62050363 |
| Degree | Bachelor of Science |
| Department | Chemistry |
| School | Science |
| University | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) |
| Academic Year | 2565 |
| Advisor | Asst. Prof. Dr. Chonlada Ritvirulh |
| Co-advisor | Prof. Dr. Tawan Sooknoi Asst. Prof. Dr. Suparat Rukchonlatee |

Abstract

In this research, Ethylene Vinyl Acetate Copolymer/ Layered Double Hydroxides (EVA/LDHs) films were investigated in order to increase flux and selectivity of mixed gas (CO₂/CH₄) permeation. A membrane module was used for separation mixed gas by ratio of CH₄/CO₂ at 60:40. The films EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M), EVA28-18/0.5LDHs (S) with weight ratios of 100:0:0, 90:10:0, 90:9.5:0.5 and 89.5:10:0.5, were also determined. The polymer film with LDHs were prepared by two masterbatch methods, which are melt mixing and solution casting. The compounds were mixed by an internal mixer and polymer films were shaped by an extrusion blown film process. From the FT-IR results, the spectra of the polymer film showed peak of carbonyl groups in EVA at a wavelength of 1735 cm⁻¹. When the proportion of EVA18 was added, therefore the reduction of polar functional group, such as carbonyl group and bending vibration of the CH₃ groups decreased. Due to the high polyethylene structure of EVA18, the peak height declined. In addition, LDHs could interact with ester and carbonyl at positions 1018 and 1735 cm⁻¹, respectively. The dipole moment was occurred, thus the absorbance decreased. The morphology of films adding LDHs by

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ห้ามเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

preparation of solution casting masterbatch, the distribution of LDHs were better than that of melt mixing masterbatch. This is because EVA28 was applied in the preparation of solution casting masterbatch with less MFI than EVA18 that was prepared in melt mixing masterbatch. Thereafter mixing with EVA18 gave a sufficient shear strength, resulting in good dispersion of LDHs. According to the mechanical properties test, the percentage of elongation at break, tensile strength, and Young's modulus of EVA28/18 film is close to EVA28. Addition of LDHs, The percent of elongation at break, tensile strength and Young's modulus were enhanced because LDHs is an inorganic substance with a solid phase. The good interaction between the polymers and LDHs were observed, leading to higher strength of the film. Moreover, the degree of crystallinity of EVA was significantly decreased. Hence the distribution of LDHs interfered the crystallization of EVA. The contact angle and polarities of all polymer films were close. The gas permeability tests of mixed gas (CO_2/CH_4) revealed that permeated CO_2 is higher than CH_4 in all films. In addition, a presence of the LDHs, the polymer film had an increased in flux of permeated gases of CO_2 and CH_4 as compared to EVA film owing to the good distribution of LDHs. Solution casting masterbatch exhibited good dispersibility in copolymer film. Therefore, gas CO_2 and CH_4 are difficult to permeate because of the high strength film. Moreover, the gas selectivity increased. Thus, the addition of LDHs facilitated film forming by blown film extrusion process. Furthermore, film formular EVA28-18/0.5LDHs (S) gave the highest mixed gas selectivity. Additionally, the permeability of CH_4/CO_2 gas mixture testing at a ratio of 60:40, it was found that the highest CH_4 gas concentration was 68.34%.

Keywords : Copolymer, Masterbatch, EVA, LDHs, CO_2/CH_4 separation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินโครงการพิเศษฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์ ศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย และ ผศ.ดร. สุภารัตน์ รักชลธี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ได้ให้ความรู้คำปรึกษา สอน และแนะนำทักษะในการทำงาน รวมถึงเสนอแนะแนวทางแก้ไขโครงการพิเศษ และขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ภัทรธาวุธ มนต์วิเศษ และ รศ.ดร. อิทธิพล แจ่มชัด อาจารย์คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ให้คำแนะนำในประเด็นต่าง ๆ และขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน อาจารย์คณะกรรมการในการสอบร่างโครงการพิเศษฉบับนี้ ซึ่งทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้มีความถูกต้อง สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ นายปรัชญา วาหะสิทธิ์ นักศึกษาปริญญาเอก และ นางสาวชนิสรา หนูโต นักศึกษาปริญญาโท ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือแก่ผู้จัดทำตลอดการดำเนินโครงการพิเศษนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ และเจ้าหน้าที่ศูนย์บริการเครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์ รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีที่ให้ความอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ที่อนุเคราะห์สารเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDHs) ในการดำเนินงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว และขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้การสนับสนุนความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ตลอดการดำเนินงาน เพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมายที่ยังไม่ได้กล่าวถึง ซึ่งผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

กิตติญา ะหาโร

อุไรพร ทองคำภา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ค |
| กิตติกรรมประกาศ..... | จ |
| สารบัญ..... | ฉ |
| สารบัญตาราง..... | ฌ |
| สารบัญรูป..... | ญ |
| คำย่อ/สัญลักษณ์..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 4 |
| 1.3 ขอบเขต..... | 4 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| 2.1 พลังงานทดแทน..... | 5 |
| 2.1.1 พลังงานลม..... | 5 |
| 2.1.2 พลังงานแสงอาทิตย์..... | 5 |
| 2.1.3 พลังงานชีวมวล..... | 5 |
| 2.1.4 พลังงานน้ำ..... | 6 |
| 2.1.5 พลังงานความร้อนใต้พิภพ..... | 6 |
| 2.2 ก๊าซชีวภาพ..... | 6 |
| 2.2.1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ..... | 6 |
| 2.2.2 รูปแบบการนำก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นพลังงานทดแทน..... | 7 |
| 2.2.3 แหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ..... | 7 |
| 2.2.4 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ..... | 8 |
| 2.3 กระบวนการบำบัดก๊าซชีวภาพ..... | 8 |
| 2.4 เมมเบรน..... | 9 |
| 2.4.1 ประเภทของเมมเบรน..... | 9 |
| 2.4.2 คุณสมบัติของเมมเบรน..... | 10 |
| 2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน..... | 10 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 2.4.4 กระบวนการของเมมเบรน..... | 11 |
| 2.4.5 เทคโนโลยีเมมเบรน..... | 12 |
| 2.4.6 อุปกรณ์โมดูลเมมเบรน..... | 12 |
| 2.4.7 การแยกก๊าซด้วยเมมเบรน..... | 15 |
| 2.5 เมมเบรนพอลิเมอร์..... | 17 |
| 2.6 พอลิเมอร์ผสม..... | 18 |
| 2.7 เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์..... | 18 |
| 2.8 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์..... | 19 |
| 2.8.1 แมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์..... | 20 |
| 2.8.2 คุณสมบัติของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์..... | 21 |
| 2.9 มาสเตอร์แบท..... | 22 |
| 2.10 เครื่องผสมระบบปิด..... | 22 |
| 2.11 กระบวนการเป่าฟิล์ม..... | 23 |
| 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 24 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... | 30 |
| 3.1 สารเคมีที่ใช้..... | 30 |
| 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... | 32 |
| 3.3 การเตรียมมาสเตอร์แบท..... | 33 |
| 3.3.1 การเตรียมมาสเตอร์แบทแบบหลอมเหลว..... | 33 |
| 3.3.2 การเตรียมมาสเตอร์แบทแบบสารละลาย..... | 33 |
| 3.4 การเตรียมพอลิเมอร์..... | 34 |
| 3.4.1 การผสมพอลิเมอร์ในเครื่องผสมระบบปิด..... | 34 |
| 3.4.2 การผสมพอลิเมอร์ในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว..... | 35 |
| 3.5 การเตรียมฟิล์ม..... | 35 |
| 3.5.1 การเตรียมฟิล์มชนิดท่อ..... | 35 |
| 3.5.2 การเตรียมชิ้นงานแผ่นเรียบ..... | 36 |
| 3.6 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์ม..... | 36 |
| 3.6.1 การทดสอบวัดมุมสัมผัสของชิ้นงานพอลิเมอร์บนพื้นผิว..... | 36 |
| 3.6.2 การศึกษาสัณฐานวิทยา..... | 37 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 3.6.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน | 37 |
| 3.6.3.1 การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC..... | 37 |
| 3.6.3.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA..... | 37 |
| 3.6.4 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ | 38 |
| 3.6.5 การศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบ | 38 |
| 3.6.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล | 38 |
| 3.6.7 การทดสอบการซึมผ่านก๊าซ..... | 39 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล | 42 |
| 4.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ | 42 |
| 4.2 การศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบ | 44 |
| 4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา | 45 |
| 4.4 การศึกษามุมสัมผัสของชิ้นงานพอลิเมอร์บนพื้นผิว | 46 |
| 4.5 การศึกษาสมบัติทางความร้อน | 47 |
| 4.5.1 เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)..... | 47 |
| 4.5.2 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)..... | 48 |
| 4.6 การศึกษาสมบัติเชิงกล | 50 |
| 4.7 การทดสอบการซึมผ่านก๊าซ..... | 51 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 55 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 55 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 56 |
| เอกสารอ้างอิง | 57 |
| ภาคผนวก..... | 61 |
| ภาคผนวก ก..... | 62 |
| ภาคผนวก ข..... | 66 |
| ภาคผนวก ค..... | 68 |
| ภาคผนวก ง | 72 |
| ภาคผนวก จ..... | 76 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 Molecular Weight และ Kinetic Diameter ของก๊าซชนิดต่าง ๆ..... | 17 |
| 2.2 ตัวอย่างสารประกอบเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์..... | 20 |
| 3.1 สมบัติบางประการของ Escorene™ Ultra UL 00728 | 30 |
| 3.2 สมบัติบางประการของ POLENE N 8038..... | 31 |
| 3.3 สูตรพอลิเมอร์และอัตราส่วนผสมของพอลิเมอร์กับสารเติมแต่ง | 34 |
| 4.1 ค่าดัชนีคาร์บอนิลของฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28/18..... | 43 |
| 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง LDHs..... | 45 |
| 4.3 มุมสัมผัสของชิ้นงานพอลิเมอร์ที่พื้นผิว..... | 47 |
| 4.4 T_m , T_c และร้อยละความเป็นผลึกของ EVA ในฟิล์มพอลิเมอร์ | 48 |
| 4.5 สมบัติการรับแรงดึงของพอลิเมอร์..... | 51 |
| 4.6 ความหนาและความกว้างของฟิล์มพอลิเมอร์ | 52 |
| ค-1 ร้อยละความเป็นผลึก (% Crystallinity) ของ EVA ในฟิล์มพอลิเมอร์สูตรต่าง ๆ | 70 |
| ง-1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28..... | 72 |
| ง-2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28/18..... | 72 |
| ง-3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (M)..... | 73 |
| ง-4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S)..... | 73 |
| จ-1 อัตราการซึมผ่านก๊าซก่อนเข้าโมดูลเมมเบรนชนิดต่าง ๆ..... | 76 |
| จ-2 อัตราการซึมผ่านก๊าซหลังเข้าโมดูลเมมเบรนของฟิล์ม EVA28 | 79 |
| จ-3 อัตราการซึมผ่านก๊าซหลังเข้าโมดูลเมมเบรนของฟิล์ม EVA28/18..... | 79 |
| จ-4 อัตราการซึมผ่านก๊าซหลังเข้าโมดูลเมมเบรนของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (M) | 80 |
| จ-5 อัตราการซึมผ่านก๊าซหลังเข้าโมดูลเมมเบรนของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S)..... | 80 |
| จ-6 ค่าพลาซีคของฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ | 84 |
| จ-7 ค่าคัตสรรของก๊าซ CO ₂ /CH ₄ ของฟิล์มพอลิเมอร์..... | 86 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 การแบ่งประเภทของเมมเบรนตามโครงสร้างของเมมเบรน | 10 |
| 2.2 กระบวนการแยกสารแบบการกรองแบบปิดตาย | 11 |
| 2.3 กระบวนการแยกสารแบบการกรองแบบไหลขวาง | 11 |
| 2.4 การแยกก๊าซด้วยเทคนิคเมมเบรน | 12 |
| 2.5 กลไกการไหลในโมดูลเมมเบรนแบบแผ่น | 13 |
| 2.6 โมดูลเมมเบรนแบบท่อ | 13 |
| 2.7 โมดูลเมมเบรนแบบเส้นใยกลาง | 14 |
| 2.8 ภาพวาดโมดูลเมมเบรนแบบม้วน | 14 |
| 2.9 กลไกสำหรับแยกก๊าซผ่านรูพรุนของเมมเบรนที่มีรูพรุน (ก) การแพร่บนพื้นผิว (ข) การแพร่แบบนุดเซน และ (ค) การคัดขนาดโมเลกุล | 15 |
| 2.10 กลไกการซึมผ่านแบบ Solution-Diffusion mechanism | 16 |
| 2.11 โครงสร้างของเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ | 19 |
| 2.12 ลักษณะโครงสร้างของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ | 19 |
| 2.13 ชั้นโลหะแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ | 21 |
| 2.14 การคั้นโครงสร้างของ Mg-Al LDHs | 21 |
| 2.15 ส่วนประกอบของเครื่องผสมระบบปิด | 22 |
| 2.16 กระบวนการเป่าฟิล์ม | 23 |
| 2.17 ค่าการซึมผ่านก๊าซ CO ₂ ที่ความดัน 4, 6 และ 8 บาร์ ของเมมเบรน EVA28 และเมมเบรน EVA-Silica ที่มีปริมาณซิลิกา 5, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก | 24 |
| 2.18 กราฟแสดงผลของปริมาณไวนิลอะซิเตตต่อ (a) พลั๊กซ์ของก๊าซ และ (b) ค่าคัตสรรของก๊าซ CO ₂ /CH ₄ | 28 |
| 3.1 โมดูลเมมเบรน | 40 |
| 3.2 ระบบการทดสอบการซึมผ่านของก๊าซผสม CO ₂ /CH ₄ | 40 |
| 3.3 แผนภาพอุปกรณ์ทดสอบการซึมผ่านของก๊าซผสม CO ₂ /CH ₄ | 40 |
| 4.1 FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) | 44 |
| 4.2 สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของ EVA28/18ที่กำลังขยาย 3500 เท่า | 46 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.3 สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของ (a) EVA28-18/0.5LDHs (M) (b) EVA28-18/0.5LDHs (S) ที่กำลังขยาย 3500 เท่า..... | 46 |
| 4.4 อุณหภูมิกับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของ Masterbatch by Melt mixing | 49 |
| 4.5 อุณหภูมิกับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของ Masterbatch by Solution casting..... | 50 |
| 4.6 ค่าพลั๊กซ์ของการซึมผ่านก๊าซของฟิล์มพอลิเมอร์..... | 53 |
| 4.7 ค่าคัตสรรของก๊าซผสม CO ₂ /CH ₄ ของฟิล์มพอลิเมอร์..... | 54 |
| ก-1 FTIR สเปกตรัมของฟิล์ม EVA..... | 62 |
| ก-2 FTIR สเปกตรัมของฟิล์ม EVA28/18..... | 63 |
| ก-3 FTIR สเปกตรัมของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (M)..... | 64 |
| ก-4 FTIR สเปกตรัมของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S)..... | 65 |
| ข-1 ภาพมัมส์ที่พื้นผิวของฟิล์ม EVA28 | 66 |
| ข-2 ภาพมัมส์ที่พื้นผิวของฟิล์ม EVA28/18 | 66 |
| ข-3 ภาพมัมส์ที่พื้นผิวของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (M)..... | 67 |
| ข-4 ภาพมัมส์ที่พื้นผิวของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S)..... | 67 |
| ค-1 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม EVA28 | 68 |
| ค-2 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม EVA28/18 | 68 |
| ค-3 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (M)..... | 69 |
| ค-4 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S)..... | 69 |
| ค-5 TGA เทอร์โมแกรมของ Masterbatch 5% by Melt mixing | 71 |
| ค-6 TGA เทอร์โมแกรมของ Masterbatch 46.67% by Solution casting..... | 71 |
| ง-1 ตัวอย่างกราฟ Stress-Time ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28 | 74 |
| ง-2 ตัวอย่างกราฟ Stress-Time ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28/18 | 74 |
| ง-3 ตัวอย่างกราฟ Stress-Time ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (M)..... | 75 |
| ง-4 ตัวอย่างกราฟ Stress-Time ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S)..... | 75 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|--------------------|---|
| Φ | ค่าฟลักซ์ของการซึมผ่านก๊าซ (Flux) |
| α | ค่าคัดสรร (Selectivity) |
| ΔH_f | พื้นที่ใต้กราฟของ T_m |
| ΔH_f° | พลังงานความร้อนในการหลอมผลึกของ PE ที่มีความเป็นผลึก 100% (293 J/k) |
| A | พื้นที่ของฟิล์ม |
| ATR | Attenuated Total Reflection |
| DSC | Differential Scanning Calorimetry |
| EVA | เอทิลีนไวน์อะซิเตตโคพอลิเมอร์ (Ethylene Vinyl Acetate Copolymer) |
| F | แรงดึงยึดชิ้นงาน |
| FTIR | Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy |
| l_0 | ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานก่อนดึงชิ้นงาน (Gauge Length) |
| L | ระยะห่างระหว่างหัวจับชิ้นงานหลังทำการดึงชิ้นงาน ณ จุดขาด |
| LDHs | เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered Double Hydroxides) |
| M | Melt Mixing Masterbatch |
| S | Solution Casting Masterbatch |
| SEM | Scanning Electron Microscopy |
| t | เวลาเฉลี่ย |
| T_g | อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว |
| T_m | อุณหภูมิการหลอมเหลว |
| T_c | อุณหภูมิตกผลึก |
| TGA | Thermogravimetric analyzer |
| UTM | Universal Testing Machine |
| V | ปริมาตรของฟองอากาศ (Bubble flow) |
| XRF | X-ray Fluorescence |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในหลายประเทศพยายามเลือกใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อรักษาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในภูมิภาคอาเซียนมีความต้องการพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากปัจจัยเศรษฐกิจที่เติบโตขึ้น เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล ในขณะที่เดียวกันพลังงานก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญและโดดเด่นอย่างมากในประเทศไทยเนื่องจากเป็นประเทศแห่งเกษตรกรรม สามารถส่งออกผลผลิตไปยังประเทศต่าง ๆ ได้ ทำให้มีผลผลิตที่เหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ของเสียทางเกษตร มูลสัตว์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนที่สามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้เพื่อการสาธารณูปโภคแทนแหล่งพลังงานเดิมได้เรื่อย ๆ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน มีการหมัก (Fermentation) ของอินทรีย์วัตถุซึ่งประกอบด้วย ปุ๋ยคอก โคลนจากน้ำเสียหรือของเสียชีวภาพจากอาหารสัตว์ภายใต้สภาวะปราศจากออกซิเจน (Anaerobic) องค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) 50-70% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30-50% เป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไนโตรเจน (N_2) โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทนเป็นหลัก ซึ่งมีคุณสมบัติติดไฟได้ ใช้เป็นพลังงานให้ความร้อน มีการเผาไหม้แบบเดียวกับก๊าซธรรมชาติ จึงสามารถใช้ทดแทนก๊าซธรรมชาติ ก๊าซหุงต้มและน้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงเชื้อเพลิงฟอสซิลชนิดอื่น ๆ และเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้สามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นพลังงานหมุนเวียน เพื่อทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล ช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนได้ [1]

การเพิ่มค่าความร้อนและความบริสุทธิ์ของก๊าซมีเทน (CH_4) ก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ควรมีการบำบัดเพื่อให้ก๊าซมีความสะอาดมากขึ้นโดยการกำจัดความชื้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซชนิดอื่น ๆ ซึ่งทางเลือกหนึ่งคือการใช้เทคโนโลยีเมมเบรนหรือกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน (Membrane separation) เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานน้อย กระบวนการไม่ซับซ้อน ติดตั้งง่าย และเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน [2]

Aleksandra W. และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาการซึมผ่านก๊าซของฟิล์ม EVA ที่มีปริมาณไว-นिलอะซิเตต 25-70% โดยน้ำหนัก พบว่าค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO_2 , He, O_2 และ N_2 ลดลงตามลำดับ ขึ้นอยู่กับปริมาณไว-นिलอะซิเตตที่ใช้ โดยเมมเบรนที่เตรียมจากโคพอลิเมอร์ EVA ที่มีปริมาณไว-นिलอะซิเตต 46% โดยน้ำหนัก สามารถให้ค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO_2 สูงที่สุด มีการศึกษา

เมมเบรนในเรื่องของความสามารถในการคัดสรรก๊าซและความสามารถในการแยกก๊าซ พบว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน ไม่นานถัดมาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ความสามารถในการคัดสรรของก๊าซ CO_2/N_2 สูง และความสามารถในการแยกก๊าซ O_2/N_2 ต่ำ สำหรับไม่ผ่านการใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

เมมเบรนที่มีการผสมของพอลิเมอร์ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตตต่างกัน ให้ค่าการคัดสรรก๊าซมากกว่าพอลิเมอร์ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตตเดียว ผลลัพธ์เหล่านี้บ่งชี้ว่าการผสมพอลิเมอร์อาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกก๊าซได้ดีกว่า และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกก๊าซควรใช้พอลิเมอร์ที่สามารถทำอันตรกิริยาได้ดีกับก๊าซ CO₂

Seyyed A. และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาสมบัติการแยกก๊าซของเมมเบรน EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตต 18 และ 28% โดยน้ำหนัก ศึกษาผลของสภาวะการเตรียมเมมเบรนและศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่มีผลต่อการแยกก๊าซของเมมเบรน EVA และตรวจสอบการซึมผ่านของก๊าซ O₂, N₂, CH₄ และ CO₂ ปริมาตรที่ใช้แรงดันต่างกันตั้งแต่ 2-11 บาร์ ผลการทดลองพบว่าค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO₂ สูงกว่าก๊าซชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้กลไกของการละลายช่วยในเรื่องการซึมผ่านของเมมเบรน EVA โดยเมมเบรนที่ใช้เตตระไฮโดรฟูแรน (THF) เป็นตัวทำละลายสามารถให้ค่าการซึมผ่านของก๊าซสูงกว่าเมมเบรนที่เตรียมโดยใช้คลอโรฟอร์ม (CHCl₃) เนื่องจากตัวทำละลายมีความเข้มข้นสูงจึงช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระ (Free volumes) ของเมมเบรน ส่งผลให้การซึมผ่านของก๊าซดีขึ้น ผลการวิจัยพบว่าการซึมผ่านก๊าซของเมมเบรนที่เตรียมโดยใช้เทคนิคการผกผันของเฟสความร้อน/เปียก (Thermal/Wet phase inversion technique) สูงกว่าเมมเบรนที่เตรียมโดยใช้วิธีการผกผันของเฟสความร้อน (Thermal phase inversion method) โดยเมมเบรนที่เตรียมจากเทคนิคการผกผันของเฟสความร้อน/เปียกมีการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว เกิดจากอัตราแลกเปลี่ยนของตัวทำละลายที่เกิดขึ้นในอ่างจับตัวเป็นก้อน ดังนั้นเวลาในการจัดเรียงสายโซ่โพลิเมอร์ใหม่จึงมีน้อย ทำให้มีปริมาตรอิสระมากกว่า ส่งผลให้การซึมผ่านของก๊าซสูงขึ้น นอกจากนี้เมมเบรนที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตตสูงกว่าที่ใช้ THF เป็นตัวทำละลายมีคุณสมบัติการแยกก๊าซสูงที่สุด

Xiaozhi X. และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาการปรับระนาบระหว่างชั้นของฟิล์มไฮบริด LDHs และฟิล์มพอลิเมอร์เพื่อทำการแยกก๊าซ CO₂ ที่มีประสิทธิภาพ โดยปรับปรุง LDHs ที่มีประจุบวกและกรดพอลิอะคริลิก (PAA) ที่มีประจุลบ และพอลิเอทีเออร์อีไมด์ (PEI) ที่มีเอมีนเป็นหลัก โดย PAA ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางด้วยไฟฟ้าสถิตเพื่อจับ LDHs และ PEI ให้แน่นชิดติดกัน ในขณะที่ระยะห่างระหว่างระนาบควบคุมในช่วงนาโนเมตร โดยการเปลี่ยนค่า pH ของ PEI ให้ตรงกับขนาดของโมเลกุล CO₂ เมมเบรนที่ได้ปรับให้เหมาะสม (LDHs/PAA/PEI/PAA)_n ค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO₂ ที่ต้องการและเมมเบรนยังมีความเสถียรที่ดีถึง 100 ชั่วโมง แสดงให้เห็นถึงโอกาสในการใช้งานที่ดี

Nai-Yi H. และคณะ [6] ได้ทำการศึกษา นาโนคอมโพสิตเอทีลินไวโนลอะซิเตต (EVA) ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตต 40% โดยน้ำหนัก กับสารเติมแต่งเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDHs) นาโนคอมโพสิต EVA/12AA-LDHs ถูกเตรียมโดยการผสมสารละลาย 12AA-LDHs ผสมกับโพลูอินและกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวัดประสิทธิภาพการซึมผ่านก๊าซของเยื่อ นาโนคอมโพสิต EVA/12AA-LDHs ผลปรากฏว่าเมมเบรนที่มีปริมาณ LDHs 1.0% โดยน้ำหนัก ให้ค่าการคัดสรรของก๊าซ CO₂/N₂

เพิ่มขึ้นเป็น 20 และมีค่าการซึมผ่านของ CO₂ ที่ 119.21 barrer ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าไม่่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12AA-LDHs ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกก๊าซของเมมเบรนและสามารถใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อดักจับก๊าซ CO₂ ได้

Prachya W. และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาการซึมผ่านก๊าซ CO₂ และ CH₄ ของเมมเบรน EVA ที่ความดันบรรยากาศ โดยศึกษาผลของปริมาณไวโนลอะซิเตตและปริมาณของซิลิกาต่อการซึมผ่านของก๊าซ CO₂ และ CH₄ พบว่าการเพิ่มปริมาณไวโนลอะซิเตตทำให้เมมเบรนที่มีขั้วเกิดอันตรกิริยาได้ดีกับ CO₂ โดยเมมเบรนเหล่านี้ช่วยลดการตกผลึกของโคพอลิเมอร์ EVA และทำให้ค่าพลักซ์ของก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้น และการเติมซิลิกา 0.5–2.0% โดยน้ำหนัก ช่วยปรับปรุงขั้วของเมมเบรน มีค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO₂ สูงสุดที่ 6.0 มิลลิลิตร/ตารางเมตร และมีค่าการคัดสรรของก๊าซ CO₂/CH₄ เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณไวโนลอะซิเตตและปริมาณของซิลิกา โดยเมมเบรน EVA33/2.0SiO₂ ให้ค่าการคัดสรรก๊าซ CO₂/CH₄ สูงสุดเท่ากับ 12 ที่ความดันบรรยากาศ นอกจากนี้มีการศึกษาการแยกก๊าซ CO₂/CH₄ โดยใช้โมดูลแยกก๊าซแบบต่อเนื่องให้ค่าการคัดสรรก๊าซ CO₂/CH₄ สูงถึง 4.3 ซึ่งบ่งชี้ว่าเมมเบรน EVA สามารถเป็นตัวเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการกำจัด CO₂ ออกจากก๊าซชีวภาพได้

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้เลือกใช้เอทิลีนไวโนลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตต 27.5% โดยน้ำหนัก เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติหลากหลายและมีความเป็นผลึกต่ำ ส่งผลให้ค่าการซึมผ่านก๊าซ CO₂ สูง แต่มีความแข็งแรงเชิงกลต่ำและเหนียวติด เมื่อนำไปขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์มทำให้การขึ้นรูปฟิล์มค่อนข้างยาก ดังนั้นจึงเติมเอทิลีนไวโนลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตต 18% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและประสิทธิภาพในการขึ้นรูปฟิล์ม จากนั้นนำไปทดสอบด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy ปรากฏว่าอัตราส่วนของ EVA28/18 90:10% โดยน้ำหนัก มีค่าของดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl Index) สูงที่สุด เนื่องจากปริมาณของ EVA28 มากทำให้เกิดอันตรกิริยากับหมู่คาร์บอนิลในโครงสร้างได้ดี เพิ่มค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO₂ ให้สูงขึ้น นอกจากนี้มีการเติมสารเติมแต่ง LDHs ที่มีสมบัติในการควบคุมการดักจับและสามารถดูดซับก๊าซ CO₂ ได้ [5] และเพื่อลดการฟุ้งกระจายของสารที่มีความเข้มข้นสูง จึงมีการเตรียมมาสเตอร์แบทช์ (Masterbatch) ระหว่างพอลิเมอร์กับสารเติมแต่ง เพื่อให้สารสามารถกระจายตัวผสมในพอลิเมอร์ได้อย่างทั่วถึง ดังนั้นจึงมีการเตรียมพอลิเมอร์ของ EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) ในอัตราส่วน 100:0:0 90:10:0 90:9.5:0.5 89.5:10:0.5 % โดยน้ำหนัก โดยมีการเตรียมมาสเตอร์แบทช์แบบหลอมเหลว (Melt mixing masterbatch) และมาสเตอร์แบทช์แบบสารละลาย (Solution casting masterbatch) จากนั้นนำไปผสมในเครื่องผสมระบบปิดเป็นเวลา 30 นาที ขึ้นรูปฟิล์มโดยใช้กระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์มและทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ CO₂/CH₄ ผ่านโมดูลเมมเบรน โดยใช้กลไกความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซ (Concentration gradient) เพื่อเพิ่มค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO₂ และมีค่าคัดสรรของก๊าซที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เตรียมฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ผสมเลเยอร์ดับเบิลรอกไซด์ สำหรับแยกก๊าซ CO_2/CH_4 จากก๊าซชีวภาพ เพื่อเพิ่มค่าการซึมผ่านก๊าซและมีค่าคัดสรรของก๊าซ CO_2/CH_4 สูงขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) เตรียมพอลิเมอร์ฟิล์มของ EVA28/EVA18 อัตราส่วน 100:0 90:10 % โดยน้ำหนัก
- 2) เตรียมมาสเตอร์แบทระหว่าง EVA18 กับสารเติมแต่ง LDHs ด้วยวิธี Melt mixing และเตรียมพอลิเมอร์ของ EVA28-18/0.5LDHs (M) อัตราส่วน 90:9.5:0.5 % โดยน้ำหนัก
- 3) เตรียมมาสเตอร์แบทระหว่าง EVA28 กับสารเติมแต่ง LDHs ด้วยวิธี Solution casting และเตรียมพอลิเมอร์ของ EVA28-18/0.5LDHs (S) อัตราส่วน 89.5:10:0.5 % โดยน้ำหนัก
- 4) ผสมพอลิเมอร์ด้วยเครื่องผสมระบบปิดและขึ้นรูปฟิล์มพอลิเมอร์ด้วยกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม
- 5) ทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ CO_2 และ CH_4 ของฟิล์มโดยใช้โมดูลเมมเบรนและใช้ก๊าซผสมอัตราส่วน $\text{CH}_4:\text{CO}_2$ เท่ากับ 60:40
- 6) ศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของ LDHs ด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF)
- 7) ศึกษาสมบัติทางความร้อนของฟิล์มด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) และเทคนิค Thermogravimetric Analyzer (TGA)
- 8) ศึกษาคุณสมบัติของชั้นงานพอลิเมอร์ด้วยเครื่อง Optical Contact Angle Analyzer บนพื้นผิว
- 9) ศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)
- 10) ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)
- 11) ศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถขึ้นรูปฟิล์มในกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์มได้ง่ายและเพิ่มค่าการซึมผ่านก๊าซและมีค่าคัดสรรของก๊าซ CO_2/CH_4 สูงขึ้น เพื่อนำไปแยกก๊าซชีวภาพให้มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานทดแทน

พลังงานทดแทน (Renewable energy) คือ พลังงานที่ใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิล เช่น ถ่านหิน ปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติ มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมหาศาล ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกและปัญหาโลกร้อน โดยทั่วไปแล้วพลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติและสามารถใช้ทดแทนพลังงานเดิมได้อย่างไม่จำกัด สามารถแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานและช่วยลดปัญหามลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พลังงานหลากหลายรูปแบบที่มีอยู่ในธรรมชาติ ได้จากกระบวนการทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นเอง หรือสามารถผลิตเพื่อนำมาใช้ได้อย่างไม่จำกัด อย่างไรก็ตามพลังงานทดแทนสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในอัตราที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูง โดยพลังงานทดแทนสามารถแบ่งประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้ [8]

2.1.1 พลังงานลม (Wind energy)

พลังงานทดแทนที่ได้จากธรรมชาติ เกิดขึ้นจากความแตกต่างของอุณหภูมิ การหมุนของโลก หรือแรงกดดันจากชั้นบรรยากาศ ปัจจุบันพลังงานลมมีความสำคัญมากขึ้น เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นพลังงานอื่น ๆ ได้หลากหลาย รวมถึงกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีของกังหันลม ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่มีลักษณะเป็นใบพัดรับแรงเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้กลายเป็นพลังงานกล

2.1.2 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy)

พลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายรูปแบบทั้งทางตรง เช่น การฆ่าเชื้อโรคด้วยน้ำร้อนที่ได้จากพลังงานความร้อนผ่านแสงแดด หรือการเลี้ยงสาหร่ายที่สังเคราะห์แสงจากดวงอาทิตย์เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำ และการใช้ประโยชน์ทางอ้อม เป็นการนำแสงหรือความร้อนที่แผ่จากรังสีดวงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้า

2.1.3 พลังงานชีวมวล (Biomass energy)

พลังงานที่ได้จากสิ่งที่มีชีวิตหรือสิ่งเหลือใช้จากการเกษตร เช่น ต้นไม้ ฟางข้าว ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง ชังข้าวโพด วัชพืช ถ่าน ฟืน แกลบ จนไปถึงขยะและมูลสัตว์ ซึ่งวัสดุเหล่านี้สามารถนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อแปรเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบแท่งเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงและกระบวนการทางชีวภาพ เป็นการนำของเสียมาหมักในสภาพไร้ออกซิเจนเพื่อทำให้เกิดการย่อยสลายและเกิดเป็นก๊าซชีวภาพ (Biogas energy) และสารเพิ่มคุณภาพดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 พลังงานน้ำ (Water energy)

พลังงานทดแทนที่ได้มาจากแหล่งธรรมชาติ นิยมนำมาแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าที่อาศัยหลักการเคลื่อนที่ของน้ำในรูปแบบของเขื่อนเพื่อสะสมกำลังในการสร้างพลังงานศักย์ โดยมีการผันน้ำเข้าสู่กังหันน้ำเพื่อให้พลังงานน้ำดันใบพัดกังหันหมุนเพลลาที่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเกิดเป็นพลังงานไฟฟ้า

2.1.5 พลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal energy)

พลังงานความร้อนใต้พิภพหรือพลังงานอุณหภูมิต่ำ เป็นพลังงานความร้อนที่อยู่ใต้ดินหรือบริเวณแกนกลางของโลก มีอุณหภูมิสูงถึง 5,000 °C เกิดจากการที่น้ำไหลซึมเข้าไปอยู่ตามชั้นหินที่อุ้มน้ำ ส่วนความร้อนใต้ผิวโลกทำให้น้ำระเหยเป็นไอ แต่ไอน้ำบางส่วนนั้นไม่สามารถออกมาได้ จึงทำให้มีไอน้ำบางส่วนถูกกักเก็บไว้ใต้ชั้นหิน

2.2 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (Anaerobic) โดยทั่วไปหมายถึง ก๊าซมีเทน (CH_4) ที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของอินทรีย์วัตถุ ประกอบด้วย ปุ๋ยคอก โคลนจากน้ำเสีย ขยะประเภทของแข็งจากเมืองหรือของเสียชีวภาพจากอาหารสัตว์ภายใต้สภาวะปราศจากออกซิเจน โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30-50% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H_2), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S), ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ [9]

ก๊าซมีเทน (CH_4) บริสุทธิ์มีน้ำหนักเบากว่าอากาศ ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ไม่มีรส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ส่วนก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซผสมอากาศเป็นก๊าซที่มีกลิ่นเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ทำให้ไม่เหมาะสำหรับไปใช้เป็นก๊าซหุงต้ม โดยก๊าซมีเทนสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มในครัวเรือน ให้แสงสว่างหรือนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น ๆ ได้ โดยเทียบเท่ากับก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กรัม น้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร น้ำมันเตา 0.55 ลิตร และเทียบเท่ากับไฟฟ้า 1.20 กิโลวัตต์/ชั่วโมง [1]

2.2.1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

กระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic process) เป็นกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดไร้ออกซิเจนหลายกลุ่ม มีกระบวนการที่ซับซ้อน ต้องอาศัยเอนไซม์หรือตัวเร่งปฏิกิริยาในการเข้าทำปฏิกิริยา โดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นกระบวนการที่สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาภายนอก เซลล์ ให้กลายเป็นสารประกอบเชิงเดี่ยวสำหรับใช้ในกระบวนการสร้างกรด

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) กระบวนการนี้ใช้สารที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนแรกเป็นสารตั้งต้นสำหรับจุลินทรีย์ประเภทสร้างกรด โดยจุลินทรีย์ คือ แบคทีเรีย เปลี่ยนเป็นสารอาหารที่ทำให้เป็นกรดอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง โดยกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดมี ปริมาณสัดส่วนของกรดอะซิติกสูงสุดและเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขั้นตอนนี้

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis) โดยแบคทีเรียทำหน้าที่ในการสร้างกรดอะซิติกที่มีปริมาณสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีการเกิดขึ้นของก๊าซไฮโดรเจนร่วม ด้วย โดยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการสร้างกรดมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม และมีอัตราการเจริญเติบโตได้ดี

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) กรดอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการสร้างกรดถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซมีเทนสามารถเกิดได้ 2 แบบ คือ เกิดจากการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ เป็นก๊าซมีเทนและเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนกลับไปเป็นก๊าซมีเทน

2.2.2 รูปแบบการนำก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นพลังงานทดแทน

1. การนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อน โดยการเผาไหม้ให้ ความร้อนโดยตรง สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มไอน้ำในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ เชื้อเพลิงใน การอบแห้ง เชื้อเพลิงในครัวเรือน เป็นต้น

2. การใช้ก๊าซชีวภาพในการผลิตพลังงานกลและไฟฟ้า เป็นการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ โดยนำไปผลิตเป็นพลังงานกลและไฟฟ้าที่สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกมากขึ้น

3. การผลิตพลังงานร่วม เป็นการผลิตพลังงานกล พลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วมกัน ซึ่งเป็น ระบบที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้ผลิต พลังงานไฟฟ้าหรือความร้อนเพียงอย่างเดียว

2.2.3 แหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

- ขยะชุมชน ได้แก่ ขยะชุมชนที่เป็นขยะอินทรีย์
- ของเสียจากอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานผลิตน้ำมันปาล์มและของเสียที่เป็นกากตะกอนที่เป็นส่วนของสารอินทรีย์
- ของเสียจากการเกษตร ได้แก่ น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนทำให้ได้ องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้และก่อให้เกิดประโยชน์ด้านการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม โดยประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ มีดังนี้ [11]

1. ด้านอนุรักษ์พลังงาน ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทดแทนพลังงานได้ โดยเทียบเท่ากับก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม น้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร น้ำมันเตา 0.55 ลิตร และพลังงานไฟฟ้า 1.20 กิโลวัตต์/ชั่วโมง
2. ด้านสิ่งแวดล้อม การผลิตก๊าซชีวภาพในการกำจัดน้ำเสียช่วยลดมลพิษทางน้ำ มีการบำบัดและลดสารปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ลดการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ เป็นการลดอัตราการเกิดภาวะเรือนกระจก
3. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ในการนำของเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพช่วยลดการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมและเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ
4. กากที่เหลือจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดินได้

2.3 กระบวนการบำบัดก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต้องผ่านกระบวนการบำบัดหรือทำให้ก๊าซมีความสะอาดปลอดภัยโดยการกำจัดความชื้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยกระบวนการบำบัดทั่วไปใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการแยก ซึ่งแต่ละเทคนิคมีศักยภาพที่สามารถนำมาพัฒนาทำให้สามารถปรับปรุงก๊าซชีวภาพได้ โดยการบำบัดก๊าซชีวภาพ มีรายละเอียดดังนี้ [12]

1. Water Scrubbing เป็นการดักจับด้วยน้ำด้วยเทคนิคการดูดซับ โดยป้อนก๊าซที่ถูกอัดแรงดันเข้าทางด้านล่างของกระบอกเพื่อใช้น้ำดูดซึมเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากกระบอก
2. Pressure Swing Adsorption (PSA) เป็นการดูดซับโดยการเปลี่ยนความดัน โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำถูกดูดซับบนพื้นผิวของแข็งที่มีรูพรุน ทำให้มีเทนมีความเข้มข้นสูงขึ้น
3. Amine Absorption Process เป็นการดูดซับโดยใช้สารละลายเอมีน ในการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพ
4. Membrane Separation เป็นการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพด้วยเยื่อเลือกผ่าน เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เมมเบรน

เมมเบรน (Membranes) คือ แผ่นฟิล์มบาง ๆ ที่สังเคราะห์ขึ้นจากสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ทำให้เกิดการแยกตัวของอนุภาค โดยทั่วไปเมมเบรนที่ทำจากสารอินทรีย์มีความต้านทานต่อความดันและสารเคมี ความหนาแน่นของรูพรุนและการกระจายของรูพรุนขนาดต่าง ๆ ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของเมมเบรนที่มีผลต่อค่าฟลักซ์ การเกิดการอุดตันหรือฟาวลิง (Fouling) ความดัน อุณหภูมิ และความเข้มข้น รวมถึงสภาวะกรด-เบส มีผลต่อการเลือกผ่านและการซึมผ่านทั้งสิ้น โดยเมมเบรนมีการกระจายขนาดรูพรุนในช่วงกว้าง ในทางปฏิบัติรูพรุนของเมมเบรนมีรูปร่างไม่แน่นอนและมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้ค่าฟลักซ์ที่ได้มีค่าลดลง จึงต้องมีการพัฒนาเมมเบรนให้ขนาดความกว้างของรูพรุนสม่ำเสมอ มีความหนาแน่นสูง อย่างไรก็ตามการพัฒนาสมบัติของเมมเบรนขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

2.4.1 ประเภทของเมมเบรน [13]

ปัจจุบันได้มีการผลิตเมมเบรนขึ้นมาหลายชนิดเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการนำไปใช้งานประเภทต่าง ๆ โดยสามารถแบ่งประเภทของเมมเบรนได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ (แสดงดังรูปที่ 2.1) ดังนี้

1. Isotropic membranes เป็นเมมเบรนที่มีส่วนประกอบโครงสร้างสม่ำเสมอ สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่

- Microporous membranes เป็นเมมเบรนที่มีรูพรุนกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งเมมเบรน แยกสารโดยอาศัยการกรองติดค้างเช่นเดียวกับการกรองด้วยทราย แต่รูพรุนมีขนาดเล็กกว่าถึงกรองทราย โดยกลไกหลักในการทำงาน คือ การกรองดักสารที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเมมเบรน

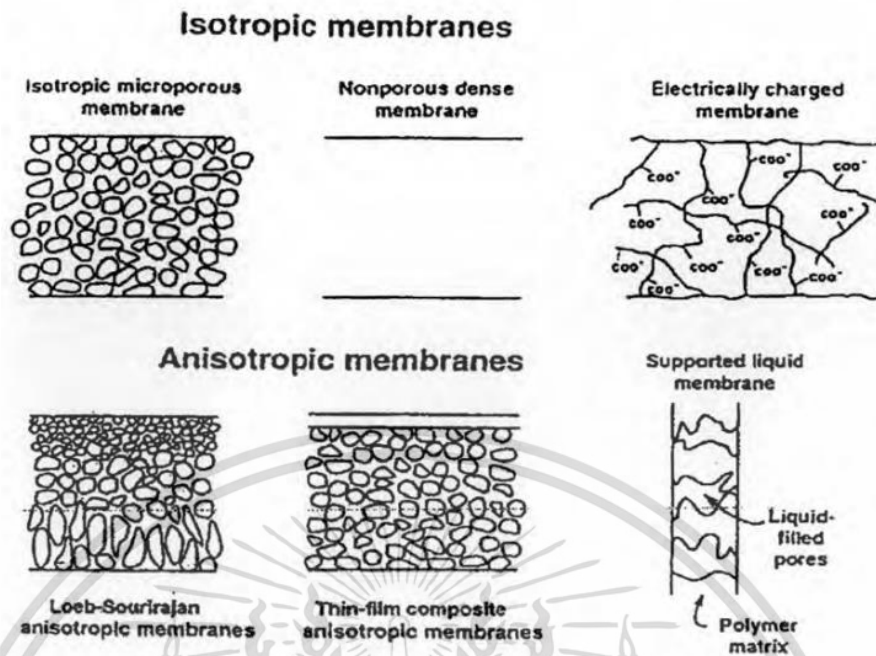
- Nonporous dense membranes เป็นเมมเบรนเนื้อแน่นไม่มีรูพรุน มีความหนาแน่นสูง แยกสารด้วยการแพร่ อาศัยความสามารถในการแพร่ผ่านเมมเบรนของสารละลายสองชนิดที่อยู่แต่ละด้านของเมมเบรน

- Electrically charge membranes เมมเบรนประเภทนี้มีรูพรุนขนาดเล็กมาก โดยผนังของเมมเบรนมีไอออนประจุลบหรือบวกติดอยู่ อาศัยความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับเคลื่อน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของประจุไอออนที่อยู่ในน้ำเป็นหลัก

2. Anisotropic membranes อัตราการถ่ายเทมวลของสารผ่านเมมเบรนนั้นแปรผกผันกับความหนาแน่นของเมมเบรน มีการวางแผ่นฟิล์มเมมเบรนที่บางมากบนแผ่นฟิล์มรองรับ ซึ่งมีรูพรุนและมีความหนามากกว่าเรียกว่า เยื่อประกอบ (Thin film composite) โดยแผ่นฟิล์มทั้งสองทำจากพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน

3. Ceramic metal and liquid membranes โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้ผลิตเมมเบรนส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ที่เป็นสารอินทรีย์ แต่ปัจจุบันได้มีการนำวัสดุอื่น ๆ มาใช้ผลิต เช่น เซรามิก โดยใช้เมมเบรนที่มีรูพรุน เพื่อให้ทนทานต่อสารตัวทำละลายและมีความเสถียรภาพต่อความร้อน สามารถนำมาผลิต

เอกสารนี้เป็นเมมเบรนเหลว (Liquid membranes) ได้เช่นกัน ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การแบ่งประเภทของเมมเบรนตามโครงสร้างของเมมเบรน [13]

2.4.2 คุณสมบัติของเมมเบรน

โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้เป็นเมมเบรนในการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. สามารถทำอันตรกิริยาได้ดีกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสามารถให้ค่าฟลักซ์ของการซึมผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง
2. สามารถให้ค่าคัตสเตรในการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อก๊าซมีเทนสูง โดยบ่งบอกถึงความสามารถของเมมเบรนในการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซผสม
3. มีความแข็งแรงเชิงกลและมีความเสถียรทางความร้อนที่ดี
4. มีราคาถูกและสามารถผลิตได้เป็นจำนวนมากเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างแพร่หลาย

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน

1. การสะสมความเข้มข้นสูง คือ การสะสมของสารอินทรีย์หรืออนุภาคต่าง ๆ ใกล้เคียงผิวหน้าเมมเบรน ทำให้ความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของสารนั้นหลายเท่า ส่งผลให้ค่าฟลักซ์ลดลง สามารถแก้ไขโดยการกรองตั้งฉากกับทิศทางการไหล (Cross flow) เพื่อช่วยให้ค่าฟลักซ์คงที่ยาวนานขึ้น
2. อุณหภูมิ พีเอชและสารออกซิไดซ์ โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 °C ค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้น 3-5% แต่เมมเบรนที่ทำจากสารอินทรีย์มักสลายตัวโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดซ้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 °C พีเอช 3-7 ทนทานต่อสารออกซิไดซ์ ขณะที่เมมเบรนอนินทรีย์ไม่ทนต่อสารออกซิไดซ์มากนัก แต่สามารถทนทานต่อพีเอชช่วง 2-12 ที่อุณหภูมิ 45 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความดัน การเพิ่มความดันทำให้ค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้น แต่หากให้แรงดันมากเกินไปจนเกินขีดจำกัด (Critical pressure) ส่งผลให้โครงสร้างและอนุภาคสารต่าง ๆ ที่สะสมบริเวณผิวหน้าเมมเบรนเกิดการอัดตัวจนทำให้ค่าฟลักซ์ลดลงได้

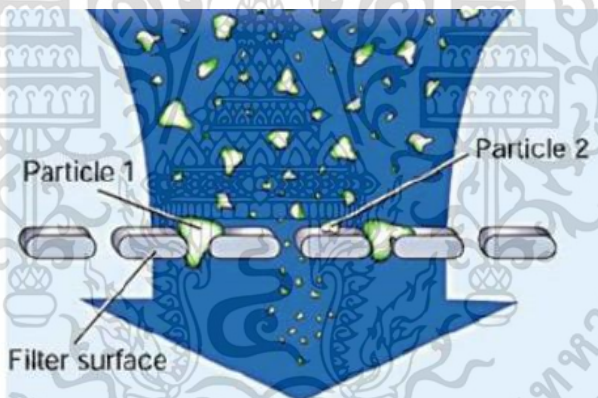
4. ความสกปรกของเมมเบรน เป็นผลจากการสะสมของสารอินทรีย์และอนุภาคสิ่งสกปรกในรูช่องว่างของเมมเบรนที่บริเวณผิวหน้าเมมเบรน ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านลดลง

2.4.4 กระบวนการของเมมเบรน

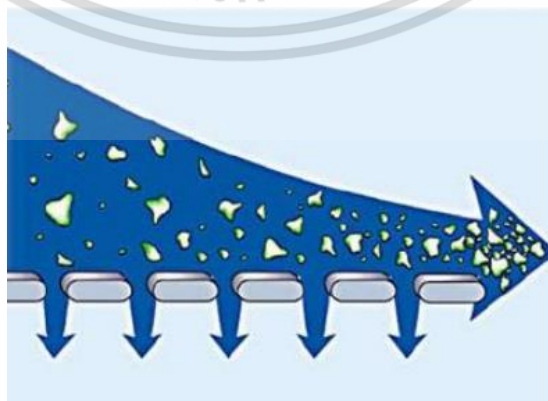
กระบวนการกรองของเมมเบรนสามารถแบ่งได้ตามทิศทางการไหลของสาร ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการกรอง ได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

1. การกรองแบบปิดตาย (Dead-end filtration) เป็นการป้อนให้สารเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนทิศทางตั้งฉากกับเมมเบรน โดยอาศัยแรงดันเป็นตัวขับเคลื่อน เหมาะสำหรับการกรองสารที่มีความเข้มข้นน้อยหรือใช้ในการแยกสารในปริมาณน้อย แสดงดังรูปที่ 2.2

2. การกรองแบบไหลขวาง (Cross-flow filtration) เป็นการป้อนให้สารเคลื่อนที่ในทิศทางขนานกับเมมเบรนหรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของสารที่ผ่านการคัดแยก วิธีนี้ช่วยลดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าของเมมเบรนได้ แสดงดังรูปที่ 2.3



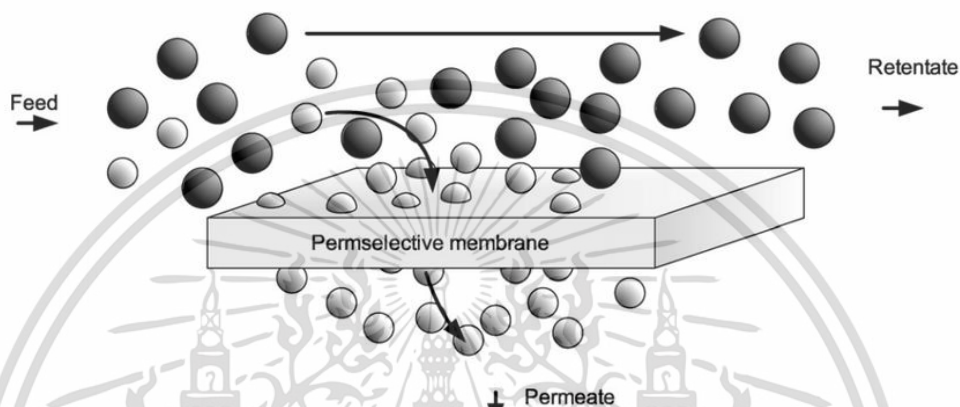
รูปที่ 2.2 กระบวนการแยกสารแบบการกรองแบบปิดตาย [14]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 2.3** กระบวนการแยกสารแบบการกรองแบบไหลขวาง [14] ที่มีการนำไปใช้

2.4.5 เทคโนโลยีเมมเบรน

การใช้เทคโนโลยีเมมเบรนหรือกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน (Membrane separation) เป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านที่ยอมให้เฉพาะองค์ประกอบบางชนิดในก๊าซผสมซึมผ่านไปได้ โดยใช้แรงดันที่สารป้อนเข้า (Feed) เคลื่อนที่ขนานกับผิวของเมมเบรน ส่วนที่สามารถผ่านเมมเบรนได้ เรียกว่า เพอมิเอต (Permeate) ซึ่งไหลออกในทิศตั้งฉากกับเมมเบรน และส่วนที่ไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ เรียกว่า รีเทนเตต (Retentate) แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การแยกก๊าซด้วยเทคนิคเมมเบรน [15]

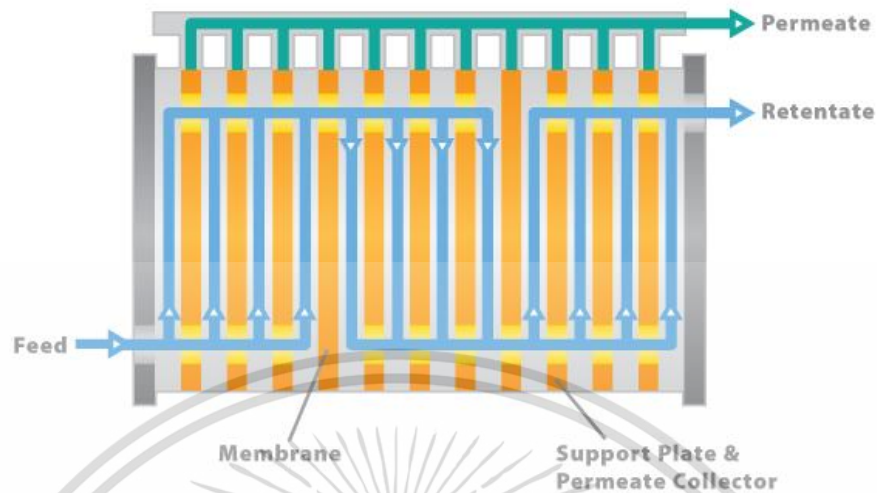
2.4.6 อุปกรณ์โมดูลเมมเบรน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบเมมเบรน เพื่อให้มีพื้นที่ของเมมเบรนตามต้องการ เรียกว่า โมดูลเมมเบรน (Membrane module) โดยการออกแบบอุปกรณ์ต้องคำนึงถึงการเลือกกระบวนการเมมเบรนตามลักษณะการใช้งาน เพื่อสามารถบรรจุเมมเบรนให้ได้มากที่สุด โดยโมดูลเมมเบรนสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. แบบแผ่น (Plate and frame modules) โมดูลที่ใช้มีลักษณะของการทำงานคล้าย Filter press โดยแผ่นเมมเบรนวางอยู่บนแผ่นรองรับซึ่งมีรูพรุนหรือแผ่นรองรับที่มีร่องให้โมเลกุลของก๊าซผ่านออกมาได้ เมมเบรนและแผ่นรองรับมีการวางซ้อนสลับกัน โมเลกุลถูกบังคับให้ซึมผ่านเมมเบรนและแผ่นรองรับแล้วจึงซึมผ่านออกจากโมดูล แสดงดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

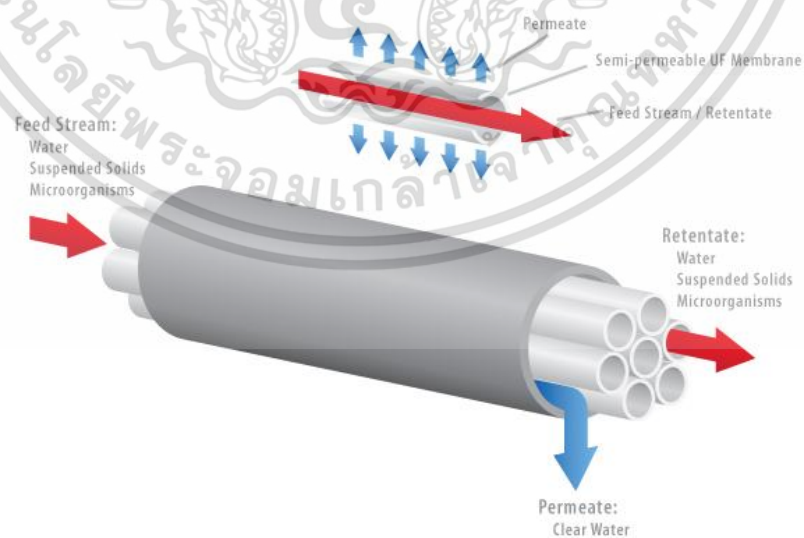
MODEL CONFIGURATION - Plate/Frame Model



รูปที่ 2.5 กลไกการไหลในโมดูลเมมเบรนแบบแผ่น [16]

2. แบบท่อ (Tubular module) เป็นการม้วนแผ่นเมมเบรนให้เป็นหลอดหรือท่อขนาดเล็กและยึดติดไว้ภายในท่ออีกอันหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรองรับแผ่นเมมเบรนไม่ให้ฉีกขาดในระหว่างการใช้งาน และใช้เป็นทางออกของโมเลกุลก๊าซ โดยถูกสูบผ่านเข้าไปในท่อด้วยความดัน ทำให้โมเลกุลของก๊าซสามารถซึมผ่านเมมเบรนและท่อรองรับออกไปสู่ภายนอก แสดงดังรูปที่ 2.6

MODEL CONFIGURATION - Tubular Membrane

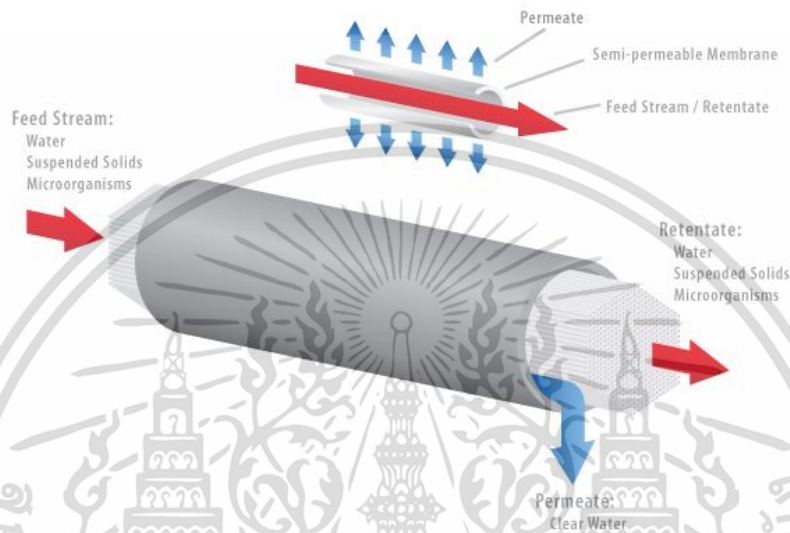


รูปที่ 2.6 โมดูลเมมเบรนแบบท่อ [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

