

การพัฒนาวัสดุดูดซับโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยใช้โพลี  
(อะมิโดเอมีน) เดนไดเมอร์/โพลีอะนิลีน แอโรเจล

DEVELOPMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC  
HYDROCARBONS ADSORBENT USING POLY(AMIDOAMINE)  
DENDRIMERS/POLYANILINE AEROGEL



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการปีการศึกษาที่ 2565 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC  
HYDROCARBONS ADSORBENT USING POLY(AMIDOAMINE)  
DENDRIMERS/POLYANILINE AEROGEL



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIRMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาวัสดุดูดซับโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยใช้โพลี(อะมิโดเอมีน)เดนไดเมอร์/โพลีอะนิลีนแอรโอเจล	
ชื่อนักศึกษา	นางสาว ทิราพร กุมารทิพย์	รหัสนักศึกษา 62050288
	นาย ธนฤช พานิชย์เลิศอำไพ	รหัสนักศึกษา 62050289
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)	
ภาควิชา	เคมี	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2665	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ เดชศรี	

### บทคัดย่อ

โพลี (อะมิโดเอมีน) เดนไดเมอร์/โพลีอะนิลีนแอรโอเจลถูกใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับการดูดซับโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ได้แก่ แนพทาลีน, อะซีนาฟทีลีน, ฟิแนนทรีน, ไพรีน และฟลูออรีนในสิ่งแวดล้อม โดยโพลีอะนิลีนถูกสังเคราะห์จากการเกิดอินเทอร์เฟเชียลโพลีเมอร์โรเซชันกับโพลี (สไตรีนซัลโฟเนต) (PSS) และโพลี(อะมิโดเอมีน) เดนไดเมอร์/โพลีอะนิลีนถูกสังเคราะห์โดยอันตรกิริยาทางไฟฟ้าสถิตระหว่างไอออนซัลโฟนิกเชิงลบ ( $-SO_3^-$ ) ของโพลีอะนิลีน-PSS และแอมโมเนียมบวก ( $NH_4^+$ ) ของโพลี(อะมิโดเอมีน) เดนไดเมอร์ โดยตัวดูดซับแอรโอเจลจะถูกสร้างขึ้นโดยกระบวนการทำให้แห้งแบบเยือกแข็งโดยใช้คาร์ราจีแนน/โพลี(ไวนิลแอลกอฮอล์) เป็นโครงสร้างหลัก กลไกการดูดซับของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) บนโพลี(อะมิโดเอมีน) เดนไดเมอร์/โพลีอะนิลีนแอรโอเจล จะแสดงอันตรกิริยาไพ-ไพ ( $\pi-\pi$  interaction) ตัวของแอรโอเจลมีฐานวิทยาศาสตร์ที่มีรูพรุนในปริมาณที่มาก ซึ่งอาจจะสามารถทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ

**คำสำคัญ :** ตัวดูดซับ; โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน; โพลี(อะมิโดเอมีน)เดนไดเมอร์; โพลีอะนิลีนแอรโอเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Development of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Adsorbent using Poly(Amidoamine) Dendrimer/Polyaniline Aerogel	
<b>Student</b>	Miss. Teeraporn Kumarnthip	Student ID 62050288
	Mr. Thanakrit Panitlertamphai	Student ID 62050289
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)	
<b>Department</b>	Chemistry	
<b>School</b>	Science	
<b>University</b>	King Mongkut' s Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
<b>Academic Year</b>	2022	
<b>Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr.Ekarat Detsri	

### Abstract

Poly(amidoamine) dendrimer/polyaniline aerogel was used as adsorbent for adsorption of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), Naphthalene, Acenaphthylene, Phenanthrene, Pyrene and Fluorene in environmental samples. Polyaniline was synthesized by interfacial polymerization using poly(styrene sulfonate) (PSS) as the dispersion template. Poly(amidoamine) dendrimer/polyaniline was synthesized by electrostatic interaction between negatively sulfonic ( $-SO_3^-$ ) anion of polyaniline-PSS and positively ammonium ( $NH_4^+$ ) cation of poly(amidoamine) dendrimer. Adsorbent aerogel was constructed by molecular precursors by freeze-dry processing using carrageenan/poly(vinyl alcohol) as the building template. The adsorption mechanism of the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on the electrostatic poly(amidoamine) dendrimer/polyaniline aerogel showed the  $\pi$ - $\pi$  stacking interaction. The aerogel presents a more fluffy porous morphology, which can be acted as adsorbent.

**Keywords:** Adsorbent; Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; poly(amidoamine) dendrimer; Polyaniline Aerogel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านและหน่วยงานที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำ อำนวยความสะดวกต่างๆ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ เดชศรี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ที่ให้คำแนะนำ ข้อคิด ความรู้ และความช่วยเหลือ ตั้งแต่เริ่มการทดลอง จนถึงตรวจทานโครงการพิเศษเล่มนี้ให้มีความถูกต้อง เรียบร้อยและสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณในความทุ่มเทของอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจนรงค์ เมธาวิสรเสริญและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ที่มีความกรุณาในการมาเป็นกรรมการสอบ และให้คำปรึกษาในโครงการพิเศษนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย ทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ครูอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้รวมถึงผู้สนับสนุนท่านอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องและมิได้เอ่ยนามทุกท่าน ซึ่งมีส่วนแนะนำและให้กำลังใจจนโครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ทีราพร กุมารทิพย์

ธนภุช พานิชย์เลิศอำไพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำย่อและสัญลักษณ์.....	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs).....	3
2.1.1 คุณสมบัติและโครงสร้างทั่วไป.....	3
2.1.2 แหล่งที่มาของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	4
2.1.3 ผลกระทบจากโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	5
2.2 พอลิเมอร์ (Polymer).....	5
2.2.1 คาราจีแนน (Carrageenan).....	5
2.2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของคาราจีแนน.....	6
2.2.1.2 คุณสมบัติคาราจีแนน.....	7
2.2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA).....	7
2.2.2.1 โครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	7
2.2.2.2 คุณสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	7
2.2.3 พอลิอะนิลีน (Polyaniline).....	8
2.2.3.1 คุณสมบัติของพอลิอะนิลีน.....	8
2.2.3.2 โครงสร้างของพอลิอะนิลีน.....	8
2.2.4 พอลิอะมิโดเอมีน (poly(amidoamine) dendrimers, PAMAM).....	9
2.2.5 แอร์เจล (Aerogel).....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.5.1 Biorefinery Approach for Aerogels.....	10
2.2.5.2 Lotacarrageenan-based magnetic aerogels as an efficient adsorbent for heavy metals from aqueous solutions.....	12
2.2.5.3 Enhanced microwave absorption performances of polyaniline/graphene aerogel by covalent bonding.....	15
2.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ (Characterization).....	21
2.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible Spectrophotometer).....	21
2.3.2 การวิเคราะห์ประจุบนพื้นผิวด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer).....	22
2.3.3 เครื่องวิเคราะห์คุณลักษณะพื้นที่ผิว (Surface Area Analyzer).....	22
2.3.4 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Attenuated Total Reflection-fourier transform infrared ).....	23
2.3.5 เครื่อง High-Performance Liquid Chromatography (HPLC).....	24
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
2.4.1 Ultrasound-assisted magnetic solid-phase extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons and nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons from water samples with a magnetic polyaniline modified graphene oxide nanocomposite.....	24
2.4.2 Poorly-crystallized Poly(vinyl alcohol)/Carrageenan matrix: Highly ionic conductiflame-retardant gel polymer electrolytes for safe and flexible solid-state supercapacitors.....	32
2.4.3 พอลิเมอร์นำไฟฟ้าพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีดีสเพอร์ชันพอลิเมอร์ไรเซชัน Conducting Polyaniline Produced from Dispersion Polymerization.....	34
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>37</b>
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.3 วิธีทำการทดลอง.....	38
3.3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ PANI/PSS โดยวิธีการ Interfacial Polymerization.....	38
3.3.1.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์สารละลาย PANI/PSS.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ PANI/PAMAM.....	39
3.3.2.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์สารละลาย PANI/PAMAM.....	40
3.3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM.....	40
3.3.3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan.....	40
3.3.3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVA.....	42
3.3.3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PSS.....	43
3.3.3.4 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM... 44	44
3.3.4 การตรวจวัดปริมาณ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ในน้ำด้วย Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM.....	46
3.3.4.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons..	46
3.3.4.2 การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ของ Aerogel Carrageenan/PVAPANI/PAMAM.....	47
3.3.4.2.1 การศึกษาขนาดของ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.....	47
3.3.4.2.2 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการดูดซับของ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.....	48
3.3.4.2.3 การศึกษาชนิดของสารละลายที่ใช้ชะ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.....	49
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....</b>	<b>51</b>
4.1 การสังเคราะห์ Carrageenan/Poly(vinyl alcohol)/Polyaniline/Poly(styrene sulfonate)/Poly(amidoamine) dendrimers Aerogel.....	51
4.1.1 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีน/พอลิสไตรีนซัลโฟเนต (PANI/PSS) โดยวิธีพอลิเมอไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาค (Interfacial polymerization).....	51
4.1.2 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เดนไดเมอร์ (PANI/PAMAM).....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.3 การสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล (Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM aerogel).....	57
4.1.3.1 การสังเคราะห์คาร์ราจีแนนแอโรเจล (Carrageenan aerogel).....	59
4.1.3.2 การสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์แอโรเจล (Carrageenan/PVA aerogel).....	60
4.1.3.3 การสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิสไตรีนซัลโฟเนต แอโรเจล (Carrageenan/PVA/PANI/PSS aerogel).....	61
4.1.3.4 การสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล (Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM aerogel).....	62
4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ของคาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล.....	65
4.2.1 กราฟมาตรฐานของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.....	65
4.2.1.1 โคโรมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Naphthalene....	67
4.2.1.2 โคโรมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Acenaphthylene88	
4.2.1.3 โคโรมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Phenanthrene... 69	
4.2.1.4 โคโรมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Pyrene.....	70
4.2.1.5 โคโรมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Fluorene.....	71
4.3 การศึกษาการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล.....	72
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>76</b>
5.1 สรุปผลวิจัย.....	76
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	76
เอกสารอ้างอิง.....	77
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพของ PAHs.....	4
2.2 ผลการตรวจสอบสำหรับวิธี MSPE-GC-MS.....	29
2.3 ผลการวิเคราะห์ PAHs และ N-PAHs ในตัวอย่างน้ำจริง.....	30
2.4 การเปรียบเทียบวิธี MSPE-GC-MS ที่พัฒนาขึ้นกับวิธีอื่นๆ สำหรับการหาปริมาณ PAHs และ N-PAHs.....	31
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.2 แสดงเครื่องมือพิสูจน์เอกลักษณ์.....	39
3.3 แสดงอัตราส่วนของ PANI/PAMAM.....	40
3.4 แสดงเครื่องมือพิสูจน์เอกลักษณ์.....	40
3.5 แสดงเครื่องมือพิสูจน์เอกลักษณ์.....	42
3.6 แสดงเครื่องมือพิสูจน์เอกลักษณ์ Aerogel Carrageenan/PVA.....	43
3.7 แสดงเครื่องมือพิสูจน์เอกลักษณ์ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PSS.....	44
3.8 แสดงเครื่องมือพิสูจน์เอกลักษณ์ Aerogel Carrageenan/PVAPANI/PAMAM.....	46
4.1 ลักษณะและผล BET ของ Carrageenan aerogel.....	59
4.2 ลักษณะและผล BET ของ Carrageenan/PVA aerogel.....	60
4.3 ผลของการขึ้นรูป Carrageenan/PVA/PANI/PSS aerogel ที่ PANI/PSS ที่ pH ต่างๆ.....	61
4.4 ผล BET และการขึ้นรูป Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM aerogel ที่ PAMAM ความเข้มข้น 0.006 – 0.12 % wt./v.....	62
4.5 สูตรในการสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์ แอโรเจล.....	63
4.6 สภาวะเทคนิค High Performance Liquid Chromatography, HPLC ในการวิเคราะห์สารมาตรฐาน Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.....	65
4.7 ตารางสรุปสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานของ Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.....	72
4.8 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณคาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล ที่มีผลต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.....	74
4.9 การศึกษาอิทธิพลของเวลา ที่มีผลต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons บนวัสดุดูดซับ คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล.....	74
4.10 การศึกษาอิทธิพลของสารชะ ที่มีผลต่อการชะ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ออกจากวัสดุดูดซับคาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล.....	74

เอกสารนี้เป็นของกรมที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในหน่วยงานนี้ ไม่สามารถพิมพ์ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของ PAHs.....	3
2.2 โครงสร้างโมเลกุลคาราจีแนนชนิดต่างๆ.....	6
2.3 โครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA).....	7
2.4 โครงสร้างทางเคมีของพอลิอะนิลีนแบบต่างๆ สมบัติทางไฟฟ้า สี การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์และปฏิกิริยา กรด-เบส.....	9
2.5 โครงสร้างของเดนไดเมอร์ที่ประกอบด้วยแกนกลาง หน่วยย่อยที่ซ้ำกันซึ่งก่อตัวเป็นรู้น และกลุ่ม ปลายบนผิวเดนไดเมอร์ แกนกลางคือรู้น 0 (G0); รู้น 1 (G1), รู้น 2 (G2) และรู้น 3 (G3) หมายถึงเดนได เมอร์ที่มีการแตกแขนงระดับที่หนึ่ง สอง และสามตามลำดับ.....	10
2.6 ภาพสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันของ lignosulfonate/K-carrageenan (a,b) และ carbon.....	11
2.7 คาราจีแนน แอโรเจลที่เตรียมผ่านการเกิดเจลด้วย KSCN: (a) โมโนลิธที่ทำจากสารละลายของความ เข้มข้นของพอลิเมอร์ (จากข้าวไปขวา) 1; 1.5; 2; 2.5 และ 3;3 % โดยน้ำหนัก, (b) ภาพจากกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวที่แตกหักของแอโรเจลที่ทำจากสารละลาย 1 % โดย น้ำหนัก.....	12
2.8 ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนของโลหะหนัก % สำหรับแอโรเจล.....	13
2.9 พฤติกรรมการดูดซับสีย้อมสำหรับแอโรเจลที่เตรียมไว้.....	13
2.10 ภาพถ่ายสำหรับแอโรเจลที่เตรียมไว้และมีปริมาณอนุภาคนาโนแม่เหล็กต่างกัน 1% (CAR M1), 3% (CAR M2) และ 5% (CAR M3).....	14
2.11 ภาพถ่าย SEM พื้นผิวของแอโรเจล.....	15
2.12 ภาพประกอบแผนผังขั้นตอนการผลิตของ PANI/GA.....	16
2.13 รูปแบบ XRD ของ GA (a), FGA (b) และ PANI/GA (c).....	17
2.14 สเปกตรัม FTIR ของ FGA (a) และ PANI/GA (b) .....	17
2.15 การสแกนแบบสำรวจของ GA (a), FGA (b), PANI/GA (c), C 1s (d), N 1s (e) และ O 1s (f) ของ PANI/GA.....	18
2.16 ภาพ FESEM ของ GA (a, b) และ PANI/GA (c, d).....	19
2.17 ภาพ TEM ของ GA (a, b), PANI/GA (c), การแมบองค์ประกอบที่สอดคล้องกัน (e-g) สำหรับภาพที่ เลือก (d).....	20
2.18 ไอโซเทอร์มการดูดซับ-การดูดซับ N <sub>2</sub> และการกระจายขนาดรูพรุนของ RGO (a), GA (b).....	21
2.19 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible Spectrophotometer) .....	21
2.20 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer).....	22
2.21 เครื่องวิเคราะห์คุณลักษณะพื้นที่ผิว (Surface Area Analyzer) .....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป(ต่อ)

หน้า

2.22 เครื่องฟูเรียร์ทรานซฟอร์หมอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Attenuated Total Reflection-fourier transform infrared).....	23
2.23 เครื่อง High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) .....	24
2.24 สเปกตรัม FTIR (a) สำหรับ GO, Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @GO-PANI และ Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (b) สำหรับ Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @GO-PANI หลังจากการดูดซับของฟลูออรีน (PAH) และ 2-Nitrofluorene (ไนเตรต PAH).....	26
2.25 แสดงผลกระทบของเวลาการดูดซับต่อกระบวนการ MSPE.....	27
2.26 ขั้นตอนการเตรียม PVA/Car GPE.....	32
2.27 a) สเปกตรัม FTIR ของ PVA, Car และ PVA/Car ที่ไม่มี LiOAC b) XRD ของ PVA Car และ PVA/Car.....	33
2.28 a) เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเมมเบรน PVA/Car GPE ที่มีปริมาณ Car ต่างกัน b) LOI ของ PVA/Car GPES ที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับรถยนต์ที่แตกต่างกัน.....	34
2.29 โครงสร้างทางเคมีของสารเพิ่มความเสถียรบางชนิดที่ใช้ในการสังเคราะห์ดิสเพอร์ชันของพอลิอะนิลีน.....	35
2.30 ภาพถ่ายผลิตภัณฑ์ของพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ ในสารละลายกรดต่างชนิดกัน a) PAn.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> b) PAn.PMAS c) PAn.PSSA d) PAn.DBSA.....	36
2.31 ภาพถ่าย SEM ของพอลิอะนิลีนที่มีสารได้แตกต่างกัน a) PAn.H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> b) PAn.PMAS c) PAn.PSSA d) PAn.DBSA.....	36
3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ PANI/PSS โดยวิธีการ Interfacial Polymerization.....	39
3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ PANI/PAMAM.....	40
3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan.....	41
3.4 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVA.....	42
3.5 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PSS.....	43
3.6 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVAPANI/PAMAM.....	45
3.7 ขั้นตอนการสร้างกราฟมาตรฐานของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.....	46
3.8 ขั้นตอนการศึกษาผลขนาดของ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM.....	47
3.9 ขั้นตอนการศึกษาผลเวลาที่ใช้ในการดูดซับของ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM.....	49
3.10 การศึกษาชนิดของสารละลายที่ใช้ชะของ Aerogel/Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM.....	49
4.1 Interfacial polymerization ระหว่าง Aniline monomer และ Poly(styrene sulfonate).....	51
4.2 ค่าการดูดกลืนแสงและรูปภาพของสารละลาย PANI/PSS ที่เปลี่ยน pH 1-11.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
4.3 โครงสร้างของ PANI.....	53
4.4 รูปแสดงค่าศักย์ซีตา (Zeta potential) ของสารละลาย PANI/PSS ที่ pH ต่างๆ.....	53
4.5 การเกิด Charge - charge interaction ระหว่าง $\text{SO}_3^-$ ของ PANI/PSS และ $\text{NH}_3^+$ ของ Poly(amidoamine) dendrimers.....	55
4.6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย PANI/PAMAM ที่เปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของ PAMAM.....	56
4.7 รูปแสดงค่าศักย์ซีตา (Zeta potential) ของสารละลาย PANI/PAMAM ที่ความเข้มข้นของ PAMAM 0.006 0.03 0.06 และ 0.12 % wt./v.....	57
4.8 การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง Carrageenan/Poly(vinyl alcohol)/Polyaniline-Poly(styrene sulfonate) และ Poly(amidoamine) dendrimers.....	58
4.9 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Naphthalene.....	67
4.10 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Acenaphthylene.....	68
4.11 โครมาโทแกรมของ และสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Phenanthrene.....	69
4.12 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Pyrene.....	70
4.13 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Fluorene.....	71
4.14 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM กับ ตัวอย่าง PAH... 73	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
PANI	Polyaniline
PSS	Poly(styrene sulfonate)
PANI/PSS	Polyaniline/Poly(styrene sulfonate)
PAMAM	Poly(amidoamine) dendrimers
PANI/PAMAM	Polyaniline/Poly(styrene sulfonate)/Poly(amidoamine) dendrimers
PAHs	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
Car	Carrageenan
PVA	Poly(Vinyl alcohol)
Nap	Naphthalene
Ace	Acenaphthylene
Phe	Phenanthrene
Pyr	Pyrene
Flu	Fluorene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัญหาการปนเปื้อนของโพลีไซคลิก อะโรเมติก ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs) ในสิ่งแวดล้อม ทั้งในดิน น้ำ และอากาศ เป็นปัญหาหลักซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตของสิ่งมีชีวิต โดยผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตเกิดจากการสัมผัส การหายใจ การรับประทานอาหาร และน้ำที่มีการเจือปนของ PAHs ทำให้เกิดการสะสมและสามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ ซึ่งโพลีไซคลิก อะโรเมติก ไฮโดรคาร์บอน เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ ซึ่งส่วนมากจะพบในกระบวนการสันดาบน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นหลัก และก่อให้เกิดการตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้

เนื่องจากความเป็นพิษและคุณสมบัติการเป็นสารก่อ มะเร็งของ PAHs ทำให้การสกัดและการวิเคราะห์สารกลุ่มนี้มี ความสำคัญมากโดยเฉพาะในอาหารที่มนุษย์บริโภคเข้าไปโดยตรง วิธีที่ใช้วิเคราะห์สารกลุ่มนี้จะต้องมีความไวสูง มีความจำเพาะ มีความถูกต้องและแม่นยำมากพอ วิธีทางโครมาโทกราฟีเป็นวิธีที่นิยมใช้มากในการวิเคราะห์ PAHs เช่น เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography, GC) หรือ โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography, HPLC) อย่างไรก็ตาม สำหรับการวิเคราะห์ PAHs ขั้นตอนการ เตรียมตัวอย่างมีความสำคัญมากเพราะจะเป็นการแยกและ กำจัดสารรบกวนออกก่อนที่จะทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคทางโครมาโทกราฟีนั่นเอง แต่ในตัวอย่างอาจจะมีปริมาณ PAHs น้อยมาก ทำให้จำเป็นต้องมีการเพิ่มความเข้มข้นก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ วิธีที่นิยมใช้สำหรับเพิ่มความบริสุทธิ์และเพิ่มความเข้มข้นของ PAHs ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์คือการใช้วัสดุดูดซับในการดูดซับ PAHs โดยวัสดุดูดซับที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น กราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide), พอลิอะนิลีน (Polyaniline), ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes) เป็นต้น แต่ด้วยขีดจำกัดในการดูดซับที่ต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาวัสดุดูดซับให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

โครงการพิเศษนี้จึงเห็นความสำคัญของการพัฒนาวัสดุดูดซับ PAHs เพื่อใช้เป็นวัสดุสำหรับการเตรียมตัวอย่าง ก่อนทำการวิเคราะห์ต่อยุ่ด้วยเทคนิคทางโครมาโทกราฟี โดยการพัฒนาโพลี(อะมิโดเอมีน)เดนไดเมอร์/โพลีอะนิลีนแอรโรเจล โดยได้ศึกษาวิธีการสร้างแอรโรเจล ตลอดจนศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ เช่น ปริมาณตัวดูดซับ ปริมาณรูพรุนและพื้นผิว ความเสถียรของวัสดุ และประสิทธิภาพของการดูดซับ เป็นต้น

### 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสร้างวัสดุดูดซับแอรโรเจล ในการดูดซับโพลีไซคลิก อะโรเมติก ไฮโดรคาร์บอน

1.2.2 ทำการศึกษาการสังเคราะห์ Polyaniline (PANI-PSS) ภายใต้รูปแบบปฏิกิริยา Interfacial Polymerization

เมื่อนำกรณนี้ไปใช้ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับโพลีไซคลิก อะโรเมติก ไฮโดรคาร์บอน จากตัวอย่างจริง

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.3 ทำการศึกษาวิธีการสังเคราะห์พอลิอะนิลีนด้วยวิธีพอลิเมอไรเซชัน (Interfacial Polymerization)

1.3.2 ทำการศึกษาวิธีการสังเคราะห์ Aerogel โดยการใช้ Carrageenan และ Poly(vinyl alcohol) (PVA) ช่วยในการขึ้นรูป

1.3.3 ทำการศึกษาวิธีการขึ้นรูปวัสดุดูดซับแอโรเจล โดยการใช้พอลิอะนิลีน Polyaniline (PANI-PSS) และ Poly(amidoamine) dendrimer

1.3.4 วิเคราะห์ตัวอย่าง โดยนำวัสดุดูดซับไปวิเคราะห์ในตัวอย่างจริง

1.3.5 ตรวจสอบคุณสมบัติด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography; HPLC)

### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้วิธีที่สามารถสังเคราะห์วัสดุดูดซับโพลีไซคลิก อะโรเมติก ไฮโดรคาร์บอน

1.4.2 สามารถนำวัสดุดูดซับไปทำการดูดซับโพลีไซคลิก อะโรเมติก ไฮโดรคาร์บอน ในแหล่งน้ำได้ ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางโครมาโทกราฟี ต่อไป

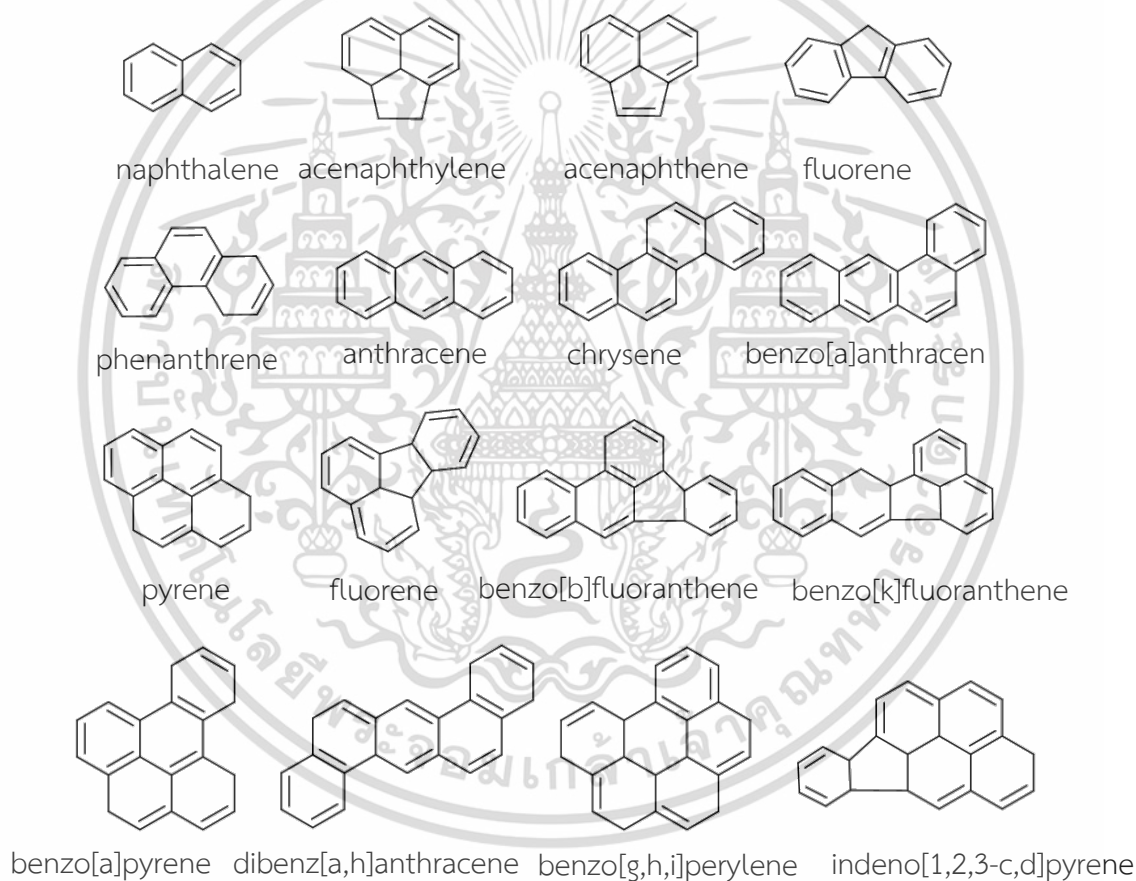
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ส่วนใหญ่เป็นของแข็งไม่มีสี สีขาว หรือสีเหลืองอ่อน PAHs เป็นกลุ่มที่แพร่หลายของสารประกอบที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีหลายร้อยชนิด คงทนต่อสิ่งแวดล้อมด้วยโครงสร้างที่หลากหลายและความเป็นพิษที่สูง ซึ่ง PAHs มีพิษต่อสิ่งมีชีวิตผ่านการกระทำต่างๆ โดยทั่วไป PAHs มักพบว่าเป็นสารผสมที่มีสารประกอบตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป [1]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ PAHs