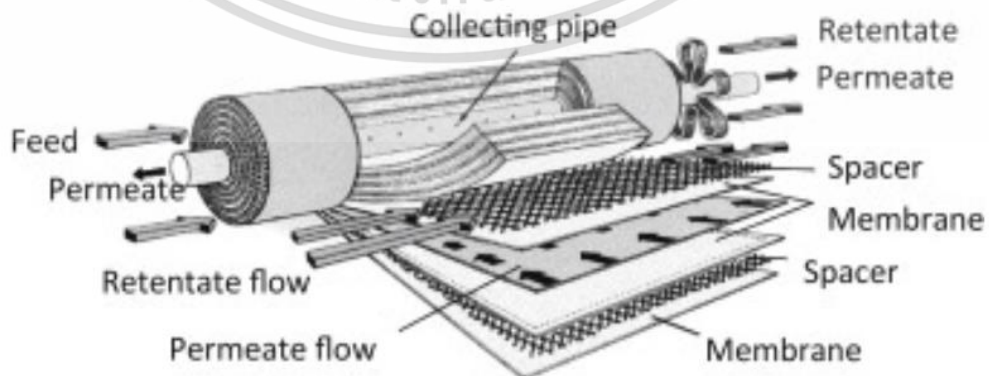
3. แบบเส้นใยกลวง (Hollow fiber module) เมมเบรนมีพื้นผิวคล้ายฟองน้ำล้อมรอบผิวชั้นใน มีการนำเมมเบรนชนิดนี้มาอัดรวมกันเป็นมัด ๆ และออบเป็นรูปเกือบห้าหรือด้วย ปลายทั้งสองข้างของเส้นใยถูกมัดติดอยู่กับด้านใดด้านหนึ่ง เมมเบรนชนิดนี้สามารถจัดรูปแบบการวางโมดูลได้หลายลักษณะเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน แสดงดังรูปที่ 2.7

MODEL CONFIGURATION - Hollow Fiber Membrane



รูปที่ 2.7 โมดูลเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง [18]

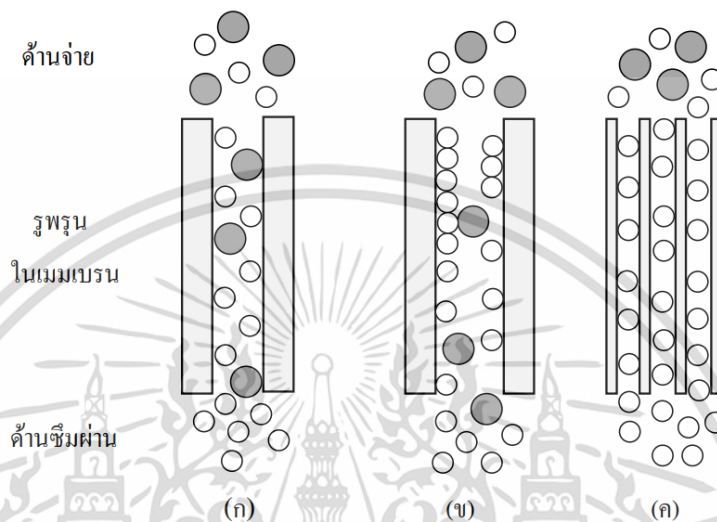
4. แบบม้วน (Spiral wound module) โมดูลชนิดนี้ประกอบด้วยเมมเบรนสองแผ่นประกบกัน โดยมีแผ่นวัสดุเนื้อพรุนสอดอยู่ตรงกลางระหว่างเมมเบรนทั้งคู่ จากนั้นม้วนแผ่นแบนและแผ่นวัสดุรอบท่อเจาะรู โดยมีแผ่นตะแกรงที่ทำจากพอลิพรอพิลีนคลุมปิดด้านนอก โมเลกุลถูกบังคับให้ไหลในแนวแกนของโมดูลเข้าไปตามแผ่นตะแกรงและถูกแรงดันอัดให้สารซึมผ่านเมมเบรนตามแนวรัศมีลงไปยังแผ่นรองรับเพื่อนำออกจากโมดูลต่อไป แสดงดังรูปที่ 2.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีรูปที่ 2.8 ภาพวาดโมดูลเมมเบรนแบบม้วน [19] ารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 การแยกก๊าซด้วยเมมเบรน

กลไกสำหรับแยกก๊าซด้วยเมมเบรนแบ่งตามลักษณะทางกายภาพออกเป็น 2 ลักษณะ คือ เมมเบรนแบบมีรูพรุน (Porous membranes) มีรูพรุนกระจายตัวอย่างต่อเนื่องอยู่ในเมมเบรน และ เมมเบรนแบบความหนาแน่นสูง (Dense membranes) โดยกลไกสำหรับการแยกก๊าซของเมมเบรนที่มีรูพรุนแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กลไกสำหรับแยกก๊าซผ่านรูพรุนของเมมเบรนที่มีรูพรุน (ก) การแพร่บนพื้นผิว (ข) การแพร่แบบนูดเซน และ (ค) การคัดขนาดโมเลกุล [20]

1. การแพร่แบบนูดเซน (Knudsen diffusion) เป็นการแยกที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนในเมมเบรนมีขนาดเล็กกว่าวิถีเสรีเฉลี่ย (Mean free path) เป็นระยะที่โมเลกุลของก๊าซสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่ชนกัน ทำให้โมเลกุลของก๊าซเคลื่อนที่ชนผนังรูพรุนมากกว่าชนกันเอง โดยโมเลกุลที่มีขนาดเล็กและเบาสามารถซึมผ่านเมมเบรนออกมาได้มากกว่า

2. การแพร่บนพื้นผิว (Surface diffusion) เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของก๊าซถูกดูดซับบนพื้นผิวของรูพรุน แล้วเกิดการแพร่เคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวของรูพรุนเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้น โดยก๊าซที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของรูพรุนได้ดีกว่าสามารถซึมผ่านเมมเบรนได้มากกว่า

3. การคัดขนาดโมเลกุล (Molecular sieving) เป็นการแยกก๊าซตามขนาดโมเลกุลที่ต่างกัน โดยใช้เมมเบรนเป็นตัวคัดขนาด ทำให้ก๊าซที่มีโมเลกุลเล็กกว่ารูพรุนสามารถซึมผ่านเมมเบรนออกมาได้

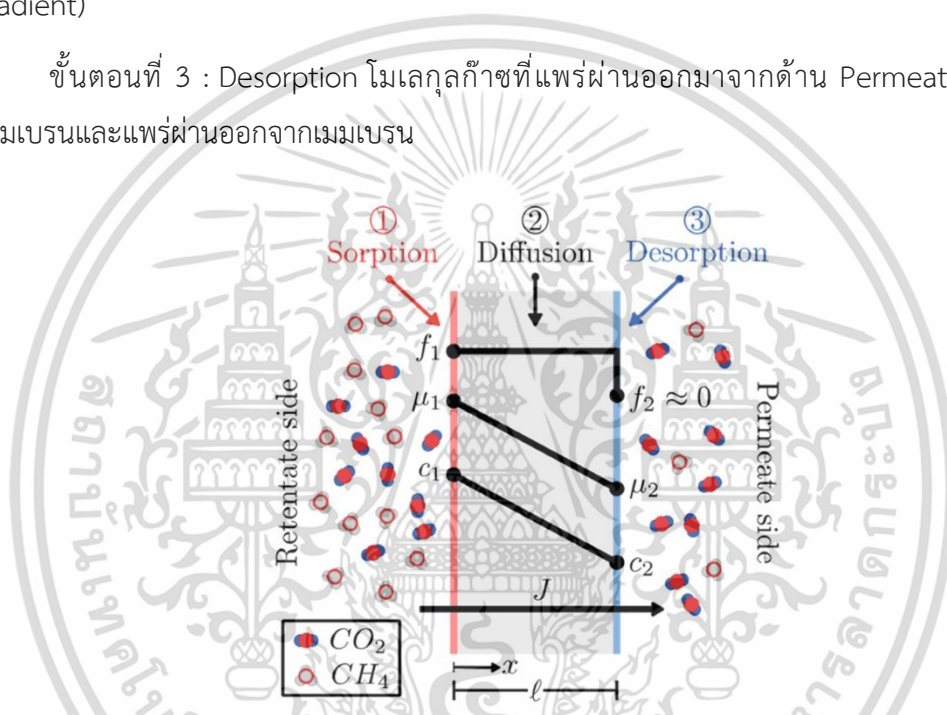
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเมมเบรนแบบความหนาแน่นสูงใช้กลไกการแยกแบบการละลายร่วมกับการแพร่ (Solution-Diffusion mechanism) มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : Sorption โมเลกุลก๊าซถูกดูดซับที่บริเวณผิวของเมมเบรน โดยเมมเบรนที่มีขั้วสูงดูดซับโมเลกุลก๊าซที่มีขั้วและเมมเบรนที่ไม่มีขั้วดูดซับโมเลกุลก๊าซที่ไม่มีขั้ว

ขั้นตอนที่ 2 : Diffusion โมเลกุลก๊าซที่ถูกดูดซับเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาในเนื้อเมมเบรนโดยกระบวนการแพร่ โดยกลไกการแยกด้วยเมมเบรนสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ความแตกต่างของความดัน (Pressure gradient) และความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซ (Concentration gradient)

ขั้นตอนที่ 3 : Desorption โมเลกุลก๊าซที่แพร่ผ่านออกมาจากด้าน Permeate side ของเมมเบรนและแพร่ผ่านออกจากเมมเบรน



รูปที่ 2.10 กลไกการซึมผ่านแบบ Solution-Diffusion mechanism [21]

การแยกก๊าซด้วยเมมเบรน อาศัยหลักการซึมผ่านของก๊าซผ่านเมมเบรน โดยสายโซ่พอลิเมอร์ไม่เกิดอันตรกิริยากับก๊าซจึงสามารถแยกได้เนื่องจากความแตกต่างของขนาดโมเลกุลก๊าซ โดยเมมเบรนที่มีความหนาแน่นแต่มีโพรงขนาดเล็กภายในโครงสร้าง ซึ่งขนาดโพรงนั้นกว้างพอสำหรับให้ก๊าซที่มีโมเลกุลขนาดเล็กแพร่ผ่านได้ เมื่อพิจารณาความแตกต่างของก๊าซ CO_2 และ CH_4 พบว่าก๊าซ CO_2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจลนศาสตร์หรือเส้นผ่านศูนย์กลางวิถี (Kinetic diameter) น้อยกว่าและน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าก๊าซ CH_4 จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เมมเบรนพอลิเมอร์สามารถแยกก๊าซทั้งสองชนิดนี้ออกจากกันได้ โดยขนาดของโมเลกุลก๊าซแสดงดังตารางที่ 2.1 [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 Molecular Weight และ Kinetic Diameter ของก๊าซชนิดต่าง ๆ [22]

| Molecule | Molecular Weight | Kinetic Diameter (Å) |
|------------------|------------------|----------------------|
| CO ₂ | 44 | 3.30 |
| O ₂ | 32 | 3.46 |
| N ₂ | 28 | 3.64 |
| H ₂ O | 18 | 2.65 |
| CH ₄ | 16 | 3.80 |
| H ₂ | 2 | 2.89 |

2.5 เมมเบรนพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็นเมมเบรนสำหรับแยกก๊าซผสมสามารถเป็นได้ทั้งพอลิเมอร์ที่เป็นอสัณฐานและกึ่งผลึก โดยทั่วไปเมมเบรนพอลิเมอร์มีอุณหภูมิในการใช้งานประมาณ 100 °C สามารถทนต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันสูง ขึ้นรูปง่ายและมีราคาไม่แพง เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของความแข็งแรง เสถียรภาพทางความร้อนและทางเคมีต่ำ ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงและในสภาวะที่รุนแรงได้ ส่งผลต่อการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature) ของพอลิเมอร์ ทำให้เมมเบรนมีการสูญเสียน้ำและมีค่าการนำไอออนลดลง นอกจากนี้เมมเบรนพอลิเมอร์สามารถเกิดปฏิกิริยากับ HCl หรือ CO₂ ที่มีอยู่ในองค์ประกอบของก๊าซผสม ทำให้เสื่อมสภาพโดยการบวมตัว (Swelling) หรือการอัดตัว (Compaction) ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกก๊าซลดลง [20]

วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตเมมเบรนมีหลากหลายชนิด โดยส่วนใหญ่เมมเบรนผลิตจากวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น พอลิเมอร์หรือสารที่มีโมเลกุลใหญ่ทำให้เมมเบรนมีสมบัติที่เฉพาะเจาะจงมากกว่า เนื่องจากพอลิเมอร์มีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้มีพอลิเมอร์เพียงบางชนิดเท่านั้นที่สามารถนำไปผลิตเมมเบรนได้ โดยเมมเบรนพอลิเมอร์นิยมใช้ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน แต่มักพบปัญหาในเรื่องของการอุดตันในเมมเบรน นอกจากนี้ยังนิยมใช้ในกระบวนการแยกก๊าซและกระบวนการเพอแวปพอเรชัน [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 พอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) คือ การนำพอลิเมอร์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกันจนเกิดพอลิเมอร์ชนิดใหม่ ทำให้มีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์ในการผสมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ โดยนำสมบัติเด่นของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมาผสมกันเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น ปัจจัยหลักในการผสมคือความเข้ากันได้ (Compatibilization) เป็นการผสมเข้ากันได้ในระดับโมเลกุลหรือผสมเข้ากันได้บางส่วน การผสมของพอลิเมอร์เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและไม่จำเป็นต้องสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่มีความซับซ้อนมากกว่า โดยระดับความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมสังเกตได้จากลักษณะทางสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์ผสม มี 3 ประเภท [24] คือ

1. พอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ (Miscible blend) เกิดจากพอลิเมอร์ที่ผสมเข้ากันได้อย่างเป็นเนื้อเดียวกันในระดับโมเลกุล มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์สูงในรูปแบบของพันธะไฮโดรเจนหรือการเกิดผลึกร่วมกัน ทำให้ได้พอลิเมอร์ชนิดใหม่และมีสมบัติใหม่ที่เกิดจากการผสมกัน โดยสมบัติที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนในการผสมพอลิเมอร์ มีการแสดงค่าการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature) เพียงค่าเดียว

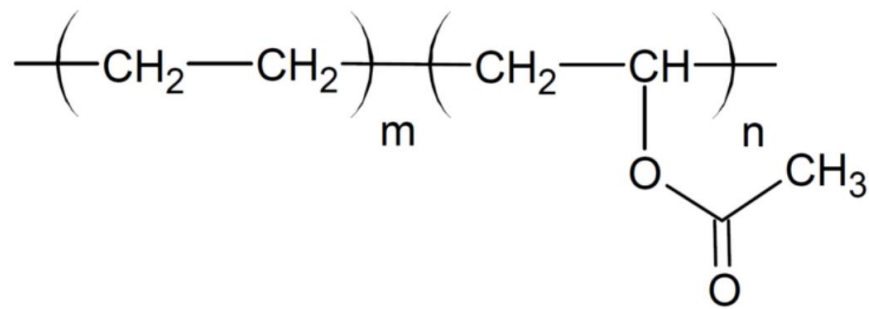
2. พอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้บางส่วน (Partly compatible blend) เกิดจากการแยกวัฏภาคของพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์จึงไม่สามารถเข้ากันได้ โดยมีพอลิเมอร์ที่ใช้ในปริมาณมากกว่าเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous matrix phase) และแสดงสมบัติเด่นกว่าพอลิเมอร์ที่มีปริมาณน้อยกว่าซึ่งเป็นวัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) ถ้าวัฏภาคทั้งสองกระจายตัวและมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันดี ส่งผลให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น หากวัฏภาคมีการกระจายขนาดอนุภาคใหญ่และกระจายไม่สม่ำเสมอทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมไม่ดี

3. พอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันไม่ได้ (Incompatible blend) เกิดจากการแยกวัฏภาคของพอลิเมอร์แต่ละชนิดอย่างชัดเจน เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัฏภาคและสมบัติเชิงกลต่ำ ทำให้ตัวทำละลายแพร่เข้าไปได้ง่ายเพราะมีปริมาตรอิสระมาก ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติด้อย

2.7 เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์

เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl acetate copolymer, EVA) เป็นโคพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนโมโนเมอร์กับไวนิลอะซิเตตโมโนเมอร์ โดยสมบัติของ EVA ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปริมาณของไวนิลอะซิเตต โดยทั่วไปมีปริมาณ 40-60% โดยน้ำหนัก ข้อดีของ EVA คือราคาถูกและมีความสามารถในการเข้ากันได้ดีกับพลาสติกที่มีขี้ แต่หากได้รับความร้อนสูงเกินไปอาจทำให้หมู่ไวนิลอะซิเตตสลายตัวเป็นกรดอะซิติกที่ทำให้เกิดกลิ่นฉุนได้ ซึ่งมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.11

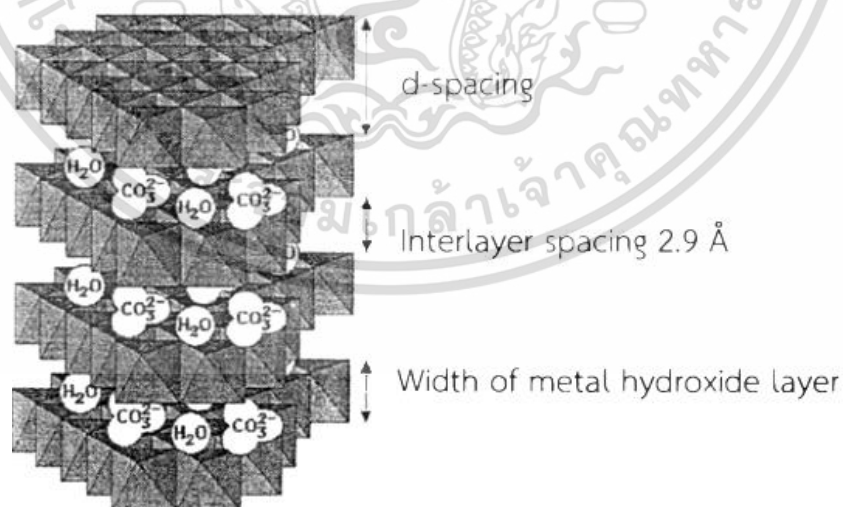
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ [25]

2.8 เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides, LDHs) มีการสังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกในห้องปฏิบัติการในปี ค.ศ.1942 โดยทำการผสมสารละลายเกลือไนเตรตของโลหะแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมกับสารละลายเบส ขณะนั้นยังไม่สามารถวิเคราะห์หาโครงสร้างที่แน่ชัดได้ จนกระทั่งปี ค.ศ. 1960 มีการศึกษาลักษณะโครงสร้างของของแข็งด้วยเทคนิค XRD พบว่า LDHs ประกอบด้วยชั้นของโลหะไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวก มีการจัดเรียงซ้อนกันโดยมีแอนไอออน (Anion) และโมเลกุลน้ำอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้น (Interlayer spacing) โดย LDHs ที่พบประกอบด้วยแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต มีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ $\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ มีคาร์บอเนตเป็นแอนไอออนภายในช่องว่างระหว่างชั้น [26] ซึ่งมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะโครงสร้างของแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป LDHs มีสมบัติในการดูดซับและแลกเปลี่ยนแอนไอออนที่จำเพาะได้ โดยการกระจายตัวในระดับนาโนของ LDHs นั้นไม่ค่อยดีเนื่องจากความสามารถในการแลกเปลี่ยนของแอนไอออนระหว่างเลเยอร์ ทำให้มีการปรับปรุงสมบัติของ LDHs เพื่อให้เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน ซึ่ง LDHs มีองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลาย สามารถปรับแต่งได้ตามสูตรเคมีทั่วไป คือ $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_x(OH)]A^{n-}_{x/n} \cdot yH_2O$ แสดงดังตารางที่ 2.2

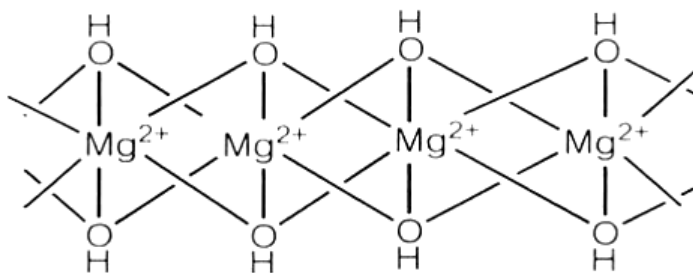
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสารประกอบเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ [26]

| เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ | สูตรทางเคมี |
|--------------------------|--|
| Brucite | $Mg(OH)_2$ |
| Gibbsite | $Al(OH)_3$ monoclinic |
| Natural hydrotalcite | $Mg_6Al_2(OH)_{16}(CO_3) \cdot 4H_2O$ |
| Meixnerite | $Mg_3Al_2(OH)_8(CO_3)_{0.5} \cdot 2H_2O$ |
| Sjogrenie | $Mg_3Fe(OH)_8(CO_3)_{0.5} \cdot 2.25H_2O$ |
| Stichite | $Mg_3Cr(OH)_8(CO_3)_{0.5} \cdot 2H_2O$ |
| Takovite | $Ni_3Al(OH)_8(CO_3)_{0.5} \cdot 2H_2O$ |
| Pyroaurite | $Mg_3Fe(OH)_8(CO_3)_{0.5} \cdot 2.25H_2O$ |
| Hydrocalumite | $Ca_2Al(OH)_6(CO_3)_{1.1}(OH)_{0.78} \cdot 2.38H_2O$ |

2.8.1 แมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

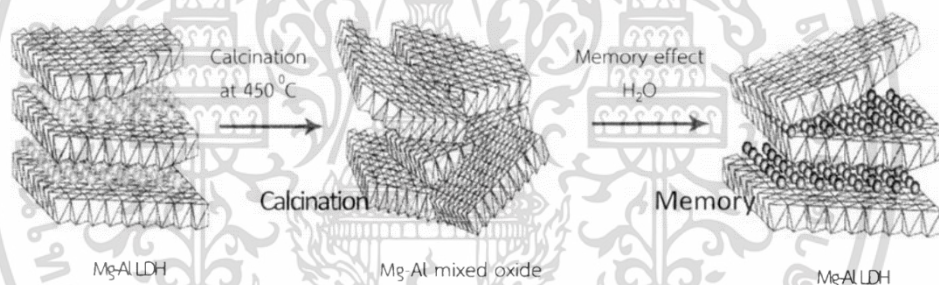
แมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Mg-Al layered double hydroxide, Mg-Al LDHs) หรือสารประกอบไฮดรทัลไซต์ (Hydrotalcites) มักถูกเรียกว่าเป็นแอนไอออนิก-เคลย์ (Anionic clays) มีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ $Mg_6Al_2(OH)_{16}CO_3 \cdot 4H_2O$ โครงสร้างเริ่มแรกเป็นชั้นโลหะแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) หรือชั้นบรูไซต์ (Brucite layer) มีการจัดเรียงตัวแบบออก-ตะฮีดรอล (Octahedral) ของ M^{2+} กับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH) แสดงดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ชั้นโลหะแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ [26]

เมื่อ M^{2+} ถูกแทนที่ด้วย Al^{3+} เกิดเป็นชั้นของ $Mg-Al(OH)_x$ ทำให้ประจุโดยรวมของชั้นเป็นบวก จึงต้องมีการดุลประจุด้วยแอนไอออนซึ่งโดยทั่วไปคือ CO_3^{2-} โดยช่องว่างที่มีแอนไอออนกับน้ำอยู่ เรียกว่า ช่องว่างระหว่างชั้น (Interlayer spacing) เมื่อเผา Mg-Al LDHs ที่อุณหภูมิ 500 °C ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและการสลายตัวของคาร์บอเนต และเมื่อสัมผัสความชื้นที่เหมาะสมโครงสร้างของ ดับเบิลไฮดรอกไซด์กลับคืนเป็นโครงสร้างเดิม (Memory effect) แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การคืนโครงสร้างของ Mg-Al LDHs [26]

2.8.2 สมบัติของเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์

1. มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 500 °C
2. มีสมบัติความเป็นเบสออกไซด์ เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 450 °C
3. มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี
4. โครงสร้างสามารถกลับมาเป็นรูปร่างเดิมได้อีก หลังจากเผาที่อุณหภูมิ 450 °C
5. ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยา
6. สามารถดักจับและดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี
7. โครงสร้างสามารถปรับแต่งได้โดยแทรกไอออนที่ต้องการเข้าไปในช่องว่างระหว่างชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นอญ่ขาดหน้าเบ้เซประเยขนดำนการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

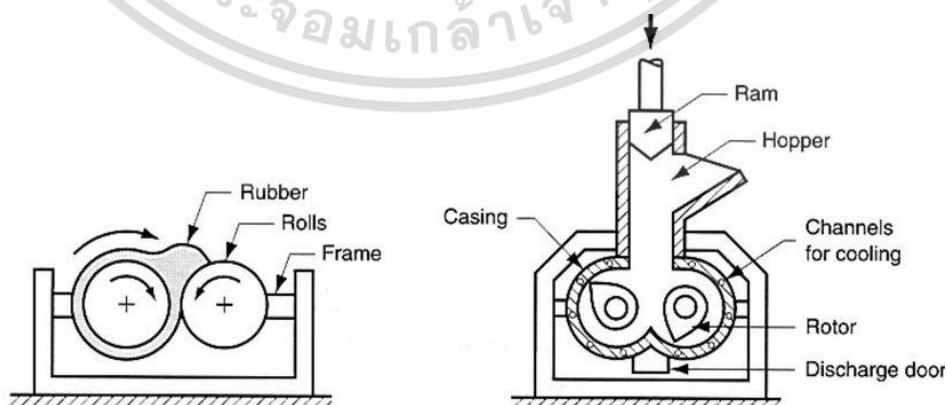
2.9 มาสเตอร์แบท

มาสเตอร์แบท (Masterbatch) คือ พอลิเมอร์ที่มีการผสมสารเคมีหรือสารเติมแต่งเพียงตัวเดียวหรือสองตัวในปริมาณที่สูง เช่น 5 % เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ หมายถึง พอลิเมอร์ที่มีสารเติมแต่งเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ผสมอยู่ 5 ส่วนใน 100 ส่วนโดยน้ำหนัก โดยการเตรียมมาสเตอร์แบทในกรณีที่สารเคมีกระจายตัวเข้ากับพอลิเมอร์ได้ไม่ดี การทำมาสเตอร์แบทจึงเป็นการแก้ปัญหาในกระบวนการผสมพอลิเมอร์ในกรณีผสมสารเข้ากับพอลิเมอร์ได้ยาก เพื่อลดการฟุ้งกระจายของสารที่มีความเข้มข้นสูง ช่วยลดเวลาในกระบวนการผสมได้ดีและต้องการความแน่นอนของการชั่งน้ำหนัก

สำหรับสูตรในการเตรียมพอลิเมอร์ที่มีการใช้สารบางชนิดในปริมาณน้อยมากและสารนั้นราคาแพง มีประสิทธิภาพสูงหรือมีผลต่อคุณภาพของพอลิเมอร์ โดยทั่วไปการทำมาสเตอร์แบทช่วยปรับปรุงสมบัติของชิ้นงานพอลิเมอร์ซึ่งจำเป็นต้องให้สารเติมแต่งที่มีการกระจายตัวในพอลิเมอร์อย่างทั่วถึง [27]

2.10 เครื่องผสมระบบปิด

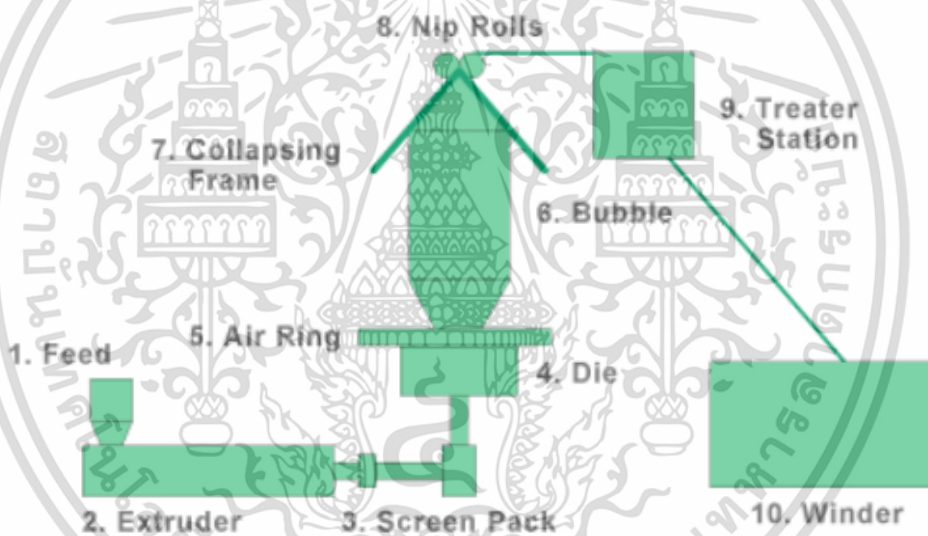
เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) เป็นเครื่องผสมที่เก่าแก่ที่สุดที่ใช้สำหรับผสมยางหรือพอลิเมอร์ให้เข้ากันกับสารตัวเติมและเป็นที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ ห้องผสม (Chamber) ตัวบดผสม (Rotor) แท่งกด (Ram) และระบบหล่อเย็น (Cooling system) มีประสิทธิภาพและความเร็วในการผสมมากกว่าการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เนื่องจากสารเคมีไม่เกิดการฟุ้งกระจายระหว่างการผสม โดยทั่วไปแล้วเครื่องผสมระบบปิดประกอบด้วยโพรงมีโรเตอร์แบบใบพัด โดยที่ใบพัดทำการบีบสกรูแบบหยาบในทิศทางตรงกันข้าม ด้านบนเป็นส่วนที่กระทุ้งซึ่งทำหน้าที่เป็นตำแหน่งสำหรับการใส่พอลิเมอร์และสารตัวเติม [28] แสดงดังรูปที่ 2.15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของเครื่องผสมระบบปิด [29]
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 กระบวนการเป่าฟิล์ม

กระบวนการเป่าฟิล์ม (Blown film extrusion process) เป็นเทคโนโลยีในการผลิตฟิล์มพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ใช้สำหรับผลิตถุงพลาสติก เริ่มจากการเป่าพลาสติกเหลวหนืดให้พองตัวในอากาศและรีดออกมาเป็นแผ่นฟิล์มพลาสติกบาง ๆ เริ่มจากนำเม็ดพลาสติกมาหลอมเหลวอย่างต่อเนื่องจนได้เป็นพลาสติกเหลวหนืดซึ่งถูก Extrude ผ่านหัวตาย (Die head) ทรงกลม จากนั้นเป่าลมเข้าทางกึ่งกลางหัวตาย แรงดันลมทำให้พลาสติกเหลวพองออกมาเป็นลักษณะรูปร่างของท่อพลาสติกบาง สามารถควบคุมให้ปริมาณลมเข้าเท่ากับปริมาณลมออกเพื่อให้แรงดันลมคงที่ ซึ่งทำให้ความหนาฟิล์มมีความสม่ำเสมอตามที่ต้องการ จากนั้นฟิล์มถูกดึงออกจากหัวตายอย่างต่อเนื่องและถูกทำให้เย็นตัวลงโดยวงแหวนหล่อเย็น (Air ring) โดยอาศัยลม หลังจากฟิล์มแข็งตัวดีแล้ว ฟิล์มถูกดึงและหนีบเป็นแผ่นโดยลูกกลิ้งรีด (Nip rollers) แล้วถูกม้วนดึงให้ตึงออกมา [30], [31] แสดงดังรูปที่ 2.16

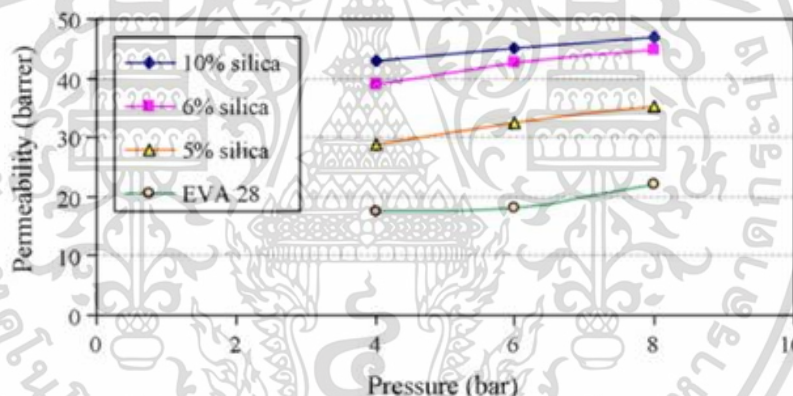


รูปที่ 2.16 กระบวนการเป่าฟิล์ม [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sadeghi M. และคณะ [32] ได้ทำการศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิลิกาต่อสมบัติการแยกก๊าซของเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (EVA) ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตต 28% โดยน้ำหนัก โดยการเตรียมเมมเบรน EVA และ EVA-Silica ด้วยเทคนิคการผกผันของวัฏภาคความร้อน นอกจากนี้ทำการเตรียมอนุภาคนาโนซิลิกาโดยวิธีไฮโดรไลซิสของเตตระเอทิลอโทซิลิเกต (TEOS) ผ่านกลไกโซลเจล (Sol-gel mechanism) โดยนำเมมเบรนที่เตรียมไว้วิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR, SEM, DSC และ XRD พบว่าผลการทดลองของ FT-IR และ SEM แสดงถึงการกระจายตัวของซิลิกาในเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ เมื่อวิเคราะห์ด้วย XRD และ DSC พบว่าการเพิ่มปริมาณซิลิกาช่วยเพิ่มพื้นที่ออสซิลเลชันอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นศึกษาการซึมผ่านก๊าซ N_2 , O_2 , CH_2 และ CO_2 ที่ความดัน 4, 6 และ 8 บาร์ ของเมมเบรน EVA28 และเมมเบรน EVA-Silica ที่มีปริมาณซิลิกา 5, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก ผลการทดลองที่ได้พบว่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มปริมาณของซิลิกา โดยก๊าซ CO_2 มีค่าการซึมผ่านก๊าซสูงที่สุดและค่าการคัดสรรของก๊าซ CO_2/N_2 และ CO_2/CH_2 เพิ่มขึ้นตามปริมาณของซิลิกาเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.17 ค่าการซึมผ่านก๊าซ CO_2 ที่ความดัน 4, 6 และ 8 บาร์ ของเมมเบรน EVA28 และเมมเบรน EVA-Silica ที่มีปริมาณซิลิกา 5, 6 และ 10% โดยน้ำหนัก [32]

พัชญ์ณกัญญ์ และคณะ [33] ได้ทำการพัฒนาเมมเบรนพอลิเมอร์ผสมจากเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ที่ถูกไฮโดรไลซิสบางส่วน (p-EVA) กับพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) และใช้ซิลิกาที่ถูกดัดแปลงพื้นผิวด้วยหมู่เอมีน (AFS) โดยใช้ 3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (APTES) เพื่อปรับปรุงสมบัติการเลือกผ่านของก๊าซ CO_2/CH_4 โดยศึกษาปัจจัยในการซึมผ่านก๊าซ CO_2 ประกอบด้วยการไฮโดรไลซิส EVA น้ำหนักโมเลกุลของ PEG และปริมาณการเติม AFS จากการทดลองพบว่า มีหมู่เอมีนอยู่ 64% สามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุล CO_2 จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสพบว่า EVA ถูกไฮโดรไลซ์ 44% ทำให้เมมเบรน p-EVA มีค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสของยังสูงกว่าเมมเบรน EVA แต่มีค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO_2 ต่ำกว่า เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลใน p-EVA นอกจากนี้เมื่อ

ผสม p-EVA กับ PEG ปริมาณ 5-15 % โดยน้ำหนัก พบว่าค่าอุณหภูมิละลายเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ของ p-EVA และค่าความแข็งแรงดึงของเมมเบรนลดลง เนื่องจาก PEG ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ แต่ค่าอุณหภูมิละลายและปริมาณผลึกของ EVA ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองพบว่า PEG ไม่ได้มีผลต่อวัฏภาคผลึกของ p-EVA สำหรับการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าพื้นที่ตัดขวางของเมมเบรนพอลิเมอร์ผสม p-EVA/PEG เกิดช่องว่างขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ทั่วเมมเบรน โดยช่องว่างมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ PEG นอกจากนี้เมมเบรนผสม p-EVA/PEG มีค่าการซึมผ่านก๊าซ CO_2 สูงกว่าเมมเบรน p-EVA และ EVA เนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่อีเทอร์และโมเลกุล CO_2 โดยเมมเบรนพอลิเมอร์ผสม PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1450 g/mol ให้ค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO_2 สูงกว่าเมมเบรนพอลิเมอร์ผสม PEG ที่น้ำหนักโมเลกุล 400 g/mol เนื่องจากมีปริมาณหมู่อีเทอร์ที่มากกว่า อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณ PEG ส่งผลให้ค่าการเลือกผ่านของก๊าซ CO_2/CH_4 ลดลง ดังนั้นมีการเติม AFS ที่มีปริมาณ 0.3-0.9 % โดยน้ำหนัก ในพอลิเมอร์ผสม p-EVA/PEG ที่ปริมาณ PEG 15 % โดยน้ำหนัก (p-EVA/15PEG400 และ p-EVA/15PEG1450) โดยพบว่าเมมเบรนที่เติม AFS มีค่าการเลือกผ่านของก๊าซ CO_2/CH_4 สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และค่าการซึมผ่านก๊าซ CO_2 ในเมมเบรนพอลิเมอร์ผสม p-EVA/15PEG400 เพิ่มขึ้นเมื่อเติม AFS ในปริมาณ 0.3-0.6 % โดยน้ำหนัก และมีค่าลดลงเมื่อเติม AFS 0.9% โดยน้ำหนัก ส่วนการใช้ AFS ในเมมเบรน p-EVA/15PEG1450 มีค่าการซึมผ่านก๊าซ CO_2 ลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาค AFS ในเนื้อพอลิเมอร์นั้นไปขัดขวางการซึมผ่านของก๊าซ ดังนั้นเมมเบรน p-EVA/15PEG400-0.6AFS จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการแยกก๊าซ CO_2 โดยให้ค่าการซึมผ่านและค่าการเลือกผ่านของก๊าซ CO_2/CH_4 ถึง 1402.34 $\text{g/m}^2\cdot\text{day}$ และ 22.31 ตามลำดับ

โสรญา เรืองดิษฐ์ และคณะ [34] ได้ทำการพัฒนาพอลิซิลิโคนเมมเบรนให้มีค่าการเลือกผ่านที่ดีในการแยกก๊าซ CO_2/CH_4 และมีค่าการซึมผ่านสูง โดยศึกษาการเตรียมเมมเบรนด้วยเทคนิค Dry/Wet Phase Inversion ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงเวลาในการระเหยของตัวทำละลายในอากาศ อุณหภูมิของอ่างตกตะกอน การเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลในสารละลายพอลิเมอร์และสมบัติที่มีผลต่อการเลือกผ่านของก๊าซให้สูงขึ้น ผลการทดลองพบว่าการใช้เวลาในการระเหยของตัวทำละลายในอากาศที่ 120 วินาที อุณหภูมิของอ่างตกตะกอน 10 °C และความเข้มข้นของเอทานอล 15.9% สามารถเตรียมเมมเบรนที่มีค่าการเลือกผ่านที่ดีที่สุด แต่เนื่องด้วยความสัมพันธ์แบบผกผันของค่าการเลือกผ่านและค่าการซึมผ่านของก๊าซ พบว่าเมื่อค่าการเลือกผ่านของก๊าซเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการซึมผ่านของก๊าซลดลง จึงปรับปรุงเมมเบรนด้วยเทคนิคพลาสติกมาเพื่อเพิ่มคุณสมบัติขบ้น้ำบนพื้นผิวเมมเบรน เนื่องจากสมบัติความชอบน้ำสามารถเหนี่ยวนำก๊าซ CO_2 ได้ดีกว่าก๊าซ CH_4 ส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ CO_2 สูงขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงเมมเบรนโดยใช้เทคนิค Dry/Wet Phase Inversion ร่วมกับเทคนิคพลาสติกมาเพื่อเพิ่มค่าการเลือกผ่านและค่าการซึมผ่านของเอกสารนี้ ก๊าซ แต่ความชอบน้ำบนพื้นผิวเมมเบรนที่เกิดจากการอับพลาสติกนั้นสลายไปอย่างรวดเร็ว จึงได้มีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลของความแตกต่างของก๊าซที่ใช้การอบพลาสติกโดยใช้ก๊าซอาร์กอน (Ar) ออกซิเจน (O_2) ก๊าซผสมของอาร์กอนและออกซิเจน จากการศึกษาวิเคราะห์ผลของความชอบน้ำโดยการวัดมุมสัมผัสน้ำ และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยใช้เทคนิค FTIR และ XPS พบว่าการอบพลาสติกของออกซิเจนและอาร์กอนมีสมบัติชอบน้ำสูงที่สุดและสามารถรักษาความชอบน้ำได้นานกว่า 70 วัน ส่งผลให้ค่าการซึมผ่านของแก๊สเพิ่มขึ้นถึง 230% เมื่อเทียบกับเมมเบรนที่ไม่ผ่านการอบพลาสติก

Aleksandra W. และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาการซึมผ่านก๊าซของฟิล์ม EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตต 25-70% โดยน้ำหนัก พบว่าค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO_2 , He, O_2 และ N_2 ลดลงตามลำดับ ขึ้นอยู่กับปริมาณไวโนลอะซิเตตที่ใช้ โดยเมมเบรนที่เตรียมจากโคพอลิเมอร์ EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตต 46% โดยน้ำหนัก สามารถให้ค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO_2 สูงที่สุด มีการศึกษาเมมเบรนในเรื่องของความสามารถในการคัดสรรก๊าซและความสามารถในการแยกก๊าซ พบว่าความสามารถในการคัดสรรของก๊าซ CO_2/N_2 สูง และความสามารถในการคัดสรรของก๊าซ O_2/N_2 ต่ำ สำหรับเมมเบรนที่มีการผสมของพอลิเมอร์ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตตต่างกัน ให้ค่าการคัดสรรก๊าซมากกว่าพอลิเมอร์ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตตเดียว ผลลัพธ์เหล่านี้บ่งชี้ว่าการผสมพอลิเมอร์อาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดสรรก๊าซได้ดีกว่า และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกก๊าซควรใช้พอลิเมอร์ที่สามารถทำอันตรกิริยาได้ดีกับก๊าซ CO_2

Seyyed A. และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาสมบัติการแยกก๊าซของเมมเบรน EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตต 18 และ 28% โดยน้ำหนัก ศึกษาผลของสภาวะการเตรียมเมมเบรนและศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่มีผลต่อการแยกก๊าซของเมมเบรน EVA และตรวจสอบการซึมผ่านของก๊าซ O_2 , N_2 , CH_4 และ CO_2 บริสุทธิ์ที่ใช้แรงดันต่างกันตั้งแต่ 2-11 บาร์ ผลการทดลองพบว่าค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO_2 สูงกว่าก๊าซชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้กลไกของการละลายช่วยในเรื่องการซึมผ่านของเมมเบรน EVA โดยเมมเบรนที่ใช้เตตระไฮโดรฟูแรน (THF) เป็นตัวทำละลายสามารถให้ค่าการซึมผ่านของก๊าซสูงกว่าเมมเบรนที่เตรียมโดยใช้คลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$) เนื่องจากตัวทำละลายมีความเข้มข้นสูงจึงช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระ (Free volumes) ของเมมเบรน ส่งผลให้การซึมผ่านของก๊าซดีขึ้น ผลการวิจัยพบว่าการซึมผ่านก๊าซของเมมเบรนที่เตรียมโดยใช้เทคนิคการผกผันของเฟสความร้อน/เปียก (Thermal/Wet phase inversion technique) สูงกว่าเมมเบรนที่เตรียมโดยใช้วิธีการผกผันของเฟสความร้อน (Thermal phase inversion method) โดยเมมเบรนที่เตรียมจากเทคนิคการผกผันของเฟสความร้อน/เปียกมีการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว เกิดจากอัตราแลกเปลี่ยนของตัวทำละลายที่เกิดขึ้นในอ่างจับตัวเป็นก้อน ดังนั้นเวลาในการจัดเรียงสายโซ่โพลีเมอร์ใหม่จึงมีน้อย ทำให้มีปริมาตรอิสระมากกว่า ส่งผลให้การซึมผ่านของก๊าซสูงขึ้น นอกจากนี้เมมเบรนที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตตสูงกว่าที่ใช้ THF เป็นตัวทำละลายมีคุณสมบัติการแยกก๊าซที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Xiaozhi X. และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาการปรับระนาบระหว่างชั้นของฟิล์มไฮบริด LDHs และฟิล์มพอลิเมอร์ผสมเพื่อทำการแยกก๊าซ CO₂ ที่มีประสิทธิภาพ โดยปรับปรุง LDHs ที่มีประจุบวก และกรดพอลิอะคริลิก (PAA) ที่มีประจุลบ และพอลิเอทเธอร์อิมิด (PEI) ที่มีเอมีนเป็นหลัก โดย PAA ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางด้วยไฟฟ้าสถิตเพื่อจับ LDHs และ PEI ให้แน่นชิดติดกัน ในขณะที่ระยะห่างระหว่างระนาบควบคุมในช่วงนาโนเมตร โดยการเปลี่ยนค่า pH ของ PEI ให้ตรงกับขนาดของโมเลกุล CO₂ เมมเบรนที่ได้ปรับให้เหมาะสม (LDHs/PAA/PEI_x/PAA)_n ค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO₂ ที่ต้องการและเมมเบรนยังมีความเสถียรที่ดีถึง 100 ชั่วโมง แสดงให้เห็นถึงโอกาสในการใช้งานที่ดี

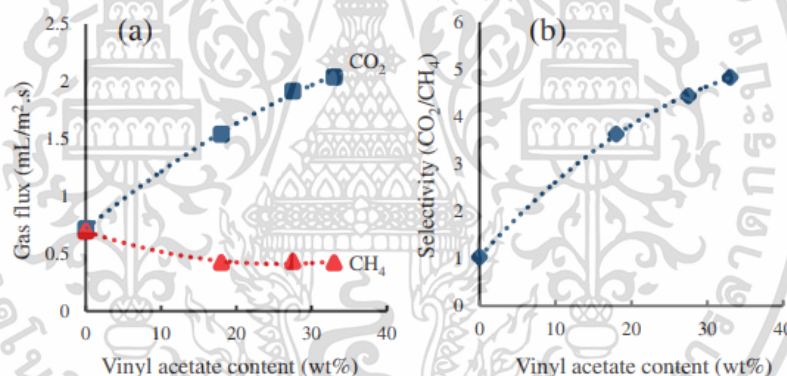
Nai-Yi H. และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาานาโนคอมโพสิตเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVA) ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตต 40% โดยน้ำหนัก กับสารเติมแต่งเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDHs) นาโนคอมโพสิต EVA/12AA-LDHs ถูกเตรียมโดยการผสมสารละลาย 12AA-LDHs ผสมกับโพลูอินและกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวัดประสิทธิภาพการซึมผ่านก๊าซของเยื่อานาโนคอมโพสิต EVA/12AA-LDHs ผลปรากฏว่าเมมเบรนที่มีปริมาณ LDHs 1.0% โดยน้ำหนัก ให้ค่าการคัดสรรของก๊าซ CO₂/N₂ เพิ่มขึ้นเป็น 20 และมีค่าการซึมผ่านของ CO₂ ที่ 119.21 barrer ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า 12AA-LDHs ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกก๊าซของเมมเบรนและสามารถใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อดักจับก๊าซ CO₂ ได้

Fajrina N. และคณะ [35] ได้ทำการศึกษาและพัฒนาพื้นผิวของเมมเบรนคอมโพสิตพอลิซัลโฟน (PSF) สำหรับการแยกก๊าซ CO₂/CH₄ ผสมด้วย Mg-Al-CO₃ layered double hydroxides (LDHs) ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม โดยพื้นผิวของเมมเบรน LDHs/PSF ถูกเคลือบด้วย PEBAX-Polymer เพื่อปรับปรุงพื้นผิวและทำหน้าที่เป็นชั้นคัดสรรก๊าซ (Selective layer) เพื่อสร้างเมมเบรนคอมโพสิตสำหรับการซึมผ่านของก๊าซ ศึกษาผลของปริมาณ LDHs 1, 3 และ 5 % โดยน้ำหนัก บนพื้นผิวของเมมเบรนโดยใช้แรงดันอยู่ที่ 1, 3 และ 5 บาร์ เมมเบรนคอมโพสิต LDHs/PSF มีการซึมผ่านของก๊าซ CO₂ 55-113% (เทียบกับเมมเบรน PSF) โดยเมมเบรนคอมโพสิต LDHs/PSF ที่มีปริมาณ LDHs 3.0% โดยน้ำหนัก แสดงค่าการคัดสรรของก๊าซ CO₂/CH₄ สูงสุดที่ 38.5 ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า LDHs ที่ผสมอยู่บนพื้นผิวของเมมเบรนคอมโพสิตมีศักยภาพสูงที่ช่วยในการดักจับและแยกก๊าซ CO₂

Zamiri M. และคณะ [36] ได้ทำการศึกษาเมมเบรนเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVA) ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตต 28% โดยน้ำหนัก และพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) 0-20% โดยน้ำหนัก มีน้ำหนักโมเลกุล 200 1,000 และ 1,500 g/mol ทำการศึกษาการแยกก๊าซ CO₂/N₂ ที่แรงดัน 2-8 บาร์ ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR, DSC, XRD และ SEM เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและสัณฐานวิทยาของเมมเบรนเพื่อปรับปรุงการซึมผ่านของก๊าซและเพิ่มประสิทธิภาพการแยกตัวของเมมเบรน ผลการทดลองพบว่าการซึมผ่านของก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณ PEG อย่างไรก็ตามการเพิ่ม PEG ช่วยเพิ่มความสามารถในการคัดสรรก๊าซ CO₂/N₂ สำหรับเมมเบรนที่มีปริมาณ PEG สูงถึง 10%

โดยน้ำหนัก โดย PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 200 แสดงประสิทธิภาพในการแยกก๊าซเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้เมื่อมีการเพิ่มแรงดัน ส่งผลให้ความสามารถในการคัดสรรก๊าซและค่าการซึมผ่านของ CO_2 ของเมมเบรน EVA, EVA/5PEG และ EVA/10PEG สูงขึ้นเช่นเดียวกัน

Prachya W. และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาการซึมผ่านก๊าซ CO_2 และ CH_4 ของเมมเบรน EVA ที่ความดันบรรยากาศ โดยศึกษาผลของปริมาณไวนิลอะซิเตตและปริมาณของซิลิกาต่อการซึมผ่านของก๊าซ CO_2 และ CH_4 พบว่าการเพิ่มปริมาณไวนิลอะซิเตตทำให้เมมเบรนที่มีขั้วเกิดอันตรกิริยาได้ดีกับ CO_2 โดยเมมเบรนเหล่านี้ช่วยลดการตกผลึกของโคพอลิเมอร์ EVA และทำให้ค่าพลักซ์ของก๊าซ CO_2 เพิ่มขึ้น และการเติมซิลิกา 0.5–2.0% โดยน้ำหนัก ช่วยปรับปรุงขั้วของเมมเบรนมีค่าการซึมผ่านของก๊าซ CO_2 สูงสุดที่ 6.0 มิลลิลิตร/ตารางเมตร และมีค่าการคัดสรรของก๊าซ CO_2/CH_4 เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณไวนิลอะซิเตตและปริมาณของซิลิกา โดยเมมเบรน EVA33/2.0SiO₂ ให้ค่าการคัดสรรก๊าซ CO_2/CH_4 สูงสุดเท่ากับ 12 ที่ความดันบรรยากาศ นอกจากนี้มีการศึกษาการแยกก๊าซ CO_2/CH_4 โดยใช้ไมคูลแยกก๊าซแบบต่อเนื่องให้ค่าการคัดสรรก๊าซ CO_2/CH_4 สูงถึง 4.3 ซึ่งบ่งชี้ว่าเมมเบรน EVA สามารถเป็นตัวเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการกำจัด CO_2 ออกจากก๊าซชีวภาพได้



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงผลของปริมาณไวนิลอะซิเตตต่อ (a) พลักซ์ของก๊าซ และ (b) ค่าคัดสรรของก๊าซ CO_2/CH_4 [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ศึกษาประสิทธิภาพและสมบัติของพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบแยกก๊าซผสม ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตต 27.5% โดยน้ำหนัก เป็นพอลิเมอร์ที่มีข้อดีและมีความเป็นผลึกต่ำ แต่มีความแข็งแรงเชิงกลต่ำและเหนียวติด ดังนั้นจึงเติมเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตต 18% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและประสิทธิภาพในการขึ้นรูปฟิล์ม นอกจากนี้มีการเติมสารเติมแต่ง LDHs ที่มีสมบัติในการควบคุมการดักจับและช่วยดูดซับก๊าซ CO₂ ได้ [5] และเพื่อลดการฟุ้งกระจายของสารที่มีความเข้มข้นสูง จึงมีการเตรียมมาสเตอร์แบทช์ (Masterbatch) ระหว่างพอลิเมอร์กับสารเติมแต่ง เพื่อให้สารสามารถกระจายตัวในพอลิเมอร์ได้อย่างทั่วถึง จากนั้นทำการขึ้นรูปฟิล์มและใช้โมดูลเมมเบรนในการทดสอบการแยกก๊าซผสม CO₂/CH₄ โดยใช้กลไกความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซ (Concentration gradient) เพื่อแยกก๊าซผสมภายใต้ความดันปกติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้

1) เอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene vinyl acetate, EVA28) : Escorene™ Ultra UL 00728 (EVA28) จาก ExxonMobil Chemical Co., Ltd.

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ Escorene™ Ultra UL 00728

| สมบัติ | UL 00728 | หน่วย |
|---|----------|----------|
| ปริมาณไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate content) | 27.5 | wt% |
| ดัชนีการไหล (Melt flow index) (190 °C /2.16 kg) | 7.0 | g/10 min |
| ความหนาแน่น (Density) | 0.951 | g/cm |
| จุดหลอมเหลว (Melting point) | 73 | °C |
| การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) | >100 | % |
| ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) | 2500 | psi |

หมายเหตุ : ข้อมูลจาก ExxonMobil Chemical Co., Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene vinyl acetate, EVA18) : POLENE N 8038 (EVA18) จาก TPI POLENE PUBLIC COMPANY LIMITED

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของ POLENE N 8038

| สมบัติ | UL 00728 | หน่วย |
|---|----------|----------|
| ปริมาณไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate content) | 18 | wt% |
| ดัชนีการไหล (Melt flow index) (190 °C /2.16 kg) | 2.8 | g/10 min |
| ความหนาแน่น (Density) | 0.941 | g/cm |
| จุดหลอมเหลว (Melting point) | 86 | °C |
| การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) | 820 | % |
| ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) | 652.67 | psi |

หมายเหตุ : ข้อมูลจาก TPI POLENE PUBLIC COMPANY LIMITED

3) เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides, LDHs) : แมกนีเซียม-อะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Mg-Al layered double hydroxide, Mg-Al LDHs) สสารจาก บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) (SCG)

4) ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen)

5) ก๊าซผสม (Mixed gases) (CO₂ 40% and CH₄ 60%) จาก United Industrial Gases Co., Ltd.

6) โทลูอีน (Toluene) Analar grade จาก VWR international Ltd. Poole, BH15 1TD, England

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) จาก CHAREON TUT Co., Ltd. รุ่น MX500-D75L90
- 2) เครื่องบดพลาสติก (Plastic grinder) จาก Bosco Engineering Co., Ltd. รุ่น Bosco A600
- 3) เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) จาก SPL machinery Co., Ltd. รุ่น SPL 35G REG-LAB
- 4) เครื่องตัดเม็ดพลาสติก (Pellets cutting machine)
- 5) เครื่องเป่าฟิล์ม (Blown film machine) จาก Labtech engineering Co., Ltd รุ่น LE2030/C & LF-250
- 6) อ่างอัลตราโซนิก (Ultrasonic bath) จาก Fisher Scientific
- 7) ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) จาก OZAKI MFG Co., Ltd.
- 8) โมดูลเมมเบรน (Membranes module)
- 9) เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ จาก Entech Co., Ltd. รุ่น Biogas 5000 Geotech
- 10) เครื่องวัดมุมสัมผัส (Optical contact angle analyzer) จาก Data Physics instruments GmbH รุ่น OCA
- 11) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) จาก JEOL CO. Inc. รุ่น JSM-5410LV
- 12) เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : Transmission) จาก SHIMADZU Co., Ltd. รุ่น IRTracer-100
- 13) เครื่องกดอัด (Compression machine) จากโรงงานชัยเจริญการช่าง
- 14) เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC) จาก METTLER TOLEDO (Thailand) Ltd. รุ่น DSC 3+ STAR[®] System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 15) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM) จาก Comtech รุ่น QC-536M1
- 16) เครื่องวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิความร้อน (Thermogravimetric Analyzer, TGA) จาก METTLER TOLEDO (Thailand) Ltd. รุ่น TGA 3+ STAR^e System
- 17) เครื่องวิเคราะห์วัสดุและโลหะ (X-ray Fluorescence, XRF) จาก Rigaku รุ่น Primus IV
- 18) ตู้ดูดควัน (Fume Hood) จาก Official Equipment Manufacturing co., LTD. รุ่น FFH150DC
- 19) ปีกเกอร์ จาก S.N.P. SCIENTIFIC co., LTD.
- 20) ถาดสแตนเลส

3.3 การเตรียมมาสเตอร์แบทช์

3.3.1 การเตรียมมาสเตอร์แบทช์แบบหลอมเหลว (Melt mixing masterbatch)

ทำการเตรียมมาสเตอร์แบทช์ระหว่างพอลิเมอร์กับสารเติมแต่งเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์แบบหลอมเหลวที่ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก ทำการชั่งพอลิเมอร์ EVA18 กับ LDHs ที่อัตราส่วน 95 : 5 ผสมในเครื่องผสมระบบปิด ใช้สัดส่วนปริมาตรของพอลิเมอร์ต่อความจุของเครื่องผสม (Fill factor) เท่ากับ 0.8 โดยตั้งสถานะของเครื่องผสม ดังนี้

| | | |
|------------------------|-----|------|
| อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม | 190 | °C |
| ความเร็วโรเตอร์ | 100 | rpm |
| เวลาที่ใช้ในการผสม | 30 | นาที |

3.3.2 การเตรียมมาสเตอร์แบทช์แบบสารละลาย (Solution casting masterbatch)

ทำการเตรียมมาสเตอร์แบทช์ระหว่างพอลิเมอร์กับสารเติมแต่งเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์แบบสารละลายมีความเข้มข้น 46.67% โดยน้ำหนัก โดยใช้ EVA28 ที่มีดัชนีการไหลมากกว่า EVA18 (ตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2) เพื่อให้สารเติมแต่งเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์กระจายตัวดีขึ้น โดยใช้การสั่นด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก มีวิธีการเตรียมดังนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) เตรียมพอลิเมอร์ EVA28 ปริมาณ 20 กรัม ละลายในโทลูอีน 180 mL ลงในบีกเกอร์ ทำการผสมด้วยการสั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 °C

2) เตรียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 17.5 กรัม ละลายในโทลูอีน 180 mL ลงในบีกเกอร์ ทำการผสมด้วยการสั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 °C

3) นำสารที่ได้จากข้อ 1) และ 2) ผสมกันในบีกเกอร์ ทำการผสมด้วยการสั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 °C

4) นำสารละลายที่ได้จากข้อ 3) เทใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ นำไว้ในตู้ดูดควันรอจนกว่าจะแห้ง นำมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นจัดเก็บเพื่อนำไปผสมในขั้นต่อไป

3.4 การเตรียมพอลิเมอร์

ตารางที่ 3.3 สูตรพอลิเมอร์และอัตราส่วนผสมของพอลิเมอร์กับสารเติมแต่ง

| สูตร | อัตราส่วนของพอลิเมอร์ (%wt) | | |
|----------------------|-----------------------------|-------|------|
| | EVA28 | EVA18 | LDHs |
| EVA28/18 | 90 | 10 | 0.0 |
| EVA28-18/0.5LDHs (M) | 90 | 9.5 | 0.5 |
| EVA28-18/0.5LDHs (S) | 89.5 | 10 | 0.5 |

3.4.1 การผสมพอลิเมอร์ในเครื่องผสมระบบปิด

ซึ่งพอลิเมอร์ตามสัดส่วนตามตารางที่ 3.4 ทำการผสมโดยใช้สัดส่วนปริมาตรของพอลิเมอร์ต่อความจุความของห้องผสม (Fill factor) เท่ากับ 0.8 โดยตั้งสภาวะของเครื่อง ดังนี้

อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม 190 °C

ความเร็วโรเตอร์ 100 rpm

เวลาที่ใช้ในการผสม 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการผสมพอลิเมอร์ในเครื่องผสมระบบปิดจากนั้นนำพอลิเมอร์มาบดให้มีขนาดเล็กลงโดยใช้เครื่องบดพลาสติกเพื่อเอาไปใช้ในกระบวนการเป่าฟิล์มต่อไป

3.4.2 การผสมพอลิเมอร์ในเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว

นำพอลิเมอร์แต่ละสูตรใส่ลงในกรวยเติมสาร (Hopper) ของเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวเพื่อทำการหลอมเหลวและผสมพอลิเมอร์ โดยตั้งสภาวะของเครื่อง ดังนี้

| | | |
|------------------|-----|-----|
| Feed zone | 175 | °C |
| Melting zone | 180 | °C |
| Compression zone | 185 | °C |
| Die zone | 19 | °C |
| Screw speed | 15 | rpm |

จากนั้นตัดพอลิเมอร์ที่ได้จากเครื่องอัดรีดให้เป็นเม็ดด้วยเครื่องตัดเม็ดพลาสติก ทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อใช้ในกระบวนการต่อไป

3.5 การเตรียมฟิล์ม

3.5.1 การเตรียมฟิล์มชนิดท่อ

ขึ้นรูปฟิล์มพอลิเมอร์ ได้แก่ EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) ด้วยเทคนิคการเป่า โดยควบคุมความหนาของฟิล์ม ซึ่งสามารถควบคุมได้จากปริมาณลมที่ใช้เป่าและความเร็วในการดึง โดยตั้งสภาวะเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวที่ต่อกับหน่วยเป่าขึ้นรูปฟิล์ม ดังนี้

| | | |
|------------------|-----|-----|
| Feed zone | 165 | °C |
| Melting zone | 170 | °C |
| Compression zone | 175 | °C |
| Screw speed | 70 | rpm |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะเครื่องเป่าขึ้นรูปฟิล์ม

| | | |
|--------------------|-------|-----|
| Blowing zone | 180 | °C |
| Upper zone | 180 | °C |
| Lower zone | 180 | °C |
| ความเร็วลูกกลิ้ง 1 | 2.2 | rpm |
| ความเร็วลูกกลิ้ง 2 | 2.4 | rpm |
| ความหนาของฟิล์ม | 75-85 | µm |

3.5.2 การเตรียมชิ้นงานแผ่นเรียบ

การเตรียมชิ้นงานแผ่นเรียบจากกระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัด (Compression molding) พอลิเมอร์ ได้แก่ EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 15 นาที และหล่อเย็น 5 นาที นำชิ้นงานที่ได้แช่ด้วยไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการหักชิ้นงานเพื่อใช้ในการตรวจสอบสมบัติของฟิล์ม และนำพอลิเมอร์ ได้แก่ EVA28/18 อัตราส่วน 100:0 90:10 80:20 70:30 และ 0:100 % โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นเวลา 15 นาที และหล่อเย็น 5 นาที

3.6 การตรวจสอบสมบัติของฟิล์ม

3.6.1 การทดสอบวัดมุมสัมผัสของชิ้นงานพอลิเมอร์ที่พื้นผิว

การทดสอบวัดมุมสัมผัสของชิ้นงานพอลิเมอร์บนพื้นผิว โดยนำชิ้นงานแผ่นเรียบของพอลิเมอร์ผสมที่มีขนาด 2 cm x 4 cm ทดสอบสมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ได้แก่ EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) โดยหยดน้ำกลั่นปริมาณ 5 µL ลงบนชิ้นงาน จับเวลาหลังหยดน้ำ 1 นาที จำนวน 3 ตำแหน่ง และทำการวัดมุมสัมผัสที่เกิดขึ้นด้วยโปรแกรม มีหน่วยเป็นองศา

3.6.2 การศึกษาสัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปแผ่นเรียบมาตัดให้มีขนาด 2 cm x 4 cm จากนั้นนำชิ้นงานไปแช่ไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และหักชิ้นงานขณะเย็น (Cryogenic crack) จากนั้นนำไปวิเคราะห์เพื่อดูการกระจายตัวของ LDHs ในพอลิเมอร์

3.6.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

3.6.3.1 การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC

การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) เพื่อทดสอบวัสดุโดยการวัดค่าพลังงานความร้อนและอุณหภูมิของสารเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน คือ อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) อุณหภูมิเกิดผลึก (T_c) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5-10 mg นำมาให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ -50-150 °C ด้วยอัตราการเพิ่มและลดของอุณหภูมิ 10 °C/min ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน จากนั้นนำค่าการเปลี่ยนแปลงของ Enthalpy (ΔH_f) ของสารตัวอย่างมาคำนวณหาร้อยละความเป็นผลึก (% Crystallinity) แสดงดังสมการที่ 3.1

$$\text{ร้อยละความเป็นผลึก} = \left(\frac{\Delta H_f \times 100}{\Delta H_f^\circ} \right) \times \left(\frac{100}{\text{EVA ในฟิล์ม (\% wt.)}} \right) \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \Delta H_f &= \text{พื้นที่ใต้กราฟของ } T_m \\ \Delta H_f^\circ &= \text{พลังงานความร้อนในการหลอมผลึกของ PE ที่มีความเป็นผลึก 100\%} \\ &\quad (293 \text{ J/k}) \end{aligned}$$

3.6.3.2 การศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) ใช้ตรวจหาน้ำหนักของสารตัวอย่างเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปในบรรยากาศไนโตรเจน โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5-10 mg นำมาให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 50-800 °C ด้วยอัตราการเพิ่มและลดของอุณหภูมิ 10 °C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์โดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) ด้วยโหมด ATR วัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นประมาณ $700-4000\text{ cm}^{-1}$ ที่ 20 scans ของฟิล์มพอลิเมอร์ ได้แก่ EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M) EVA28-18/0.5LDHs (S) และศึกษาค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl index) เพื่อดูความมีขั้วของฟิล์ม EVA28/18 อัตราส่วน 100:0 90:10 80:20 70:30 และ 0:100 % โดยน้ำหนัก โดยนำฟิล์มพอลิเมอร์ที่ได้จากการขึ้นรูปมาตัดให้มีขนาด $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ สามารถหาได้จากสมการ 3.2 ดังนี้

$$\text{ค่าดัชนีคาร์บอนิล} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ } \text{C}=\text{O} \text{ Stretching ที่ } 1738\text{ cm}^{-1}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ } \text{C}-\text{N} \text{ Rocking ที่ } 730\text{ cm}^{-1}} \quad (3.2)$$

3.6.5 การศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบ

การศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบโดยใช้เทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของโลหะภายในสารเติมแต่งเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์จากการวิเคราะห์ได้ค่าความยาวคลื่นหรือพลังงานความเข้มข้นของเส้นสเปกตรัมทำให้ทราบถึงปริมาณธาตุองค์ประกอบของสารตัวอย่างได้

| | |
|-----------------|----------|
| Measuring range | F-Cm |
| Diameter | 30 mm |
| Measuring time | Standard |

3.6.6 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบการรับแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ เตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อทดสอบโดยตัดให้มีขนาด $8 \times 2.5\text{ cm}$ ทดสอบโดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM) ที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM D882 เพื่อหาความแข็งแรงดึง (Testing strength) ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ทำการทดสอบชิ้นงาน 5 ตัวอย่างในแต่ละสูตรแล้วรายงานเป็นค่าเฉลี่ย โดยใช้สภาวะเครื่องที่ทดสอบ

ดังนั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|-------------------------------------|-----|--------|
| โหลดเซลล์ (Load cell) | 2 | KN |
| ความเร็วในการดึง (Test speed) | 200 | mm/min |
| ระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge length) | 25 | mm |

ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด แต่ค่ามอดูลัสของยัง สามารถหาได้จากสมการ 3.3-3.5 ดังนี้

$$\text{ความแข็งแรงดึง} = \frac{F}{A} \quad (3.3)$$

$$\text{ร้อยละการยืด ณ จุดขาด} = \left(\frac{l-l_0}{l} \right) \times 100 \quad (3.4)$$

$$\text{มอดูลัสของยัง (ที่ความเครียด 3-5\%)} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} \quad (3.5)$$

เมื่อ F = แรงดึงยึดชิ้นงาน
 A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm^2)
 l = ระยะระหว่างหัวจับชิ้นงานหลังทำการดึงชิ้นงาน ณ จุดขาด
 l_0 = ระยะระหว่างหัวจับชิ้นงานก่อนดึงชิ้นงาน (Gauge length)

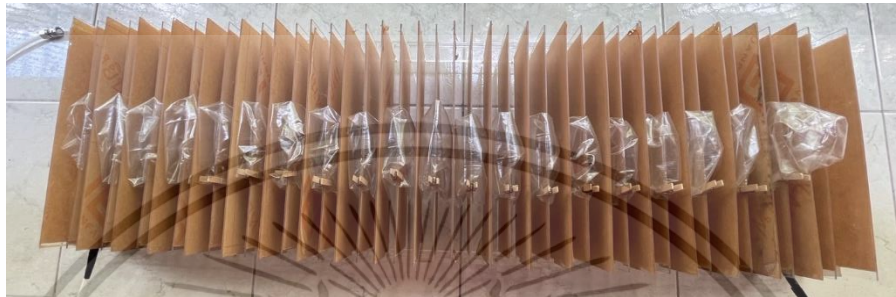
3.6.7 การทดสอบการซึมผ่านก๊าซ

การทดสอบการซึมผ่านก๊าซผสม CO_2/CH_4 ของฟิล์มพอลิเมอร์ด้วยโมดูลเมมเบรน โดยนำฟิล์มพอลิเมอร์ที่ขึ้นรูปชนิดท่อโดยฟิล์มมีความยาว 5 เมตร เรียงใส่ในโมดูลเมมเบรนลักษณะสลับฟันปลา ควบคุมการไหลของก๊าซผสม CO_2/CH_4 200 ml/min ด้วยโรตاميเตอร์ และตรวจสอบการไหลผ่านของก๊าซจากอัตราการไหลของฟองที่เกิดขึ้น โดยก๊าซที่ไหลผ่านออกมาจากฟิล์มพอลิเมอร์ถูกวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Biogas 5000) ก๊าซที่สามารถแพร่ผ่านฟิล์มได้ เรียกว่า เพอร์มิเมต ก๊าซที่ไม่สามารถซึมผ่านฟิล์มออกไปได้ เรียกว่า รีเทนเทต และก๊าซที่ใช้ในการทดสอบผ่านฟิล์มแล้วถูกนำออกสู่ช่องระบายทิ้ง มีวิธีการทดสอบดังนี้

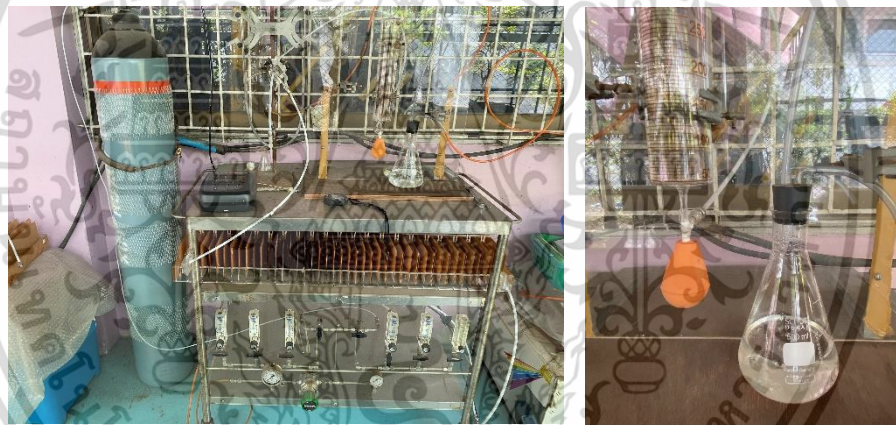
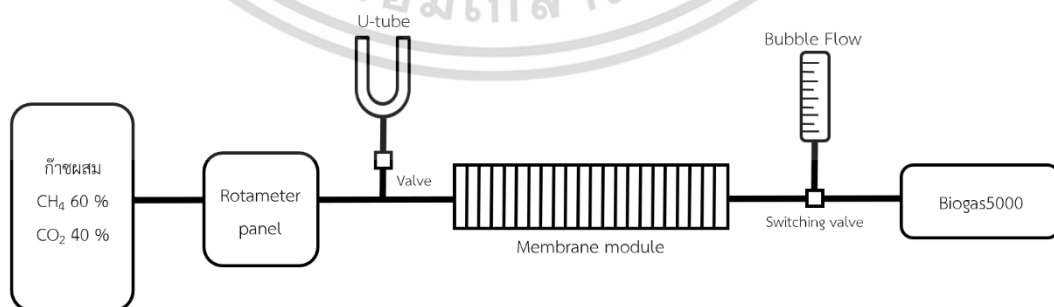
- 1) ทำการเป่าลมใส่ฟิล์มที่ขึ้นรูปท่อโดยมีความยาว 5 เมตร
- 2) นำฟิล์มเรียงใส่โมดูลเมมเบรนในลักษณะสลับฟันปลา (รูปที่ 3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 3) นำโมดูลเมมเบรนต่อเข้ากับระบบทดสอบการซึมผ่านก๊าซผสม CO_2/CH_4 (รูปที่ 3.2)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซผสม CO_2/CH_4 ที่ 200 ml/min ด้วยโรตاميเตอร์ โดยป้อนก๊าซผสม $\text{CH}_4:\text{CO}_2$ อัตราส่วน 60:40 (รูปที่ 3.3)
- 5) ตรวจสอบอัตราการไหลด้วยการวัดที่ Bubble flow ที่เกิดขึ้น
- 6) นำเครื่องวิเคราะห์ที่ก๊าซมาวัดร้อยละความเข้มข้นของก๊าซผสม CO_2/CH_4



รูปที่ 3.1 โมดูลเมมเบรน

รูปที่ 3.2 ระบบการทดสอบการซึมผ่านของก๊าซผสม CO_2/CH_4 รูปที่ 3.3 แผนภาพอุปกรณ์ทดสอบการซึมผ่านของก๊าซผสม CO_2/CH_4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การซึมผ่านก๊าซผสม CO₂/CH₄ ของฟิล์ม สามารถคำนวณค่าฟลักซ์ของการซึมผ่านก๊าซ CO₂ ได้จากสมการที่ 3.6

$$\phi_{\text{CO}_2} = \frac{(\text{Flow}_{\text{in}} - \text{Flow}_{\text{out}})}{A \times 60} \quad (3.6)$$

เมื่อ ϕ_{CO_2} = ฟลักซ์ของการซึมผ่านก๊าซ CO₂ (g/m².day)

Flow_{in} = อัตราการไหลของก๊าซผสม CO₂/CH₄ ป้อนเข้า (L/min)

Flow_{out} = อัตราการไหลของก๊าซผสม CO₂/CH₄ ป้อนออก (L/min)

A = พื้นที่ของฟิล์ม (m²)

ค่าฟลักซ์ของการซึมผ่านก๊าซ CH₄ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.7

$$\phi_{\text{CH}_4} = \frac{(\text{Flow}_{\text{in}} - \text{Flow}_{\text{out}})}{A \times 60} \quad (3.7)$$

เมื่อ ϕ_{CH_4} = ฟลักซ์ของการซึมผ่านก๊าซ CH₄ (g/m².day)

Flow_{in} = อัตราการไหลของก๊าซผสม CO₂/CH₄ ป้อนเข้า (L/min)

Flow_{out} = อัตราการไหลของก๊าซผสม CO₂/CH₄ ป้อนออก (L/min)

A = พื้นที่ของฟิล์ม (m²)

ค่าคัตสรร (Selectivity) ก๊าซผสม CO₂/CH₄ ของฟิล์มสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.8

$$\alpha_{\text{CO}_2/\text{CH}_4} = \frac{\text{Flux}_{\text{CO}_2}}{\text{Flux}_{\text{CH}_4}} \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาฟิล์มเอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ผสมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ สำหรับแยกก๊าซ CO_2/CH_4 จากก๊าซชีวภาพ เพื่อเพิ่มค่าการซึมผ่านก๊าซและค่าคัดสรรของก๊าซ โดยใช้ไมคูลเมมเบรนในการทดสอบการซึมผ่านก๊าซ ทำการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ ได้แก่ EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) โดยทำการเตรียมมาสเตอร์-แบบท 2 วิธี คือ แบบหลอมเหลว (Melt mixing ; (M)) และแบบสารละลาย (Solution casting ; (S)) นำพอลิเมอร์ที่เตรียมมาผสมกันในเครื่องผสมระบบปิด จากนั้นขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ ปริมาณธาตุองค์ประกอบ สัณฐานวิทยา มุมสัมผัสของชิ้นงานพอลิเมอร์ สมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล และทดสอบการซึมผ่านก๊าซผสมอัตราส่วน CH_4/CO_2 เท่ากับ 60:40 ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซผสม CH_4/CO_2 ที่ 200 ml/min มีผลการวิจัยดังนี้

4.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์โดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ด้วยโหมด Attenuated Total Reflectance (ATR) ทำการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ของชิ้นงานแผ่นเรียบ ได้แก่ EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M), EVA28/18/0.5LDHs (S) และศึกษาค่าดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl index) เพื่อดูความมีขั้วของฟิล์ม EVA28/18 อัตราส่วน 100:0 90:10 80:20 70:30 และ 0:100 % โดยน้ำหนัก จากตารางที่ 4.1 ค่าดัชนีคาร์บอนิลของฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28/18 ในสูตรต่าง ๆ เมื่อพิจารณาการเติม EVA18 เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและประสิทธิภาพในการขึ้นรูปฟิล์มพบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28/18 อัตราส่วน 90:10 % โดยน้ำหนัก มีค่าดัชนีคาร์บอนิลสูงสุดที่ 2.8 เนื่องจากปริมาณของ EVA28 มากทำให้เกิดอันตรกิริยากับหมู่คาร์บอนิลในโครงสร้างได้ดี ส่งผลให้ฟิล์มมีขั้ว

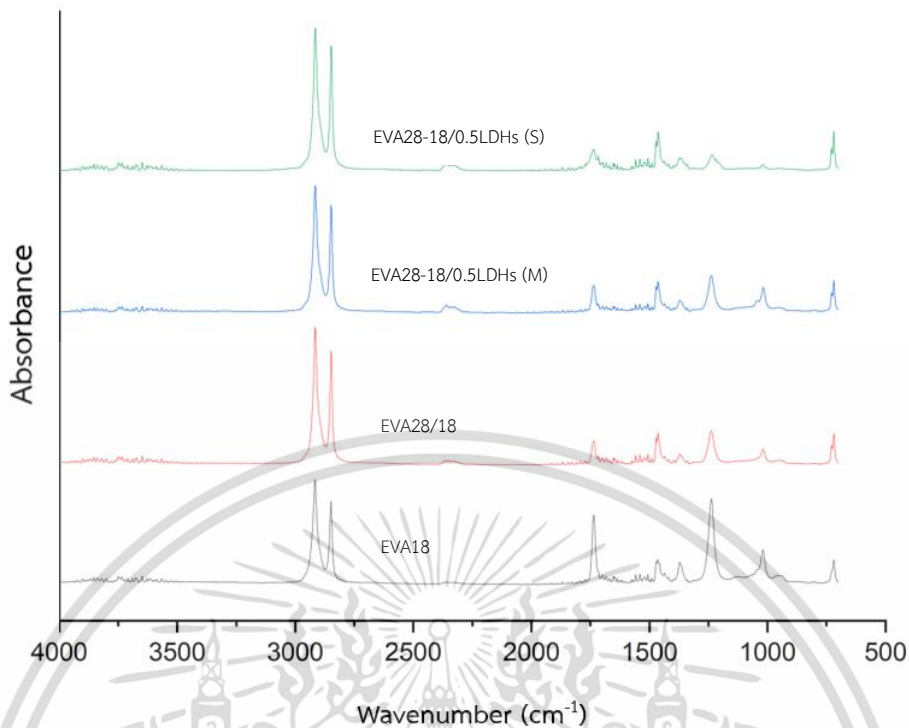
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าดัชนีคาร์บอนิลของฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28/18

| อัตราส่วนผสม EVA28/18 (%wt) | Carbonyl index |
|-----------------------------|----------------|
| 100:0 | 3.1 |
| 90:10 | 2.8 |
| 80:20 | 2.6 |
| 70:30 | 2.5 |
| 0:100 | 1.5 |

จากนั้นทำการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ของชิ้นงานแผ่นเรียบ ได้แก่ EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LD (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของ EVA พบพีคของการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2848 และ 2916 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะแบบยืดของหมู่เมทิลีน เกิดจากการสั่นของ C-H Stretching พบพีคของไวโนลอะซิเตตที่ความยาวคลื่น 1735 cm^{-1} เกิดจากการสั่นแบบยืดของหมู่คาร์บอนิล (C=O Stretching) ซึ่งตรงตามโครงสร้างของโคพอลิเมอร์ดังรูปที่ 2.11 ที่ความยาวคลื่น 1238 และ 1018 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดที่ไม่สมมาตร (Asymmetric C-O-C Stretching) และสมมาตร (Symmetric O-C=O Stretching) ของหมู่เอสเทอร์ตามลำดับ ที่ความยาวคลื่น 1463 cm^{-1} เกิดจากการสั่นของ C-H Stretching ที่เลขคลื่น 1371 cm^{-1} เกิดการสั่นแบบงอ (Bending) ของเมทิลีน และ 719 cm^{-1} เป็นการสั่นจาก C-H Rocking จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อมีการเติม EVA18 ส่งผลให้การสั่นยืดของ C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิลที่ตำแหน่ง 1735 cm^{-1} ลดลง เนื่องจากความมีขั้วลดลง และการสั่นยืดแบบงอของ CH_2 ลดลง เนื่องจาก EVA18 มีโครงสร้างของเอทิลีนมาก ส่งผลให้พีคสั้นลง เมื่อมีการเติม LDHs ทำให้เกิดอันตรกิริยากับหมู่เอสเทอร์และคาร์บอนิลที่ตำแหน่ง 1018 และ 1735 cm^{-1} ตามลำดับ ส่งผลให้ค่า Absorbance ลดลง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความมีขั้วเนื่องจากไดโพลโมเมนต์ (Dipole moment)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S)

4.2 การศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบ

การศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบของสารเติมแต่งเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDHs) ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF) โดยวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของโลหะในสารตัวอย่าง LDHs พบสารประกอบของ MgO และ Al₂O₃ ที่เป็นชั้นโลหะแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Mg(OH)₂) หรือ ชั้นบรูไซต์ (Brucite layer) ของสารตัวอย่างแมกนีเซียมอะลูมิเนียมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Mg-Al LDHs) ในปริมาณ 33.1% และ 20.8% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และตรวจพบสารเจือปน (Impurity) ในสารตัวอย่างในปริมาณเล็กน้อย แสดงดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

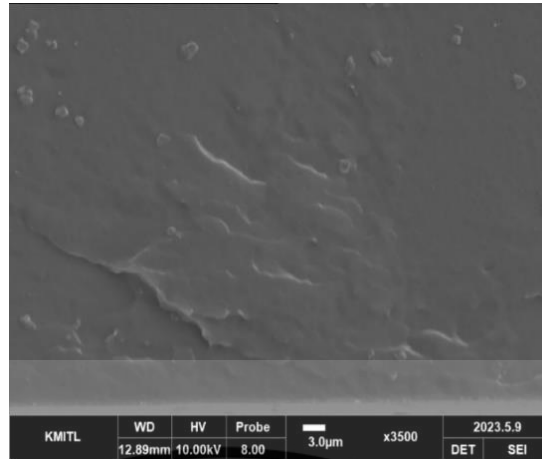
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง Mg-Al LDHs

| Component | wt% |
|--------------------------------|-------|
| MgO | 33.1 |
| Al ₂ O ₃ | 20.8 |
| SiO ₂ | 0.01 |
| SO ₃ | 0.03 |
| CaO | 0.005 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.008 |
| Ga ₂ O ₃ | 0.003 |

4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของพอลิเมอร์โดยทำการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) จากรูปที่ 4.2 พบว่าพอลิเมอร์ EVA28/18 มีลักษณะพื้นผิวเรียบและไม่ปรากฏวิญญากาศของแข็ง และจากรูป 4.3 (a)-(b) พอลิเมอร์ EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) พบการกระจายตัวของ LDHs รูปที่ 4.3 (a) เมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ของ EVA28-18/0.5LDHs (M) พบว่าการกระจายตัวของ LDHs ไม่มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน เนื่องจากในการเตรียมมาสเตอร์แบบหล่อโดยใช้ EVA18 มีความหนืดมาก (MFI = 2.8 g/10 min, (190 °C /2.16 kg)) เมื่อนำไปผสมกับ EVA28 ที่มีความหนืดน้อยกว่า (MFI = 7 g/10 min (190 °C /2.16 kg)) จึงทำให้ LDHs กระจายตัวไม่ดี ซึ่งโครงสร้างของ LDHs ประกอบด้วยช่องว่างระหว่างชั้นที่มีขนาดเล็กและ LDHs เป็นสารอนินทรีย์ ความเข้ากันได้กับพอลิเมอร์จึงยาก รูปที่ 4.3 (b) พิจารณาพอลิเมอร์ของ EVA28-18/0.5LDHs (S) พบการกระจายตัวของ LDHs ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการเตรียมมาสเตอร์แบบหล่อมีการใช้ EVA28 ผสมกับ LDHs และมีทูโลอินเป็นตัวทำละลายเพื่อให้ LDHs กระจายตัวในพอลิเมอร์ได้อย่างทั่วถึง จากนั้นเมื่อนำไปผสมในเครื่องผสมระบบปิดกับ EVA18 ที่มีแรงเฉือนมากพอ ส่งผลให้การกระจายตัวของ LDHs ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของ EVA28/18 ที่กำลังขยาย 3500 เท่า



รูปที่ 4.3 สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของ (a) EVA28-18/0.5LDHs (M)
(b) EVA28-18/0.5LDHs (S) ที่กำลังขยาย 3500 เท่า

4.4 การศึกษามุมสัมผัสบนพื้นผิวของชิ้นงานพอลิเมอร์

การศึกษามุมสัมผัสบนพื้นผิวของชิ้นงานพอลิเมอร์ (ภาคผนวก ข) เพื่อศึกษาสมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของพอลิเมอร์โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส (Optical Contact Angle Analyzer) มุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90° หมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งของเหลวกระจายออกไปเป็นบริเวณกว้าง แสดงว่าชิ้นงานมีความชอบน้ำ (Hydrophilic) และแสดงถึงความมีขี้วของโมเลกุล มุมสัมผัสที่มากกว่า 90° หมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดี (Hydrophobic) แสดงว่าชิ้นงานมีความไม่ชอบน้ำ ของเหลวสัมผัสกับพื้นผิวชิ้นงานเพียงเล็กน้อยและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ การคัดลอกตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง ผลทดสอบมุมสัมผัสของชิ้นงานพอลิเมอร์ที่พื้นผิว แสดงดังตารางที่ 4.3 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า EVA28 มีหมู่คาร์บอนิล (C=O) ซึ่งทำให้มีค่ามุมสัมผัสที่ต่ำกว่า EVA28/18 แสดงว่าการเติม EVA18 ทำให้มีหมู่คาร์บอนิล (C=O) ลดลง (รูปที่ 4.1) ส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสของ EVA28/18 สูงขึ้น ความมีขี้ขี้จึงลดลง เมื่อพิจารณาการเติม LDHs ในพอลิเมอร์ ได้แก่ EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) พบว่าค่ามุมสัมผัสของพอลิเมอร์มีค่าใกล้เคียงกับ EVA28/18 เนื่องจากการเติม LDHs ในปริมาณที่น้อย จึงไม่ส่งผลต่อค่ามุมสัมผัส

ตารางที่ 4.3 มุมสัมผัสของชิ้นงานพอลิเมอร์ที่พื้นผิว

| ฟิล์มพอลิเมอร์ | มุมสัมผัสบนพื้นผิว (°) |
|----------------------|------------------------|
| EVA28 | 78.0 ±1.2 |
| EVA28/18 | 79.3 ±1.6 |
| EVA28-18/0.5LDHs (M) | 79.0 ±1.6 |
| EVA28-18/0.5LDHs (S) | 79.6 ±1.0 |

4.5 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

4.5.1 เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)

การศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) เพื่อศึกษาอุณหภูมิสถานะคล้ายแก้ว (T_g) อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) และความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (ΔH_f) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี จากนั้นนำมาคำนวณหาร้อยละความเป็นผลึกของ EVA แสดงในตารางที่ 4.4 โดยฟิล์ม EVA28 และ EVA28/18 เมื่อให้ความร้อนครั้งแรก (1st Heating) พบอุณหภูมิหลอมเหลวครั้งที่ 1 (T_{m1}) มี T_{m1} 2 ตำแหน่ง และมีฐานพีคที่กว้าง แสดงว่ารูปแบบการเกิดผลึกและขนาดผลึกมีความแตกต่างกัน เนื่องจาก EVA28 และ EVA18 เป็นโคพอลิเมอร์แบบสุ่มระหว่างเอทิลีนโมโนเมอร์ (Ethylene monomer) กับไวนิลอะซิเตตโมโนเมอร์ (Vinyl acetate monomer; VAM) และการเกิดผลึกภายใต้สภาวะควบคุมอัตราการเย็นตัวในขั้นตอนเย็นตัวลงระหว่างกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์มนั้นควบคุมได้ยาก เมื่อให้ความร้อนครั้งที่สอง (2nd Heating) พบว่ามีอุณหภูมิหลอมเหลวครั้งที่ 2 (T_{m2}) มีพีคเดียวที่ 75 °C และ 73 °C ตามลำดับ ซึ่งมีฐานพีคที่แคบทั้งคู่