##### 2.1.1 คุณสมบัติและโครงสร้างทั่วไป

โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมีวงแหวนอะโรมาติกเดี่ยวหรือแบบหลอมรวมสองวงขึ้นไปที่มีอะตอมของคาร์บอนคู่ที่ใช้ร่วมกันระหว่างวงแหวนในโมเลกุลของพวกมัน PAHs ที่มีวงอะโรมาติกหลอมรวมกันมากถึงหกวงมักเรียกว่า PAH "ขนาดเล็ก" และวงที่มีวงอะโรมาติกมากกว่าหกวงเรียกว่า PAH "ขนาด

ใหญ่" การวิจัยส่วนใหญ่เกี่ยวกับ PAHs ได้ดำเนินการกับ PAHs ขนาดเล็ก เนื่องจากมีตัวอย่างของ PAHs ขนาดเล็กที่หลากหลาย PAHs ที่ง่ายที่สุดตามที่กำหนดโดย International Agency for Research on Cancer [2] คือ ฟิแนนทรีนและแอนทราซีน ซึ่งทั้งคู่มีวงแหวนอะโรมาติกผสมกันสามวง ในทางกลับกัน โมเลกุลที่เล็กกว่า เช่น เบนซิน ไม่ใช่ PAHs แนฟทาลีนซึ่งประกอบด้วยวงแหวนที่มี 6 อะตอมในระนาบเดียวกัน 2 วงที่ใช้ขอบร่วมกัน เป็นอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนอีกชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงไม่ใช่ PAH ที่แท้จริง แม้ว่า จะเรียกว่าไฮโดรคาร์บอนอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน PAHs ที่ศึกษาอย่างกว้างขวางที่สุดคือ 7, 12-Dimethylbenzo anthracene (DMBA) และ Benzo(a)pyrene (BaP) [3]

#### ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของ PAHs [4]

สารประกอบ	มวล โมเลกุล g/mol	จุด หลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	ความดัน ไอ (kPa)	ความสามารถ ในการละลาย (mg/L)
Naphthalene	128.18	80.2	218	$1.1 \times 10^{-2}$	3.93
Acenaphthylene	152.2	92-93	265-280	$3.9 \times 10^{-3}$	3.93
Acenaphthene	154.2	90-96	278-279	$2.1 \times 10^{-3}$	1.93
Fluorene	166.23	116-118	293-295	$8.7 \times 10^{-5}$	1.68-1.98
Phenanthrene	178.24	96-101	339-340	$2.3 \times 10^{-5}$	1.2
Anthracene	178.24	216-219	340	$3.6 \times 10^{-6}$	0.076
Fluoranthene	202.26	107-111	375-393	$6.5 \times 10^{-7}$	0.2-2.6
Pyrene	202.26	150-156	360-404	$3.1 \times 10^{-6}$	0.077
Benzo(a)anthracene	228.3	157-167	435	$1.5 \times 10^{-8}$	0.01
Chrysene	228.3	252-256	442-448	$5.7 \times 10^{-10}$	0.0028
Benzo(b)fluoranthene	252.32	167-168	481	$6.7 \times 10^{-8}$	0.0012
Benzo(k)fluoranthene	252.32	198-217	480-481	$2.1 \times 10^{-8}$	0.00076
Benzo(a)pyrene	252.32	177-179	493-496	$7.3 \times 10^{-10}$	0.0023
Dibenzo(a,h)anthracene	278.35	266-270	524	$1.3 \times 10^{-11}$	0.0005
Benzo(g,h,i)perylene	276.34	275-278	525	$1.3 \times 10^{-11}$	0.00026
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	276.34	162-163	530	$1.0 \times 10^{-11}$	0.062

#### 2.1.2 แหล่งที่มาของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

มาจาก 3 แหล่ง คือ Pyrogenic source , Petrogenic source และมนุษย์เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิด PAH ที่นำไปสู่สิ่งแวดล้อม ในกระบวนการที่เรียกว่าไพโรไลซิส Pyrogenic PAHs คือการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอินทรีย์ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อสารอินทรีย์สัมผัสกับอุณหภูมิสูงภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนต่ำหรือไม่มีออกซิเจน การกลั่นแบบ Destructive Distillation ของถ่านหินให้เป็นน้ำมันดิบ หรือการแตกตัวของปิโตรเลียมด้วยความร้อนให้เป็นไฮโดรคาร์บอนที่เบากว่าเป็นกระบวนการไพโรไลติกที่เกิดขึ้น ในขณะเดียวกัน กระบวนการอื่นๆ ที่ไม่ได้ตั้งใจจะเกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงยานยนต์ในรถยนต์และรถบรรทุก การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของไม้ของไฟฟ้าและเตาผิง และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงในระบบทำความร้อน อุณหภูมิที่กระบวนการไพโรไลซิสเกิดขึ้นมีตั้งแต่ประมาณ 350 °C ถึง 1200 °C Pyrogenic PAHs พบในความเข้มข้นที่มากขึ้นในเขตเมืองและในสถานที่ใกล้กับแหล่งที่มาหลักของ PAHs นอกจากนี้ยังสามารถเกิด PAHs ที่อุณหภูมิต่ำกว่าได้อีกด้วย Petrogenic PAHs เกิดจากปิโตรเจนที่ยังไม่ได้ผ่านการเผาไหม้ซึ่งพบได้ทั่วไปจากการขนส่ง การจัดเก็บ และการใช้น้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบ แหล่งที่มาที่สำคัญบางส่วนของ PAHs ที่เกิดจากปิโตรเจนได้แก่ การรั่วไหลของน้ำมันในมหาสมุทรและน้ำจืด การรั่วไหลของถังเก็บใต้ดินและเหนือพื้นดิน และการสะสมของน้ำมันเบนซิน น้ำมันเครื่อง และสารที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งในปริมาณเล็กน้อยจำนวนมาก เป็นที่ทราบกันดีว่า PAHs สามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ PAHs ยังพบในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม [5]

### 2.1.3 ผลกระทบจากโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

ผลกระทบจากการสัมผัสของสารมลพิษที่มี PAHs อยู่ในระดับสูง ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าส่งผลให้เกิดอาการต่างๆ เช่น ระคายเคืองตา คลื่นไส้ อาเจียน และท้องเสีย ส่วนผสมของ PAHs นั้นทำให้เกิดการระคายเคืองและการอักเสบของผิวหนัง Anthracene, Benzo(a)pyrene และ Naphthalene เป็นสารระคายเคืองต่อผิวหนังโดยตรง Anthracene และ Benzo(a)pyrene เป็นสารกระตุ้นอาการแพ้ทางผิวหนัง เช่น เป็นสาเหตุของการแพ้ทางผิวหนังในสัตว์และมนุษย์ นำไปสู่ความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของมะเร็งผิวหนัง ปอด ภาวะแพ้ปัสสาวะ และทางเดินอาหาร

## 2.2 พอลิเมอร์ (Polymer)

พอลิเมอร์เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ คือการรวมกันของหน่วยย่อยจำนวนมาก พอลิเมอร์สามารถพบได้รอบตัว ตั้งแต่เส้นใยของ DNA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ไปจนถึงพอลิโพรพิลีนที่ใช้กันทั่วโลกในฐานะพลาสติก พอลิเมอร์สามารถพบได้ตามธรรมชาติในพืชและสัตว์ “พอลิเมอร์ธรรมชาติ” หรือมนุษย์สร้างขึ้น พอลิเมอร์สังเคราะห์ พอลิเมอร์ต่างๆ มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเฉพาะตัวหลายประการซึ่งพอได้ง่ายในการใช้ชีวิตประจำวัน [6]

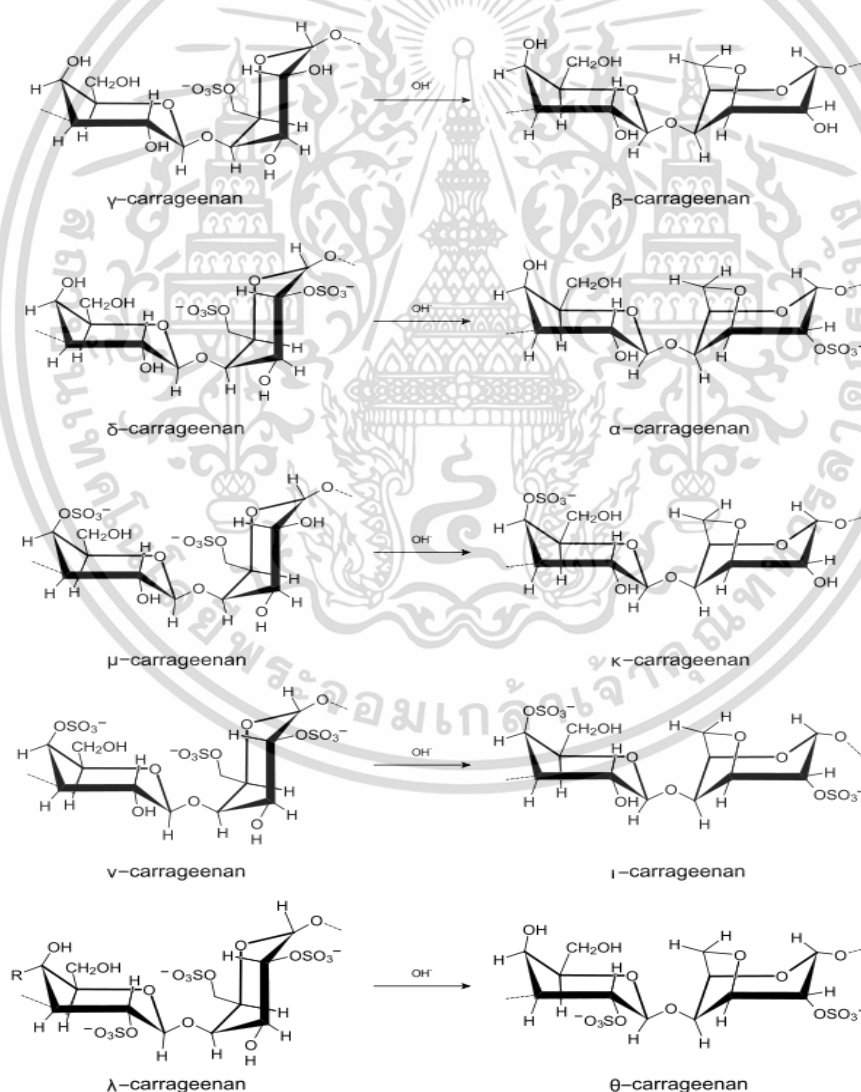
### 2.2.1 คาราจีแนน (Carrageenan)

คาราจีแนนเป็นกลุ่มของโพลีแซ็กคาไรด์ที่สกัดจากสาหร่ายทะเลสีแดงด้วยน้ำที่อุณหภูมิสูงและกลั่นโดยใช้วิธีการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์หรือการกดเจล ซึ่งสาหร่ายสีแดงที่ใช้กันทั่วไปในการผลิตคาราจีแนนคือปลาช่อนดรัส คริสปู ซึ่งเติบโตทางตอนเหนือของมหาสมุทรแอตแลนติก โดยคาราจีแนนถูกใช้เป็น

สารเติมแต่งอย่างแพร่หลายในเวชภัณฑ์ เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นเจล ทำให้ข้น และคงตัว [7]

### 2.2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของคาราจีแนน

คาราจีแนนอยู่ในตระกูลของกาแลคตันเชิงเส้นซัลเฟตที่ชอบน้ำ ส่วนใหญ่ประกอบด้วย B-D-galactopyranose เชื่อมโยง 3 ตัวสลับกัน หน่วย G และ α-D-galactopyranose เชื่อมโยง 4 ตัว 3,6-anhydro-α-D-galactopyranose หน่วยซ้ำของคาราจีแนน โดยคำว่า ‘Disaccharide repeating unit’ หมายถึงโครงสร้างในอุดมคติเนื่องจากคาราจีแนนธรรมชาติแต่ละชนิดเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีพื้นฐานเป็นกาแลคโตสเชิงซ้อนที่มีปริมาณซัลเฟตเอสเทอร์ที่แตกต่างกันในตำแหน่งที่แตกต่างกันและมีการกระจายที่แตกต่างกัน กาแลคตันซัลเฟตจำแนกตามการมีอยู่ของ 3,6-แอนไฮโดรบริดจ์บนกาแลคโตสที่เชื่อมโยง 4 และตำแหน่งและจำนวนของกลุ่มซัลเฟต คาราจีแนนมีมวลโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 100 ถึง 1,000 กิโลดาลตัน [8]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากท่านนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1.2 คุณสมบัติการจีแนม

คุณสมบัติการจีแนมนั้นมีอยู่ 3 ประเภท ประเภทแรกคือ Iota เมื่อมีแคลเซียมมาผสมกับ Iota carrageenan จะก่อตัวเป็นซอฟเจล ประเภทที่ 2 คือ Kappa เมื่อมีแคลเซียม Kappa carrageenan จะก่อตัวเป็นเจลแข็งและเปราะ แต่เมื่อมีเกลือโพแทสเซียม จะทำให้เกิดเจลที่แข็งและยืดหยุ่น ประเภทที่ 3 คือ Lambda ตัวนี้ไม่สามารถทำให้เกิดเจลได้แต่ Lambda Carrageenan สามารถใช้เป็นสารเพิ่มความข้นได้

## 2.2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol); PVA)

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น โมเลกุลพอลิเมอร์ PVA ประกอบด้วยกลุ่มไวนิลและแอลกอฮอล์ เป็นพอลิเมอร์ที่มีประโยชน์เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยึดเกาะ โดย PVA สามารถละลายน้ำได้ เป็นผลึกและไวไฟ การที่มีกลุ่มแอลกอฮอล์อยู่ในนั้นทำให้ติดไฟได้

### 2.2.2.1 โครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

หน่วยโมโนเมอร์ PVA คือ Vinyl acetate ซึ่งหมายความว่า เกิดจากการพอลิเมอไรเซชันของไวนิลอะซิเตต โดยสูตรไวนิลอะซิเตตคือ  $\text{H}_3\text{C}-\text{CO}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$  พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่ได้เตรียมขึ้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันโดยตรงของไวนิลอะซิเตต แต่จะเตรียมโดยการไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต (PVAc) ผ่านแอลกอฮอล์ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เมทานอลต่อหน้าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง [9]



## รูปที่ 2.3 โครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA) [10]

### 2.2.2.2 คุณสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

คุณสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นจะแบ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี ในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพนั้น PVA จะมีการต้านทานแรงดึงสูง ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูงละลายน้ำได้แล้วไม่มีกลิ่น จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 185 องศาเซลเซียส และไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละลายได้เล็กน้อยในเอทานอล ซึ่งในส่วนของคุณสมบัติทางเคมี พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถทำปฏิกิริยากับบิวทิลดีไฮด์ (Butyraldehyde) และฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) โดยเป็นวัสดุประเภท Atactic และทนทานต่อน้ำมันและจาระบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 พอลิอะนิลีน (Polyaniline)

เป็นพอลิเมอร์ที่เป็นตัวนำไฟฟ้าในตัว โดยสามารถนำไฟฟ้าโดยใช้พอลิอะนิลีนทำให้ได้วัสดุที่นำไฟฟ้าได้ ซึ่งละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ โดยพอลิอะนิลีนไม่ได้สามารถถูกทำลายโดยสภาวะปกติของสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิและความชื้น สารเคลือบป้องกัน แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มประสิทธิภาพที่โดดเด่นของความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ซึ่งพอลิอะนิลีนได้รับการยอมรับว่าเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อน ความเสถียรทางเคมี เมื่อ PANI ถูกเจือด้วยกรดหรือเบส PANI มีการใช้งานที่หลากหลายและใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และออปติก เช่น เซลล์เชื้อเพลิง เซ็นเซอร์ และไดโอดเปล่งแสง (LED) [11]

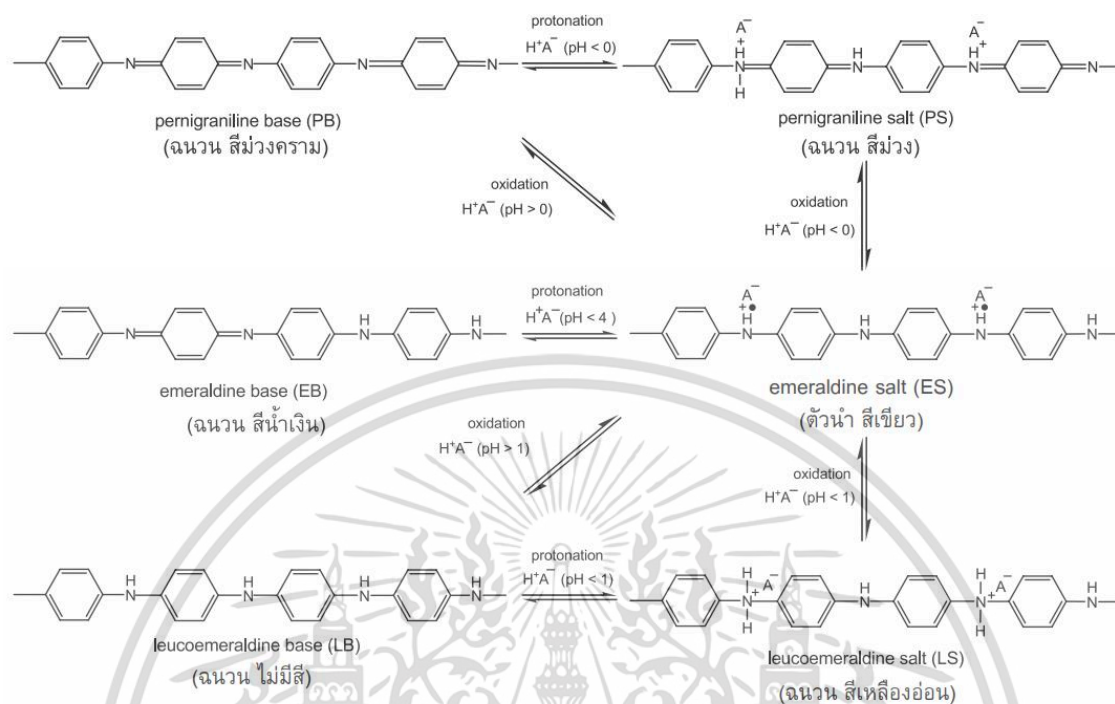
#### 2.2.3.1 คุณสมบัติของพอลิอะนิลีน

เป็นพอลิเมอร์ที่นำไฟฟ้า ซึ่ง Polyaniline แสดงคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพ โดยปกติแล้วพอลิอะนิลีนจะอยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงสีของพอลิอะนิลีนแบบผง ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานะออกซิเดชันที่แตกต่างกัน สถานะของเพอร์นิแกรนิลีน เมื่อถูกออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์จะแสดงสีม่วง ในขณะที่สีม่วงที่ลดลงบางส่วนและอีกบางส่วนที่ถูกออกซิไดซ์เป็นสีฟ้า ซึ่งเกลือของกรดที่ถูกเจือด้วยกรดยังแสดงสีเขียว ความสามารถในการแปรผันของสีขึ้นอยู่กับสถานะรีดอกซ์ ซึ่งถูกกำหนดการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ [12] อย่างเหมาะสม ถัดมาคุณสมบัติทางเคมีความเสถียรทางเคมีพอลิอะนิลีนที่ดี เมื่อพอลิอะนิลีนถูกเจือด้วยกรดหรือเบส ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าและเคมีไฟฟ้าของพอลิอะนิลีนเปลี่ยนไป ในกระบวนการเติมสารเติมแต่งห่วงโซ่หลักของพอลิเมอร์จะไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี โดยปฏิกิริยานั้นพอลิอะนิลีนแสดงการต้านทานต่อสารละลายที่เป็นกรดและเบส

#### 2.2.3.2 โครงสร้างของพอลิอะนิลีน

โครงสร้างของพอลิอะนิลีนประกอบไปด้วย 3 โครงสร้างหลัก ลิวโคเอมเมอราดิน (Leucoemeraldine), เอ็มเมอราดิน (Emeraldine) และเพอร์นิกราลีน (Pernigraniline) มีโครงสร้างทางเคมี ที่หลากหลายถึง 6 แบบที่เกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์ และปฏิกิริยากรด-เบส จากรูป 2.3 ซึ่งโครงสร้างที่แตกต่างกันยังส่งผลทำให้เกิดสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่น เกลือเอมเมอร์ลัดติน (ES) สีเขียว เบสเอมเมอร์ลัดติน (EB) สีน้ำเงิน ลิวโค เอ็มเมอร์ลัดตินสีเหลืองอ่อน และเพอร์นิกรานิลีนสีม่วง ทำให้มีการนำพอลิอะนิลีนไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

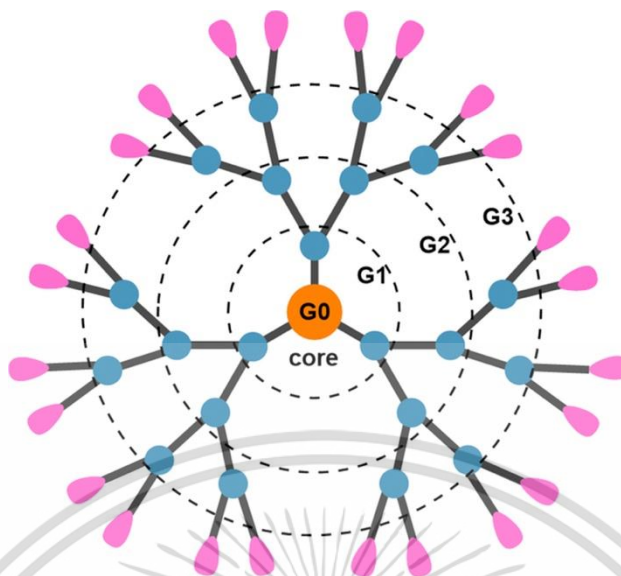


รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของพอลิอะนิลีนแบบต่างๆ สมบัติทางไฟฟ้า สี การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์และปฏิกิริยา กรด-เบส [13]

## 2.2.4 พอลิอะมิโดเอมีน (poly(amidoamine) dendrimers, PAMAM)

Dendrimers เป็นตระกูลโพลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดพิเศษซึ่งมีสถาปัตยกรรม Dendritic เฉพาะตัวที่โดดเด่นด้วยการปล่อยหน่วยทำซ้ำที่แตกแขนงเป็นชั้นๆ จากจุดโฟกัสและกลุ่มปลายจำนวนมากบนพื้นผิว[14] รูปที่ 2.4 เดนไดเมอร์มีโครงสร้างแบบแยกส่วนที่ชัดเจนซึ่งประกอบด้วยสามส่วนที่แตกต่างกัน หนึ่งแกนกลางที่ซึ่งการเติบโตของเดนไดเมอร์เริ่มต้นขึ้น สองหน่วยการแตกแขนงซ้ำ ซึ่งช่วยให้เดนไดเมอร์เติบโตในชั้นเรเดียลที่จัดระเบียบทางเรขาคณิตและสามฟังก์ชันต่างๆของเทอร์มินัลที่แสดงบนพื้นผิวรูปที่ 2.4 คุณสมบัติทางโครงสร้างทำให้เดนไดเมอร์แตกต่างอย่างชัดเจนจากพอลิเมอร์เชิงเส้น กิ่งก้าน และไฮเปอร์แบรนซ์แบบดั้งเดิม และเอนโดว์เดนไดเมอร์ที่มีคุณสมบัติการทำงานที่เป็นเอกลักษณ์และการผสมผสานของแบบหลายวาเลนซ์จำกัดอยู่ภายในพื้นที่สามมิติขนาดเล็ก Dendrimers จึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานที่หลากหลาย เช่น เซ็นเซอร์ อุปกรณ์ การเร่งปฏิกิริยา การวินิจฉัย ยา และระบบนำส่งในพื้นที่ต่างๆ ตั้งแต่การปกป้องสิ่งแวดล้อม การผลิตพลังงาน ไปจนถึงสุขภาพของมนุษย์ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.5** โครงสร้างของเดนไดเมอร์ที่ประกอบด้วยแกนกลาง หน่วยย่อยที่ซ้ำกันซึ่งก่อตัวเป็นรุ่น และกลุ่มปลายบนผิวเดนไดเมอร์ แกนกลางคือรุ่น 0 (G0); รุ่น 1 (G1), รุ่น 2 (G2) และรุ่น 3 (G3) หมายถึงเดนไดเมอร์ที่มีการแตกแขนงระดับที่หนึ่ง สอง และสามตามลำดับ [16]

### 2.2.5 แอโรเจล (Aerogel)

แอโรเจลเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีรูพรุน เบาบาง ซึ่งได้มาจากเจลซึ่งส่วนประกอบที่เป็นของเหลวสำหรับเจลนั้นถูกแทนที่ด้วยแก๊สโดยไม่มีการยุบตัวของโครงสร้างเจลอย่าง ซึ่งทำให้เกิดของแข็งที่มีความหนาแน่นต่ำมากและมีค่าการนำความร้อนต่ำมาก แอโรเจลสามารถทำจากสารประกอบทางเคมีหลายชนิดแอโรเจลแบบซิลิกาให้ความรู้สึกเหมือนโพลีสไตรีนที่เปราะบาง เมื่อสัมผัสขณะที่แอโรเจลแบบโพลีเมอร์บางตัวจะให้ความรู้สึกเหมือนโฟมแข็ง [17]