แสดงว่าการเกิดผลึกนั้นสม่ำเสมอและมีขนาดใกล้เคียงกันเนื่องจากการควบคุมอัตราการเย็นตัวของตัวอย่างใน DSC ที่ 10 °C/min เมื่อคำนวณหาร้อยละความเป็นผลึกมีค่าเท่ากับ 10.6 และ 11.4 ตามลำดับ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึกที่มีผลึกต่ำ เมื่อพิจารณาเติม LDHs ของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) พบว่าค่าร้อยละความเป็นผลึกของ EVA ในฟิล์มพอลิเมอร์มีค่าลดลง เนื่องจากการกระจายตัวของ LDHs (รูปที่ 4.3 (a)-(b)) โดยวิฤภาคของแข็งเข้าไปรบกวนการเกิดผลึกของ EVA ส่งผลให้ค่าร้อยละความเป็นผลึกลดลง

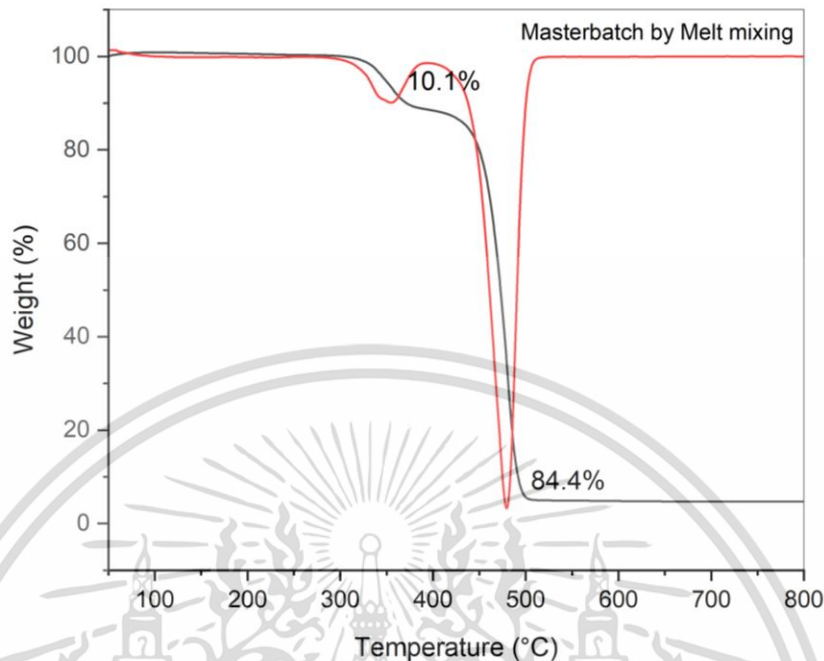
ตารางที่ 4.4 T_m , T_c และร้อยละความเป็นผลึกของ EVA ในฟิล์มพอลิเมอร์

| ฟิล์มพอลิเมอร์ | T_c (°C) | T_{m1} (°C) | ร้อยละความเป็นผลึก 1 st Heating | T_{m2} (°C) | ร้อยละความเป็นผลึก 2 nd Heating |
|----------------------|------------|---------------|---|---------------|---|
| EVA28 | 54 | 51, 76 | 14.4 | 75 | 10.6 |
| EVA28/18 | 57 | 47, 74 | 13.2 | 73 | 11.4 |
| EVA28-18/0.5LDHs (M) | 56 | 52, 76 | 10.7 | 74 | 6.4 |
| EVA28-18/0.5LDHs (S) | 56 | 49, 74 | 8.4 | 73 | 5.1 |

4.5.2 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)

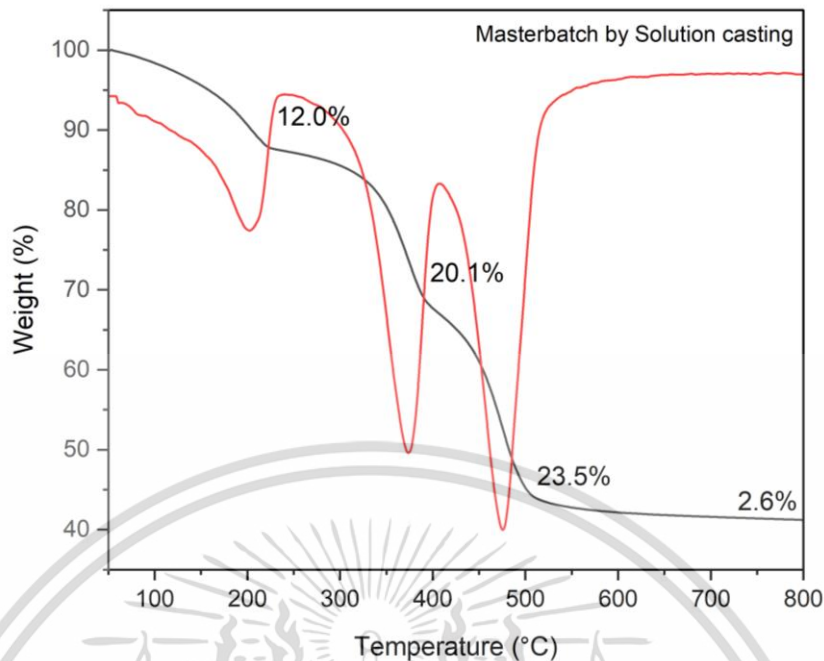
เนื่องจากโครงการพิเศษนี้มีเตรียมมาสเตอร์แบทระหว่างพอลิเมอร์กับ LDHs ด้วยวิธีที่แตกต่างกันคือแบบหลอมเหลว (Melt mixing) และแบบสารละลาย (Solution casting) โดยใช้ปริมาณการเตรียม 5% และ 46.67% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มีการผ่านกระบวนการต่าง ๆ ที่ใช้ความร้อน จึงต้องทำการตรวจสอบว่าเมื่อมีการสูญเสียในโครงสร้างส่งผลต่อน้ำหนักของสารตัวอย่างหรือไม่ การเปลี่ยนโครงสร้างที่อุณหภูมิใดและมีปริมาณของมาสเตอร์แบทที่เตรียมหลงเหลืออยู่ปริมาณเท่าไร จึงใช้เครื่อง TGA มาทำการวิเคราะห์อุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวของสารตัวอย่าง ดังนั้นจึงนำมาสเตอร์แบทที่เตรียมด้วยวิธีหลอมเหลวและสารละลายมาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน แสดงผลดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิกับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของ Masterbatch by Melt mixing

จากรูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับน้ำหนักของมาสเตอร์แบทแบบ หลอมเหลวที่เตรียมด้วย EVA18 กับสารเติมแต่ง LDHs มีความเข้มข้นที่ 5 % โดยน้ำหนัก เนื่องจาก มีปริมาณ LDHs น้อย จึงไม่พบการสูญเสียน้ำในช่วงอุณหภูมิ 200 °C หลังจากนั้นในช่วง อุณหภูมิประมาณ 300-400 °C เริ่มมีการสลายตัวของโครงสร้างหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลและอะซิเตตที่ 10.1% โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นที่อุณหภูมิประมาณ 400 °C ขึ้นไป เป็นการสลายตัวของพอลิเอทิลีน และโครงสร้างหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนแอนไอออนบางส่วน นอกจากนี้มีการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิล (Dehydroxylation) ของชั้นโลหะไฮดรอกไซด์อย่างสมบูรณ์ที่ 84.4 % โดยน้ำหนัก จึงสรุปได้ว่า น้ำหนักของมาสเตอร์แบทแบบหลอมเหลวเหลืออยู่ 4.7 % โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการเตรียม มาสเตอร์แบทในตอนเริ่มคือ 5 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิกับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของ Masterbatch by Solution casting

จากรูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของมาสเตอร์แบทแบบสารละลายที่ถูกเตรียมด้วย EVA28 กับสารเติมแต่ง LDHs พบการสูญเสียน้ำ 12.0% โดยน้ำหนัก ในช่วง 200 °C หลังจากนั้นในช่วงอุณหภูมิประมาณ 300-400 °C เริ่มมีการสลายตัวของโครงสร้างหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลและอะซิเตตที่ 20.1% โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นที่อุณหภูมิประมาณ 400 °C ขึ้นไป เป็นการสลายตัวของพอลิเอทิลีนและโครงสร้างหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนเนตแอนไอออนบางส่วน นอกจากนี้มีการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิล (Dehydroxylation) ของชั้นโลหะไฮดรอกไซด์อย่างสมบูรณ์ที่ 23.5% โดยน้ำหนัก จึงสรุปได้ว่า น้ำหนักของมาสเตอร์แบทแบบสารละลายเหลืออยู่ 42.0 % โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการเตรียมมาสเตอร์แบทในตอนเริ่มคือ 46.67 % โดยน้ำหนัก

4.6 การศึกษาสมบัติเชิงกล

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) ที่ผ่านการขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์ม แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ของฟิล์ม EVA28 และ EVA28/18 มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาการเติม LDHs พบว่าค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากวิฏภาคของแข็งที่เติมในพอลิเมอร์ เกิดอันตรกิริยาระหว่างกันได้ดี ทำให้ฟิล์มสามารถยึดได้มากขึ้น นอกจากนี้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของยังมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้น

ตารางที่ 4.5 สมบัติการรับแรงดึงของพอลิเมอร์

| ฟิล์มพอลิเมอร์ | Tensile Strength at break (MPa) | Elongation at break (%) | Young's modulus (MPa) |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| EVA28 | 5.6±0.7 | 563±71 | 15.4±0.9 |
| EVA28/18 | 5.6±0.4 | 555±37 | 16.7±1.5 |
| EVA28-18/0.5LDHs (M) | 6.3±0.3 | 632±31 | 25.5±3.4 |
| EVA28-18/0.5LDHs (S) | 7.8±1.2 | 728±89 | 27.5±1.0 |

4.7 การทดสอบการซึมผ่านก๊าซ

การทดสอบการซึมผ่านของก๊าซผสม $\text{CH}_4:\text{CO}_2$ อัตราส่วน 60:40 โดยใช้โมดูลเมมเบรนในการทดสอบการแยกก๊าซโดยฟิล์มพอลิเมอร์มีความหนาและความกว้างแสดงในตารางที่ 4.6 เพื่อศึกษาผลของการซึมผ่านก๊าซผสม CO_2/CH_4 สามารถอธิบายการแยกก๊าซผสมได้จากกลไกการละลายร่วมกับการแพร่ (Solution-Diffusion mechanism) โดยใช้ความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซ (Concentration gradient) เป็นแรงผลักดันที่ทำให้ก๊าซเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรน จากการทดสอบการซึมผ่านของก๊าซผสมของฟิล์มพอลิเมอร์สูตรต่าง ๆ (ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการซึมผ่าน ค่าฟลักซ์ของการซึมผ่านก๊าซและค่าคัตสรรก๊าซในภาคผนวก จ) เมื่อพิจารณาการซึมผ่านก๊าซผสม CO_2/CH_4 ของฟิล์มพอลิเมอร์ พบว่ามีค่าฟลักซ์ของก๊าซ CO_2 มากกว่าก๊าซ CH_4 (รูปที่ 4.6) แสดงให้เห็นว่าก๊าซ CO_2 สามารถซึมผ่านออกไปได้มากกว่าก๊าซ CH_4 เนื่องจากก๊าซ CO_2 เกิดอันตรกิริยากับหมู่คาร์บอนิลในไวนิลอะซิเตตของฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีขั้วและโครงสร้างระหว่างชั้นของ LDHs มีคาร์บอนที่ช่วยในการดักจับและดูดซับก๊าซ CO_2 ได้ดี

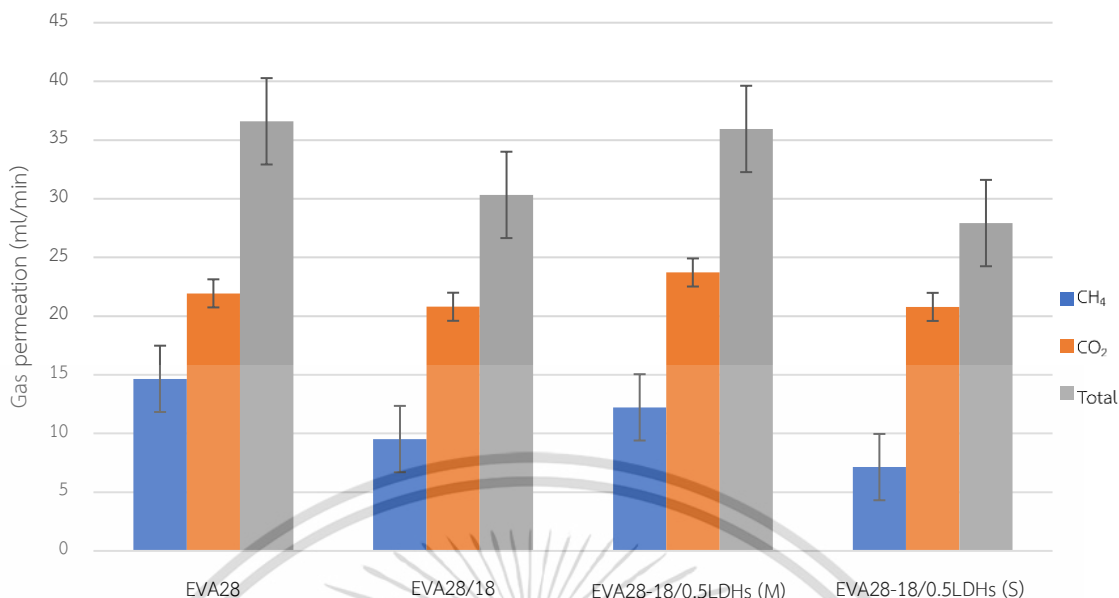
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ความหนาและความกว้างของฟิล์มพอลิเมอร์

| ฟิล์มพอลิเมอร์ | ความหนา (μm) | ความกว้าง (cm) |
|----------------------|---------------------------|----------------|
| EVA28 | 77 \pm 1.2 | 12.0 |
| EVA28/18 | 76 \pm 1.0 | 11.5 |
| EVA28-18/0.5LDHs (M) | 79 \pm 0.8 | 11.0 |
| EVA28-18/0.5LDHs (S) | 83 \pm 1.4 | 12.3 |

จากตารางที่ 4.4 พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28/18 มีค่าร้อยละความเป็นผลึกมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม EVA28 เมื่อนำไปทดสอบการซึมผ่านก๊าซผสม CO_2/CH_4 พบว่าก๊าซซึมผ่านออกมาได้น้อยลง เนื่องจากฟิล์มมีขั้วและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จากผลสัณฐานวิทยาภาคตัดขวาง (รูปที่ 4.3 (a)) ฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28-18/0.5LDHs (M) มีการกระจายตัวของ LDHs ในบริเวณวงภาคของฟิล์มพอลิเมอร์ในลักษณะเป็นกลุ่มก้อน จากรูปที่ 4.6 เมื่อพิจารณาค่าฟลักซ์ของการซึมผ่านก๊าซ พบว่ามีค่าฟลักซ์รวมมากที่สุด มีช่องว่างระหว่างวงภาค ซึ่งเกิดจากการกระจายตัวของ LDHs ที่ไม่ดี ทำให้มีการซึมผ่านของก๊าซ CO_2 และ CH_4 ทั้งสองชนิด และเมื่อพิจารณาผลสัณฐานวิทยาภาคตัดขวาง (จากรูปที่ 4.3 (b)) ฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28-18/0.5LDHs (S) มีการกระจายตัวของ LDHs ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ส่งผลให้ค่าฟลักซ์รวมลดลง ฟิล์มพอลิเมอร์จึงมีการซึมผ่านของก๊าซน้อยลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างวงภาคลดลง จากตารางที่ 2.1 พบว่าก๊าซ CO_2 มีค่า Kinetic diameter น้อยกว่าก๊าซ CH_4 ทำให้ก๊าซซึมผ่านออกมาได้ง่ายและเร็วกว่า ส่งผลให้ก๊าซ CO_2 มีค่าฟลักซ์สูงกว่าก๊าซ CH_4 จากตารางที่ 4.3 พบว่าฟิล์มพอลิเมอร์ของ EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) มีค่ามุมสัมผัสที่ใกล้เคียงกันและมีมุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90° ฟิล์มจึงมีความชอบน้ำและแสดงถึงความมีขั้ว ดังนั้นค่าฟลักซ์ของก๊าซ CO_2 จึงมีค่าใกล้เคียงกันและสูงกว่าค่าฟลักซ์ของก๊าซ CH_4 เนื่องจากมีการหน่วง (Inhibit) การซึมผ่านของก๊าซ CH_4 ที่ไม่มีขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

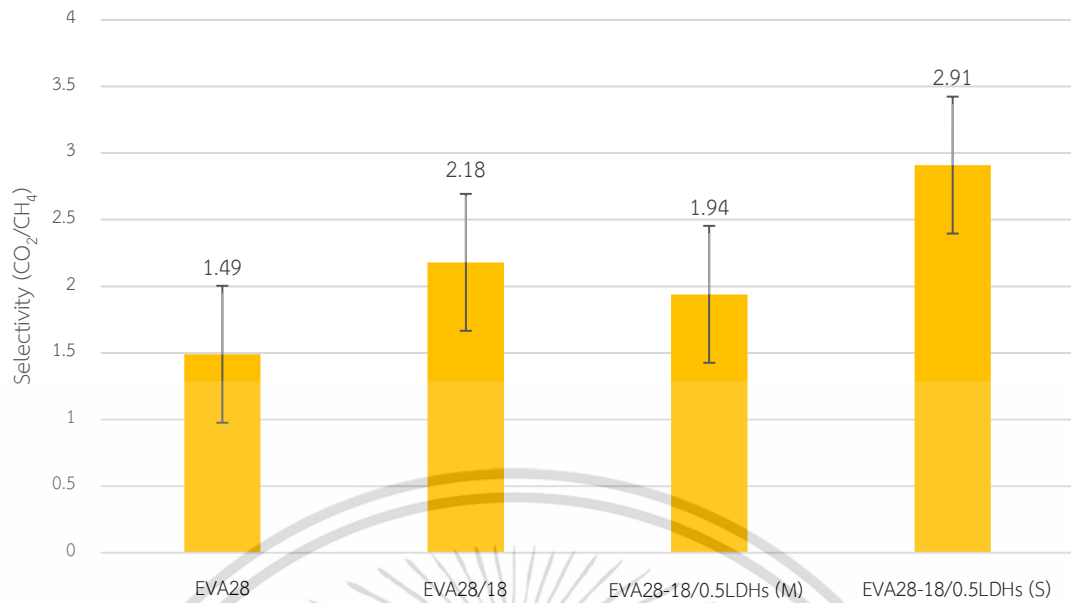


รูปที่ 4.6 ค่าพลักซ์ของการซึมผ่านก๊าซผสมของฟิล์มพอลิเมอร์

เมื่อพิจารณาการเติม EVA18 ในฟิล์ม EVA28/18 พบว่าค่าคัดสรรของก๊าซผสม CO₂/CH₄ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (จากรูปที่ 4.7) เนื่องจากฟิล์มพอลิเมอร์มีปริมาณไวโนลอะซิเตตที่ต่างกันส่งผลให้ค่าคัดสรรก๊าซมากกว่าพอลิเมอร์ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตตชนิดเดียว [3] เมื่อพิจารณาการเติม LDHs ในฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28-18/0.5LDHs (M) พบว่าค่าคัดสรรของก๊าซผสม CO₂/CH₄ ลดลง เนื่องจากการเตรียมมาสเตอร์แบบหลอมเหลวมีการกระจายตัวของ LDHs ที่ไม่ดี เกิดช่องว่างระหว่างวัฏภาค ส่งผลให้ก๊าซ CO₂ และ CH₄ สามารถซึมผ่านได้ดีทั้งสองชนิด แต่เมื่อพิจารณาการเติม LDHs ในฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28-18/0.5LDHs (S) พบว่าค่าคัดสรรของก๊าซผสม CO₂/CH₄ เพิ่มขึ้น มีการซึมผ่านก๊าซ CO₂ ได้ดีกว่า CH₄ เนื่องจากการเตรียมมาสเตอร์แบบสารละลายมีการกระจายของ LDHs ที่ดีกว่า อย่างไรก็ตามการที่ฟิล์มมีขี้เนื่องจากมีหมู่คาร์บอนิลในไวโนลอะซิเตตและโครงสร้างของ LDHs มีคาร์บอนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นสามารถดูดซับและเกิดอันตรกิริยาได้ดีกับก๊าซ CO₂ ทำให้ฟิล์มมีความสามารถในการเลือกผ่านก๊าซ CO₂ สูงกว่าก๊าซ CH₄ (จากรูปที่ 4.6) ส่งผลให้มีค่าคัดสรรก๊าซ (Selectivity) เพิ่มมากขึ้น จึงสรุปได้ว่าค่าคัดสรรของก๊าซขึ้นอยู่กับวิธีการเตรียมมาสเตอร์แบบที่มีการกระจายตัวและการแตกตัวของ LDHs ได้ดีในฟิล์มพอลิเมอร์ เมื่อทำการทดสอบการซึมผ่านของก๊าซผสม CH₄/CO₂ เริ่มต้นที่อัตราส่วนเท่ากับ 60:40 พบว่ามีความเข้มข้นของก๊าซ CH₄

สูงสุดที่ 68.34%

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ค่าคัดสรรของก๊าซผสม CH_4/CO_2 ของฟิล์มพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาฟิล์มเอทิลีนไวโนลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ผสมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (LDHs) สำหรับแยกก๊าซ CO_2/CH_4 จากก๊าซชีวภาพ และทำการเตรียมมาสเตอร์แบทช์ 2 วิธี คือแบบหลอมเหลว (Melt mixing masterbatch) และแบบสารละลาย (Solution casting masterbatch) ระหว่างพอลิเมอร์กับสารเติมแต่ง เพื่อให้สารสามารถกระจายตัวผสมในพอลิเมอร์ได้อย่างทั่วถึง เพื่อเพิ่มค่าการซึมผ่านก๊าซและมีค่าคัตสโตรของก๊าซ CO_2/CH_4 สูงขึ้น ทดสอบการซึมผ่านของก๊าซผสมผ่านโมดูลเมมเบรนโดยใช้กลไกความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซ ทำการศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ ได้แก่ EVA28, EVA28/18, EVA28-18/0.5LDHs (M) และ EVA28-18/0.5LDHs (S) สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

จากผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์พบพีคของ EVA ที่ความยาวคลื่น 1735 cm^{-1} ของหมู่คาร์บอนิล เมื่อมีการเติม EVA18 ส่งผลให้การสั่นยืดของหมู่คาร์บอนิลและการสั่นยืดแบบงอของ CH_3 ลดลง ส่งผลให้ความถี่ลดลง เนื่องจาก EVA18 มีโครงสร้างของเอทิลีนมาก ส่งผลให้พีคลดลง เมื่อพิจารณาการเติม LDHs ทำให้เกิดอันตรกิริยากับหมู่เอสเทอร์และคาร์บอนิลที่ตำแหน่ง 1018 และ 1735 cm^{-1} ตามลำดับ ส่งผลให้ค่า Absorbance ลดลง เกิดการเปลี่ยนแปลงของความถี่เนื่องจากไดโพลโมเมนต์ (Dipole moment) การศึกษาสัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ EVA28/18 มีลักษณะพื้นผิวเรียบและไม่ปรากฏวิภาคของแข็ง เมื่อพิจารณาการเติม LDHs ใน EVA28-18/0.5LDHs (M) พบว่าการกระจายตัวของ LDHs ไม่มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน เนื่องจากในการเตรียมมาสเตอร์แบทช์แบบหลอมเหลวใช้ EVA18 ซึ่งมีความหนืดมาก เมื่อนำไปผสมในเครื่องผสมระบบปิดกับ EVA28 ที่มีความหนืดน้อยกว่า จึงทำให้ LDHs กระจายตัวไม่ดี เมื่อทำการเตรียมมาสเตอร์แบทช์แบบสารละลายพบว่าในฟิล์มพอลิเมอร์ EVA28-18/0.5LDHs (S) มีการกระจายตัวของ LDHs ที่ดีกว่า เนื่องจากการใช้ EVA28 ในการเตรียมมาสเตอร์แบทช์กับสารเติมแต่ง เมื่อนำไปผสมในเครื่องผสมระบบปิดกับ EVA18 ที่มีแรงเฉือนมากทำให้ LDHs กระจายตัวได้ดีขึ้น จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าฟิล์ม EVA28/18 มีค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์ม EVA28 และเมื่อทำการเติม LDHs ส่งผลให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังมีค่าเพิ่มขึ้น สามารถเกิดอันตรกิริยาได้ระหว่างพอลิเมอร์กับสารเติมแต่ง เนื่องจาก LDHs จัดเป็นสารอนินทรีย์มีวิภาคเป็นของแข็ง ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้การกระจายตัวของ LDHs เข้าไปหน่วงการเกิดผลึกของ EVA ส่งผลให้ค่า

ร้อยละการยืดและค่ามอดูลัสของยังของ EVA มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ผลจากการทดสอบมอดูลัสพบว่าฟิล์มทุกชนิดมีค่ามอดูลัสที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาณของ LDHs ที่อยู่ในฟิล์มค่อนข้างน้อย จึงไม่ส่งผลต่อ

ค่ามัมสัมพัทธ์ เมื่อนำมาทดสอบการซึมผ่านก๊าซผสม CO_2/CH_4 พบว่าฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S) มีค่าคัตสรรของก๊าซผสม CO_2/CH_4 เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการเตรียมมาสเตอร์แบบบสารละลายมีการกระจายตัวของ LDHs ได้ดีในฟิล์มพอลิเมอร์ ฟิล์มจึงมีความแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้ก๊าซ CO_2 และ CH_4 ซึมผ่านออกมาได้ยาก อย่างไรก็ตามการที่ฟิล์มมีขี้วเนื่องจากมีหมู่คาร์บอนิลในไวนิลอะซิเตตและโครงสร้างของ LDHs มีคาร์บอนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นสามารถดูดซับและเกิดอันตรกิริยาได้ดีกับก๊าซ CO_2 และก๊าซ CO_2 มีค่า Kinetic dimeter น้อยกว่าก๊าซ CH_4 ส่งผลให้ก๊าซซึมผ่านออกมาได้ง่ายและเร็วกว่า ทำให้ค่าพลักซ์สูงขึ้นและมีความสามารถในการเลือกผ่านก๊าซ CO_2 สูงกว่าก๊าซ CH_4 ส่งผลให้มีค่าคัตสรรก๊าซเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติม LDHs ช่วยในการขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการอัดรีดแบบเป่าฟิล์มได้ง่าย ดังนั้นจึงเลือกฟิล์มสูตร EVA28-18/0.5LDHs (S) ที่มีค่าการคัตสรรก๊าซสูงที่สุด เมื่อทำการทดสอบการซึมผ่านก๊าซผสม CO_2/CH_4 เริ่มต้นที่อัตราส่วนเท่ากับ 60:40 พบว่ามีความเข้มข้นของก๊าซ CH_4 สูงสุดที่ 68.34%