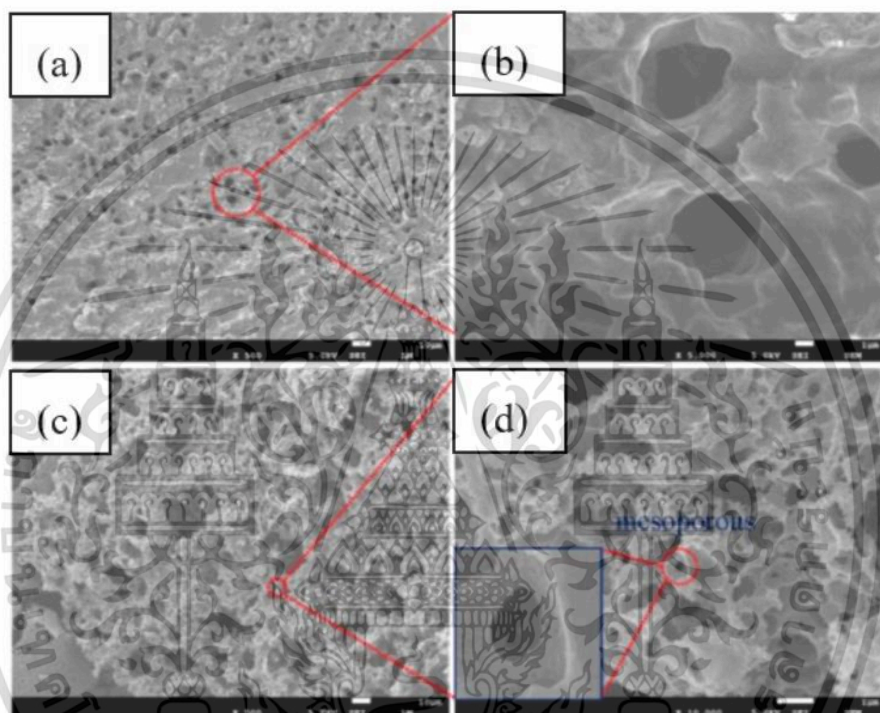
#### 2.2.5.1 Biorefinery Approach for Aerogels

จากงานวิจัยของ Abdellatif และคณะ[18] ได้มีการศึกษาการเจริญทั้ง3ประเภท ได้แก่ แอล-คาราจีแนน (l-carrageenan) , ไอ-คาราจีแนน (l-carrageenan) และ เค-คาราจีแนน (k-carrageenan) ได้ทำการนำ แอล-คาราจีแนนที่ถูกเชื่อมขวางด้วยพอลิอะมิโดเอมีน (PAMAM) โดยใช้กรดซิตริกเป็นตัวเชื่อมขวางที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มาผลิตคาราจีแนนที่มีรูพรุนโดยมีไนโตรเจนอะตอม แสดงดังรูปที่ 2. ซึ่งส่งผลให้วัสดุที่มีรูพรุนที่มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นได้ทำการนำเอาวัสดุ ไอ-คาราจีแนนมาเชื่อมขวางด้วยพอลิอะมิโดเอมีน (PAMAM) โดยใช้กรดซิตริกเป็นตัวเชื่อมขวางย่อยเหมือน แอล-คาราจีแนน แล้วนำไปทำแห้งแบบเยือกแข็งทำให้ได้วัสดุไอ-คาราจีแนนที่มีพื้นผิวจำเพาะสูงตั้งแต่ 130 ถึง 400 ตร.ม./ก. ซึ่งเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการปรับสภาพสีย้อมและไอออนของโลหะหนักจากตัวกลางที่เป็นน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

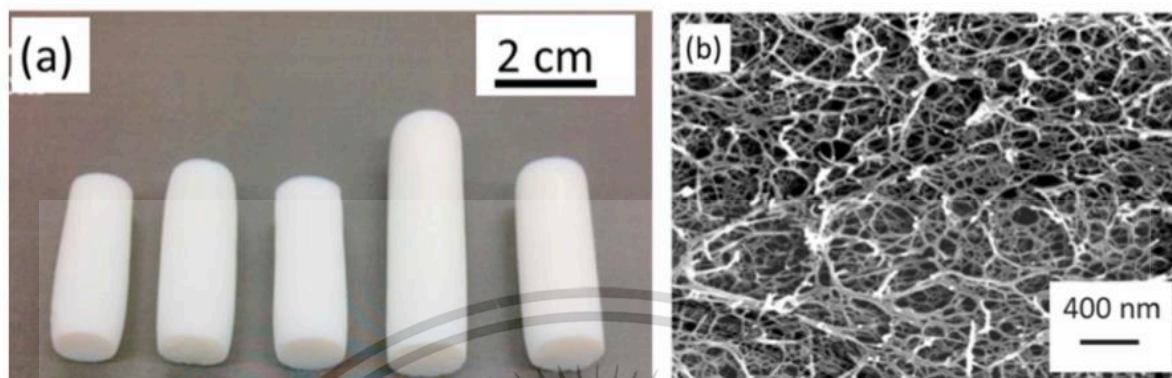
ซึ่งในการทำแห้งแบบเยือกแข็งของ เค-คารราจีแนน ได้ทำการสร้างคาร์บอนที่มีรูพรุนของลิกโนซัลโฟเนต/เค-คารราจีแนนโดยเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยการนำคารราจีแนนก่อตัวเป็นเครือข่ายสามมิติโดยมีลิกนินโซเดียมซัลโฟเนต(NaLS) ที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ คาร์บอนที่มีรูพรุนได้รับหลังจาก gel aging การทำแห้งเยือกแข็งของคาร์บอนไนเซชัน และเป็นการกระตุ้น แสดงดังรูปที่ 2.5 โดยการดูดซับสีย้อมที่มีประสิทธิภาพของเมทิลีนบลู (MB) ทำได้เนื่องจากโครงสร้างรูพรุนแบบลำดับชั้นมีพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุนขนาดเล็ก และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนประมาณ 600 ตร.ม./ก., 0.3 ซม.<sup>3</sup>/ก. และ 2.2 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยมีความสามารถในการดูดซับ 422 มก./ก.



รูปที่ 2.6 ภาพสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันของ lignosulfonate/K-carrageenan (a,b) และ carbon

จากนั้น K-carrageenan aerogels ถูกสร้างขึ้นผ่านการเกิดเจลในสารละลาย KCl และศึกษาการดูดซับน้ำมัน ความหนาแน่นของแอโรเจล ซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 0.13 เป็น 0.24 g/cm<sup>3</sup> และมีความเข้มข้นของคารราจีแนนเพิ่มขึ้น จาก 0.4 เป็น 2% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และได้มีการตรวจสอบการดูดซับน้ำมันของแอโรเจลและได้ค้นพบว่า "โอลีโอเจล" แบบแข็งมีประโยชน์ในการใช้งานด้านอาหาร ยา และเครื่องสำอาง เพราะปริมาณน้ำมันสูงถึง 80% และไม่มีการบั่นทอนการปล่อยน้ำมัน โดย K-carrageenan ยังใช้ในการผลิต monolithic aerogel โดยใช้โพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (KSCN) เพื่อกระตุ้นการเกิดเจล การแปรผันของความเข้มข้นของเค-คารราจีแนน และความเข้มข้นของไอออนจำเพาะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ เช่น รูปร่างขนาด และความหนาแน่น แสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งหลังแปรผันตั้งแต่ 0.04 ถึง 0.160 g/cm<sup>3</sup> โดยมีความเข้มข้นของโพลิเมอร์ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายเป็น 0.5 ถึง 3 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ที่ประมาณ 230 ตร.ม./กรัม โดยไม่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ K-คาราจีแนน



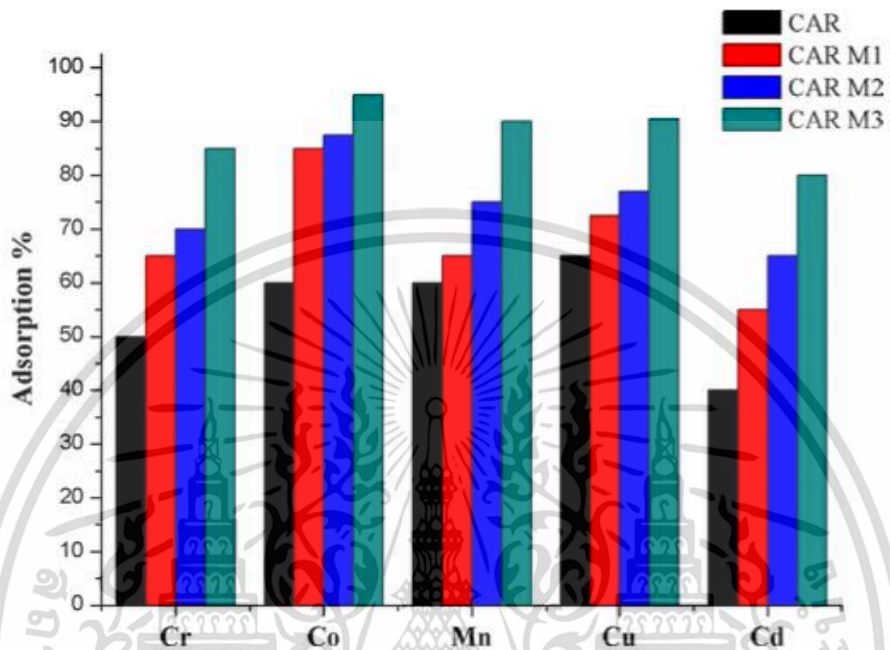
**รูปที่ 2.7** คาราจีแนน แอโรเจลที่เตรียมผ่านการเกิดเจลด้วย KSCN: (a) โมนอลิธที่ทำจากสารละลายของความเข้มข้นของพอลิเมอร์ (จากซ้ายไปขวา) 1; 1.5; 2; 2.5 และ 3.3 % โดยน้ำหนัก, (b) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวที่แตกหักของแอโรเจลที่ทำจากสารละลาย 1 % โดยน้ำหนัก

จากการศึกษาโดยละเอียดเกี่ยวกับสิ่งที่ส่งผลต่อสภาวะการแปรรูปของแอโรเจล คาราจีแนน โดยได้ทำการศึกษานิตและความเข้มข้นของคาราจีแนน และชนิดและความเข้มข้นของสารเชื่อมขวางต่อคุณสมบัติของเม็ดปืทคาราจีแนนแอโรเจล การแสดงชนิดและความเข้มข้นของสารเชื่อมขวางเพื่อควบคุมคุณสมบัติของแอโรเจล ความหนาแน่นของแอโรเจลมีตั้งแต่ 0.06 ถึง 0.5 ก./ลบ.ซม. และพื้นที่ผิวจำเพาะตั้งแต่ 33 ถึง 174 ตร.ม./ก.

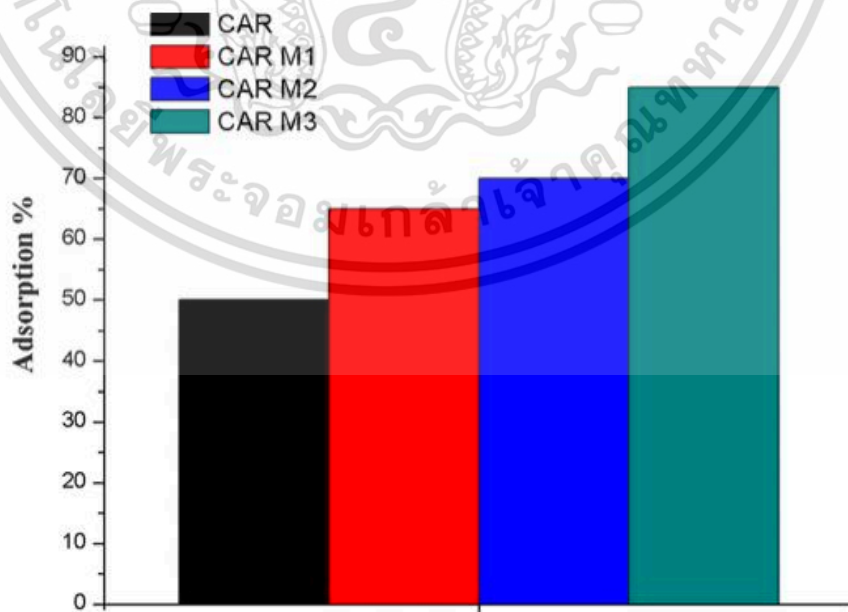
### 2.2.5.2 lotacarrageenan based magnetic aerogels as an efficient adsorbent for heavy metals from aqueous solutions

จากงานวิจัยของ Mohamed Mehawed Abdellatif และ คณะ [19] ได้ทำการศึกษาแอโรเจลแม่เหล็กที่ใช้ไฮโอต้า-คาราจีแนนเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสำหรับโลหะหนักจากสารละลายที่เป็นน้ำได้ทดลองการดูดซับ โดยการนำแอโรเจลและไอออนโลหะ ( $\text{Cr(VI)}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  และ  $\text{Mn}^{7+}$ ) มาทำปฏิกิริยากันในสารละลายน้ำสี่อ้อมกรดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นมาทำการทดลองแบบ batch adsorption test โดยการนำเอาแอโรเจลดูดซับในปริมาณ 20 มก./ลิตร ของสารละลายและใส่ไอออนโลหะแต่ละชนิดโดยใช้ตัวดูดซับ 1 กรัม/ลิตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างถูกเขย่าในเครื่องเขย่าแบบหมุน Heidolph unimax ที่ความเร็ว 180 รอบต่อนาทีเป็นเวลาสัมผัส 60 นาที โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์การดูดกลืนอะตอม ความยาวคลื่นที่ใช้คือ 334.7, 240.7, 357.9, 228.8 และ 279.5 nm สำหรับ  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cr}$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(VI),  $Cd^{2+}$  และ  $Mn^{7+}$  ตามลำดับ และใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-Vis เพื่อวัดความเข้มข้นที่เหลืออยู่ของสีย้อมที่มีความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8



รูปที่ 2.8 ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนของโลหะหนัก % สำหรับแอโรเจล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกที่รูปที่ 2.9 พฤติกรรมดูดซับสีย้อมสำหรับแอโรเจลที่เตรียมไว้ซึ่งมีการนำไปใช้

ซึ่งการตรวจสอบด้วยเครื่องอินฟราเรดฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มสเปกตรัม FT-IR แสดงแถบที่กำหนดที่มีลักษณะเฉพาะสำหรับ lota-carrageenan, PAMAM และปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนแม่เหล็กและโพลิเมอร์ แผนภูมิ FT-IR ที่บันทึกสำหรับแอร์เจลของ CAR และ CAR M3 ในสเปกตรัม CAR M3 แถบการดูดซับคุณลักษณะที่สำคัญของ Fe-O ถูกสังเกตที่  $540\text{ cm}^{-1}$  แถบการดูดซับที่สอดคล้องกับ C = O และ C - O ถูกสังเกตที่  $1641, 1556\text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสังเกตแถบการดูดซับที่สอดคล้องกับ O-H และ N-H

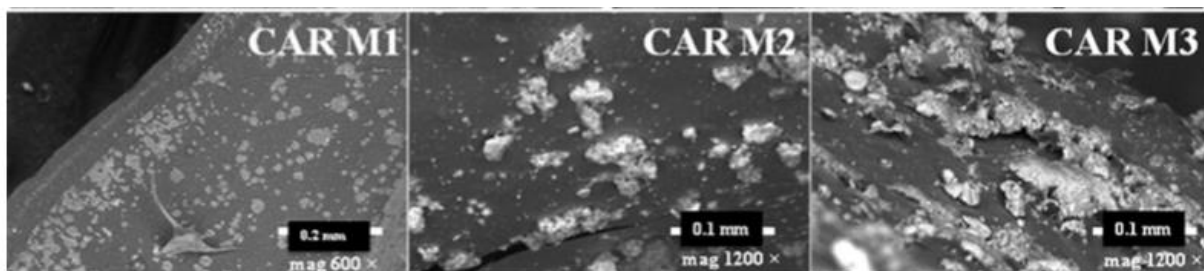
ขั้นตอนถัดมาคือการเตรียมแอร์เจล โดยการนำ  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  0.1 โมลาร์ เฟอร์ริคคลอไรด์ เฮกซาไฮเดรต ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) ถูกหยดลงในสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) 2.5 โมลาร์ (1:4 V/V) โดยการกวนอย่างแรง หลังจากเติมสารละลายเฟอร์ริคคลอไรด์ทั้งหมด สารละลายสุดท้ายจะกลายเป็นสีดำสนิท การตกตะกอนสีดำของอนุภาคนาโน  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ถูกล้างหลายครั้งด้วยน้ำกลั่นและเมทานอลสมบูรณ์ และอนุภาคนาโน  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ถูกทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ  $50\text{ }^\circ\text{C}$  จนน้ำหนักคงที่ ขั้นตอนถัดมา การสังเคราะห์แอร์เจลไอโอตา-คาราจีแนน/PAMAM แบบแม่เหล็ก ในขวดกลมขนาด 150 มล. ไอโอตา-คาราจีแนน 1 กรัม และ PAMAM 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มล. ที่อุณหภูมิ  $80\text{ }^\circ\text{C}$  อนุภาคนาโนแม่เหล็กในปริมาณที่แตกต่างกัน 10 มก., 30 มก. หรือ 50 มก. ถูกเติมแยกกันในส่วนผสมของปฏิกิริยา ของผสมถูกโซนิกเป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่  $80\text{ }^\circ\text{C}$  ส่วนผสมถูกเทลงในจานเพาะเชื้อและเก็บไว้ที่  $4\text{ }^\circ\text{C}$  จนกระทั่งได้เจลที่สมบูรณ์ ไฮโดรเจลที่เป็นผลลัพธ์ถูกล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อขจัดสารที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาและสิ่งสกปรกอื่นๆ ไฮโดรเจลที่เตรียมไว้ถูกแช่แข็งโดยใช้ไนโตรเจนเหลวและถ่ายโอนไปยังห้องสุญญากาศของอุปกรณ์ทำแห้งเยือกแข็งเพื่อรับแอร์เจล

ผลปรากฏว่าปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคนาโนแม่เหล็กที่ใช้ในแอร์เจลแต่ละตัว การเพิ่มปริมาณไนโตรเจนเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเพิ่ม PAMAM cross-linked กับ lota-carrageenan สีของแอร์เจลยังเป็นตัวบ่งชี้ที่มองเห็นได้สำหรับเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของอนุภาคนาโนแม่เหล็กและการกระจายที่เป็นเนื้อเดียวกัน



**รูปที่ 2.10** ภาพถ่ายสำหรับแอร์เจลที่เตรียมไว้และมีปริมาณอนุภาคนาโนแม่เหล็กต่างกัน 1% (CAR M1), 3% (CAR M2) และ 5% (CAR M3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



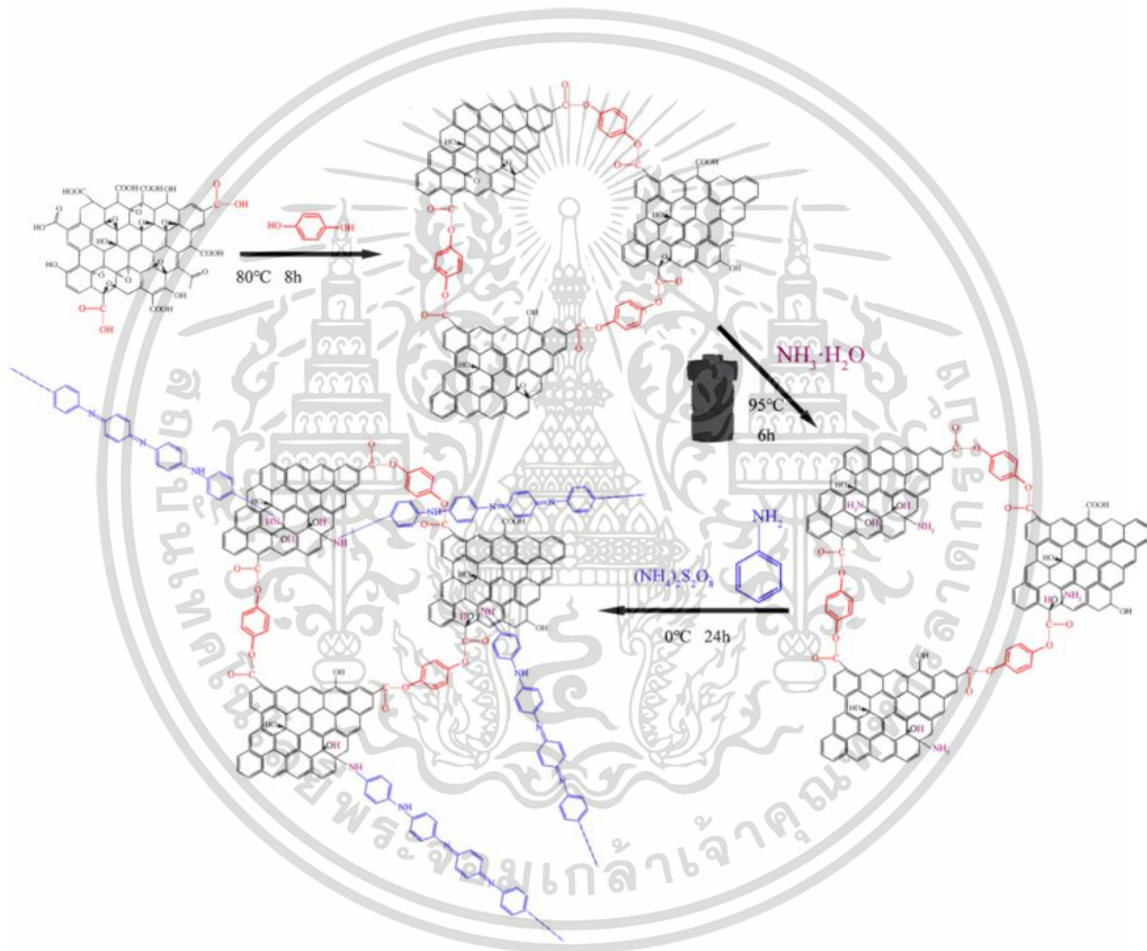
รูปที่ 2.11 ภาพถ่าย SEM พื้นผิวของแอโรเจล

### 2.2.5.3 Enhanced microwave absorption performances of polyaniline/graphene aerogel by covalent bonding

จากงานวิจัยของ Yan Wang และคณะ [20] ได้ทำศึกษาโพลีอะนิลีนที่มีพันธะโควาเลนต์ (PANI)/กราฟีนแอโรเจล (GA) ถูกสังเคราะห์โดยใช้เทคนิคไฮโดรเทอร์มอลและโพลิเมอไรเซชันในแหล่งกำเนิดพันธะเคมีระหว่าง PANI และ GA และคุณสมบัติทางจุลภาคของแอโรเจลถูกตรวจสอบโดยใช้วิธีการแสดงลักษณะเฉพาะหลายวิธี ซึ่งรวมถึงฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR), เอ็กซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (XPS), การวิเคราะห์รูพรุนเออร์-เอ็มเมตต์-เทลเลอร์ (BET) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดภาคสนาม (FESEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) เนื่องจากการรวมกันของการจับคู่อิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมผลเสริมฤทธิ์กันและโครงสร้างนาโน แบบลำดับชั้นของ PANI และ GA ถูกผสมแสดงประสิทธิภาพการดูดซึม ไมโครเวฟที่ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งได้ทำการสังเคราะห์กราฟีนแอโรเจล (GA) โดยใช้กราฟีนออกไซด์ (200 มก.) ถูกกระจายในน้ำปราศจากไอออน 50 มล. โดยการบำบัดด้วยอัลตราซาวด์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และเติมไฮโดรควิโนน (1 กรัม) ลงในสารละลาย หลังจากทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์จะถูกล้างซ้ำด้วยน้ำปราศจากไอออน ในที่สุด ตัวอย่างถูกแช่แข็งเป็นเวลา 48 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ GA ต่อมาได้ทำการสังเคราะห์กราฟีนแอโรเจลที่ทำหน้าที่หมู่อะมิโน (FGA) กราฟีนแอโรเจลที่ทำหน้าที่หมู่อะมิโน (FGA) ถูกเตรียมโดยขั้นตอนต่อไปนี้: GA (0.5 กรัม) และ  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (75 มล.) ถูกเติมลงในหม้อนึ่งความดันเพฟลอนและให้ความร้อนที่ 95 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากทำให้เย็นลงตามธรรมชาติ FGA จะถูกล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งตัวกรองไม่มีสี FGA ที่ได้รับมาถูกทำให้แห้งแบบเยือกแข็งที่ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ขั้นตอนถัดมาได้ทำการ การสังเคราะห์ PANI/กราฟีน แอโรเจล (PANI/GA) FGA (0.1 ก.) ถูกกระจายใน 1 M HCl (100 มล.) และอะนิลีน (0.1 มล.) ถูกเพิ่มเข้าไปในนั้น จากนั้นนำไปอัลตราโซนิกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต่อจากนั้น  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  (0.125 ก.) ในสารละลายในน้ำ HCl (5 มล.) ถูกเติมอย่างช้าๆ ที่ 0 °C และสารแขวนลอยสุดท้ายถูกกวนอย่างแรงที่ 0 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (PANI/GA) ถูกทำให้แห้งแบบเยือกแข็งข้ามคืน

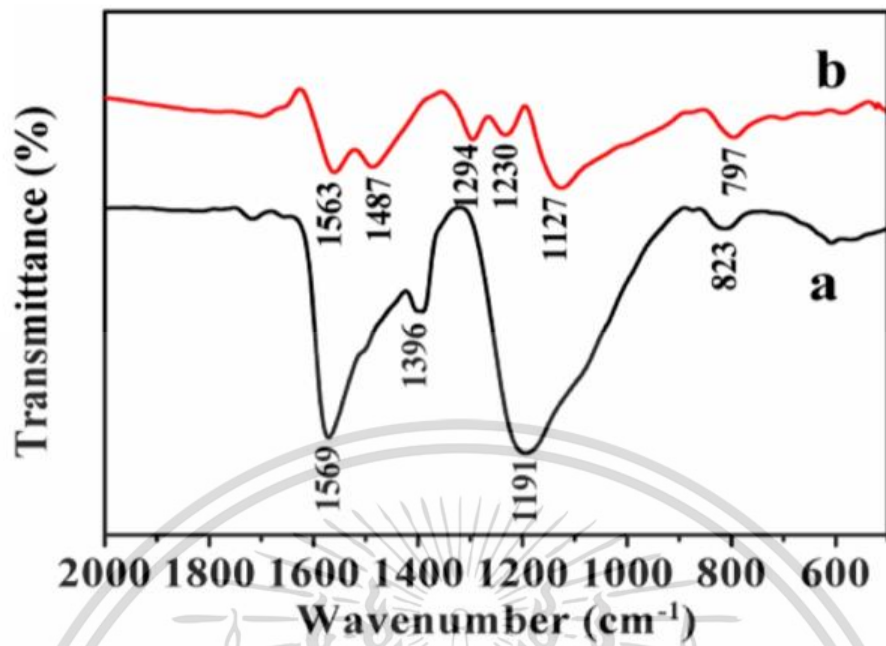
จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า กลไกการก่อดวงของ PANI/GA อธิบายไว้ในรูปที่ 2.11 ชั้นแรก กราฟีนออกไซด์ (GO) ละลายในน้ำปราศจากไอออนและทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลกับรีดิวซ์ไฮโดรควิโนน

โนน เพื่อให้ได้ GA จากนั้น หมู่อะมิโนถูกต่อกิ่งด้วยความร้อนเพื่อให้ได้มาซึ่งหมู่อะมิโน FGA ในที่สุด PANI nanorods ถูกปลูกบนพื้นผิวของ GA โดยโพลิเมไรเซชันในแหล่งกำเนิดของอะนิลีนโดยมี  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  เป็นตัวเริ่มต้นเพื่อให้ได้ PANI/GA โครงสร้างผลึกศาสตร์ของ GA, FGA และ PANI/GA ได้รับการวิเคราะห์โดย XRD ดังที่แสดงในรูปที่ 2.12 สำหรับ GA ในรูปที่ 2 a จุดสูงสุดกว้างที่  $25.9^\circ$  สอดคล้องกับระนาบ (0 0 2) ของ GA ซึ่งเผยให้เห็นว่า GO ส่วนใหญ่จะลดลง ในรูปที่ 2 b ค่าพีคของการเลี้ยวเบน (0 0 2) ของ FGA นั้นดูกว้างเมื่อเทียบกับ GA ซึ่งบ่งชี้การเรียงซ้อนกันที่อ่อนแอของแผ่น FGA เนื่องจากกลุ่มอะมิโนที่ทำหน้าที่บน GA ค่าพีคของการเลี้ยวเบน รูปที่ 2.11 c ของ PANI/GA ที่  $21.7^\circ$  สามารถกำหนดให้เป็นระนาบ (0 2 0) ของ PANI

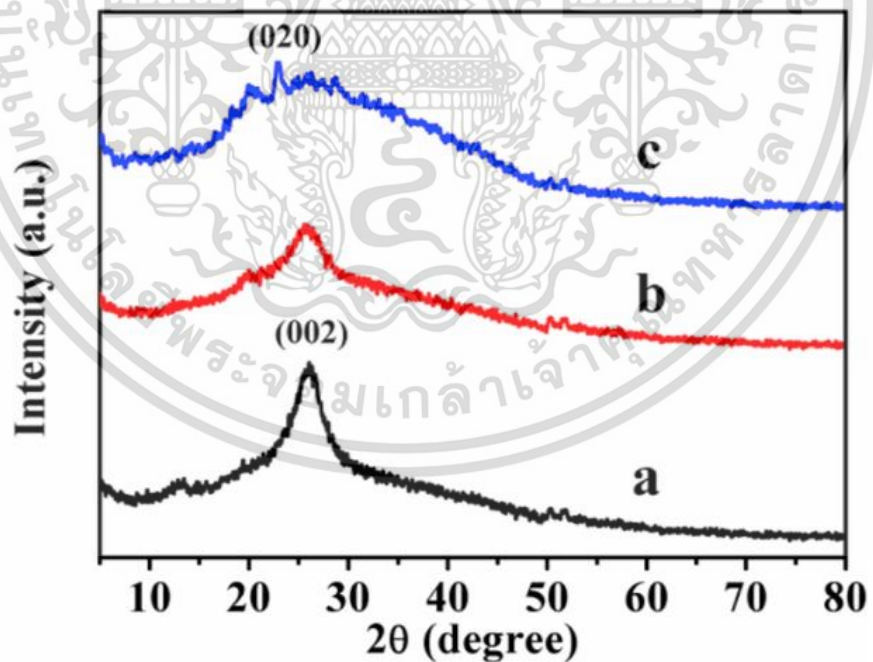


รูปที่ 2.12 ภาพประกอบแผนผังขั้นตอนการผลิตของ PANI/GA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



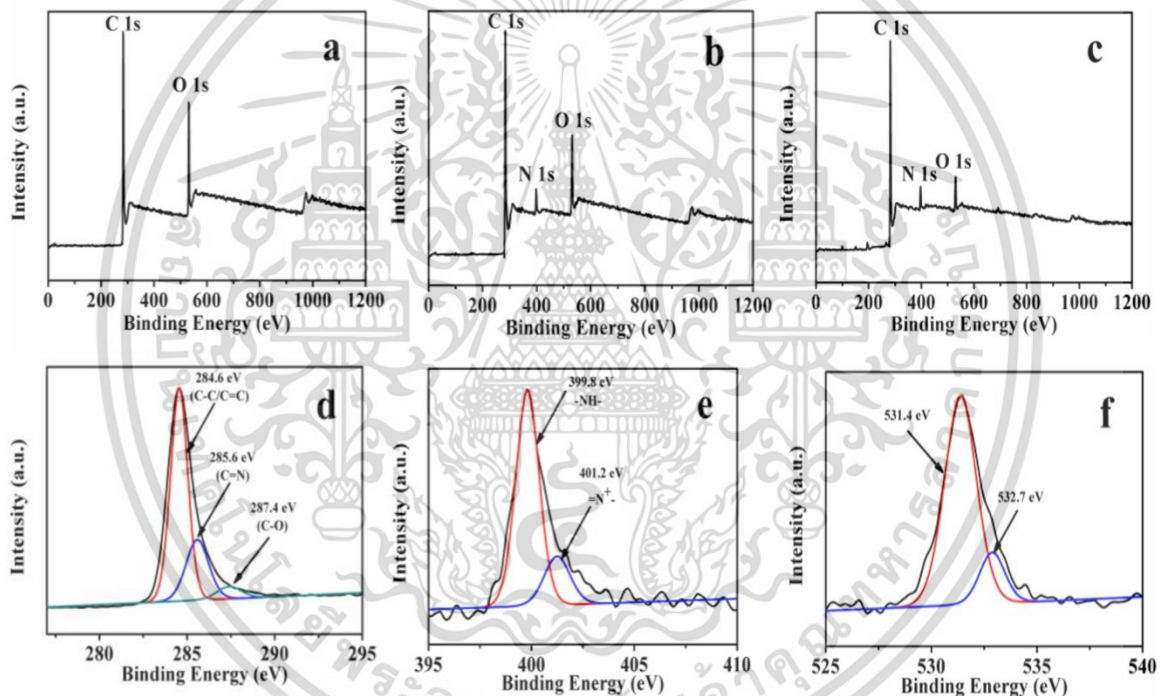
รูปที่ 2.13 รูปแบบ XRD ของ GA (a), FGA (b) และ PANI/GA (c)



รูปที่ 2.14 สเปกตรัม FTIR ของ FGA (a) และ PANI/GA (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

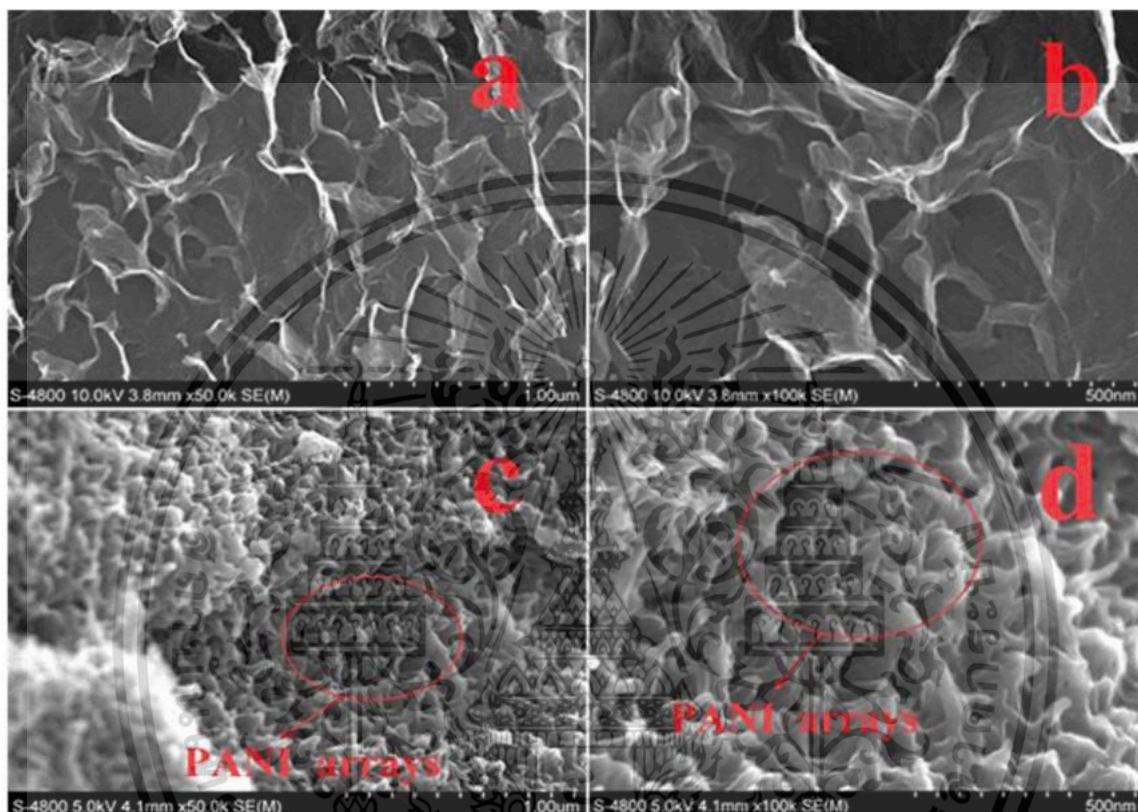
จากรูปที่ 2.13 สเปกโทรสโกปี FTIR มีประโยชน์ในการวิเคราะห์พันธะโคเวเลนต์ระหว่าง PANI และ FGA และผลลัพธ์จะแสดงในรูปที่ 2.13 สำหรับ FGA รูปที่ 3a จุดสูงสุดที่  $1569\text{ cm}^{-1}$  สอดคล้องกับการสั่นสะเทือนการดัด  $\text{-NH}_2$  ในขณะที่แถบที่  $1191\text{ cm}^{-1}$  ถูกกำหนดให้เป็นการสั่นสะเทือนแบบยืด CN ในขณะเดียวกัน ค่าพีคการดูดกลืนที่อ่อนแอที่  $1396$  และ  $823\text{ cm}^{-1}$  เกิดจากการสั่นสะเทือนการเปลี่ยนรูปของ N-H ของเอมีนปฐมภูมิ ซึ่งบ่งชี้ถึงการทำงานของอะมิโนใน GA หลังจากการเกิดพอลิเมอร์ของสวอร์ค รูปที่ 3b ลักษณะพีคที่  $1,563$  และ  $1,487\text{ cm}^{-1}$  ปรากฏในสเปกตรัมของ PANI/GA ซึ่งกำหนดให้  $\text{C}=\text{C}$  ยึดการสั่นของวงแหวนควิโนนอยด์และเบนซีนอยด์ จุดสูงสุดที่  $1294$ ,  $1230$  และ  $1127\text{ cm}^{-1}$  เป็นของ C-N และ CH ที่ยึดของวงแหวนเบนซีนอยด์และควิโนนอยด์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ FGA จุดสูงสุดของการสั่นสะเทือนที่อ่อนแอที่  $823\text{ cm}^{-1}$  จะหายไป และจุดสูงสุดของการสั่นสะเทือนใหม่ปรากฏขึ้นที่  $797\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นผลมาจากการกระดิกของ N-H ของกลุ่มเอมีนทุติยภูมิ



รูปที่ 2.15 การสแกนแบบสำรวจของ GA (a), FGA (b), PANI/GA (c), C 1s (d), N 1s (e) และ O 1s (f) ของ PANI/GA

เมื่อทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย XPS ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการก่อตัวของ PANI/GA และสถานะเวเลนซ์ขององค์ประกอบที่สอดคล้องกันตามที่แสดงในรูปที่ 2.14 รูปที่ 4a แสดงสองพีคที่ชัดเจนของ C1 และ O1 ซึ่งบ่งชี้ว่าองค์ประกอบ C และ O มีอยู่ใน GA ในขณะเดียวกัน การปรากฏตัวของออกซิเจนเผยให้เห็นว่ามีกลุ่มฟังก์ชันที่มีออกซิเจนอยู่บนพื้นผิวของ GA จากรูปที่ 4b การมีอยู่ของไนโตรเจนพิสูจน์ให้เห็นว่าการเกาะกลุ่มอะมิโนกับพื้นผิวของ GA ในรูปที่ 4c ลักษณะของยอด C1 และ O1 เกิดจาก GA ในขณะที่ยอด N 1 เป็นผลมาจากการก่อตัวของ PANI สเปกตรัม C 1s รูปที่ 4d ใน PANI/GA สามารถแก้ไขได้เป็นสามพีคที่ 284.6, 285.6 และ 287.4 eV ซึ่งบ่งชี้ถึงพันธะ C-C/C=C, C-N และ C-O ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบพีคที่ 289.1 eV ซึ่งบ่งชี้ถึงพันธะ C-OH ใน PANI/GA

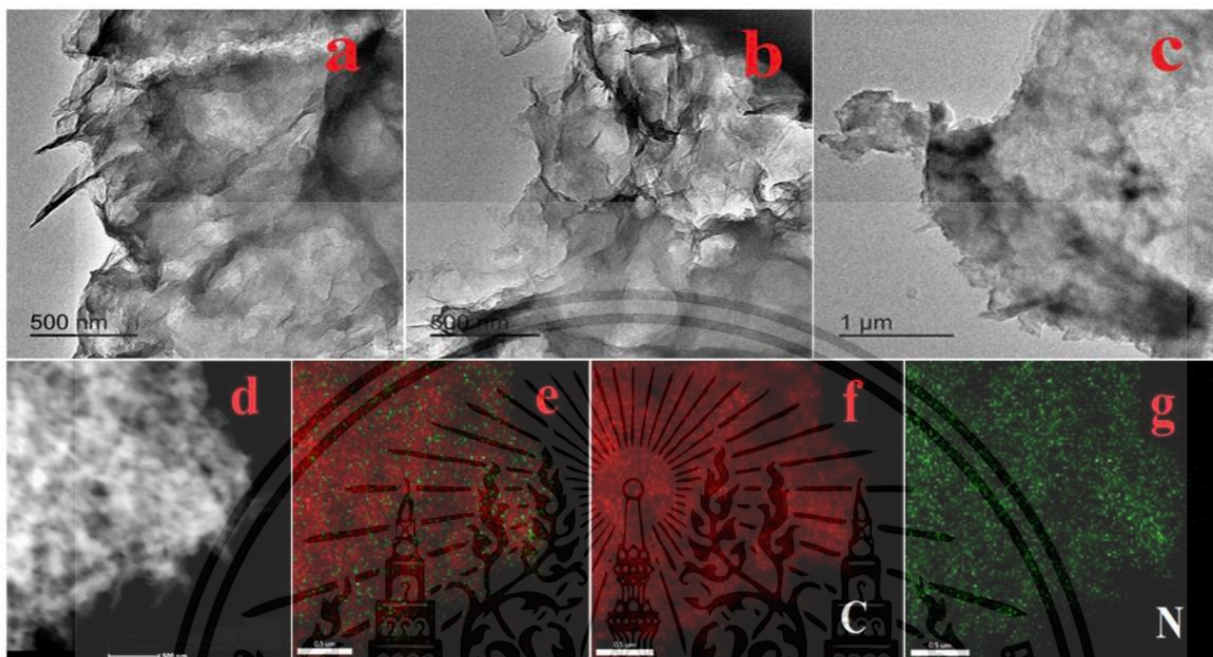
285.6 และ 287.4 eV ซึ่งอาจกำหนดให้กับกลุ่ม  $CC/C=C$ ,  $C=N$  และ  $CO$  ตามลำดับ สเปกตรัม  $N 1s$  แสดงในรูปที่ 4e ซึ่งค่าพีคที่ 399.8 และ 401.2 eV สามารถกำหนดให้กับการจัดกลุ่ม  $-NH-$  และ  $=N+$  สเปกตรัม  $O 1s$  ของ PANI/GA ในรูปที่ 4f แสดงจุดสูงสุดที่ 531.4 และ 532.7 eV จากการวิเคราะห์ FTIR และ XPS เราสามารถคาดเดาได้ว่า PANI ถูกกราฟต์ไปยัง GA แบบโควาลেন্ট



รูปที่ 2.16 ภาพ FESEM ของ GA (a, b) และ PANI/GA (c, d)

เมื่อทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย FESEM และ TEM ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ GA และ PANI/GA รูปที่ 2.15 (a, b) แสดงภาพ FESEM ของ GA ซึ่งบ่งชี้ว่า GA มีโครงสร้างเครือข่ายแบบ 3 มิติที่มีรูพรุน โดยมีแผ่นกราฟีนบางเฉียบเรียงซ้อนกัน ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5 (c, d) ว่าแผ่น GA แบบโปร่งใสหายไป และแท่งนาโนของ PANI จะเติบโตในแนวตั้งฉากอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวของ GA เนื่องจากพันธะโควาลেন্টระหว่าง GA และ PANI ลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยละเอียดของ GA และ PANI/GA แสดงไว้ในรูปที่ 2.16 ในรูปที่ 2.16 (a, b) GA จะดูโปร่งใสและแสดงคลื่นที่นุ่มนวล หลังจากเพิ่ม PANI (รูปที่ 6c) ความเรียบของพื้นผิว GA จะหายไปและชั้นของ PANI ปกคลุม ซึ่งสอดคล้องกับการค้นพบของ FESEM การตรวจสอบลักษณะเฉพาะของ TEM จะอธิบายการกระจายขององค์ประกอบและการแมปองค์ประกอบที่สอดคล้องกันของ PANI/GA จากรูปที่ 6d เห็นได้ชัดว่า PANI/GA มีโครงสร้างเครือข่าย 3 มิติ ดังที่แสดงในรูปที่ 6 (e-g) จุดสีแดงแสดงถึงองค์ประกอบ C และจุดสีเขียวคือองค์ประกอบ N ซึ่งเผยให้เห็นการกระจายที่เป็นเนื้อเดียวกันไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

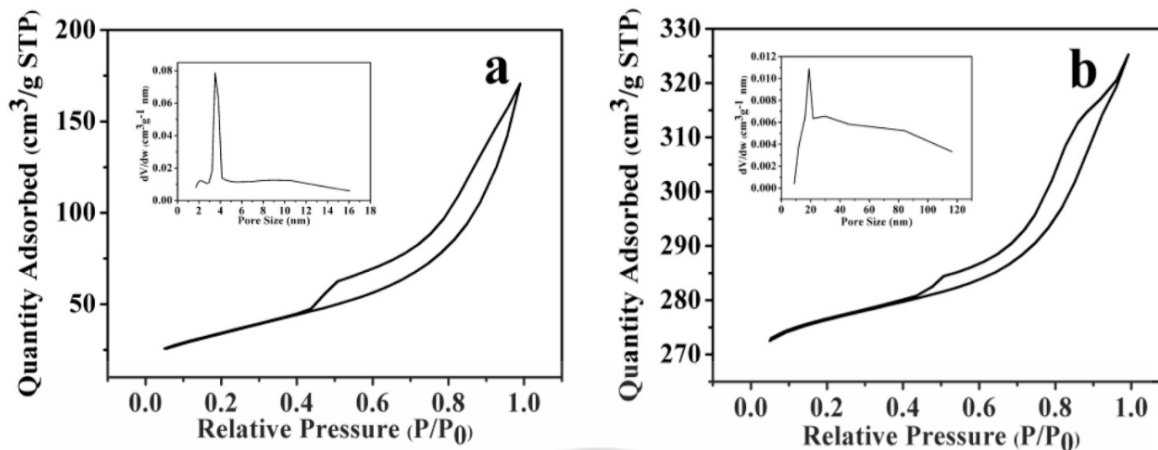
อย่างละเอียดของทั้งสององค์ประกอบ การกระจายตัวที่สม่ำเสมอขององค์ประกอบใน PANI/GA มีประโยชน์ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 2.17 ภาพ TEM ของ GA (a, b), PANI/GA (c), การแมปองค์ประกอบที่สอดคล้องกัน (e-g) สำหรับภาพที่เลือก (d)

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความพรุนของ RGO และ GA จึงได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิว BET เส้นโค้งการดูดกลืน/การดูดกลืน  $N_2$  และการกระจายขนาดรูพรุนแสดงในรูปที่ 7 GA มีพื้นที่ผิวเฉพาะที่สูงกว่า (803.8 ตร.ม./ก.) เมื่อเปรียบเทียบกับ RGO (301.4 ตร.ม./ก.) ซึ่งบ่งชี้ว่าโครงสร้างที่มีรูพรุนของ GA สามารถมีประสิทธิภาพ เพิ่ม SBET ของกลุ่มตัวอย่าง ขนาดรูพรุนเฉลี่ยที่วัดได้ของ RGO และ GA อยู่ที่ประมาณ 5.4 นาโนเมตร และ 40.4 นาโนเมตร ตามลำดับ สรุปได้ว่า SBET ที่ใหญ่ขึ้นของ GA เกิดจากโครงสร้างเครือข่ายนาโนที่มีสถาปัตยกรรม 3 มิติ ซึ่งสามารถให้ไซต์ที่ใช้งานอยู่จำนวนมากขึ้นและช่องสำหรับคลื่น EM เพื่อเข้าสู่ภายในของ GA ได้อย่างง่ายดาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ไอโซเทอร์มการดูดซับ-การดูดซับ N<sub>2</sub> และการกระจายขนาดรูพรุนของ RGO (a), GA (b)

## 2.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ (Characterization)

### 2.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible Spectrophotometer)

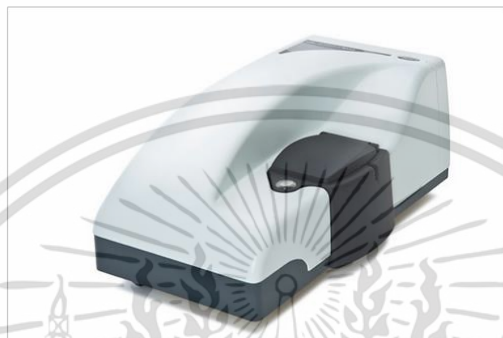
เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสง และค่าความเข้มแสง ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) จนถึงช่วงแสงขาว (visible) ที่เกิดจากการทะลุผ่าน การส่องผ่าน และการสะท้อนของวัสดุตัวอย่าง หลักการในการวิเคราะห์โดยทั่วไป จะทำการฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นของอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิล ที่มีพลังงานที่เหมาะสมไปที่วัสดุตัวอย่าง ส่งผลให้เกิดการย้ายระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมซึ่งเกิดจากการดูดกลืนแสง ทำให้อิเล็กตรอนเหล่านั้นไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่า แล้วเกิดการคายพลังงานออกมาอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่เหมาะสมในรูปของความยาวคลื่นต่าง ๆ เมื่อทำการตรวจวัดปริมาณของแสงที่ทะลุผ่าน สะท้อน และส่องผ่านจากวัสดุตัวอย่าง แล้วนำมาเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ ตามกฎของ Beer- Lambert โดยค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุตัวอย่างจะแปรผันตรงกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสงดังนั้นเทคนิคนี้จึงสามารถใช้ในการระบุทั้งชนิด และปริมาณของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัสดุตัวอย่างได้ ในโครงการพิเศษนี้จะทำการวิเคราะห์สารละลาย PANI/PSS เพื่อตรวจสอบการดูดกลืนแสงเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.19 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible Spectrophotometer) [21]  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการตีพิมพ์ต่าง ๆ ไม่ขอสงวนสิทธิ์ในค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 การวิเคราะห์ประจุบนพื้นผิวด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างอนุภาคที่เป็นสารแขวนลอยที่อยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวมีความโปร่งใส สามารถวัดขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างในช่วง 0.6 nm ถึง 6  $\mu\text{m}$  ได้ ควบคุมอุณหภูมิในช่องบรรจุตัวอย่างในช่วง 2 ถึง 90 องศาเซลเซียส แสดงผลการทดสอบแบบกราฟและข้อมูลตาราง ผ่านคอมพิวเตอร์ และสามารถวัดซ้ำได้หลายครั้งในระยะเวลาสั้น ๆ ในโครงการพิเศษนี้จะทำการวิเคราะห์สารละลาย PANI/PSS โดยมี pH ที่ต่างต่างกัน 1,3,5,7,9,11 เพื่อตรวจสอบประจุบนพื้นผิว [22]



รูปที่ 2.20 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer) [23]

### 2.3.3 เครื่องวิเคราะห์คุณลักษณะพื้นที่ผิว (Surface Area Analyzer)

ชุดวิเคราะห์คุณลักษณะพื้นที่ผิวเป็นเครื่องมือศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (Pore size diameter) พื้นที่ผิวของผงตัวอย่าง (Surface area) ปริมาตรของรูพรุน (Pore volume) ในแบบต่างๆ (Micropore, Mesopore and macropore) ค่าการดูดซับหรือคายก๊าซ (Adsorption / Desorption isotherm) และการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) โดยใช้หลักการ Vacuum Volumetric Technique สามารถแปรผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของอนุภาคได้ [24] ในโครงการพิเศษนี้จะทำการวิเคราะห์ดูดซับ แก๊สทั้งบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุแอโรเจลศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ ศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน ขนาดของรูพรุนของวัสดุ เป็นต้น โดยทำการตัดตัววัสดุด้านละ 0.6 เซนติเมตร โดยมีน้ำหนักรวม 2 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 เครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติของพื้นที่ผิว (Surface Area Analyzer) [25]

### 2.3.4 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Attenuated Total Reflection-fourier transform infrared)

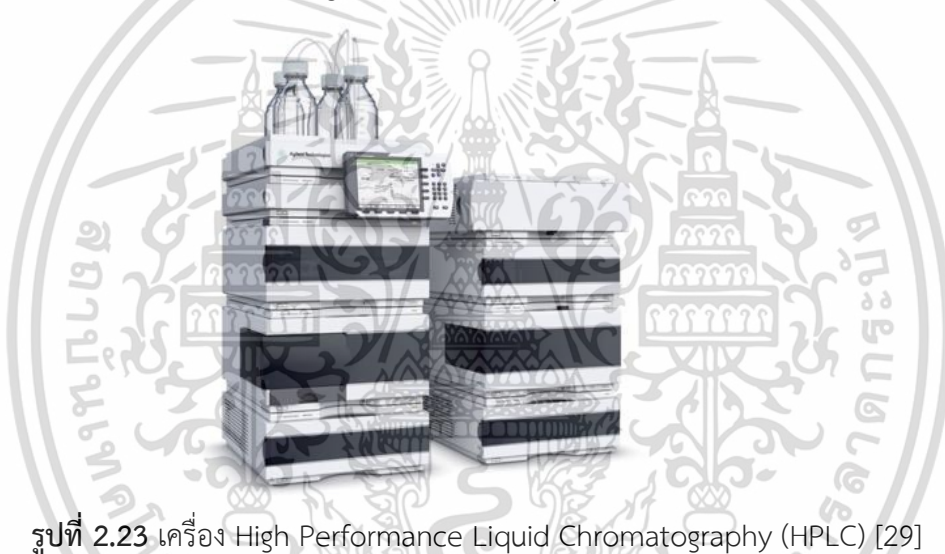
เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier transform Infrared (FTIR) Spectroscopy) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ จำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และพันธะเคมีหรือหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล ซึ่งสามารถ วิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ทำให้เกิดช่วงกลาง (Middle infrared region) ช่วงความยาวคลื่น (l) 2.5 - 50 nm, ช่วงเลขคลื่น 4000 - 400  $\text{cm}^{-1}$  เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (Nondestructive) คือไม่มีการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างหลังการวัด นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่สะดวก ไม่ยุ่ง ยาก ใช้เวลาในการวัดสั้น และมีความปลอดภัยสูงสามารถวัดตัวอย่างได้ทั้งในรูปของแข็งและของเหลว [26] ในโครงการพิเศษนี้จะทำการวิเคราะห์สารละลาย PANI-PSS เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน โดยการวัดตัวอย่าง จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงเลขคลื่น 700-4000  $\text{cm}^{-1}$  ในโหมด ATP