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเพิ่มปริมาณของสารเติมแต่ง LDHs เพื่อเพิ่มค่าการซึมผ่านและคัตสรรของก๊าซได้สูงขึ้น
2. ควรเพิ่มจำนวนโมดูลเมมเบรน เพิ่มพื้นที่ในการซึมผ่านก๊าซผสมของฟิล์มพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท ยูเอซี โกลบอล จำกัด (มหาชน). 2564. **ก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน**. [Online]. Available : <https://www.uac.co.th/th/knowledge-sharing/347/biogas>
- [2] ขจรศักดิ์ เพ็ญนวกิจ, ชัยธัช สติตันทเดชา และชิตพล วฤทธิกุล. 2562. “การพัฒนาเยื่อเลือกผ่านและระบบเยื่อเลือกผ่านเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ.” โครงการวิจัยฝ่ายบริหารกองทุนพัฒนาไฟฟ้า, สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน.
- [3] Aleksandra, W., Piotr, K. and Andrzej J. 2013. “Effect of The Acetate Group Content on Gas Permeation Through Membranes Based on Poly(Ethylene-Co-Vinyl Acetate) and Its Blends.” *Journal of Membrane Science*. 443 : 227–236.
- [4] Seyyed, M., Morteza, S., M. Mohammad, Y. M. H., Mahdi, P. C., Reza, R. A. and Mohammad S. 2008. “Study of Gas Separation Properties of Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Copolymer Membranes Prepared Via Phase Inversion Method.” *Separation and Purification Technology*. 62 : 642–64.
- [5] Xiaozhi, X., Lingyu, Z., Biao, L., Zeya, Y. and Jingbin H. 2023. “Modulation on Interlayer Channels of LDH/Polymer Hybrid Membranes for Efficient CO₂ Separation.” *Applied Surface Science*. 618 : 156651.
- [6] Nai-Yi, H., Cheng-Chien, W. and Chuh-Yung, C. 2021. “Ethylene Vinyl Acetate Copolymer/Mg–Al-Layered Double Hydroxide Nanocomposite Membranes Applied in CO₂/N₂ Gas.” *Chemical Engineering Research and Design*. 170 : 239-247.
- [7] Prachya, W., Suparat, R., Artit, A., Chonlada, R. and Tawan, S. 2021 “Atmospheric CO₂/CH₄ Permeability of EVA Copolymer/SiO₂ Composite Membrane for Biogas Purification.” *Applied Polymer*.
- [8] บริษัท โกลบอล เพาเวอร์ ซินเนอร์ยี จำกัด (มหาชน). 2564. **พลังงานทดแทน**. [Online]. Available : <https://www.gpscgroup.com/th/news/982/>
- [9] สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2556. **โครงการศึกษามาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน**. Available : <https://www.eppo.go.th/images/Power/renewable-energy/15.pdf>
- [10] วิภาดา ศิริอนุสรณ์ศักดิ์, สุภางค์ จุฬาลักษณ์านุกูล และวรุฒิ จุฬาลักษณ์านุกูล. 2553. “ก๊าซชีวภาพ แหล่งพลังงานทดแทน.” คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] บริษัท เอ็นเนอร์ยี วิชั่น จำกัด. 2563. **พลังงานก๊าซชีวภาพ**. [Online]. Available : <http://www.energyvision.co.th/14432517/>.
- [12] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์. 2562. **การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยเทคนิคดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารละลายเอมีน (MEA)**. [Online]. Available : https://stri.cmu.ac.th/article_detail.php?id=20
- [13] สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2559. **กระบวนการแยกสารของเมมเบรน**. [Online]. Available : https://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/488077/d41d8cd98f00b204e9800998ecf8427e?Resolve_DOI=10.14457/CU.the.2009.241
- [14] Ebenezer, L., George, Z. C. 2015. “Produced Water Treatment Technologies.” *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 1-21.
- [15] Domenico De Meis. 2017. **Overview on Porous Inorganic Membranes for Gas Separation**. [Online]. Available : https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-Membrane-separation_fig2_315797652
- [16] Synder Filtration. 2022. **Plate and Frame Membranes**. [Online]. Available : <https://synderfiltration.com/learning-center/articles/module-configurations-process/plate-and-frame-membranes/>
- [17] Synder Filtration. 2022. **Tubular Membranes**. [Online]. Available : <https://synderfiltration.com/learning-center/articles/module-configurations-process/tubular-membranes/>
- [18] Synder Filtration. 2022. **Hollow Fiber Membranes**. [Online]. Available : <https://synderfiltration.com/learning-center/articles/module-configurations-process/hollow-fiber-membranes/>
- [19] Thomas, H., Matthias, W. 2015. “Chapter Thirteen-Gas-Gas Separation by Membranes.” *Progress in Filtration and Separation*. 557-584.
- [20] ปานไพลิน สีหาราช. 2556. “เมมเบรนสำหรับการแยกก๊าซไฮโดรเจน.” *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*. 22(2) : 138-153.
- [21] Kailash, C. K., Takeshi, M. 2021. “Mechanism.” *Nanotechnology in Membrane Processes*. 29 : 171-197.
- [22] Colin, S., Geoff, S. and Sandra, K. 2010. “Carbon Dioxide Separation through Polymeric Membrane Systems for Flue Gas.” *Recent Patents on Chemical Engineering*. 52-66.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] ศิริรัตน์ ตั้งสถิตพร. 2550. “การเตรียมและการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์เมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงสำหรับการกรองน้ำผลไม้.” วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [24] มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2560. **พอลิเมอร์เบลนด์**. [Online]. Available : <https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/7309/5/Chapter2.pdf>
- [25] MDR International Co., Ltd. 2014. **ETHYLENE VINYL ACETATE (EVA)**. [Online]. Available : <https://www.mdr-thai.com/ethylene-vinyl-acetate-eva/>
- [26] ศูนย์สารสนเทศการวิจัย สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ. 2014. **เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์**. [Online]. Available : https://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/603054/12c258479ce1153ba945324082c69c31?Resolve_DOI=10.14457/CU.the.2013.1984
- [27] จุฑาทิพย์ อัจฉมพู และอนุชิต วิเชียรชม. 2558. “การประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติซิลิกาเมสเทอร์แบบในยางร่วมกับ EPDM เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์หลังคายาง.” คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- [28] James, L., White, K. M. 1989. “Mixing of Polymers.” *Comprehensive Polymer Science and Supplement*. 7 : 285-302.
- [29] Janak, S. 2011. “Influence of Clay Modification on Curing Kinetics of Natural Rubber Nanocomposites.” Master of Science Thesis.
- [30] บริษัท พลาสติกมาร์ท จำกัด. 2015. **กระบวนการอัดรีดแบบเป่าถุง**. [Online]. Available : https://packaging.oie.go.th/new/admin_control/file_technology/5379124860.pdf
- [31] บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน). 2021. **Blown Film Extrusion**. [Online]. Available : <http://www.irpcmarket.com/upload/infobox/65bf41754bce1176260cec14830ae209-doc.pdf>
- [32] Sadeghi, M., Khanbabaei, G., Saeedi, H. A., Sadeghi, M., Aravanda, A. M., Akbarzadec, M. and Khatti, S. 2008. “Gas Permeation Properties of Ethylene Vinyl Acetate–Silica Nanocomposite Membranes.” *Journal of Membrane Science*. 322 : 423-428.
- [33] พงษ์ณัฏญ์ วิเศษสุวรรณ. 2563. “การปรับปรุงฟิล์มโคพอลิเมอร์พอลิเอทิลีน-ไวนิลอะซิเตตเพื่อคัดสรรคาร์บอนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพ.” โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้ [34] โสรญา เรืองดิษฐ์. 2560. “การดัดแปลงเมมเบรนพอลิซัลโฟนสำหรับแยกแก๊ส CO_2/CO_4 โดยรั้วไม่ว่ากรณีใดเทคนิคพลาสติก.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ใช้

- [35] Fajrina, N., Yusof, N., Ismail, A. F., Jaafar, J., Aziz, F., Salleh, W. N. W. and Nordin, N. A. H. 2021. "MgAl-CO₃ Layered Double Hydroxide as Potential Filler in Substrate Layer of Composite Membrane for Enhanced Carbon Dioxide Separation." *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9 : 106-164.
- [36] Zamiri, A. M., Kargari, A. and Sanaeepur, H. 2015. "Ethylene Vinyl Acetate/Poly(Ethylene glycol) Blend Membranes for CO₂/N₂ Separation." *Greenhouse Gas Sci Technol*. 5 : 668-681.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

FTIR สเปกตรัม



รูปที่ ก-1 FTIR สเปกตรัมของฟิล์ม EVA28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



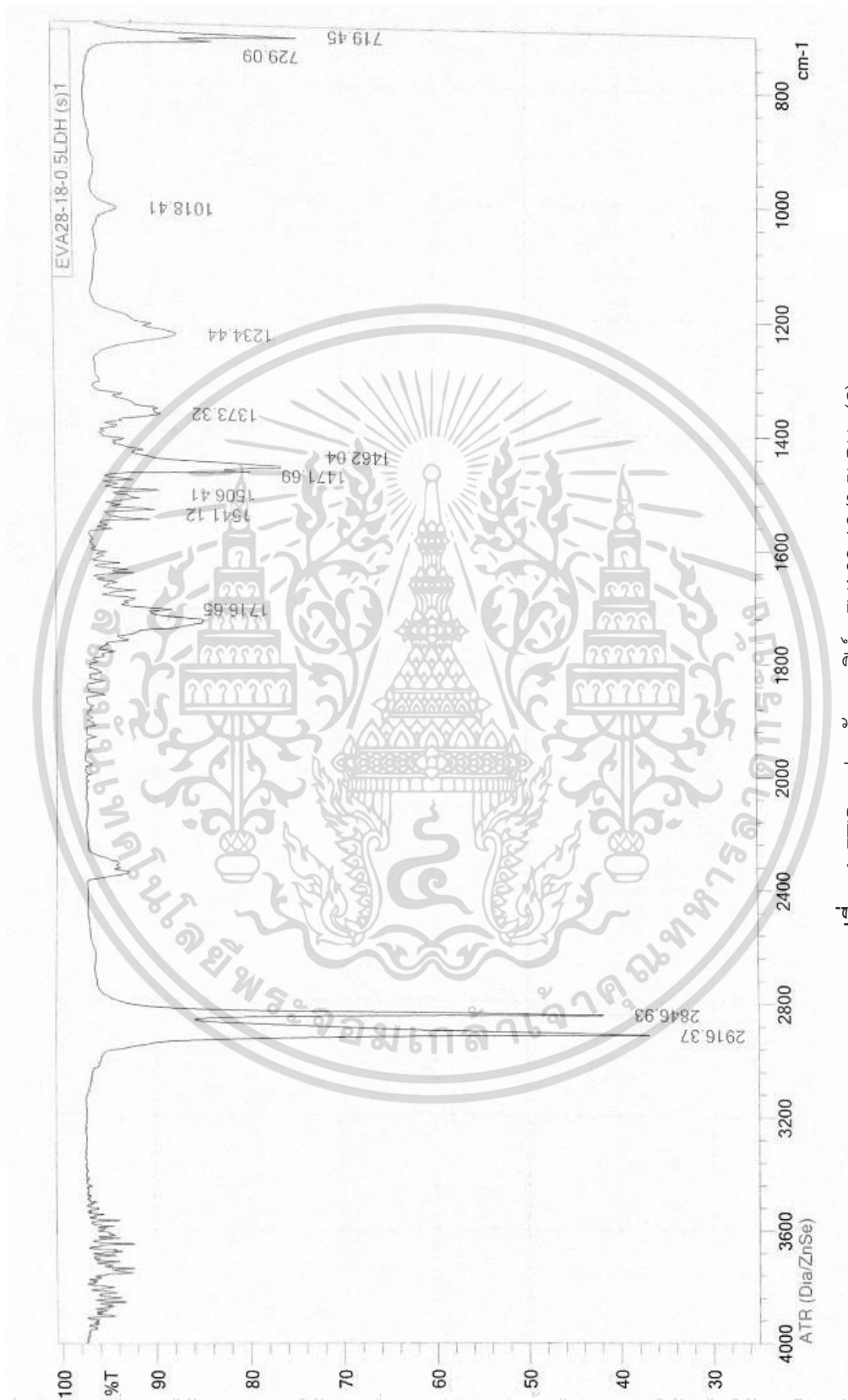
รูปที่ ก-2 FTIR สเปกตรัมของฟิล์ม EVA28/18

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-3 FTIR สเปกตรัมของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (M)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



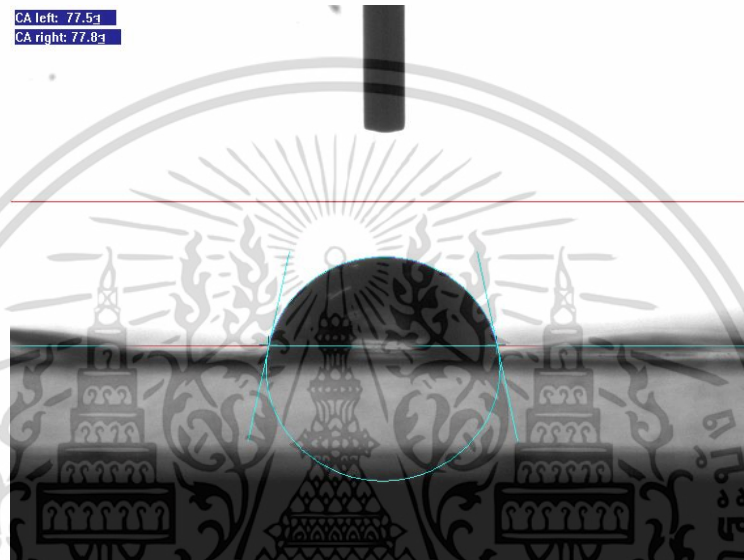
รูปที่ ก-4 FTIR สเปกตรัมของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

มุมมองสัมผัสของชิ้นงานพอลิเมอร์

บนพื้นผิว



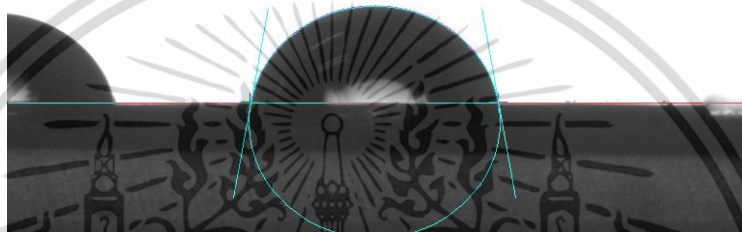
รูปที่ ข-1 ภาพมุมมองสัมผัสที่พื้นผิวของฟิล์ม EVA28



รูปที่ ข-2 ภาพมุมมองสัมผัสที่พื้นผิวของฟิล์ม EVA28/18

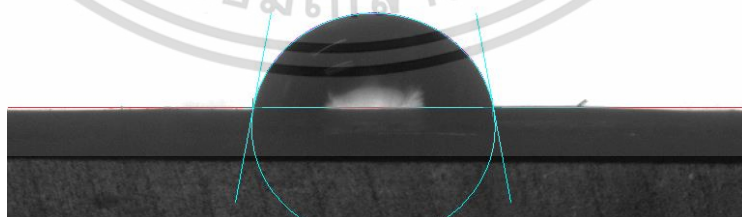
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CA left: 79.7๓
CA right: 79.9๓



รูปที่ ข-3 ภาพมัมส์ที่พื้นผิวของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (M)

CA left: 79.2๓
CA right: 79.4๓



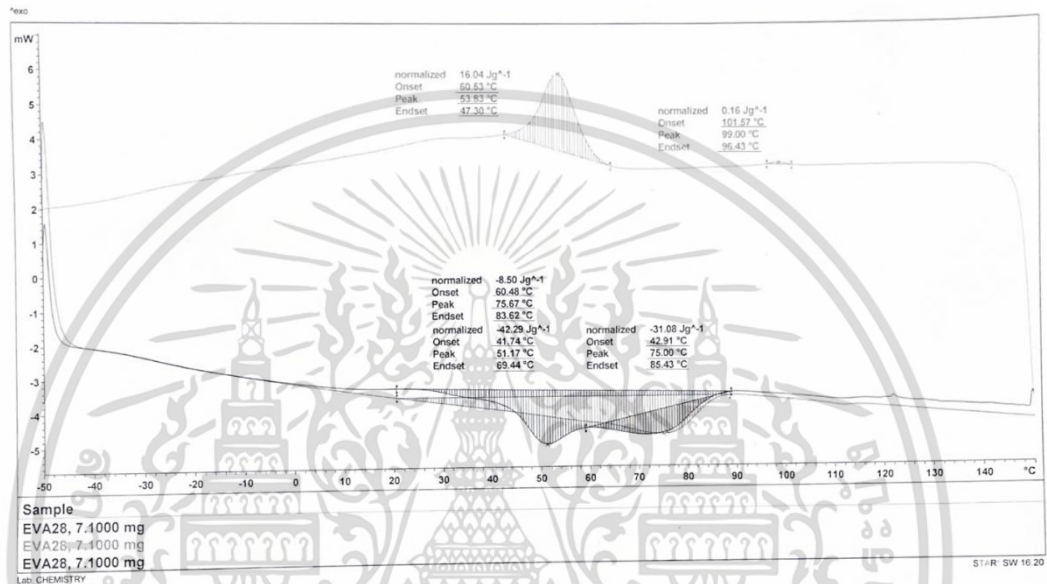
รูปที่ ข-4 ภาพมัมส์ที่พื้นผิวของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

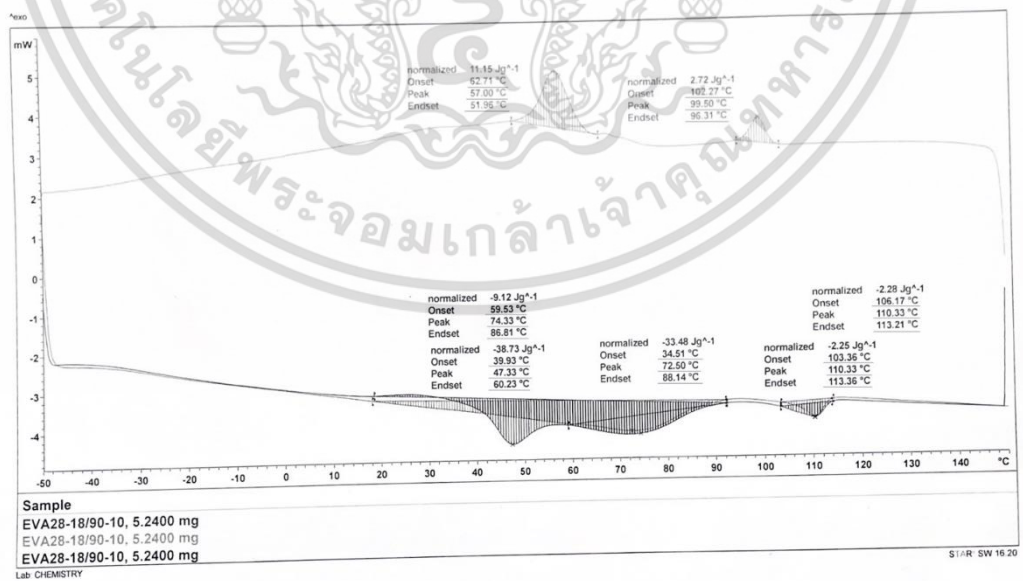
ภาคผนวก ค

สมบัติทางความร้อน

เทคนิค DSC

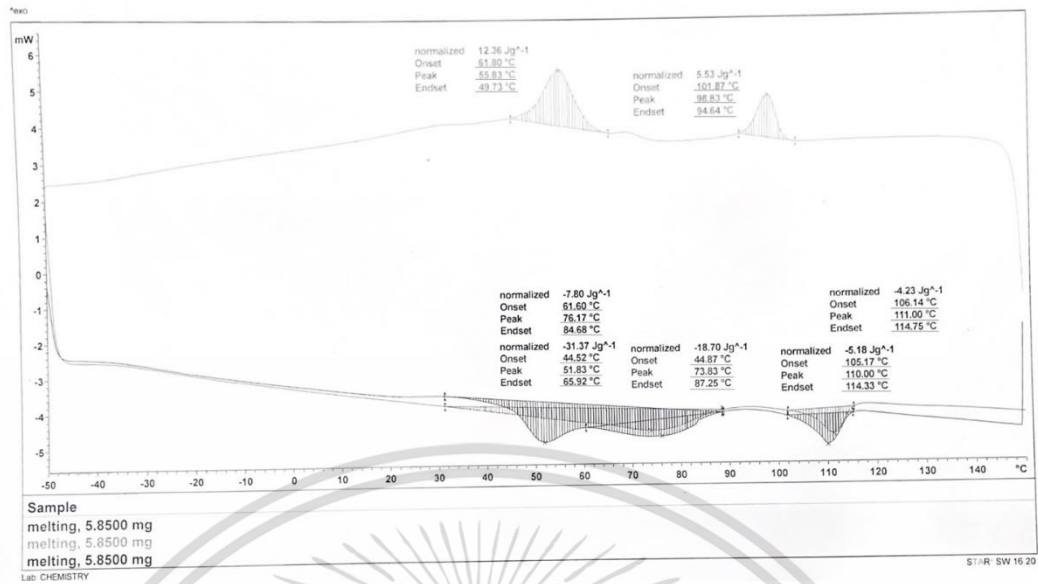


รูปที่ ค-1 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม EVA28

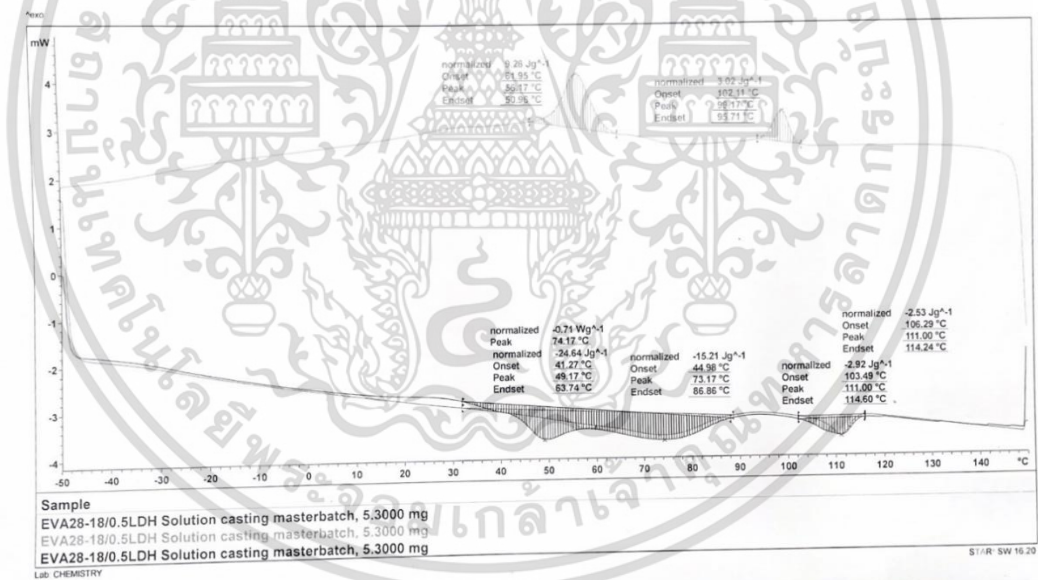


รูปที่ ค-2 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม EVA28/18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่แนะนำให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-3 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (M)



รูปที่ ค-4 DSC เทอร์โมแกรมของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าร้อยละความเป็นผลึกของ EVA ในฟิล์มพอลิเมอร์

| สูตร | T _c (°C) | T _{m1} (°C) | ΔH _{f1} (J/g) | % Crystallinity 1 st Heating | T _{m2} (°C) | ΔH _{f2} (J/g) | % Crystallinity 2 nd Heating |
|---------------------|---------------------|----------------------|------------------------|--|----------------------|------------------------|--|
| EVA28 | 54 | 51,76 | 42.29 | 14.4 | 75 | 31.08 | 10.6 |
| EVA28/18 | 57 | 47,74 | 38.73 | 13.2 | 73 | 33.48 | 11.4 |
| EVA28-18/0.5LDH (M) | 56 | 52,76 | 31.37 | 10.7 | 74 | 18.70 | 6.4 |
| EVA28-18/0.5LDH (S) | 56 | 49,74 | 24.64 | 8.4 | 73 | 15.21 | 5.1 |

ตารางที่ ค-1 ร้อยละความเป็นผลึก (% Crystallinity) ของ EVA ในฟิล์มพอลิเมอร์สูตรต่าง ๆ

ค่าร้อยละความเป็นผลึก

$$\text{ร้อยละความเป็นผลึก} = \left(\frac{\Delta H_f \times 100}{\Delta H_f^\circ} \right) \times \left(\frac{100}{\text{EVA ในฟิล์ม (\% wt.)}} \right)$$

เมื่อ $\Delta H_f^\circ = 293 \text{ J/g}$ (PE ที่มีความเป็นผลึก 100%)

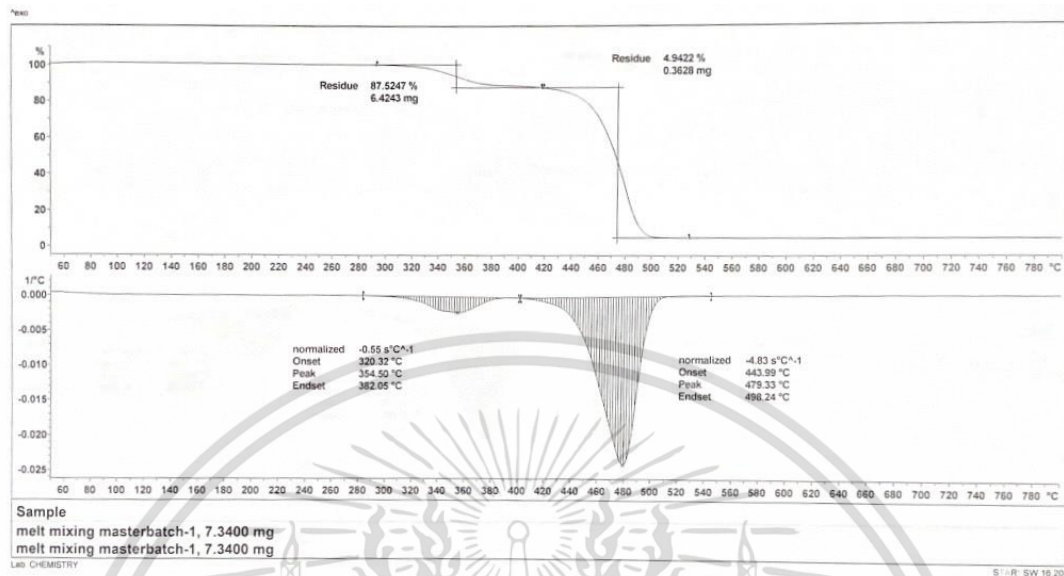
ตัวอย่างการคำนวณ ; $\Delta H_f = 38.41 \text{ J/g}$ (EVA28/18)

$$\text{ร้อยละความเป็นผลึก} = \left(\frac{33.48 \times 100}{293} \right) \times \frac{100}{100}$$

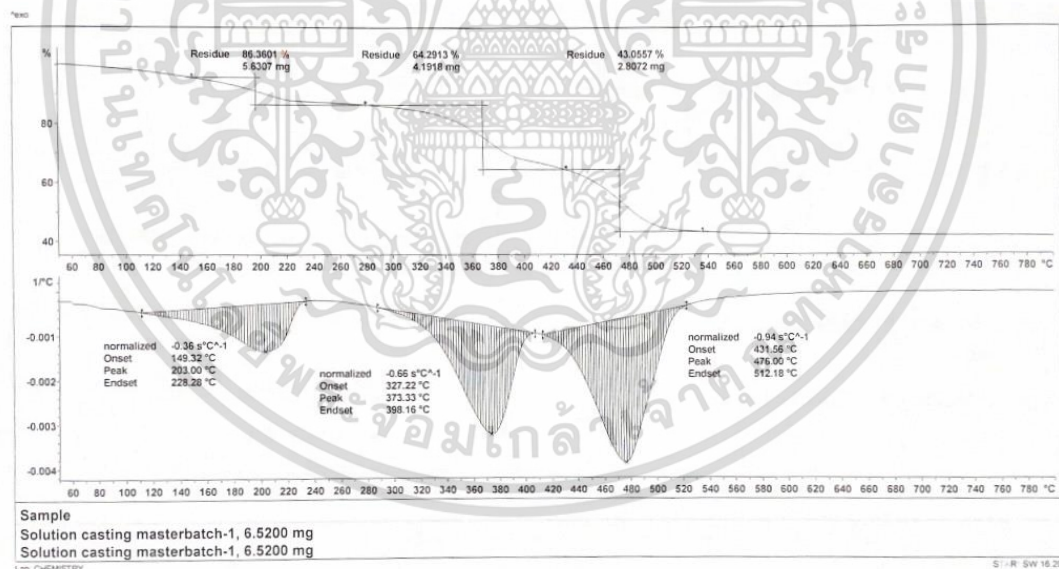
ดังนั้น ร้อยละความเป็นผลึกของ EVA28/18 มีค่าเท่ากับ 11.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิค TGA



รูปที่ ค-5 TGA เทอร์โมแกรมของ Masterbatch 5% by Melt mixing



รูปที่ ค-6 TGA เทอร์โมแกรมของ Masterbatch 46.67% by Solution casting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

สมบัติเชิงกล

ตารางที่ ง-1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28

| EVA28 | ความหนา (μm) | Tensile Strength at break (MPa) | Elongation at break (%) | Young's modulus (MPa) |
|-------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | 75 | 6.9 | 687 | 15.2 |
| 2 | 78 | 7.2 | 721 | 18.5 |
| 3 | 76 | 5.6 | 558 | 20.8 |
| 4 | 78 | 5.7 | 568 | 15.7 |
| 5 | 76 | 6.6 | 661 | 19.7 |
| AVG | 77 | 5.6 | 563 | 15.4 |
| SD | 1.2 | 0.7 | 71 | 0.9 |

ตารางที่ ง-2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28/18

| EVA28/18 | ความหนา (μm) | Tensile Strength at break (MPa) | Elongation at break (%) | Young's modulus (MPa) |
|----------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | 77 | 5.7 | 573 | 16.8 |
| 2 | 78 | 5.0 | 500 | 15.5 |
| 3 | 75 | 5.7 | 565 | 15.4 |
| 4 | 76 | 6.0 | 597 | 16.6 |
| 5 | 76 | 5.4 | 542 | 19.1 |
| AVG | 76 | 5.6 | 555 | 16.7 |
| SD | 1.0 | 0.4 | 37 | 1.5 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

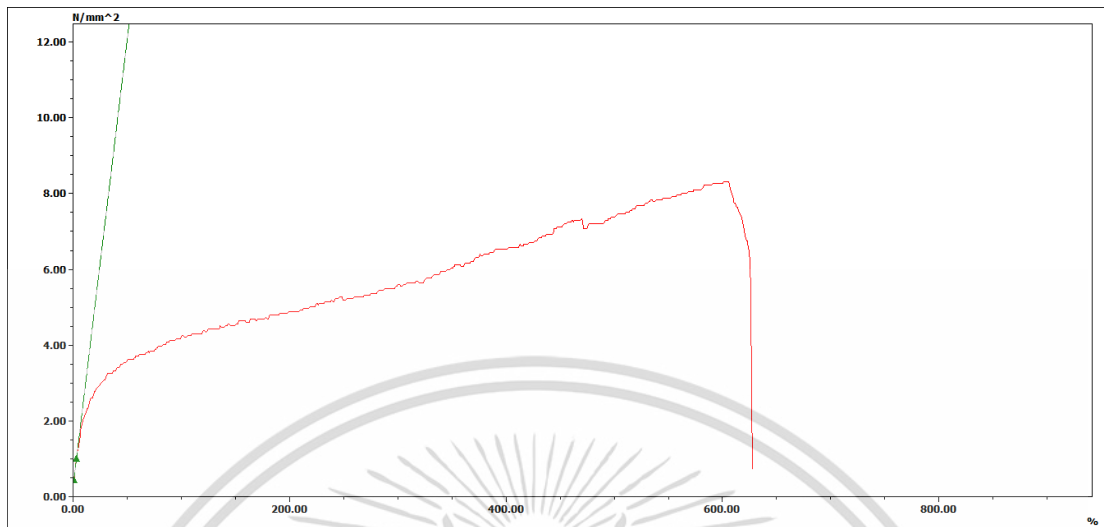
ตารางที่ ง-3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (M)

| EVA28-18/0.5LDHs (M) | ความหนา (μm) | Tensile Strength at break (MPa) | Elongation at break (%) | Young's modulus (MPa) |
|----------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | 80 | 6.2 | 620 | 25.2 |
| 2 | 79 | 6.1 | 608 | 28.1 |
| 3 | 78 | 6.7 | 669 | 29.2 |
| 4 | 78 | 6.6 | 662 | 20.5 |
| 5 | 78 | 6.0 | 603 | 24.7 |
| AVG | 79 | 6.3 | 632 | 25.5 |
| SD | 0.8 | 0.3 | 31 | 3.4 |