รูปที่ 2.22 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Attenuated Total Reflection-fourier transform infrared) [27]

### 2.3.5 เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

HPLC เป็นเทคนิคแยกสารผสมโดยใช้เครื่องสูบล้างแรงดันสูง (High pressure pump) สูบล้างของเหลวหรือตัวทำละลายซึ่งทำหน้าที่เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase) พาสารถั่วอย่างที่ถูกฉีดเข้าทางช่องฉีดสาร (injector) เคลื่อนที่ผ่านอนุภาคที่เป็นวัฏภาคคงที่ (stationary phase) ซึ่งบรรจุอยู่ในคอลัมน์ (column) สารผสมเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์แล้วจะถูกแยกออกมาในเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่ง สารผสมที่อยู่ในตัวอย่างสามารถถูกแยกออกจากกันได้นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้นกับ mobile phase หรือ stationary phase สารประกอบตัวไหนที่สามารถเข้ากันได้หรือละลายได้ดีกับ mobile phase สารนั้นก็จะถูกแยกออกมาก่อนส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับ mobile phase หรือเข้ากันได้ดีกับ stationary phase ก็จะถูกแยกออกมาก็หลัง ผ่านเข้าสู่เครื่องตรวจวัด (detector) สัญญาณที่ตรวจวัดได้ซึ่งอยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้าตามเวลาและปริมาณของสารแต่ละตัวที่ตรวจวัดได้ โดยสัญญาณจะถูกส่งไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณแสดงผลออกมาเป็น chromatogram ประกอบด้วย peaks ของสารที่เป็นองค์ประกอบของสารผสม



รูปที่ 2.23 เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) [29]

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

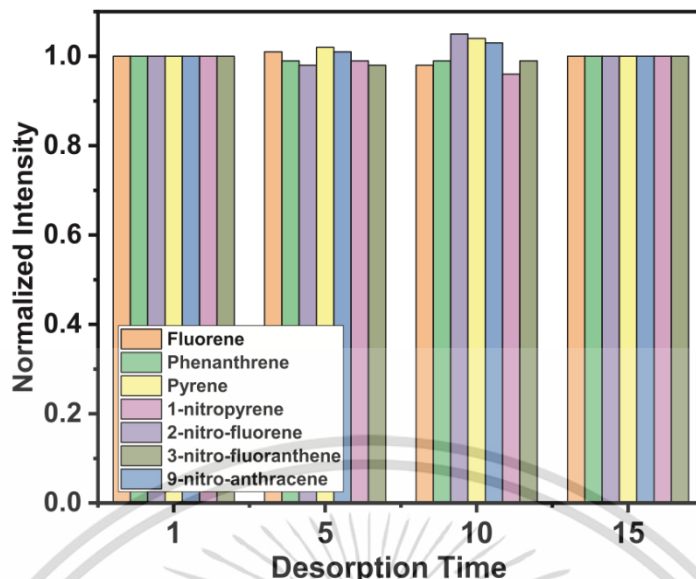
### 2.4.1 Ultrasound-assisted magnetic solid-phase extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons and nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons from water samples with a magnetic polyaniline modified graphene oxide nanocomposite

จากงานวิจัยของ N. Manousi และ คณะ [30] ได้ทำการศึกษาการสกัดเฟสของแข็งด้วยแม่เหล็กด้วยอัลตราซาวนด์ของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนไนเตรตจากตัวอย่างน้ำด้วยนาโนคอมโพสิตกราฟีนออกไซด์ที่ดัดแปลงด้วยแม่เหล็กโพลีอะนิลีน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการใช้นาโนคอมโพสิต  $Fe_3O_4@GO$  ดัดแปลงด้วย PANI สำหรับการสกัดด้วยวิธี magnetic solid-phase extraction เพื่อ polycyclic aromatic hydrocarbons และ nitrated polycyclic aromatic อนุภาคนาโน  $Fe_3O_4$  ถูกสังเคราะห์โดยวิธีตกตะกอนร่วม โดยเริ่มจากน้ำ  $FeCl_2 \cdot 4H_2O$  และ  $FeCl_3 \cdot 6 H_2O$  (อัตราส่วนโดยมวล 0.35:1) ถูกเติมลงในน้ำปราศจากไอออน 100 มล. และให้ความร้อนที่  $60\text{ }^{\circ}C$  ภายใต้บรรยากาศเฉื่อยเป็น

เวลา 1 ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 400 rpm หลังจากนั้นเติมสารละลายแอมโมเนียม ที่ละลายภายใต้การกวนอย่างแรงจนถึงค่า pH สุดท้ายที่ 10 และให้ความร้อนไปถึง 90 °C ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วทำการกรองและล้าง หลังจากนั้นนำไปทำการ Freeze-dry ถัดมาสำหรับการสังเคราะห์วัสดุคอมโพสิต Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO-PANI นั้น เริ่มจากนำ GO และแมกนีไทต์ใส่ลงไปในน้ำกลั่น 25 ml และปั่นกวนภายใต้รังสีอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเติม PANI และปั่นกวนภายใต้อุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่ในอ่างแช่แข็ง 30 นาที จากนั้นเติมสารละลายแอมโมเนียมเพอร์ซัลเฟตและปล่อยให้เกิดโพลีเมอไรเซชัน อีก 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการล้างด้วยน้ำ DI และนำไป Freeze-dry และบดเป็นผงละเอียด ขั้นตอนสำหรับการ Magnetic solid phase extraction (MSPE) ตัวดูดซับ 2.5 mg จะถูกใส่ลงในขวดแก้วขนาด 40 ml และเติมตัวอย่าง 20 ml หลังจากนั้นนำหลอดทดลองไปใส่ในอ่างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที เพื่อดูดซับการวิเคราะห์เป้าหมาย ถัดมาทำการแยก Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO-PANI ออกมาด้วยการใช้แม่เหล็กและใช้ ACN 150 ml ในการชะ และนำสารละลายที่ได้จากการชะไปตรวจด้วยเครื่อง GC-MS

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้ทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง XRD ซึ่งวัดในช่วง  $2\theta = 5$  ถึง  $70^\circ$  โดย GO พบพีคที่  $2\theta = \sim 10^\circ$  และ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> จะพบพีคที่  $2\theta = 29.9^\circ, 35.3^\circ, 43.2^\circ, 53.5^\circ, 57.1^\circ$  และ  $62.7^\circ$  ส่วน Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO-PANI พบพีคที่  $2\theta = 13^\circ, 20.6^\circ, 25.1^\circ, 29.9^\circ, 35.3^\circ, 43.2^\circ, 53.5^\circ, 57.1^\circ$  และ  $62.7^\circ$  นอกจากนี้ผลของ FTIR ยังแสดงให้เห็นถึงสเปกตรัมของ GO ที่  $1625\text{ cm}^{-1}$  ของ Aromatic rings และพีคที่ 1050, 1160–1200, 1240, 1374 and  $\sim 1724\text{ cm}^{-1}$  จาก C–O, C=O ของ Carbonyl, O–H ของ Phenolic groups, C–O ของ Epoxides O–C=O ของ Carboxyl และ S=O ของ Sulfates ตามลำดับ และได้มีการตรวจด้วย สเปกตรัม FTIR สำหรับ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO-PANI nanocomposite (รูปที่ 2.23 a) พีคที่  $1,576\text{ cm}^{-1}$  เป็นพีคของ C=C ของ Benzene ring เมื่อเปรียบเทียบพีคของ GO พบว่าพีคเกิดการเลื่อนไปยังความถี่ที่ต่ำกว่า ถัดมาพีคที่  $1,494\text{ cm}^{-1}$  ของ –NH<sub>2</sub>, 1300 และ  $1215\text{ cm}^{-1}$  ของ C–N ของ PANI และสุดท้ายที่  $\sim 580\text{ cm}^{-1}$  ของ Magnetite ทำให้เห็นได้ว่า GO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, และ PANI มีอยู่ใน Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO-PANI nanocomposite สเปกตรัม FTIR สำหรับตัวอย่างของคอมโพสิตนาโนแม่เหล็กหลังจากการดูดซับของฟลูออรีน พีแนนทริน และไพรีน แสดงในรูป S4b โดยพบว่า ความเข้มของพีคระหว่าง 700 และ  $950\text{ cm}^{-1}$  เพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเลกุลอะโรมาติกจำนวนหนึ่งถูกดูดซับบนพื้นผิวของ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO-PANI นอกจากนี้พีคของ C=C ยังเกิดการเลื่อนไปยังความยาวคลื่นที่ต่ำลงซึ่งเกิดจากการเกิด  $\pi - \pi$  interactions ระหว่าง Benzene rings ของ GO และ Benzene rings ของ Analytes นอกจากนี้ยังมีพีค  $\sim 1350\text{ cm}^{-1}$  และ  $\sim 1500\text{ cm}^{-1}$  ของ NO<sub>2</sub> พบว่ามีความเข้มเพิ่มมากขึ้นและ  $1205\text{ cm}^{-1}$  และพีคที่  $1205\text{ cm}^{-1}$  เกิดการเลื่อนไปยังแถบความยาวคลื่นที่ต่ำกว่าซึ่งแสดงถึงการเกิด Interactions ระหว่าง Magnetic nanocomposite และ nitrated PAHs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

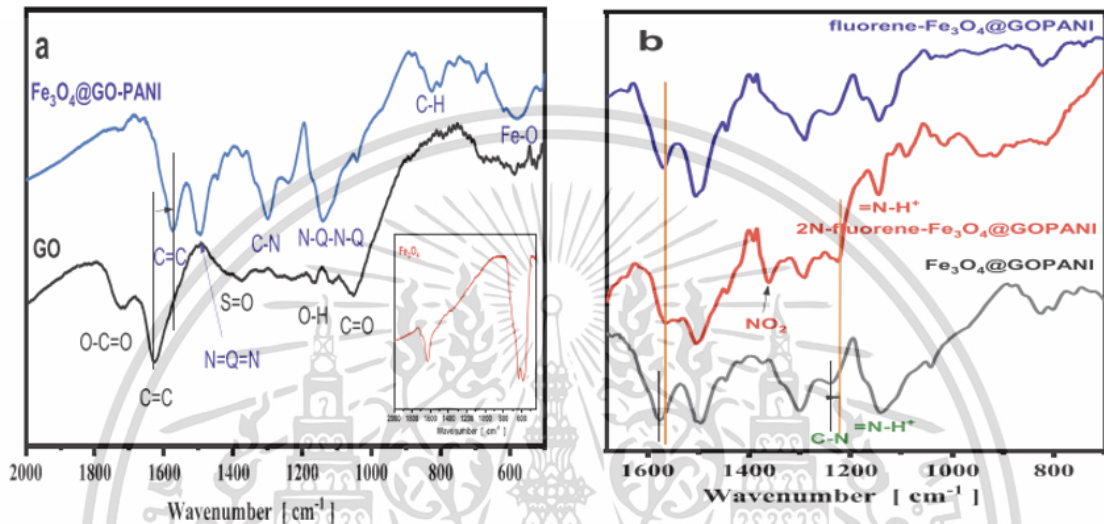


รูปที่ 2.24 สเปกตรัม FTIR (a) สำหรับ GO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO-PANI และ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (b) สำหรับ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO-PANI หลังจากการดูดซับของฟลูออรีน (PAH) และ 2-Nitrofluorene (ไนเตรต PAH)

งานวิจัยนี้ยังได้ทำการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของ MSPE conditions ด้วยการปรับเงื่อนไข MSPE ให้เหมาะสมนั้นดำเนินการตามวิธี OVAT (ทีละตัวแปร) โดยตัวแปรที่ใช้มีดังนี้ ตัวดูดซับ 2.5 mg, ตัวอย่าง 20 ml, เวลาดูดซับ 30 นาที, NaCl 0% w/v, 500 ไมโครลิตร ของสารชะ, เวลาการดูดซับ 10 นาที, ACN เป็นสารชะ เริ่มจากการเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนการดูดซับตัวแปรที่จะต้องมีการประเมินได้แก่ เวลาที่ใช้ดูดซับ (1,5,10,15,30,45,60 นาที), ขนาดของตัวดูดซับ (2.5, 5, 10, 15 and 20 mg), และการเติมเกลือ (NaCl 0, 2.5, 5, 10 and 20% w/v) หลังจากตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ขนาดของตัวดูดซับพบว่าตัวดูดซับ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO-PANI 2.5 มก. เพียงพอที่จะดูดซับ PAHs และ N-PAHs การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับที่เพิ่มขึ้นอีก ไม่ได้นำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับแต่อย่างใด ในขณะที่เดียวกันการทดลองผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับ แสดงในรูปที่ 2.24 ประสิทธิภาพการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 1 เป็น 15 นาที และหลังจากเวลานี้ ไม่มีการเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นจึงเลือก 15 นาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ และสุดท้ายการทดลองผลของการเพิ่มเกลือโดยพบว่าการเพิ่มเกลือนั้นไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับเนื่องจากเมื่อทำการเพิ่มเกลือลงไปจะส่งผลให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้นและทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง

การเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนการชะล้างโดยมีการเปลี่ยนตัวแปรดังต่อไปนี้ ชนิดของสารที่ใช้ชะ (ACN, MeOH, TOL, และ DCM), เวลาที่ใช้ชะ(1, 5, 10 และ 15 นาที), และปริมาณของสารละลายที่ใช้ชะในการทดลองผลชนิดของสารละลายตัวของโดยใช้สารละลาย ACN, MeOH, TOL, และ DCM โดยพบว่า ACN ให้ผลการชะออกมาได้ดีที่สุด ถัดมาในการทดลองผลของเวลาที่ชะ 1, 5, 10 และ 15 นาที ACN ถูกใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับชะและใช้ส่วนลงตัวที่ 500 ไมโครลิตร ดังที่สังเกตได้จากรูปที่ 4 1-5 นาทีก็เพียงพอแล้วที่จะกำจัด PAHs และ N-PAHs จึงเลือกห้านาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับ และสุดท้ายในการทดลองผลไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ของปริมาณสารละลายที่ใช้จะอัตราส่วนของมวลสารชะกับปริมาตรสารดูดซับได้รับการประเมิน อัตราส่วนที่ตรวจสอบอยู่ระหว่าง 7.5 – 60 อัตราส่วนมวลของปริมาตรสารชะล้างต่อสารดูดซับและพบที่ 60 เป็นค่าสูงสุดที่ได้รับเลือกสำหรับการตรวจสอบเนื่องจากอัตราส่วนนี้เพิ่มขึ้นอีก จะลด EF ของวิธีการลงอย่างมาก ดังนั้นสำหรับตัวดูดซับ 2.5 mg จำเป็นต้องมี ACN 150 ไมโครลิตรสำหรับการดูดซับ PAH และ N-PAH อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.25 แสดงผลกระทบของเวลาการดูดซับต่อกระบวนการ MSPE

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี MSPE-GC-MS ค่า LOD และ LOQ การกู้คืนการแยกและปัจจัยการเพิ่มคุณค่าแสดงอยู่ในตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ของการกำหนดอยู่ระหว่าง 0.9970–0.9995 ซึ่งแสดงให้เห็นความเป็นเส้นตรงที่ดีสำหรับดูดซับ PAH และ N-PAH ค่า LOD อยู่ระหว่าง 0.04–0.05 ng mL<sup>-1</sup> สำหรับ PAHs และ 0.01–0.11 ng mL<sup>-1</sup> สำหรับ N-PAHs ในขณะที่ค่า LOQ อยู่ระหว่าง 0.14–0.15 ng mL<sup>-1</sup> และ 0.04–0.33 ng mL<sup>-1</sup> สำหรับ PAHs และ N-PAHs ตามลำดับ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมและสำหรับ ER% อยู่ระหว่าง 56.2 ถึง 89.2% สำหรับ PAHs และ 74.7% ถึง 98.4% สำหรับ N-PAHs นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์จากตัวอย่างจริง โดย MSPE-GC-MS ถูกนำไปใช้กับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำประปา และน้ำในแม่น้ำการกู้คืนสัมพัทธ์ (RR%) ของ PAHs ได้รับการศึกษาโดยการเติมสารละลายมาตรฐานของ PAHs ลงในตัวอย่างน้ำ (c = 25 ng mL<sup>-1</sup>) ดังที่เห็นในตารางที่ 2 ค่า RR% สำหรับ PAHs และ N-PAHs ในตัวอย่างน้ำจริงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 91.6 ถึง 114.1% และ 92.3 ถึง 110.3% ตามลำดับ เนื่องจากไม่มีจุดสูงสุดสำหรับการวิเคราะห์เป้าหมายในตัวอย่างเปล่า และเนื่องจากค่าการกู้คืนสัมพัทธ์เป็นที่น่าพอใจ เราจึงสรุปได้ว่าไม่มีผลกระทบเมทริกซ์ที่มีนัยสำคัญในตัวอย่างน้ำจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ วิธี MSPE-GC-MS ที่พัฒนาขึ้นถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธี MSPE อื่น ๆ ที่รายงานในเอกสารสำหรับการตรวจหา PAHs และ N-PAHs ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งวิธีการที่ รวดเร็ว เรียบง่าย และละเอียดอ่อนได้รับการพัฒนาขึ้นโดยใช้  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{GO-PANI}$  เป็นตัวดูดซับสำหรับ MSPE ของ PAHs และ N-PAHs จากตัวอย่างแม่น้ำ น้ำประปา และน้ำแร่ ก่อนการวิเคราะห์โดย GC-MS ตัวดูดซับ ชนิดใหม่แสดงปัจจัยเสริมประสิทธิภาพที่สูง รวมทั้งการคืนสภาพการสกัดสูง ในการแยกสารวิเคราะห์เป้าหมาย ออกจากตัวอย่างจริง จำเป็นต้องใช้ตัวดูดซับเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (2.5 มก.) ยิ่งไปกว่านั้น นาโนคอมโพสิตที่ รายงานในที่นี้สามารถนำมาใช้ซ้ำได้อย่างน้อย 15 ครั้ง โดยที่การสกัดกลับคืนสภาพเดิมไม่ลดลงอย่างมี นัยสำคัญ ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่เหมาะสม บรรลุช่วงเชิงเส้นที่กว้าง LOD ต่ำ และความสามารถในการ ทำซ้ำระหว่างวันและระหว่างวันที่น่าพอใจ การปรับปรุงเพิ่มเติมของวิธีการที่เสนอในแง่ของ LOD ที่ต่ำกว่า และ LOQ อาจพิจารณาได้จาก เช่นตราสาร GC/MS/MS สามสี่เท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ผลการตรวจสอบสำหรับวิธี MSPE-GC-MS

Analyte	Regression analysis	Standard uncertainty of slope ( $S_b$ )	Standard uncertainty of intercept ( $S_a$ )	$R^2$	Linear range (ng ml <sup>-1</sup> )	LOD (ng ml <sup>-1</sup> )	LOQ (ng ml <sup>-1</sup> )	ER%	EF
Fluorene	Y=4303.0X+215.7	76.2	1453.5	0.9991	0.2-50	0.05	0.15	56.2	74.9
Phenanthrene	Y=9781.9X-2112.2	146.9	2306.7	0.9991	0.2-50	0.05	0.15	89.2	118.8
2-Nitrofluorene	Y=2793.2X-1925.9	55.5	897.1	0.99980	0.2-50	0.01	0.04	85.5	114.0
Pyrene	Y=14773X-2021.8	215.9	7046.0	0.9990	0.2-75	0.04	0.14	73.0	97.4
9-Nitroanthracene	Y=1336.1X-453.24	13.85	407.1	0.9995	0.2-75	0.04	0.13	74.7	99.6
1-Nitropyrene	Y=1326.5X-4885.2	36.1	1272.9	0.9970	0.4-75	0.10	0.30	83.4	111.2
3-Nitrofluoranthene	Y=1172.8X-1730.0	20.7	776.4	0.9991	0.4-75	0.11	0.33	98.4	131.3

ตารางที่ 2.3 ผลการวิเคราะห์ PAHs และ N-PAHs ในตัวอย่างน้ำจริง

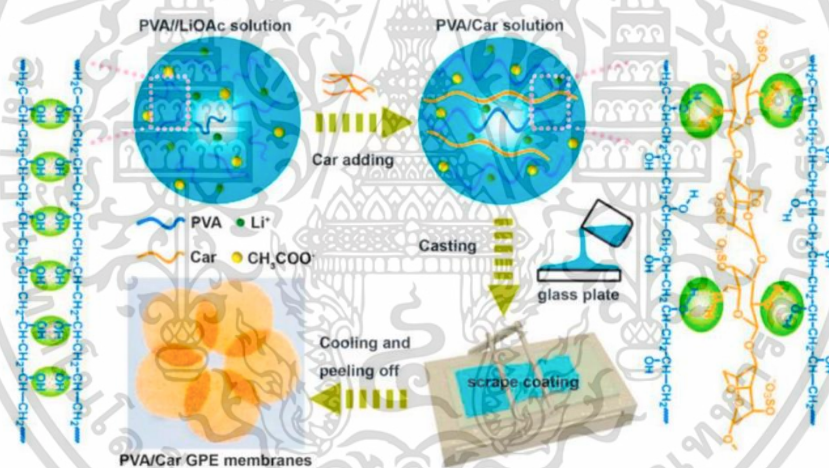
Analyte	River water			Tap water			Mineral water		
	Add (ng ml <sup>-1</sup> )	Found (ng ml <sup>-1</sup> )	RR%	Add (ng ml <sup>-1</sup> )	Found (ng ml <sup>-1</sup> )	RR%	Add (ng ml <sup>-1</sup> )	Found (ng ml <sup>-1</sup> )	RR%
Fluorene	0	ND	-	0	ND	-	0	ND	-
	25	28.2±2.8	112.9	25	23.2±1.9	92.8	25	23.1±2.1	92.4
Phenanthrene	0	ND	-	0	ND	-	0	ND	-
	25	23.1±1.9	92.4	25	24.1±2.2	96.4	25	24.5±1.0	98.0
2-Nitrofluorene	0	ND	-	0	ND	-	0	ND	-
	25	25.6±1.3	102.5	25	23.4±1.6	93.6	25	22.9±2.1	91.6
Pyrene	0	ND	-	0	ND	-	0	ND	-
	25	28.5±1.8	114.1	25	26.3±0.8	105.2	25	23.4±1.8	93.6
9-Nitroanthracene	0	ND	-	0	ND	-	0	ND	-
	25	23.1±0.8	92.3	25	26.1±0.7	104.4	25	27.2±2.0	108.8
1-Nitropyrene	0	ND	-	0	ND	-	0	ND	-
	25	27.6±1.5	110.3	25	27.0±2.2	108.0	25	26.4±2.1	105.6
3-Nitrofluoranthene	0	ND	-	0	ND	-	0	ND	-
	25	26.2±0.5	104.6	25	24.5±0.9	98.0	25	24.1±1.2	96.4

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบวิธี MSPE-GC-MS ที่พัฒนาขึ้นกับวิธีอื่นๆ สำหรับการหาปริมาณ PAHs และ N-PAHs

Sorbent	Sample preparation technique	Detection system	Analytes	Sorbent mass (mg)	Loading volume (ml)	ER%	EF	LODs (ng ml <sup>-1</sup> )
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @GO/PS	MSPE	GC-FID	PAHs	15	20	69.5-88.7	695-887	0.003-0.01
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @GO	MSPE	HPLC-UV	PAHs	40	50	NA	NA	0.09-0.19
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @Ag@b-TMP-DTPA	MSPE	HPLC-UV	PAHs	50	100	24.2-60.6	242-600	0.02-0.1
PFu/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	MSPE	GC-FID	PAHs	25	20	NA	NA	0.005-0.002
C18	SPE	HPLC-UV	N-PAHs	500	100	76-97	Around 100	0.008-0.058
MIL-125/In <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	d-SPE	GC-MS	N-PAHs	1.0	10	>80	NA	0.0029-0.089
MNP-PANI-DICAT	MSPE	GC-MS	PAHs	15	30	NA	7.546-29.632	0.0008-0.2086
PANI/alginate/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	MSPE	HPLC-FLD	PAHs	400	510	>84	-	0.010
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @GO-PANI	MSPE	GC-MS	PAHs/N-PAHs	2.5	20	56.2-98.4	74.9-131.3	0.04-0.05(PAHs)/0.01-0.11(N-PAHs)

## 2.4.2 Poorly-crystallized Poly(vinyl alcohol)/Carrageenan matrix: Highly ionic conductive and flame-retardant gel polymer electrolytes for safe and flexible solid-state supercapacitors

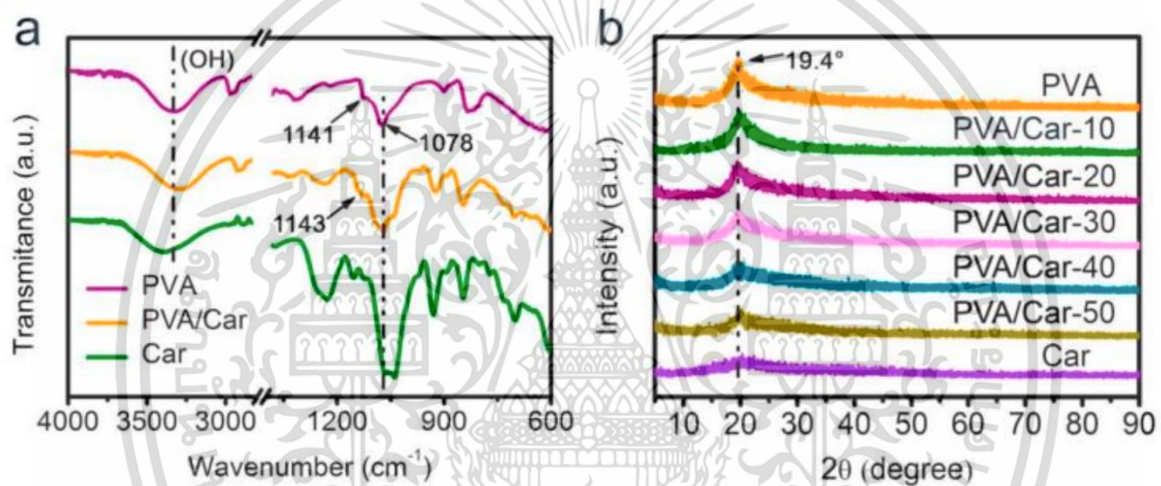
จากงานวิจัยของ Tingting Ye และ คณะ [31] ได้ทำการศึกษาอิเล็กโทรไลต์เจลโพลิเมอร์ที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าและอึดทนสูงที่ทนต่อการติดไฟ ซึ่งขั้นตอนการเตรียม PVA/Car GPE แสดงไว้ในรูปที่ 2.25 ขั้นแรกให้ละลาย PVA และ LiOAc ในน้ำกลั่นที่มีความเข้มข้นของ LiOAc ที่ 2 M ที่ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นเติม Car ลงในโซลชัน PVA/LiOAc เพื่อสร้างโซลชัน PVA/Car ที่สม่ำเสมอ ประการที่สอง สารละลาย PVA/Car ที่ได้รับถูกล่องลงบนแผ่นกระจกเพื่อสร้างเมมเบรนคอมโพสิตที่มีความหนาสม่ำเสมอโดยการขูดเคลือบ ในที่สุด เมมเบรน GPE ที่ยืดหยุ่นได้มาจากการลอกออกจากแผ่นกระจกหลังกระบวนการทำความเย็น ดังที่แสดงในรูปที่ 1 ในระหว่างขั้นตอนการผสม การเพิ่ม Car จะทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์ PVA และพันธะไฮโดรเจนใหม่ระหว่าง PVA และ Car จะก่อตัวขึ้น ส่งผลให้ PVA/Car มีความแข็งแรงเชิงกลเพียงพอ GPE สำหรับสร้าง SSC ที่ยืดหยุ่น



รูปที่ 2.26 ขั้นตอนการเตรียม PVA/Car GPE

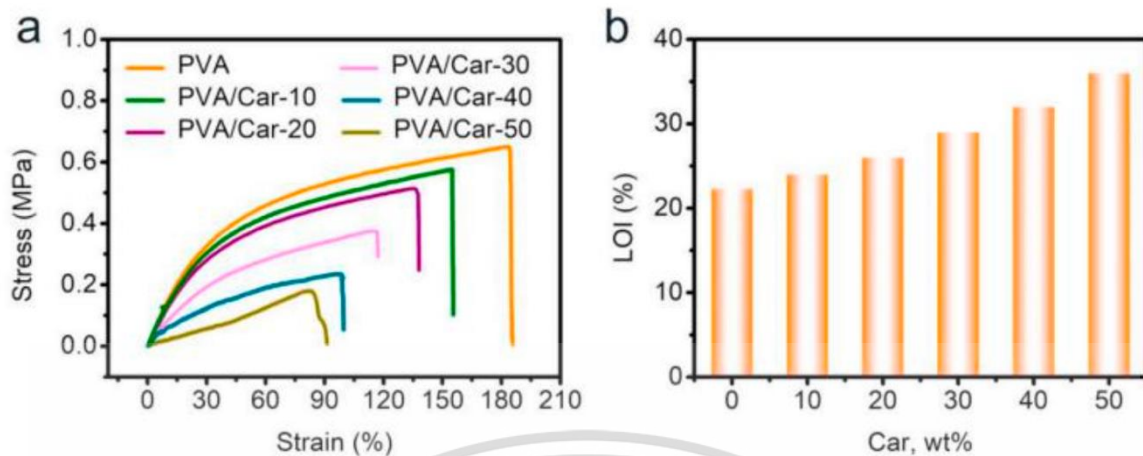
นอกจากนี้ได้ทำการตรวจสอบปฏิกิริยาระหว่างโพลีเมอร์ระหว่าง PVA และ Car โดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) บน PVA, Car และ PVA/Car แสดงในรูปที่ 2.26 แถบการดูดกลืนแสงที่ 3,000-3600  $\text{cm}^{-1}$  สามารถสังเกตได้ในสเปกตรัมของ PVA, Car และ PVA/Car ซึ่งเกิดจากการยึดการสั่นสะเทือนของ -OH ของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโพลีเมอร์และภายในโพลีเมอร์ใน PVA, รถยนต์ และ PVA/Car ตามลำดับ แถบที่ 3,000-3600  $\text{cm}^{-1}$  ของ PVA/Car จะกว้างกว่าของ PVA เนื่องจากมีกลุ่ม OH ที่หลากหลายทั้งใน PVA และ Car ในขณะเดียวกัน การเลื่อนไปทางซ้ายของแถบที่ 3,000-3600  $\text{cm}^{-1}$  ของ PVA/Car ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพันธะไฮโดรเจนถูกสร้างขึ้นระหว่าง PVA และ Car ซึ่งจะส่งผลต่อความเครียดและความยืดหยุ่นของ PVA/Car GPE ซึ่งจุดสูงสุดของการดูดซึมที่ 1141  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเกิดจากการสั่นสะเทือนแบบยืด C-C

แสดงถึงความเป็นผลึกของ PVA จุดสูงสุดที่  $1143\text{ cm}^{-1}$  ในสเปกตรัมของ PVA/Car ปรากฏขึ้น ซึ่งบ่งชี้ว่า พฤติกรรมการตกผลึกของ PVA ได้รับผลกระทบจากการเพิ่ม Car จุดสูงสุดที่  $1,078\text{ cm}^{-1}$  ในสเปกตรัมของ PVA และ PVA/Car ถูกกำหนดตามการดูดกลืนแรงสั่นสะเทือนของในบริเวณออสซิลเลชันของ PVA ในการสรุปลักษณะที่เปลี่ยนแปลงที่  $1143\text{ cm}^{-1}$  และพีคที่เพิ่มขึ้นที่  $1,078\text{ cm}^{-1}$  ในสเปกตรัมของ PVA/Car การเพิ่ม Car อย่างมีประสิทธิภาพจะเพิ่มพื้นที่ออสซิลเลชันและทำให้ความเป็นผลึกของ PVA ลดลง ผลลัพธ์เดียวกันสามารถแสดงให้เห็นโดย XRD รูปที่ 2.26 จุดสูงสุดที่  $19.4$  องศาเซลเซียส แสดงถึงความเป็นผลึกของ PVA และความเข้มข้นของ มันจะลดลง เมื่อเติม Car ซึ่งแสดงถึงบริเวณออสซิลเลชันที่เพิ่มขึ้น พันธะไฮโดรเจนระหว่างรถยนต์และกลุ่ม O-H ของ PVA ขัดขวางการจัดเรียงตามปกติของสายโซ่โพลิเมอร์ ส่งผลให้ความเป็นผลึกของ GPE ลดลง และบริเวณออสซิลเลชันที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.27 a) สเปกตรัม FTIR ของ PVA, Car และ PVA/Car ที่ไม่มี LiOAC b) XRD ของ PVA Car และ PVA/Car

นอกจากนี้ความแข็งแรงเชิงกลของ PVA/Car GPE ที่มีส่วนประกอบของ Car ต่างกันนั้น มีลักษณะเฉพาะเพื่อตรวจสอบความยืดหยุ่นของ GPE ดังที่แสดงในรูปที่ 2.27 (a) ความแข็งแรงเชิงกลของ PVA/Car GPEs จะลดลงตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ Car ซึ่งเป็นผลมาจากความเป็นผลึกที่ต่ำลง PVA/Car GPEs ที่มีส่วนประกอบของ Car สูง (PVA/Car-40, PVA/Car-50) ไม่สามารถนำไปใช้กับ SSC ได้ เนื่องจากความแข็งแรงเชิงกลต่ำจะทำให้ SSC ล้มเหลว เมื่อปริมาณ Car อยู่ที่ 30 % โดยน้ำหนัก PVA/Car-30 GPE สามารถยืดได้ถึง 120% และความต้านทานแรงดึงคือ  $0.4\text{ MPa}$  ยิ่งไปกว่านั้น ภาพถ่ายของเมมเบรน PVA/Car-30 GPE ก่อนและหลังการพับแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นที่ดีเยี่ยม แสดงในรูปที่ 2.27 (a) คุณสมบัติของสารหน่วงการติดไฟยังถูกตรวจสอบโดยการทดสอบการจำกัดชั้นน็อกซิเจน (LO) แสดงในรูปที่ 2.27 (b) ค่า LOI ของ PVA/Car-30 GPE สูงถึง 29 ซึ่งมากกว่า PVA GPE บริสุทธิ์มาก และบ่งชี้ถึงคุณสมบัติที่ไม่ติดไฟ (LOI > 28)

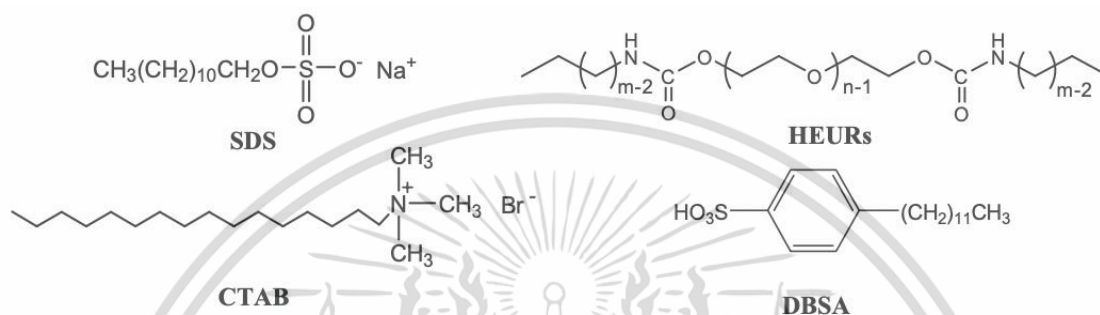


รูปที่ 2.28 a) เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของเมมเบรน PVA/Car GPE ที่มีปริมาณ Car ต่างกัน b) LOI ของ PVA/Car GPES ที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับรถยนต์ที่แตกต่างกัน

### 2.4.3 พอลิเมอร์นำไฟฟ้าพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีดีสเพอร์ชันพอลิเมอร์ไรเซชัน Conducting Polyaniline Produced from Dispersion Polymerization

งานวิจัยของ ยิงพิศ พรพัฒน์กุล [31] ได้มีการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชันโดยได้ทดลอง 2 วิธี วิธีแรก สังเคราะห์ด้วยวิธีดีสเพอร์ชันพอลิเมอร์ไรเซชัน (Dispersion Polymerization) โดยการเติมสารเพิ่มความเสถียร (Stabilizer) ลงในสารละลายที่ใช้สังเคราะห์ พอลิเมอร์ สารเพิ่มความเสถียรนี้มักเป็นพอลิเมอร์ อีกชนิดหนึ่งที่ละลายได้ในน้ำและเกิดการดูดซับทาง ฟิสิกส์ (Physical Adsorption) หรือทางเคมี (Chemical Graft) บนพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์และกำลัง จะรวมกันเป็นตะกอน แต่เมื่อมีการดูดซับสารเพิ่ม ความเสถียรจะทำให้เสถียรอยู่ในสารละลายได้โดยเกิด เป็นคอลลอยด์หรือดีสเพอร์ชันที่มีอนุภาคพอลิเมอร์ใน ระดับไมครอน ( $10^{-6}$  เมตร) ซับไมครอน ( $< 10^{-6}$  เมตร) หรือนาโนเมตร ( $10^{-9}$  เมตร) ขึ้นกับชนิดของสารเพิ่ม ความเสถียรและสภาวะในการสังเคราะห์ สารเพิ่มความ เสถียรที่มีการใช้เพื่อเตรียมคอลลอยด์ของพอลิอะนิลีน มีหลากหลายชนิด วิธีที่สอง สังเคราะห์ด้วยวิธีอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งมีทั้งแบบตรง (Direct Emulsion Polymerization) หรือแบบน้ำมันในน้ำ (Oil in Water, o/w) และแบบกลับ (Inverse หรือ Reverse Emulsion Polymerization) หรือแบบน้ำในน้ำมัน (Water in Oil, w/o) โดยหลักการ ของวิธีอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชันนี้มอนอเมอร์อะนิลีน จะกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่ประกอบด้วยกรดและ สารออกซิเดนต์ ในสารละลายผสมของน้ำกับตัวทำ ละลายที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วน้อย เช่น Xylene, Chloroform, Toluene, Isooctane เกิดเป็นอิมัลชันที่เสถียร เพราะเกิด โครงสร้างไมเซลล์ (Micellar Solution) ที่เกิดจากการ เติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ซึ่งมีใช้กันทั้งชนิด ไอออนลบ เช่น Sodium dodecylsulfate (SDS) [24],[25] Poly(vinylpyridinium methanesulfonate) ชนิดไอออนบวก เช่น Etyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) และชนิดไม่มี ประจุ เช่น Hydrophobically end-capped poly (Ethylene oxide) (HEURs) ในกรณีของอินเวอร์อิมัลชัน จะใช้ตัวริเริ่ม ปฏิกริยาเป็นสารออกซิเดนต์ที่ละลายได้ในน้ำมันเช่น Benzoyl peroxide และ Ammonium persulfate นอกจากนี้ ยังอาจมีการเติมสารช่วยสารลดแรงตึงผิวไม่จำกัดทุกชนิด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Co-surfactant) ซึ่งมักเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเช่น Hexadecane และ Ethyl alcohol ซึ่งละลายได้น้อยในน้ำแต่ละลายได้ดี ในมอนอเมอร์ นอกจากนี้ยังมีการใช้ Dodecylbenzenesulfonic acid (DBSA) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีความเป็นกรดสูง จึงทำหน้าที่เป็น สารโต้ปไปพร้อมกันด้วย โครงสร้างทางเคมีของสารลดแรงตึงผิวบางชนิดแสดงได้ดังรูปที่ 2.28



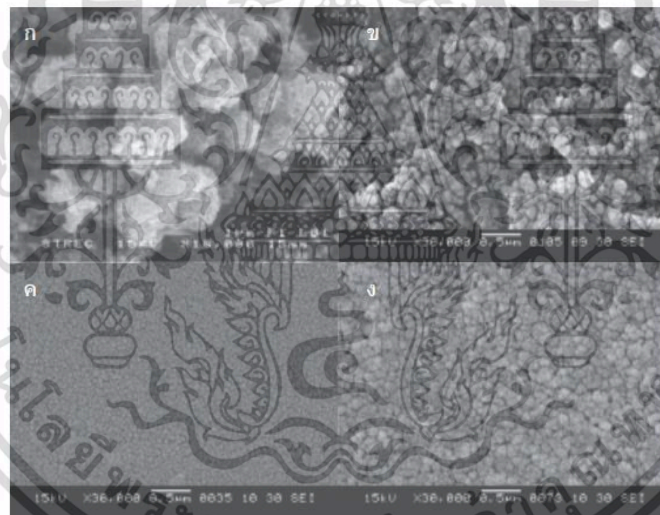
**รูปที่ 2.29** โครงสร้างทางเคมีของสารเพิ่มความเสถียรบางชนิดที่ใช้ในการสังเคราะห์ดีสเพอร์ชันของพอลิอะนิลีน

นอกจากนี้ถ้าสังเคราะห์พอลิอะนิลีนด้วยวิธีดีสเพอร์ชันหรืออิมัลชันพอลิเมอไรเซชันเพื่อให้สามารถให้ผลิตภัณฑ์ในรูปที่พอลิอะนิลีนกระจายตัวได้อย่างเสถียรในน้ำนั้นสัดส่วนความเข้มข้นของสารต่างๆ และสภาวะในการสังเคราะห์จะมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่พอลิเมอร์มีอนุภาคขนาดเล็กและเสถียร นอกจากนี้ถ้ามีสารเพิ่มความเสถียรหรือสารลดแรงตึงผิวปนอยู่ในผลิตภัณฑ์มากก็จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลงมาก การใช้พอลิเล็กโทรไลต์ เช่น PSSA และ PMAS เป็นทั้งสารเพิ่มความเสถียรและเป็นสารโต้ปในการสังเคราะห์แบบดีสเพอร์ชันพอลิเมอไรเซชัน หรือการใช้ DBSA เป็นทั้งสารลดแรงตึงผิวและเป็นสารโต้ปในการสังเคราะห์แบบอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกล่าวคือกระจายตัวอยู่ในน้ำได้อย่างเสถียรในขณะที่การใช้กรดซัลฟูริกพอลิเมอร์จะตกตะกอน แสดงรูปที่ 2.28 และอนุภาคพอลิเมอร์ที่ได้มีขนาดเล็กระดับนาโนเมตร และมีขนาดสม่ำเสมอโดย PAn.PMAS,PAn.PSSA และ PAn.DBSA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 70, 20 และ 50 นาโนเมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 ภาพถ่ายผลิตภัณฑ์ของพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ ในสารละลายกรดต่างชนิดกัน a) PAn.H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> b) PAn.PMAS c) PAn.PSSA d) PAn.DBSA



รูปที่ 2.31 ภาพถ่าย SEM ของพอลิอะนิลีนที่มีสารได้ไปแตกต่างกัน a) PAn.H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> b) PAn.PMAS c) PAn.PSSA d) PAn.DBSA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์สารเคมี กระบวนการที่ใช้ในการศึกษา การพัฒนาวัสดุ ดูดซับโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยใช้โพลี(อะมิโดเอมีน)เดนไดเมอร์/โพลีอะนิลีนแอร์เจล

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 บีกเกอร์	3.1.10 ถาดเพาะเชื้อ
3.1.2 ขวดรูปชมพู่	3.1.11 ขวดปรับปริมาตร
3.1.3 ลูกยาง	3.1.12 แท่งแก้ว
3.1.4 ตะแกรง	3.1.13 หลอดทดลอง
3.1.5 Magnetic bar	3.1.14 กระจกนาฬิกา
3.1.6 ซ้อนตักสาร	3.1.15 ครอบเปอร์
3.1.7 กระจกนํ้ากลั่น	3.1.16 ไซริงค์
3.1.8 กระจกตวง	3.1.17 ไมโครปิเปต
3.1.9 ปีเปตต์	3.1.18 แม่พิมพ์ (ขนาด 3 x 8 เซนติเมตร)

#### 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรโมเลกุล	บริษัทที่ผลิต
Poly(4-styrenesulfonic acid); PSS	$(C_8H_8O_3S)_n$	A ALORICH
Ammonium Persulfate	$(NH_4)_2S_2O_8$	EMSURE
Hydrochloric acid; HCL	HCL	Carlo Erba
Aniline monomer	$C_6H_5NH_2$	Sigma-Aldrich
Chloroform	$CHCl_3$	Carlo Erba
Sodium Chloride	NaCl	Carlo Erba
Poly(amidoamine) dendrimer	$C_{142}H_{288}N_{58}O_{28}/PAMAM$	Sigma-Aldrich
Kappa Carrageenan	$(C_{24}H_{36}O_{25}S_2)_n$	Union Chemical
Poly Vinyl Alcohol (PVA)	$[CH_2CH(OH)]_n$	Merck KGaA
Acetonitrile (HPLC grade) 99.5%	$CH_3CN$	Sigma-Aldrich
Naphthalene 99%	$C_{10}H_8$	Sigma-Aldrich
Acenaphthene 99%	$C_{12}H_{10}$	Sigma-Aldrich

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่มีการตีพิมพ์ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมี	สูตรโมเลกุล	บริษัทที่ผลิต
Phenanthrene 99%	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	Sigma-Aldrich
Fluoranthene 98%	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	Sigma-Aldrich
Pyrene 98%	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	Sigma-Aldrich
Fluoranthene 98%	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	Sigma-Aldrich
Pyrene 98%	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	Sigma-Aldrich
Potassium chloride	KC	Carlo Erba

### 3.3 วิธีทำการทดลอง

#### 3.3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ PANI/PSS โดยวิธีการ Interfacial Polymerization

โดยเริ่มจากการเตรียม APS ที่ความเข้มข้น 50 mM ในกรด HCl 1 M 250 ml หลังจากนั้นเตรียมสารละลาย PSS ความเข้มข้น 100 mM ปริมาตร 250 ml ถัดมาเตรียมสารละลาย Aniline monomer 10 mM ใน CHCl<sub>3</sub> 500 ml จากนั้นทำการแบ่ง APS ที่เตรียมไว้ใส่ขวดรูปชมพู่ปริมาตร 250 ml จำนวนขวดละ 10 ml ตามด้วยแบ่ง PSS มาใส่ขวดรูปชมพู่ขวดละ 10 ml และเติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรเป็น 100 ml จากนั้นเติมสารละลาย Aniline monomer ลงไป 30 ml ในแต่ละขวดจากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ หลังจากครบ 24 ชั่วโมงแล้วทำการแยกชั้นสารละลาย CHCl<sub>3</sub> ออกและนำชั้นน้ำของสารละลายไปตรวจวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งจะแสดงขั้นตอนการทดลองดังรูป 3.1

ขั้นตอน 1 เตรียม Poly(sodium 4-strenesulfonate) ในปริมาณ 2.06 g นำมาปั่นละลายจนใส



ขั้นตอนที่ 2 เตรียม APS 50 mM ใน 1 M HCl โดยใช้ปริมาณ 2.85 g

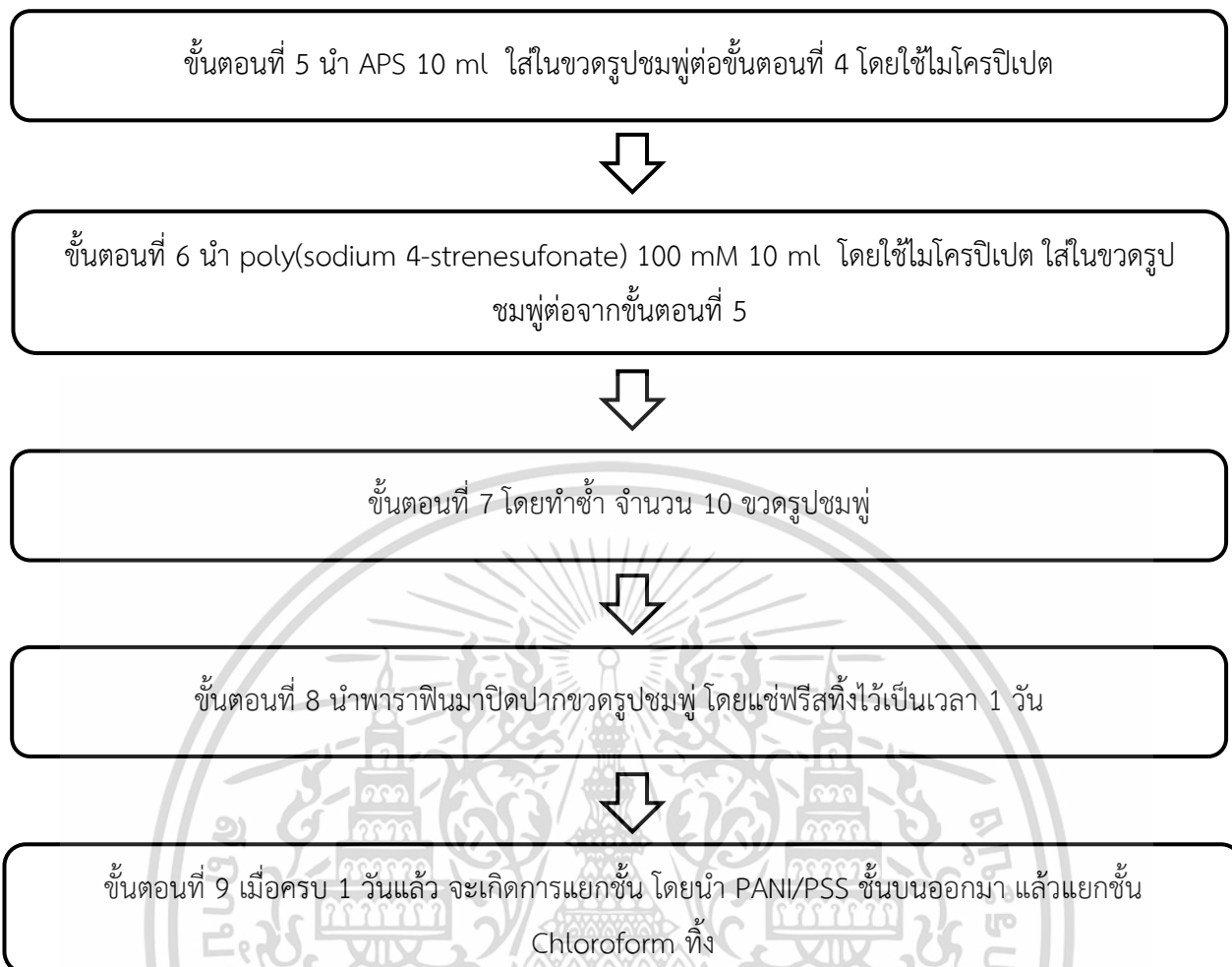


ขั้นตอนที่ 3 เตรียม Aniline monomer 10 mM 500 ml ใน Chloroform ในปริมาณ 0.46 ml



ขั้นตอนที่ 4 นำ DI 80ml ใส่ไปในขวดรูปชมพู่ 250 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ PANI/PSS โดยวิธีการ Interfacial Polymerization

### 3.3.1.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์สารละลาย PANI/PSS

ตารางที่ 3.2 แสดงเครื่องมือพิสูจน์เอกลักษณ์

Instruments	Characterization
UV-Visible Spectrophotometer	ตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสง
Zeta Potential	ตรวจสอบประจุพื้นผิว
Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR	ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

### 3.3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ PANI/PAMAM

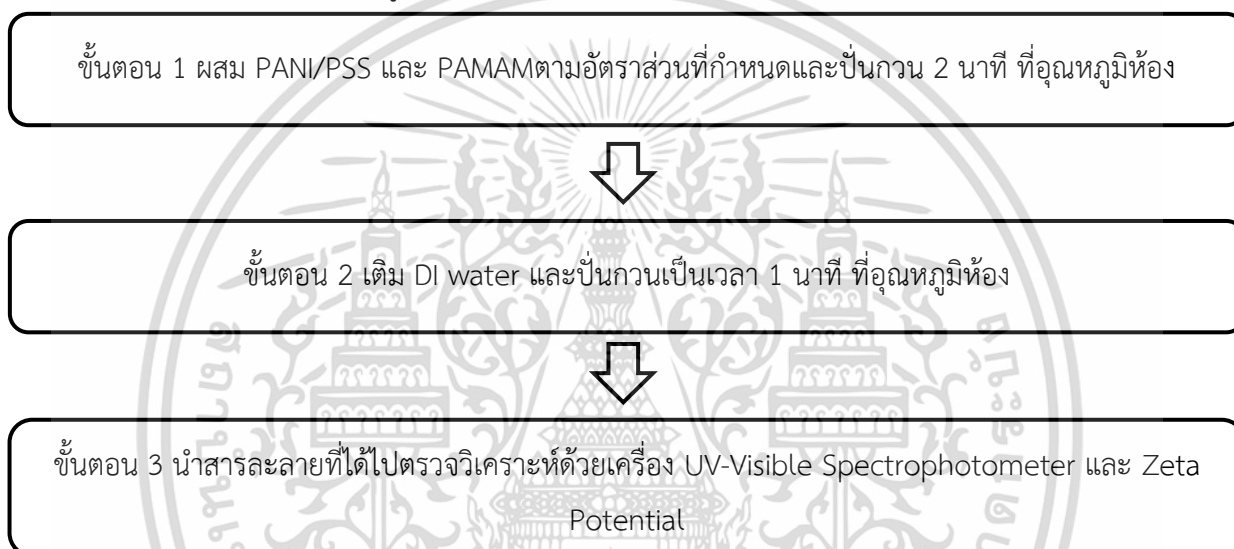
โดยเริ่มจากการผสม PAMAM กับ PANI/PSS โดยการปั่นกวนเป็นเวลา 2 นาที ที่อุณหภูมิห้องและหลังจากเติม DI water ปั่นกวนอีก 1 นาทีและหลังจากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนของ PANI/PAMAM