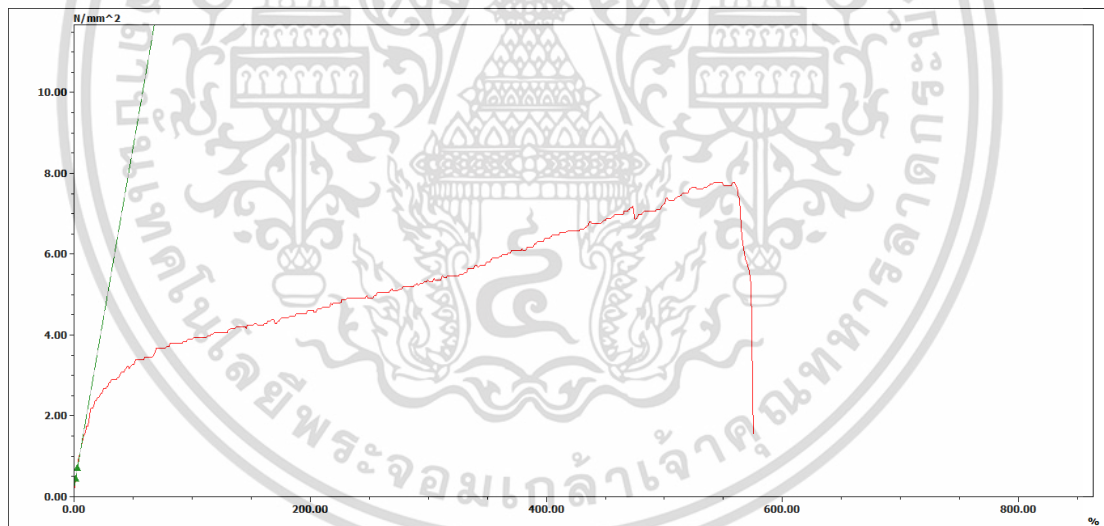
ตารางที่ ง-4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S)

| EVA28-18/0.5LDHs (S) | ความหนา (μm) | Tensile Strength at break (MPa) | Elongation at break (%) | Young's modulus (MPa) |
|----------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | 85 | 8.7 | 766 | 26.7 |
| 2 | 83 | 6.8 | 647 | 28.9 |
| 3 | 82 | 6.3 | 627 | 26.6 |
| 4 | 82 | 8.8 | 838 | 27.1 |
| 5 | 85 | 8.5 | 763 | 28.0 |
| AVG | 83 | 7.8 | 728 | 27.5 |
| SD | 1.4 | 1.2 | 89 | 1.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

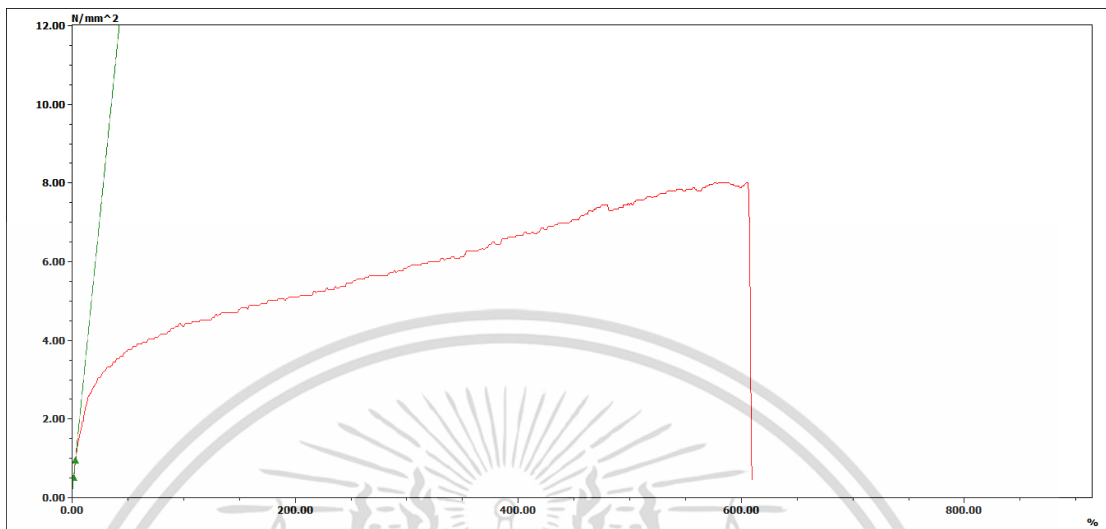


รูปที่ ง-1 ตัวอย่างกราฟ Stress-Time ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28

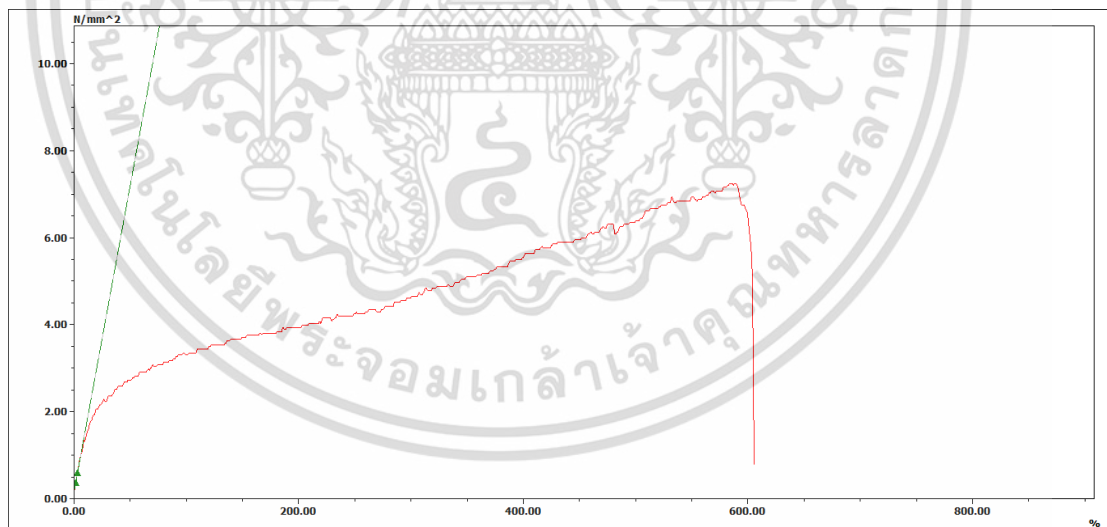


รูปที่ ง-2 ตัวอย่างกราฟ Stress-Time ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม EVA28/18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-3 ตัวอย่างกราฟ Stress-Time ในการทดสอบสมบัติเชิงกล
ของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (M)



รูปที่ ง-4 ตัวอย่างกราฟ Stress-Time ในการทดสอบสมบัติเชิงกล
ของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDHs (S)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การทดสอบการซึมผ่านก๊าซ CO₂/CH₄

การคำนวณหาค่าการซึมผ่านก๊าซ CO₂/CH₄ ของฟิล์มพอลิเมอร์

อัตราการซึมผ่านก๊าซก่อนเข้าไมโครลემเบรนของฟิล์มพอลิเมอร์

ตารางที่ จ-1 อัตราการซึมผ่านก๊าซก่อนเข้าไมโครลემเบรนชนิดต่าง ๆ

| Sample | Total Flow _n (mL/min) | Gas Ratio | | | | | Normalize | | Feed | |
|---------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | CH ₄ | CO ₂ | O ₂ | H ₂ S | Bal | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ |
| EVA28 | 207.53 | 61.0 | 38.3 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 61.43 | 38.57 | 127.49 | 80.05 |
| EVA28/18 | 198.94 | 61.1 | 37.9 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 61.72 | 38.28 | 122.78 | 76.16 |
| EVA28-18/0.5LDH (M) | 199.47 | 62.9 | 36.3 | 0.4 | 1.0 | 0.0 | 62.15 | 37.85 | 123.98 | 75.49 |
| EVA28-18/0.5LDH (S) | 198.28 | 60.8 | 38.4 | 0.3 | 1.0 | 0.4 | 61.29 | 38.71 | 121.53 | 76.75 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow rate (ml/min)

$$\text{Flow rate} = \frac{V \times 60 \text{ s}}{t \times \text{min}}$$

เมื่อ V = ปริมาณของฟองอากาศ (Bubble flow) (ml)

t = เวลาเฉลี่ย (s)

ตัวอย่างการคำนวณของฟิล์ม EVA28/18 ; V = 50 ml, t = 60 s

$$\begin{aligned} \text{Flow rate} &= \frac{50 \text{ ml} \times 60 \text{ s}}{14.9 \text{ s} \times \text{min}} \\ &= 201.34 \text{ ml/min} \end{aligned}$$

ดังนั้น Flow rate ของฟิล์ม EVA28/18 มีค่าเท่ากับ 201.34 ml/min

Normalize ของก๊าซ CO₂ และ CH₄

$$\text{Normalize gas (CO}_2\text{)} = \frac{\% \text{gas CO}_2 \times 100}{\% \text{gas CH}_4 + \% \text{gas CO}_2}$$

$$\text{Normalize gas (CH}_4\text{)} = \frac{\% \text{gas CH}_4 \times 100}{\% \text{gas CH}_4 + \% \text{gas CO}_2}$$

ตัวอย่างการคำนวณของฟิล์ม EVA28/18 ; %CO₂ = 37.9 %CH₄ = 61.1

$$\begin{aligned} \text{Normalize gas (CO}_2\text{)} &= \frac{37.9 \times 100}{61.1 + 37.9} \\ &= 38.28 \end{aligned}$$

$$\text{Normalize gas (CH}_4\text{)} = \frac{61.1 \times 100}{61.1 + 37.9}$$

$$= 61.72$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น Normalize gas ของก๊าซ CO₂ มีค่าเท่ากับ 38.28

Normalize gas ของก๊าซ CH₄ มีค่าเท่ากับ 61.72

Feed gas (CO₂ และ CH₄) (mL/min)

$$\text{Feed gas (CO}_2\text{)} = \frac{\text{total flow} \times \text{Normalize gas (CO}_2\text{)}}{100}$$

$$\text{Feed gas (CH}_4\text{)} = \frac{\text{total flow} \times \text{Normalize gas (CH}_4\text{)}}{100}$$

ตัวอย่างการคำนวณของฟิล์ม EVA28/18 ; total flow rate = 198.94 mL/min, Normalize gas (CO₂) = 38.28, Normalize gas (CH₄) = 61.72

$$\text{Feed gas (CO}_2\text{)} = \frac{198.94 \text{ mL/min} \times 38.28}{100}$$

$$= 76.16 \text{ mL/min}$$

$$\text{Feed gas (CH}_4\text{)} = \frac{198.94 \text{ mL/min} \times 61.72}{100}$$

$$= 122.78 \text{ mL/min}$$

ดังนั้น อัตราการไหลของก๊าซ CO₂ มีค่าเท่ากับ 76.16 mL/min

อัตราการไหลของก๊าซ CH₄ มีค่าเท่ากับ 122.78 mL/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการซึมผ่านก๊าซหลังเข้าโมดูลเมมเบรนของฟิล์มพอลิเมอร์

ตารางที่ จ-2 อัตราการซึมผ่านก๊าซหลังเข้าโมดูลเมมเบรนของฟิล์ม EVA

| Time (min) | Total Flow _{in} (mL/min) | Gas Ratio | | | | | Normalize | | | Retentate | | | Permeate | | Total Permeate | Selectivity | %CH ₄ |
|------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------|------------------|
| | | CH ₄ | CO ₂ | O ₂ | H ₂ S | Bal | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ | | | |
| 20 | 169.15 | 63.8 | 32.5 | 1.4 | 0.0 | 2.2 | 66.25 | 33.75 | 112.06 | 57.09 | 169.15 | 12.86 | 22.96 | 35.82 | 1.79 | 66.25 | |
| 40 | 168.11 | 63.8 | 32.8 | 1.3 | 0.0 | 2.2 | 66.05 | 33.95 | 111.03 | 57.08 | 168.11 | 16.46 | 22.97 | 39.43 | 1.40 | 66.05 | |
| 60 | 171.72 | 63.6 | 32.8 | 1.6 | 0.0 | 2.0 | 65.98 | 34.02 | 113.30 | 58.43 | 171.72 | 14.19 | 21.62 | 35.81 | 1.52 | 65.98 | |
| 80 | 172.56 | 63.6 | 32.7 | 1.6 | 0.0 | 2.0 | 66.04 | 33.96 | 113.97 | 58.60 | 172.56 | 13.52 | 21.45 | 34.97 | 1.59 | 66.04 | |
| 100 | 172.89 | 63.3 | 32.7 | 1.5 | 0.0 | 2.2 | 65.94 | 34.06 | 114.00 | 58.89 | 172.89 | 13.49 | 21.16 | 34.64 | 1.57 | 65.94 | |
| 120 | 171.01 | 63.4 | 32.7 | 1.9 | 0.0 | 1.9 | 65.97 | 34.03 | 112.82 | 58.19 | 171.01 | 14.67 | 21.86 | 36.53 | 1.49 | 65.97 | |

ตารางที่ จ-3 อัตราการซึมผ่านก๊าซหลังเข้าโมดูลเมมเบรนของฟิล์ม EVA28/18

| Time (min) | Total Flow _{in} (mL/min) | Gas Ratio | | | | | Normalize | | | Retentate | | | Permeate | | Total Permeate | Selectivity | %CH ₄ |
|------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------|------------------|
| | | CH ₄ | CO ₂ | O ₂ | H ₂ S | Bal | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ | | | |
| 20 | 168.63 | 65.2 | 32.8 | 0.0 | 1.0 | 2.0 | 66.53 | 33.47 | 112.19 | 56.44 | 168.63 | 10.59 | 19.72 | 30.31 | 1.86 | 66.53 | |
| 40 | 168.63 | 65.4 | 32.5 | 0.0 | 0.0 | 2.1 | 66.80 | 33.20 | 112.65 | 55.98 | 168.63 | 10.13 | 20.18 | 30.31 | 1.99 | 66.80 | |
| 60 | 168.86 | 65.5 | 32.3 | 0.1 | 0.0 | 2.2 | 66.97 | 33.03 | 113.09 | 55.77 | 168.86 | 9.69 | 20.39 | 30.08 | 2.10 | 66.97 | |
| 80 | 168.25 | 67.0 | 32.1 | 0.1 | 1.0 | 0.8 | 67.60 | 32.39 | 113.75 | 54.50 | 168.25 | 9.03 | 21.66 | 30.69 | 2.40 | 67.61 | |
| 100 | 168.44 | 66.7 | 32.1 | 0.1 | 1.0 | 1.1 | 67.51 | 32.49 | 113.71 | 54.73 | 168.44 | 9.07 | 21.43 | 30.50 | 2.36 | 67.51 | |
| 120 | 168.89 | 66.7 | 32.0 | 0.1 | 1.0 | 1.2 | 67.58 | 32.42 | 114.13 | 54.76 | 168.89 | 8.65 | 21.40 | 30.05 | 2.48 | 67.58 | |

ตารางที่ จ-4 อัตราการซึมผ่านก๊าซหลังเข้าโมดูลเมมเบรนของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDH (M)

| Time (min) | Total Flow _{in} (mL/min) | Gas Ratio | | | | Normalize | | | Retentate | | Total Retentate | | Permeate | | Total Permeate | Selectivity | %CH ₄ |
|------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------|------------------|
| | | CH ₄ | CO ₂ | O ₂ | H ₂ S | Bal | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ | | | |
| 20 | 168.92 | 65.2 | 31.4 | 0.0 | 1.0 | 3.3 | 32.51 | 67.49 | 32.51 | 114.01 | 54.90 | 168.92 | 9.67 | 20.58 | 30.55 | 2.07 | 67.49 |
| 40 | 171.72 | 65.2 | 31.0 | 0.1 | 1.0 | 3.7 | 32.22 | 67.78 | 32.22 | 116.38 | 55.34 | 171.72 | 7.59 | 20.16 | 27.75 | 2.65 | 67.78 |
| 60 | 167.70 | 66.5 | 30.7 | 0.4 | 3.0 | 2.4 | 31.58 | 68.42 | 31.58 | 114.73 | 52.97 | 167.70 | 9.25 | 22.52 | 31.77 | 2.44 | 68.42 |
| 80 | 163.84 | 66.1 | 30.4 | 0.4 | 2.0 | 3.2 | 31.50 | 68.50 | 31.50 | 112.23 | 51.61 | 163.84 | 11.75 | 23.88 | 35.63 | 2.03 | 68.50 |
| 100 | 163.22 | 65.9 | 30.6 | 0.3 | 1.0 | 3.2 | 31.71 | 68.29 | 31.71 | 111.46 | 51.76 | 163.22 | 12.52 | 23.73 | 36.25 | 1.90 | 68.29 |
| 120 | 163.49 | 65.5 | 30.5 | 0.3 | 1.0 | 3.6 | 31.77 | 68.23 | 31.77 | 111.55 | 51.94 | 163.49 | 12.43 | 23.55 | 35.98 | 1.89 | 68.23 |

ตารางที่ จ-5 อัตราการซึมผ่านก๊าซหลังเข้าโมดูลเมมเบรนของฟิล์ม EVA28-18/0.5LDH (S)

| Time (min) | Total Flow _{in} (mL/min) | Gas Ratio | | | | Normalize | | | Retentate | | Total Retentate | | Permeate | | Total Permeate | Selectivity | %CH ₄ |
|------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------|------------------|
| | | CH ₄ | CO ₂ | O ₂ | H ₂ S | Bal | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ | CH ₄ | CO ₂ | | | |
| 20 | 176.53 | 61.8 | 32.1 | 0.0 | 1.0 | 6.1 | 34.19 | 65.81 | 34.19 | 116.18 | 60.35 | 176.53 | 5.34 | 16.41 | 21.75 | 3.07 | 65.81 |
| 40 | 173.31 | 63.9 | 32.5 | 0.0 | 1.0 | 3.6 | 33.71 | 66.29 | 33.71 | 114.88 | 58.43 | 173.31 | 6.65 | 18.32 | 24.97 | 2.76 | 66.29 |
| 60 | 171.92 | 63.8 | 32.2 | 0.0 | 1.0 | 3.9 | 33.54 | 66.46 | 33.54 | 114.26 | 57.66 | 171.92 | 7.27 | 19.09 | 26.36 | 2.63 | 66.46 |
| 80 | 170.26 | 65.8 | 31.8 | 0.0 | 3.0 | 2.4 | 32.58 | 67.42 | 32.58 | 114.79 | 55.47 | 170.26 | 6.74 | 21.28 | 28.02 | 3.16 | 67.42 |
| 100 | 171.14 | 65.1 | 31.8 | 0.1 | 2.0 | 3.0 | 32.82 | 67.18 | 32.82 | 114.98 | 65.16 | 171.14 | 6.55 | 20.59 | 27.14 | 3.14 | 67.18 |
| 120 | 169.68 | 64.7 | 32.1 | 0.1 | 2.0 | 3.1 | 32.16 | 66.84 | 32.16 | 113.41 | 56.27 | 169.68 | 8.11 | 20.49 | 28.6 | 2.52 | 66.84 |

Flow rate (ml/min)

$$\text{Flow rate} = \frac{V \times 60 \text{ s}}{t \times \text{min}}$$

เมื่อ V = ปริมาณของฟองอากาศ (Bubble flow) (ml)

t = เวลาเฉลี่ย (s)

ตัวอย่างการคำนวณของฟิล์ม EVA28/18 ; $V = 50 \text{ ml}$, $t = \text{s}$ (จับเวลา 60 นาที)

$$\text{Flow rate} = \frac{50 \text{ ml} \times 60 \text{ s}}{17.59 \text{ s} \times \text{min}}$$

$$= 170.55 \text{ ml/min}$$

ดังนั้น Flow rate ของฟิล์ม EVA28/18 มีค่าเท่ากับ 170.55 ml/min

Normalize ของก๊าซ CO₂ และ CH₄

$$\text{Normalize gas (CO}_2\text{)} = \frac{\% \text{gas CO}_2 \times 100}{\% \text{gas CH}_4 + \% \text{gas CO}_2}$$

$$\text{Normalize gas (CH}_4\text{)} = \frac{\% \text{gas CH}_4 \times 100}{\% \text{gas CH}_4 + \% \text{gas CO}_2}$$

ตัวอย่างการคำนวณของฟิล์ม EVA28/18 ; $\% \text{CO}_2 = 32.3$, $\% \text{CH}_4 = 65.5$ (จับเวลา 60 นาที)

$$\text{Normalize gas (CO}_2\text{)} = \frac{32.3 \times 100}{65.5 + 32.3}$$

$$= 33.03$$

$$\text{Normalize gas (CH}_4\text{)} = \frac{65.5 \times 100}{65.5 + 32.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 66.97 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น Normalize gas ของก๊าซ CO₂ มีค่าเท่ากับ 33.03

Normalize gas ของก๊าซ CH₄ มีค่าเท่ากับ 66.97

Retentate (CO₂ และ CH₄) (mL/min)

$$\text{Retentate (CO}_2\text{)} = \frac{\text{Flow rate} \times \text{Normalize gas (CO}_2\text{)}}{100}$$

$$\text{Retentate (CH}_4\text{)} = \frac{\text{Flow rate} \times \text{Normalize gas (CH}_4\text{)}}{100}$$

ตัวอย่างการคำนวณของฟิล์ม EVA28/18 ; Flow rate = 168.86 mL/min, Normalize gas (CO₂) = 33.03, Normalize gas (CH₄) = 66.97 (จับเวลา 60 นาที)

$$\text{Retentate (CO}_2\text{)} = \frac{168.86 \text{ mL/min} \times 33.03}{100}$$

$$= 55.77 \text{ mL/min}$$

$$\text{Retentate (CH}_4\text{)} = \frac{168.86 \text{ mL/min} \times 66.97}{100}$$

$$= 113.09 \text{ mL/min}$$

$$\text{Retentate}_{\text{total}} = \text{Retentate (CO}_2\text{)} + \text{Retentate (CH}_4\text{)}$$

$$= 55.77 \text{ mL/min} + 113.09 \text{ mL/min}$$

$$= 168.86 \text{ mL/min}$$

ดังนั้น Retentate ของก๊าซ CO₂ มีค่าเท่ากับ 55.77 mL/min

Retentate ของก๊าซ CH₄ มีค่าเท่ากับ 113.09 mL/min

Total Retentate มีค่าเท่ากับ 168.86 mL/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Permeate (CO₂ และ CH₄) (ml/min)

$$\text{Permeate (CO}_2\text{)} = \text{Feed gas (CO}_2\text{)}_{\text{ก่อนเข้าโมดูล}} - \text{Retentate (CO}_2\text{)}$$

$$\text{Permeate (CH}_4\text{)} = \text{Feed gas (CH}_4\text{)}_{\text{ก่อนเข้าโมดูล}} - \text{Retentate (CH}_4\text{)}$$

ตัวอย่างการคำนวณของฟิล์ม EVA28/18 ; Feed gas (CO₂) = 76.16 ml/min, Feed gas (CH₄) = 122.78 ml/min, Retentate (CO₂) = 55.77 ml/min, Retentate (CH₄) = 113.09 ml/min (จับเวลา 60 นาที)

$$\begin{aligned} \text{Permeate (CO}_2\text{)} &= 76.16 \text{ ml/min} - 55.77 \text{ ml/min} \\ &= 20.39 \text{ ml/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Permeate (CH}_4\text{)} &= 122.78 \text{ ml/min} - 113.09 \text{ ml/min} \\ &= 9.69 \text{ ml/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Permeate}_{\text{total}} &= \text{Permeate (CO}_2\text{)} + \text{Permeate (CH}_4\text{)} \\ &= 20.39 \text{ ml/min} + 9.69 \text{ ml/min} \\ &= 30.08 \text{ ml/min} \end{aligned}$$

ดังนั้น Permeate ของก๊าซ CO₂ มีค่าเท่ากับ 20.39 ml/min

Permeate ของก๊าซ CH₄ มีค่าเท่ากับ 9.69 ml/min

Total Permeate มีค่าเท่ากับ 30.08 ml/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-6 ค่าฟลักซ์ของฟิล์มพอลิเมอริชนิดต่าง ๆ (ml/s. m^2)

| Time (min) | Permeate | | Total Permeate | | Permeate | | Total Permeate | | Permeate | | Total Permeate | |
|------------|-----------------|-----------------|----------------|----------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|--|
| | CH ₄ | CO ₂ | EVA28 | EVA28/18 | CH ₄ | CO ₂ | EVA28/18/0.5LDH (M) | EVA28-18/0.5LDH (S) | CH ₄ | CO ₂ | EVA28-18/0.5LDH (S) | |
| 20 | 0.18 | 0.32 | 0.49 | 0.42 | 0.15 | 0.27 | 0.42 | 0.42 | 0.07 | 0.23 | 0.30 | |
| 40 | 0.23 | 0.32 | 0.54 | 0.42 | 0.14 | 0.28 | 0.42 | 0.38 | 0.09 | 0.25 | 0.34 | |
| 60 | 0.20 | 0.30 | 0.49 | 0.41 | 0.13 | 0.28 | 0.41 | 0.44 | 0.10 | 0.26 | 0.36 | |
| 80 | 0.19 | 0.30 | 0.48 | 0.42 | 0.12 | 0.30 | 0.42 | 0.49 | 0.09 | 0.29 | 0.39 | |
| 100 | 0.19 | 0.29 | 0.48 | 0.42 | 0.12 | 0.30 | 0.42 | 0.50 | 0.09 | 0.28 | 0.37 | |
| 120 | 0.20 | 0.30 | 0.50 | 0.41 | 0.12 | 0.29 | 0.41 | 0.50 | 0.11 | 0.28 | 0.39 | |
| AVG | 0.20 | 0.30 | 0.50 | 0.42 | 0.13 | 0.29 | 0.42 | 0.46 | 0.09 | 0.27 | 0.36 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Flux of CO}_2 = \frac{\text{Permeate (CO}_2\text{)}}{A \times 60 \text{ s}}$$

$$\text{Flux of CH}_4 = \frac{\text{Permeate (CH}_4\text{)}}{A \times 60 \text{ s}}$$

$$\text{Flux}_{\text{total}} = \frac{\text{Total Permeate}}{A \times 60 \text{ s}}$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ของฟิล์ม มีค่าเท่ากับ 1.21 m^2

ตัวอย่างการคำนวณของฟิล์ม EVA28/18 ; Permeate (CO₂) = 20.39 ml/min, Permeate (CH₄) = 9.69 ml/min, Total Permeate = 30.08 ml/min, (จับเวลา 60 นาที)

$$\text{Flux of CO}_2 = \frac{20.39 \text{ ml/min}}{1.21 \text{ m}^2 \times 60 \text{ s}}$$

$$= 0.28 \text{ ml/s. m}^2$$

$$\text{Flux of CH}_4 = \frac{9.69 \text{ ml/min}}{1.21 \text{ m}^2 \times 60 \text{ s}}$$

$$= 0.13 \text{ ml/s. m}^2$$

$$\text{Flux}_{\text{total}} = \frac{30.08 \text{ ml/min}}{1.21 \text{ m}^2 \times 60 \text{ s}}$$

$$= 0.41 \text{ ml/s. m}^2$$

ดังนั้น ค่าฟลักซ์ของก๊าซ CO₂ มีค่าเท่ากับ 0.28 ml/s. m^2

ค่าฟลักซ์ของก๊าซ CH₄ มีค่าเท่ากับ 0.13 ml/s. m^2

ค่าฟลักซ์ของก๊าซ CO₂/CH₄ มีค่าเท่ากับ 0.41 ml/s. m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคัดสรร (Selectivity)

ตารางที่ จ-7 ค่าคัดสรรของก๊าซ CO₂/CH₄ ของฟิล์มพอลิเมอร์

| Time (min) | EVA | EVA28/18 | EVA28-18/0.5LDHs (M) | EVA28-18/0.5LDHs (S) |
|------------|------|----------|----------------------|----------------------|
| 20 | 1.49 | 1.86 | 2.07 | 3.07 |
| 40 | 1.40 | 1.99 | 2.65 | 2.76 |
| 60 | 1.52 | 2.10 | 2.44 | 2.63 |
| 80 | 1.59 | 2.40 | 2.03 | 3.16 |
| 100 | 1.57 | 2.36 | 1.90 | 3.14 |
| 120 | 1.49 | 2.48 | 1.89 | 2.52 |
| AVG | 1.51 | 2.20 | 2.16 | 2.88 |
| SD | 0.07 | 0.25 | 0.31 | 0.28 |

$$\text{Selectivity} = \frac{\text{Flux (CO}_2\text{)}}{\text{Flux (CH}_4\text{)}}$$

ตัวอย่างการคำนวณของฟิล์ม EVA28/18 ; Flux (CO₂) = ml/s.m², Flux (CH₄) = ml/s.m²
(จับเวลา 60 นาที)

$$\begin{aligned} \text{Selectivity} &= \frac{0.28 \text{ ml/s.m}^2}{0.13 \text{ ml/s.m}^2} \\ &= 2.10 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าคัดสรรของก๊าซในฟิล์ม EVA28/18 มีค่าเท่ากับ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%CH₄ purity

$$\%CH_4 \text{ purity} = \frac{\text{Retentate (CH}_4\text{)} \times 100}{\text{total Retentate}}$$

ตัวอย่างการคำนวณของฟิล์ม EVA28/18 ; Retentate (CH₄) = 113.09 ml/min,
Total Retentate = ml/min, (จับเวลา 60 นาที)

$$\begin{aligned} \%CH_4 \text{ purity} &= \frac{113.09 \text{ ml/min} \times 100}{168.86 \text{ ml/min}} \\ &= 66.97 \end{aligned}$$

ดังนั้น %ความบริสุทธิ์ของก๊าซ CH₄ ที่ได้จากฟิล์ม EVA28/18 มีค่าเท่ากับ 66.97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 22 มิถุนายน 2566

ข้าพเจ้า นางสาว กิตติญา วะหาโร รหัสประจำตัว 62050260

นางสาว อุไรพร ทองคำภา รหัสประจำตัว 62050363

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษเรื่อง

ชื่อภาษาไทย: फिल्मเอทิลีนไวไนลอะซิเตดโคพอลิเมอร์ผสมเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ สำหรับแยกก๊าซ
CO₂/CH₄ จากก๊าซชีวภาพ

ชื่อภาษาอังกฤษ: EVA COPOLYMER FILM FILLED WITH LAYER DOUBLE HYDROXIDES (LDHs) FOR
CO₂/CH₄ SEPARATION FROM BIOGAS

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้
แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 4.69 %

ลงชื่อ.....

ลงชื่อ.....

(กิตติญา วะหาโร)

(อุไรพร ทองคำภา)

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้น
แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

ลงชื่อ.....

ลงชื่อ.....

(ผศ.ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์)

(ศ.ดร. ตะวัน สุขน้อย)

(ผศ.ดร. สุภารัตน์ รักชลธี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องยื่นไปยังถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้