ความเข้มข้น PANI/PAMAM (% wt./v.)	PANI/PSS (ml)	PAMAM 0.304% wt./v. (ml)	DI water (ml)
0.006%	40	8	58
0.030%	40	10	50
0.060%	40	20	40
0.120%	40	40	20

ซึ่งจะแสดงขั้นตอนการทดลองดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ PANI/PAMAM

### 3.3.2.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์สารละลาย PANI/PAMAM

ตารางที่ 3.4 แสดงเครื่องมือพิสูจน์เอกลักษณ์

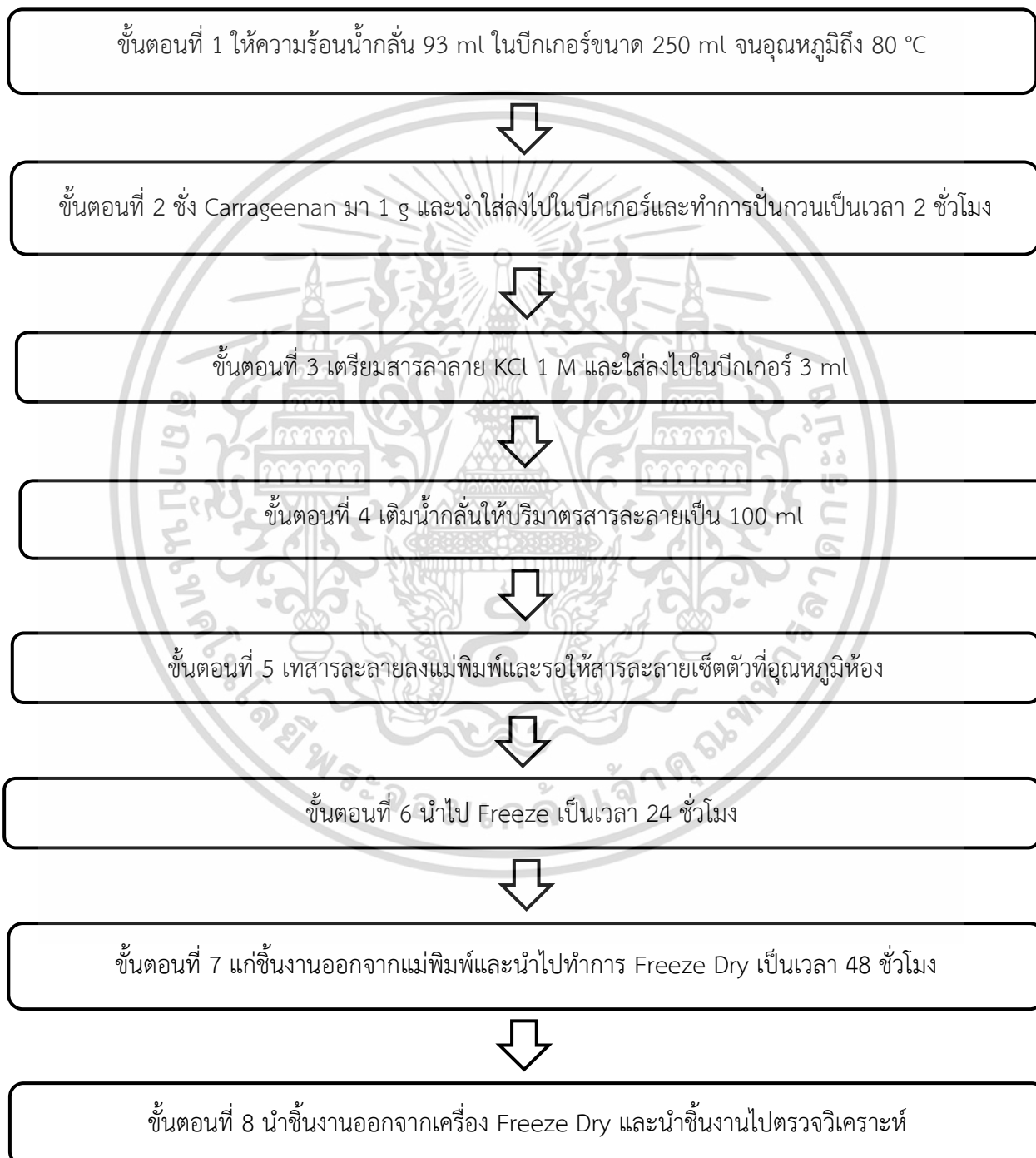
Instruments	Characterization
UV-Visible Spectrophotometer	ตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสง
Zeta Potential	ตรวจสอบประจุพื้นผิว
Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR	ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

### 3.3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM

#### 3.3.3.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan

ชั่ง Carrageenan 1 g จากนั้นบีกเกอร์ขนาด 250 ml ใส่น้ำกลั่น 93 ml และให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 80 °C หลังจากนั้นใส่ Carrageenan และ PVA ลงในบีกเกอร์พร้อมทั้งทำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปั่นกวนต่อไปเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อให้ Carrageenan และ PVA ละลายจนหมดจากนั้นทำการเติมสารละลาย KCl 1 M ลงไป 7 ml หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรสารละลายเป็น 100 ml หลังจากนั้นทำการเทสารละลายลงบนแม่พิมพ์และรอให้สารละลายเซ็ตตัวในอุณหภูมิห้องแล้วนำไปฟรีซเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นแกะชิ้นงานออกจากแม่แบบและนำไป Freeze Dry เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และนำชิ้นงานไปทำการตรวจวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งจะแสดงขั้นตอนการทดลองดังรูป 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเห็นได้ชัดว่าเนื้อหา และที่ยังอยู่เบื้องหลังของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

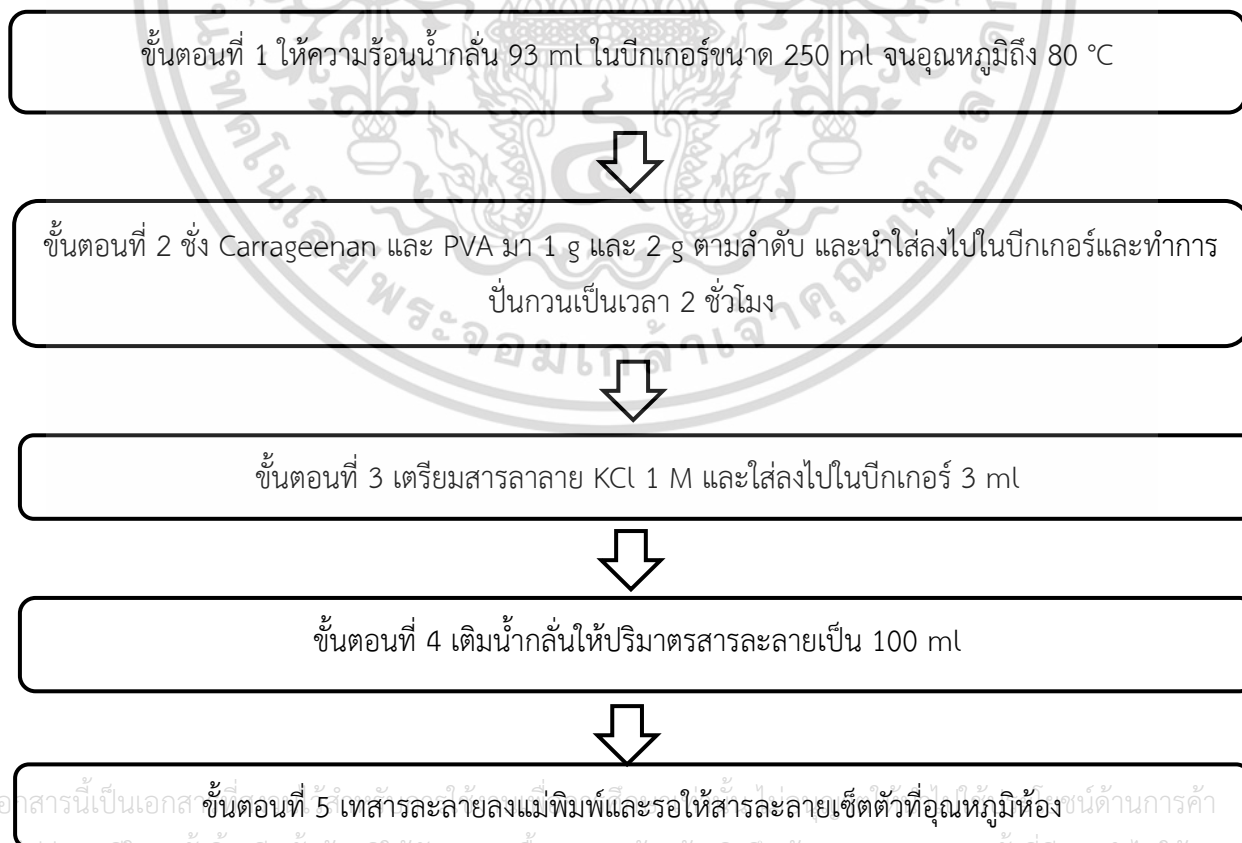
### แผนผังที่ 3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan

ตารางที่ 3.5 แสดงเครื่องมือพิสูจน์เอกลักษณ์ Aerogel Carrageenan

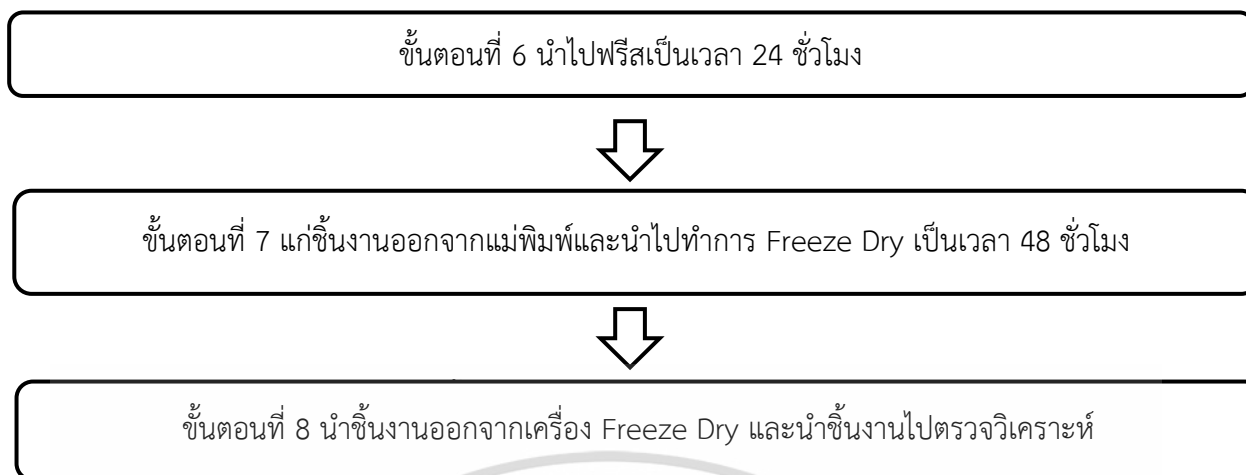
Instruments	Characterization
BET	วัดค่าพื้นที่ผิวของสารละลายและขนาดของรูพรุน
Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR	ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

### 3.3.3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVA

เริ่มจากชั่ง Carrageenan และ PVA มา 1 g และ 2 g ตามลำดับ จากนั้นปิกเกอร์ขนาด 250 ml ใส่น้ำกลั่น 93 ml และให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 80 °C หลังจากนั้นใส่ Carrageenan และ PVA ลงไปในปิกเกอร์พร้อมทั้งทำการปั่นจนต่อไปเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อให้ Carrageenan และ PVA ละลายจนหมดจากนั้นทำการเติมสารละลาย KCl 1 M ลงไป 7 ml หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรสารละลายเป็น 100 ml หลังจากนั้นทำการเทสารละลายลงบนแม่พิมพ์และรอเซตตัวในอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปฟรีซเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นแกะชิ้นงานออกมาจากแม่แบบและนำไป Freeze Dry เป็นเวลา 48 ชั่วโมงและนำชิ้นงานไปทำการตรวจวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งจะแสดงขั้นตอนการทดลองดังรูป 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสาร  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
สงวนลิขสิทธิ์  
ห้ามทำซ้ำ  
เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
สงวนลิขสิทธิ์  
ห้ามทำซ้ำ  
เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต



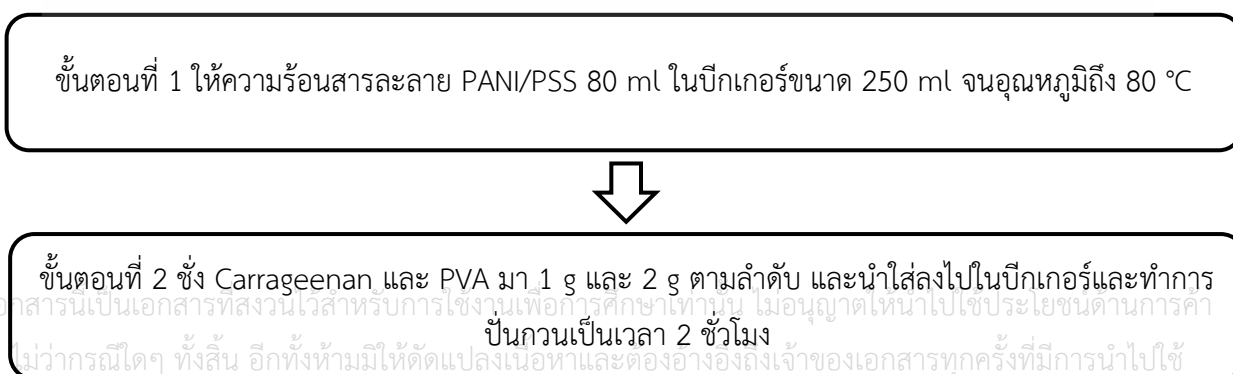
### รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVA

ตารางที่ 3.6 แสดงเครื่องมือพิสูจน์เอกลักษณ์ Aerogel Carrageenan/PVA

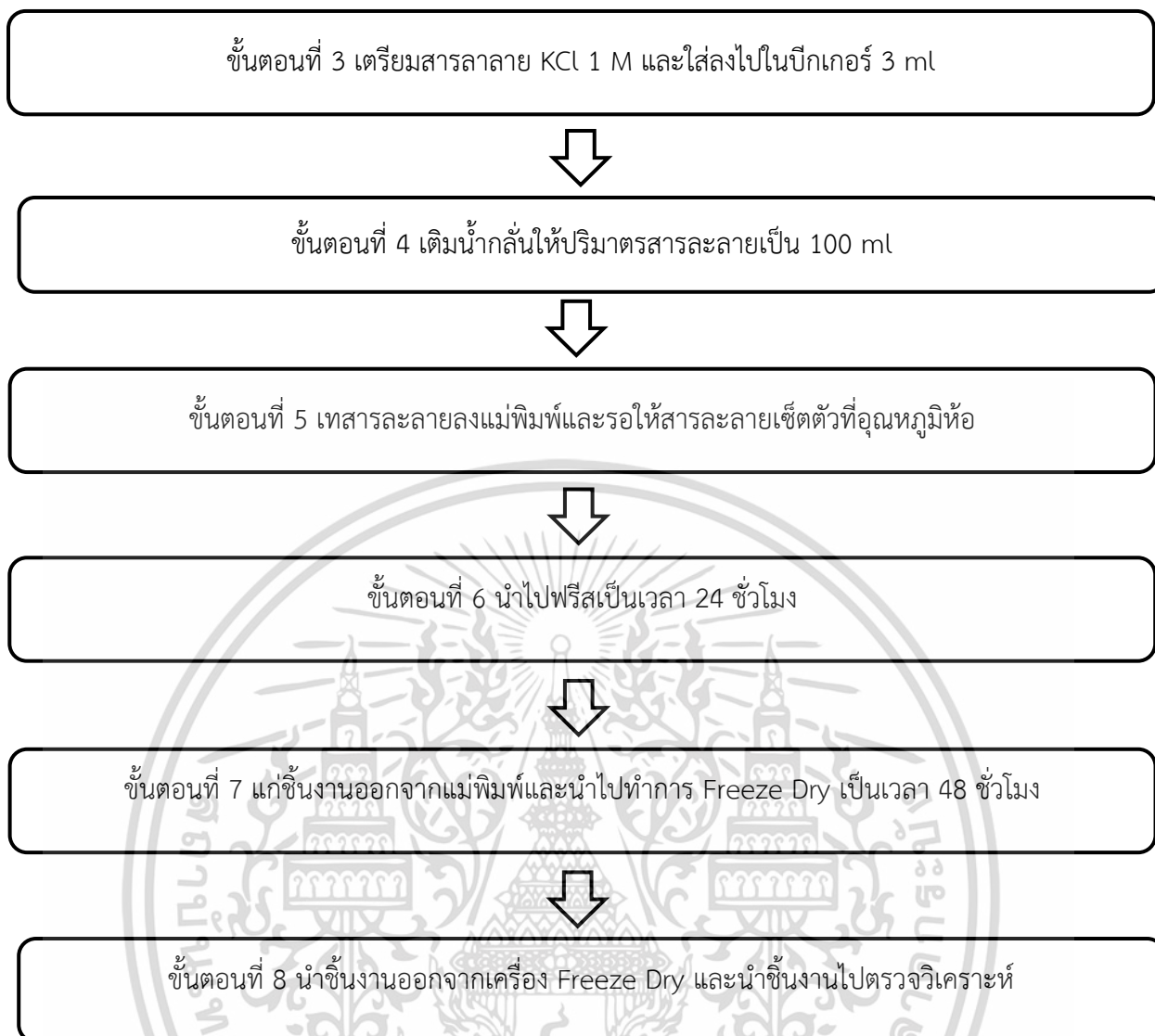
Instruments	Characterization
BET	วัดค่าพื้นที่ผิวของสารละลายและขนาดของรูพรุน
Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR	ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

#### 3.3.3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PSS

เริ่มจากชั่ง Carrageenan และ PVA มา 1 g และ 2 g ตามลำดับ จากนั้นปิกเกอร์ขนาด 250 ml ใส่ PANI/PSS 80 ml และให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 80 °C หลังจากนั้นใส่ Carrageenan และ PVA ลงไปในปิกเกอร์พร้อมทั้งทำการปั่นจนต่อไปเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อให้ Carrageenan และ PVA ละลายจนหมดจากนั้นทำการเติมสารละลาย KCl 1 M ลงไป 7 ml หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรสารละลายเป็น 100 ml หลังจากนั้นทำการเทสารละลายลงบนแม่พิมพ์และรอเซ็ดตัวในอุณหภูมิห้องแล้วนำไปฟรีซเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นแกะชิ้นงานออกมาจากแม่แบบและนำไป Freeze Dry เป็นเวลา 48 ชั่วโมงและนำชิ้นงานไปทำการตรวจวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งจะแสดงขั้นตอนการทดลองดังรูป 3.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PSS

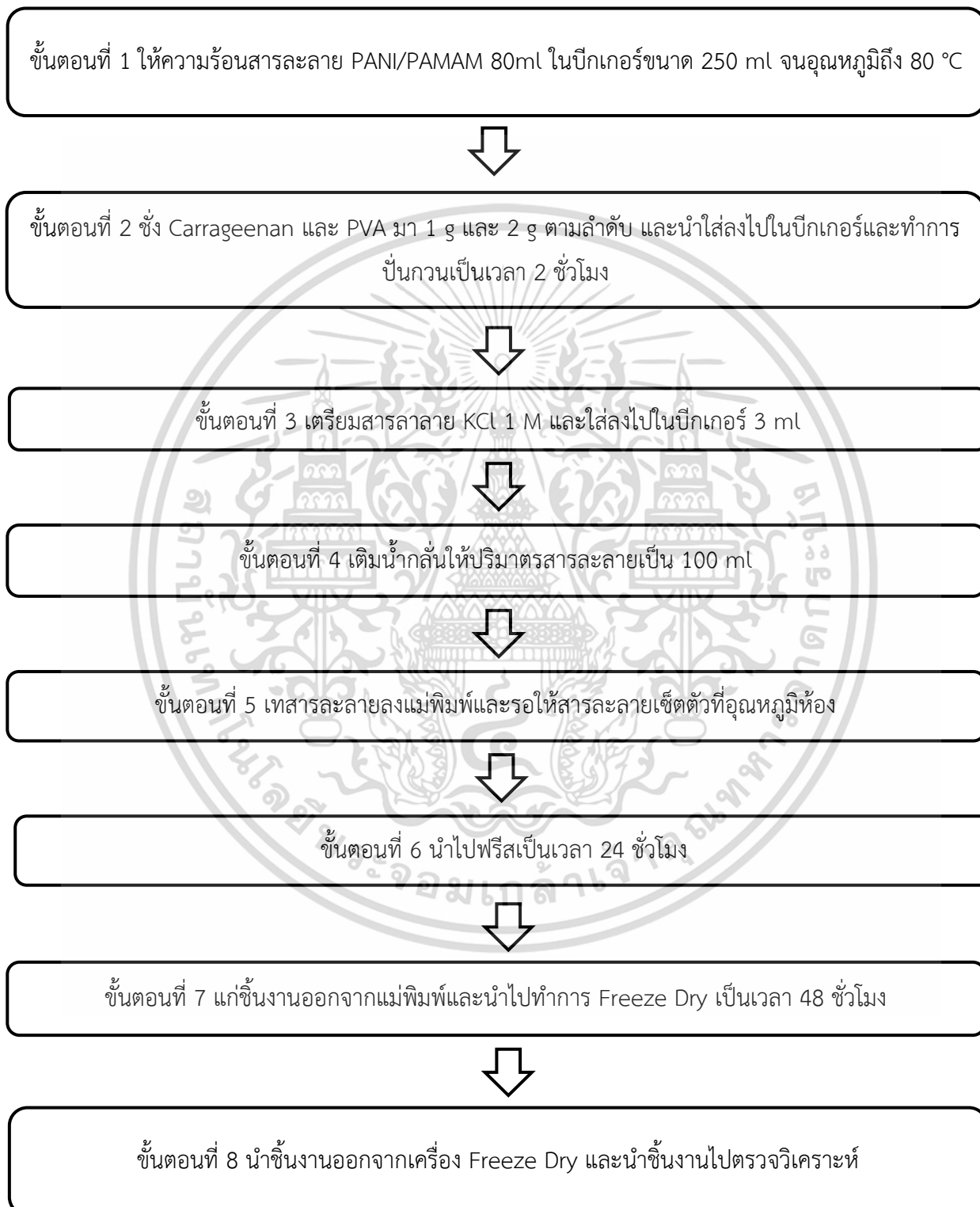
ตารางที่ 3.7 แสดงเครื่องมือพิสูจน์เอกลักษณ์ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PSS

Instruments	Characterization
BET	วัดค่าพื้นที่ผิวของสารละลายและขนาดของรูพรุน
Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR	ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

### 3.3.3.4 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM

เริ่มจากชั่ง Carrageenan และ PVA มา 1 g และ 2 g ตามลำดับ จากนั้นบีกเกอร์ขนาด 250 ml ใส่ PANI/PAMAM 80 ml และให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 80 °C หลังจากนั้นใส่ Carrageenan และ PVA ลงไปในบีกเกอร์พร้อมทั้งทำการปั่นกวนต่อไปเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อให้ Carrageenan และ PVA ละลายจนหมด จากนั้นทำการเติมสารละลาย KCl 1 M ลงไป 7 ml หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรสารละลายเป็น 100 ml หลังจากนั้นทำการเทสารละลายลงบนแม่พิมพ์และรอเซตตัวในอุณหภูมิห้องแล้วนำไปฟรีสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

หลังจากนั้นแกะชิ้นงานออกจากแม่แบบและนำไป Freeze Dry เป็นเวลา 48 ชั่วโมงและนำชิ้นงานไปทำการตรวจวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งจะแสดงขั้นตอนการทดลองดังรูป 3.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการสังเคราะห์ Aerogel Carrageenan/PVAPANI/PAMAM ที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 แสดงเครื่องมือพิสูจน์เอกลักษณ์ Aerogel Carrageenan/PVAPANI/PAMAM

Instruments	Characterization
BET	วัดค่าพื้นที่ผิวของสารละลายและขนาดของรูพรุน
Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR	ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน

### 3.3.4 การตรวจวัดปริมาณ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ในน้ำด้วย Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM

#### 3.3.4.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

เริ่มจากทำการละลาย Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 5 ชนิดด้วย Acetonitrile ได้แก่ 1) Standard Naphthalene, 2) Standard Acenaphthylene, 3) Standard Phenanthrene, 4) Standard Pyrene และ 5) Standard Fluorene จากนั้นนำมาเจือจางด้วย Acetonitrile เป็น 6 ความเข้มข้นได้แก่ 1 ppb, 5 ppb, 10 ppb, 25 ppb, 50 ppb, และ 100 ppb และนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography, HPLC หลังจากนั้นนำพื้นที่ใต้กราฟโครมาโทแกรมของ Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons แต่ละตัวไปพล็อตเป็นสมการเส้นตรงและหาสมการเส้นตรง

ขั้นตอนที่ 1 ละลาย Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ทั้ง 5 ชนิดด้วย Acetonitrile  
1) Standard Naphthalene, 2) Standard Acenaphthylene, 3) Standard Phenanthrene, 4) Standard Pyrene และ 5) Standard Fluorene



ขั้นตอนที่ 2 ทำการเจือจางสารละลาย Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ให้เป็น 5 ความเข้มข้น 1 ppb, 5 ppb, 10 ppb, 25 ppb, 50 ppb, และ 100 ppb



ขั้นตอนที่ 3 นำสารละลายที่เจือจางแล้วไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography, HPLC



ขั้นตอนที่ 4 นำพื้นที่ใต้กราฟโครมาโทแกรมของ Standard PAHs แต่ละตัวไปพล็อตเป็นสมการเส้นตรง

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการสร้างกราฟมาตรฐานของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อผู้ใดที่นำเอกสารฉบับนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4.2 การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ของ Aerogel Carrageenan/PVAPANI/PAMAM

#### 3.3.4.2.1 การศึกษาขนาดของ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

เริ่มจากการตัดชิ้นงาน Aerogel ออกเป็น 3 ขนาดได้แก่ 1) 0.20 mg, 2) 0.15 mg, 3) 0.10 mg จากนั้นนำสารละลาย Mix Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 100 ppb 20 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 ml จากนั้นนำชิ้นงาน Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ใส่ลงไปและทำการปิดปากขวดด้วยแผ่นพาราฟิล์มจากนั้นนำไปเข้าเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 20 นาที ที่ความเร็วรอบ 200 rpm หลังจากนั้นนำชิ้นงาน Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ออกมาใส่ไปในขวดรูปชมพู่ใบใหม่ที่มี Acetonitrile 20 ml ปิดปากขวดด้วยแผ่นพาราฟิล์มจากนั้นนำไปเข้าเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 20 นาที ที่ความเร็วรอบ 200 rpm หลังจากนั้นทำการนำ Acetonitrile ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography, HPLC

ขั้นตอนที่ 1 ตัดชิ้นงาน Aerogel ออกเป็น 3 ขนาดได้แก่ 1) 0.20 mg, 2) 0.15 mg, 3) 0.10 mg



ขั้นตอนที่ 2 เตรียมสารละลาย Mix Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 100 ppb



ขั้นตอนที่ 3 เท Mix Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 100 ppb ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 ml



ขั้นตอนที่ 4 ใส่ชิ้นงาน Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM แต่ละขนาดลงไปในขวดรูปชมพู่และนำไปเข้าเครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 20 นาที ที่ความเร็วรอบ 200 rpm



ขั้นตอนที่ 5 นำชิ้นงาน Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ออกมาใส่ไปในขวดรูปชมพู่ใบใหม่ที่มี Acetonitrile 20 ml

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 6 นำไปเข้าเครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 20 นาที ที่ความเร็วรอบ 200 rpm



ขั้นตอนที่ 7 นำ Acetonitrile ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography, HPLC

แผนผังที่ 3.8 ขั้นตอนการศึกษาผลขนาดของ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM

### 3.3.4.2.2 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการดูดซับของ Aerogel

#### Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

เริ่มจากการตัดชิ้นงาน Aerogel ขนาด 0.20 mg จากนั้นนำสารละลาย Mix Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 100 ppb 20 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 ml จากนั้นนำชิ้นงาน Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ใส่ลงไปและทำการปิดปากขวดด้วยแผ่นพาราฟิล์มจากนั้นนำไปเข้าเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 นาที, 20 นาที, 10 นาที, และ 5 นาที ที่ความเร็วรอบ 200 rpm หลังจากนั้นนำชิ้นงาน Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ออกมาใส่ไปในขวดรูปชมพู่ใบใหม่ที่มี Acetonitrile 20 ml ปิดปากขวดด้วยแผ่นพาราฟิล์มจากนั้นนำไปเข้าเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 20 นาที ที่ความเร็วรอบ 200 rpm หลังจากนั้นทำการนำ Acetonitrile ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography, HPLC

ขั้นตอนที่ 1 ตัดชิ้นงาน Aerogel 0.20 mg



ขั้นตอนที่ 2 เตรียมสารละลาย Mix Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 100 ppb



ขั้นตอนที่ 3 เท Mix Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 100 ppb ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 ml



ขั้นตอนที่ 4 ใส่ชิ้นงาน Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM แต่ละขนาดลงไปในขวดรูปชมพู่และนำไปเข้าเครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 30 นาที, 20 นาที, 10 นาที, และ 5 นาที ที่ความเร็วรอบ 200 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ขั้นตอนที่ 5 นำชิ้นงาน Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ออกมาใส่ไปในขวดรูปชมพู่ใบใหม่ที่มี Acetonitrile 20 ml



ขั้นตอนที่ 6 นำไปเข้าเครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 20 นาที ที่ความเร็วรอบ 200 rpm



ขั้นตอนที่ 7 นำ Acetonitrile ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography, HPLC

แผนผังที่ 3.9 ขั้นตอนการศึกษาผลเวลาที่ใช้ในการดูดซับของ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM

### 3.3.4.2.3 การศึกษาชนิดของสารละลายที่ใช้ชะ Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

เริ่มจากการตัดชิ้นงาน Aerogel ขนาด 0.20 mg จากนั้นนำสารละลาย Mix Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 100 ppb 20 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 ml จากนั้นนำชิ้นงาน Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ใส่ลงไปและทำการปิดปากขวดด้วยแผ่นพาราฟิล์ม จากนั้นนำไปเข้าเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 20 นาที ที่ความเร็วรอบ 200 rpm หลังจากนั้นนำชิ้นงาน Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ออกมาใส่ไปในขวดรูปชมพู่ใบใหม่ที่มี Acetonitrile, Acetone, Methanol, และ Ethanol 20 ml ปิดปากขวดด้วยแผ่นพาราฟิล์ม จากนั้นนำไปเข้าเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 20 นาที ที่ความเร็วรอบ 200 rpm หลังจากนั้นทำการนำ Acetonitrile, Acetone, Methanol, และ Ethanol ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography, HPLC

ขั้นตอนที่ 1 ตัดชิ้นงาน Aerogel 0.20 mg



ขั้นตอนที่ 2 เตรียมสารละลาย Mix Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 100 ppb

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวทศสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 เท Mix Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 100 ppb ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 ml



ขั้นตอนที่ 4 ใส่ชิ้นงาน Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM แต่ละขนาดลงไปในขวดรูปชมพู่และนำไปเข้าเครื่องเขย่าสาร 20 นาทีที่ความเร็วรอบ 200 rpm



ขั้นตอนที่ 5 นำชิ้นงาน Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM ออกมาใส่ไปในขวดรูปชมพู่ใบใหม่ที่มี Acetonitrile, Acetone, Methanol, และ Ethanol 20 ml



ขั้นตอนที่ 6 นำไปเข้าเครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 20 นาที ที่ความเร็วรอบ 200 rpm



ขั้นตอนที่ 7 นำ Acetonitrile, Acetone, Methanol, และ Ethanol ที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography, HPLC

แผนผังที่ 3.10 การศึกษาชนิดของสารละลายที่ใช้ชะของ Aerogel/Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

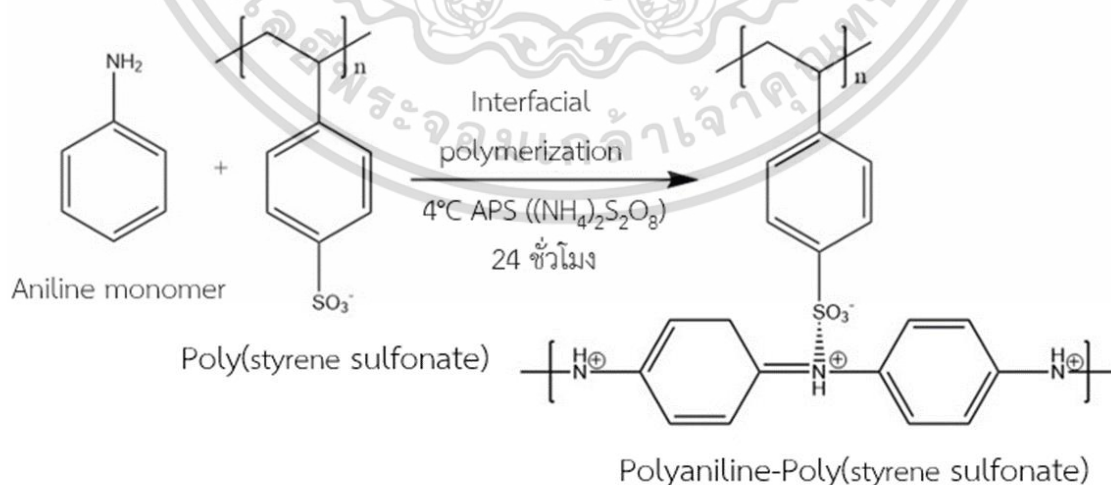
### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในบทนี้แสดงผลการสังเคราะห์วัสดุคูดซับโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน โดยใช้ โพลี(อะมิโดเอมีน)เดนไดเมอร์/โพลีอะนิลีนแอโรเจล ซึ่งแสดงผลการทดลองดังนี้

#### 4.1 การสังเคราะห์ Carrageenan/Poly(vinyl alcohol)/Polyaniline/Poly(styrene sulfonate)/Poly(amidoamine) dendrimers Aerogel

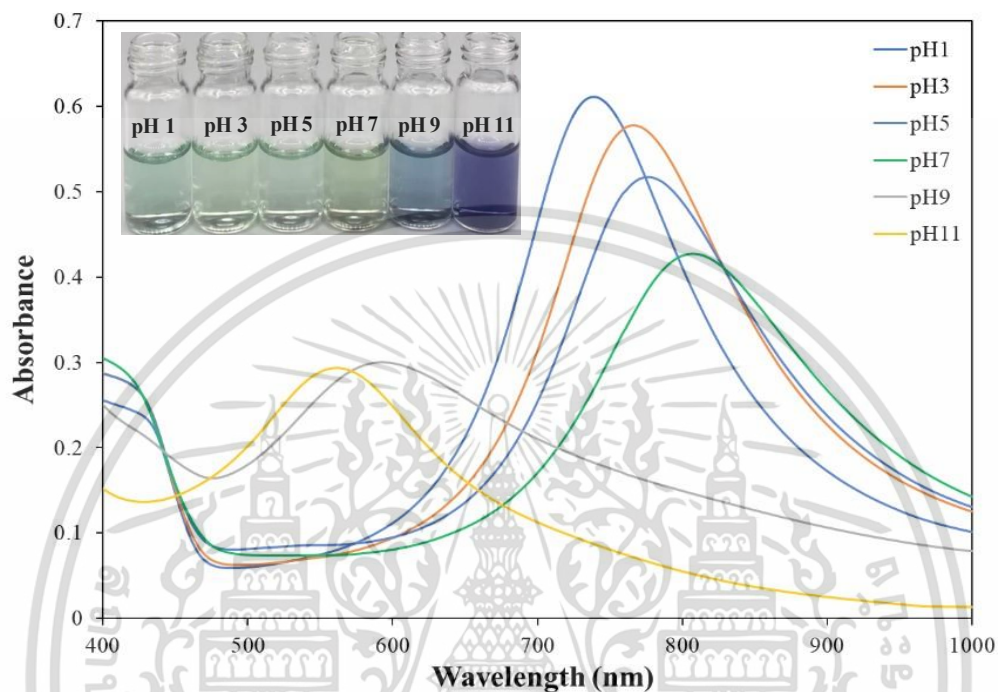
##### 4.1.1 การสังเคราะห์พอลีอะนิลีน/พอลิสไตรีนซัลโฟเนต (PANI/PSS) โดยวิธีพอลิเมอไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาค (Interfacial polymerization)

PANI/PSS สังเคราะห์โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่าง 2 วัฏภาค คือวัฏภาคตัวทำละลายอินทรีย์ประกอบด้วย Aniline monomer ละลายในสารละลาย Chloroform และวัฏภาคน้ำ ประกอบด้วยสารละลายผสม ระหว่าง Poly (styrene sulfonate), Ammonium persulfate และ HCl ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส จะเกิดสารละลายสีเขียวในวัฏภาคน้ำ ซึ่งมีความเข้มข้น 0.495% wt./wt. ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังที่แสดงในรูปที่ 4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.1 Interfacial polymerization ระหว่าง Aniline monomer และ Poly(styrene sulfonate)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

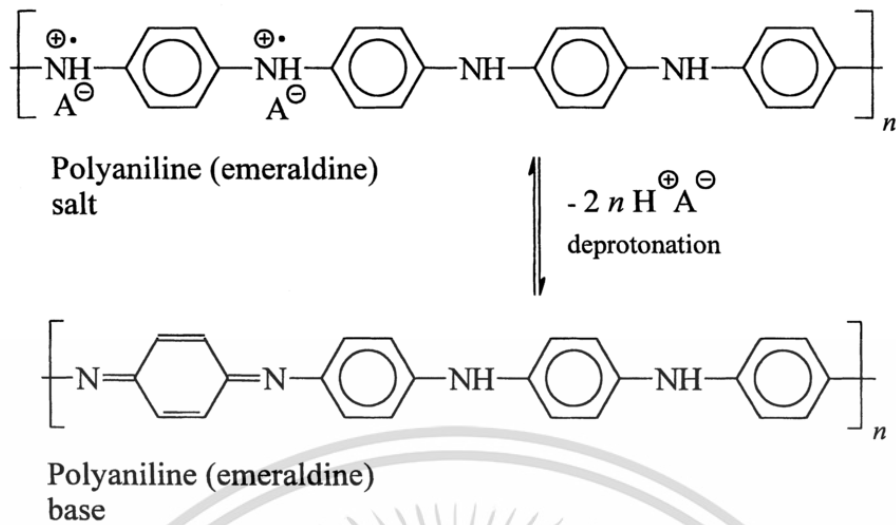
สารละลาย Polyaniline-Poly(styrene sulfonate) ที่ถูกสังเคราะห์จากปฏิกิริยา Interfacial polymerization ถูกนำมาศึกษาอิทธิพลของ pH โดยศึกษาที่ pH 1-11 และตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometry ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนแสงและรูปภาพของสารละลาย PANI/PSS ที่เปลี่ยน pH 1-11

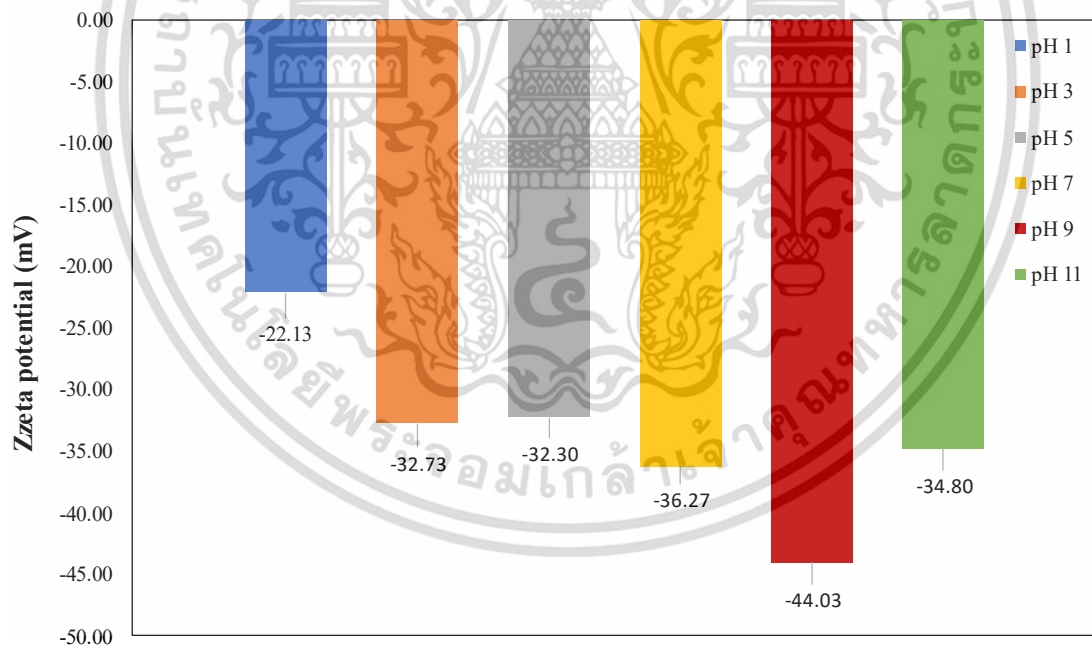
จากรูป 4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย PANI/PSS โดยพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของ PANI/PSS จะเปลี่ยนแปลงตาม pH ซึ่งเกิดจาก PANI มีความหลากหลายของโครงสร้างทางเคมีที่เปลี่ยนไปตามค่าของพีเอช ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เกลือเอมเมอร์ลิติน (Emeraldine salt, ES) สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเอมเมอร์ลิตินเบส (Emeraldine base) เมื่อเปลี่ยน pH จากกรดเป็นเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 โครงสร้างของ PANI

และเมื่อนำ PANI/PSS แต่ละ pH ไปวิเคราะห์ประจุ และเสถียรภาพของสารละลาย PANI/PSS ด้วยเครื่อง Zetasizer ได้ผลการทดลองดังรูป 4.4



รูปที่ 4.4 รูปแสดงค่าศักย์ซีตา (Zeta potential) ของสารละลาย PANI/PSS ที่ pH ต่างๆ

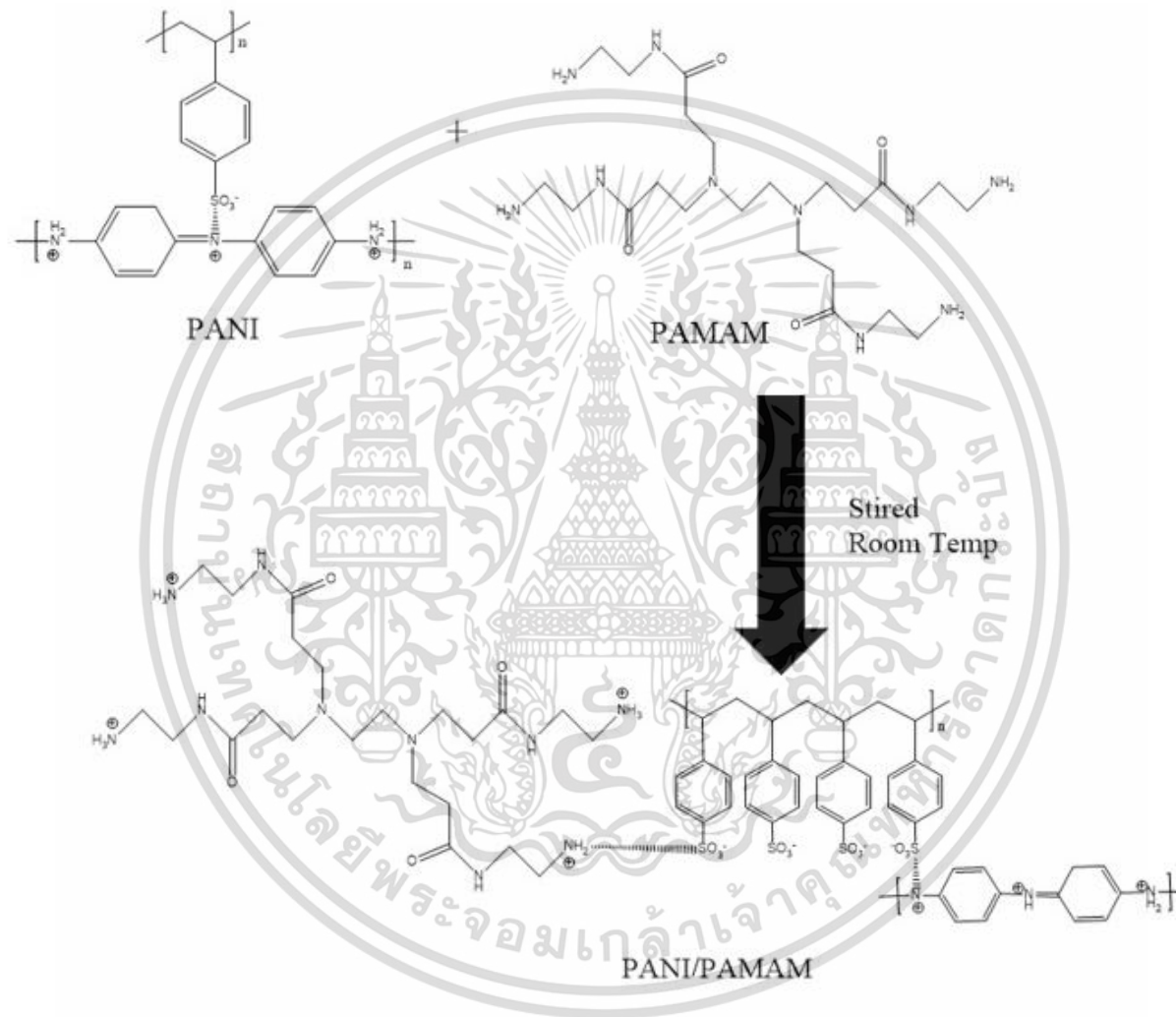
จากรูป 4.4 จะเห็นว่าสารละลาย PANI/PSS จะมีประจุเป็นลบ เนื่องจากอิทธิพลของ Polyaniline-Poly(styrene sulfonate) ที่ถูกตรึงอยู่บน PANI และประจุของสารละลายมีค่าศักย์ซีตาสูงกว่า -30 mV แสดงว่าสารละลายมีความเสถียรภาพสูง

#### 4.1.2 การสังเคราะห์พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เดนไดเมอร์ (PANI/PAMAM)

พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เดนไดเมอร์ (PANI/PAMAM) ถูกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่าง Polyaniline-Poly(styrene sulfonate) และพอลิอิมิโดเอมีน เดนไดเมอร์ การเกิดปฏิกิริยาจะเกิด Charge - charge interaction ระหว่าง  $-SO_3^-$  ของ Poly(styrene sulfonate) และ  $-NH_3^+$  ของ Poly(amidoamine) dendrimers ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังที่แสดงในรูปที่ 4.

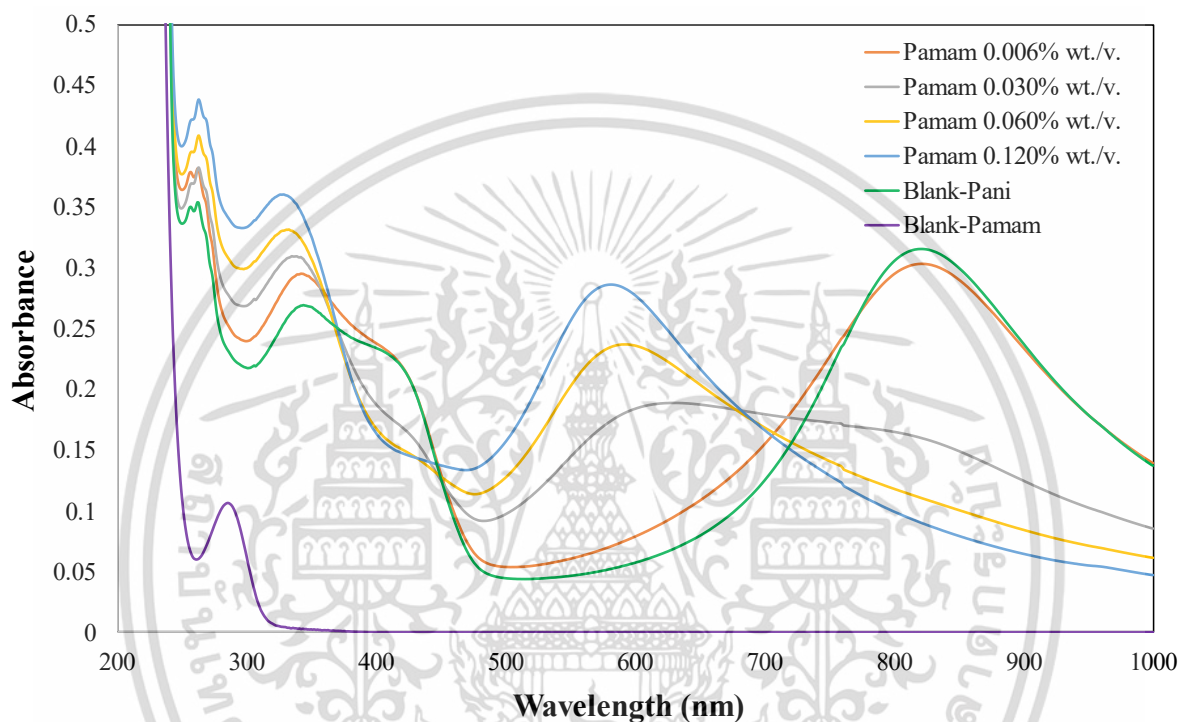


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การเกิด Charge - charge interaction ระหว่าง  $\text{SO}_3^-$  ของ PANI/PSS และ  $\text{NH}_3^+$  ของ Poly(amidoamine) dendrimers

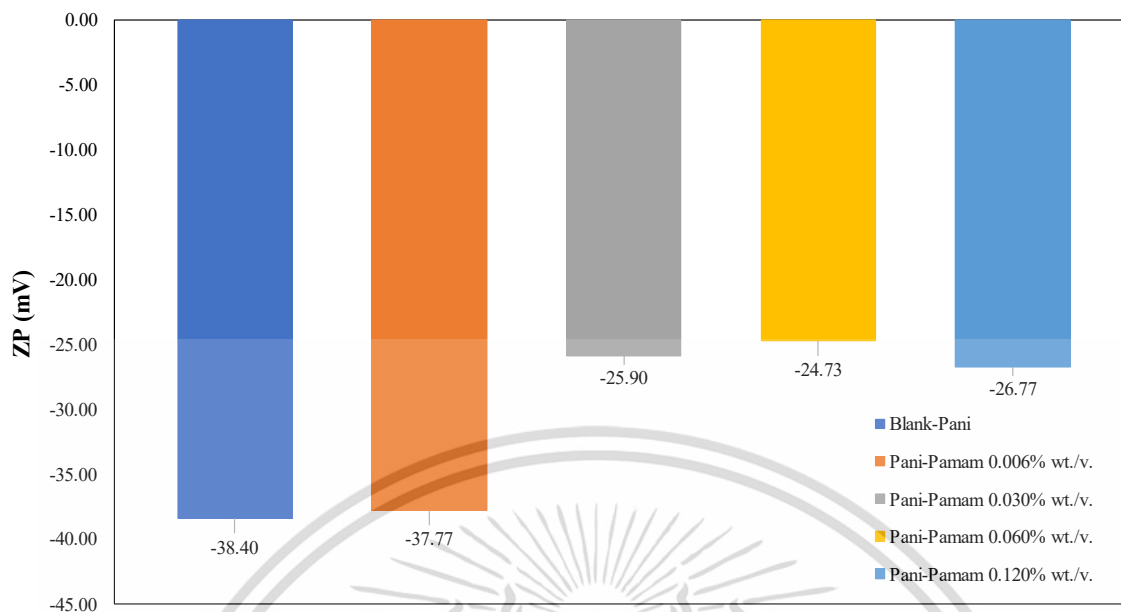
การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลาย PAMAM ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารละลาย Polyaniline-Poly(styrene sulfonate) โดยจากการทดลองได้ทำการควบคุมความเข้มข้นของสารละลาย Polyaniline-Poly(styrene sulfonate) ที่ 0.012 % wt./v. ในการเกิดปฏิกิริยากับสารละลาย PAMAM ที่ความเข้มข้น 0.006 – 0.120 % wt./v. และทำการตรวจวิเคราะห์ผลผลิตที่ได้โดยใช้เทคนิค UV-vis spectrophotometry ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย PANI/PAMAM ที่เปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของ PAMAM

จากรูป 4.6 จะเห็นว่าภายใต้การเกิดปฏิกิริยาแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ ระหว่าง  $-SO_3^-$  ของ Polyaniline-Poly(styrene sulfonate) และ  $-NH_3^+$  ของ Poly(amidoamine) dendrimers แยกการดูดกลืนแสงของสารละลายพอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เดนไดเมอร์ (PANI/PAMAM) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยที่ความเข้มข้นของสารละลาย PAMAM ที่ 0.030%-0.120% แยกการดูดกลืนแสงสูงสุดจะเกิดการเคลื่อนที่ไปยังความยาวคลื่น 580-600 nm ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นว่าได้เกิดสารละลายผลิตภัณฑ์ใหม่ขึ้น และสามารถยืนยันผลการทดลองโดยมาใช้เทคนิค Zeta sizer เพื่อศึกษาชนิดประจุของสารละลายผลิตภัณฑ์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



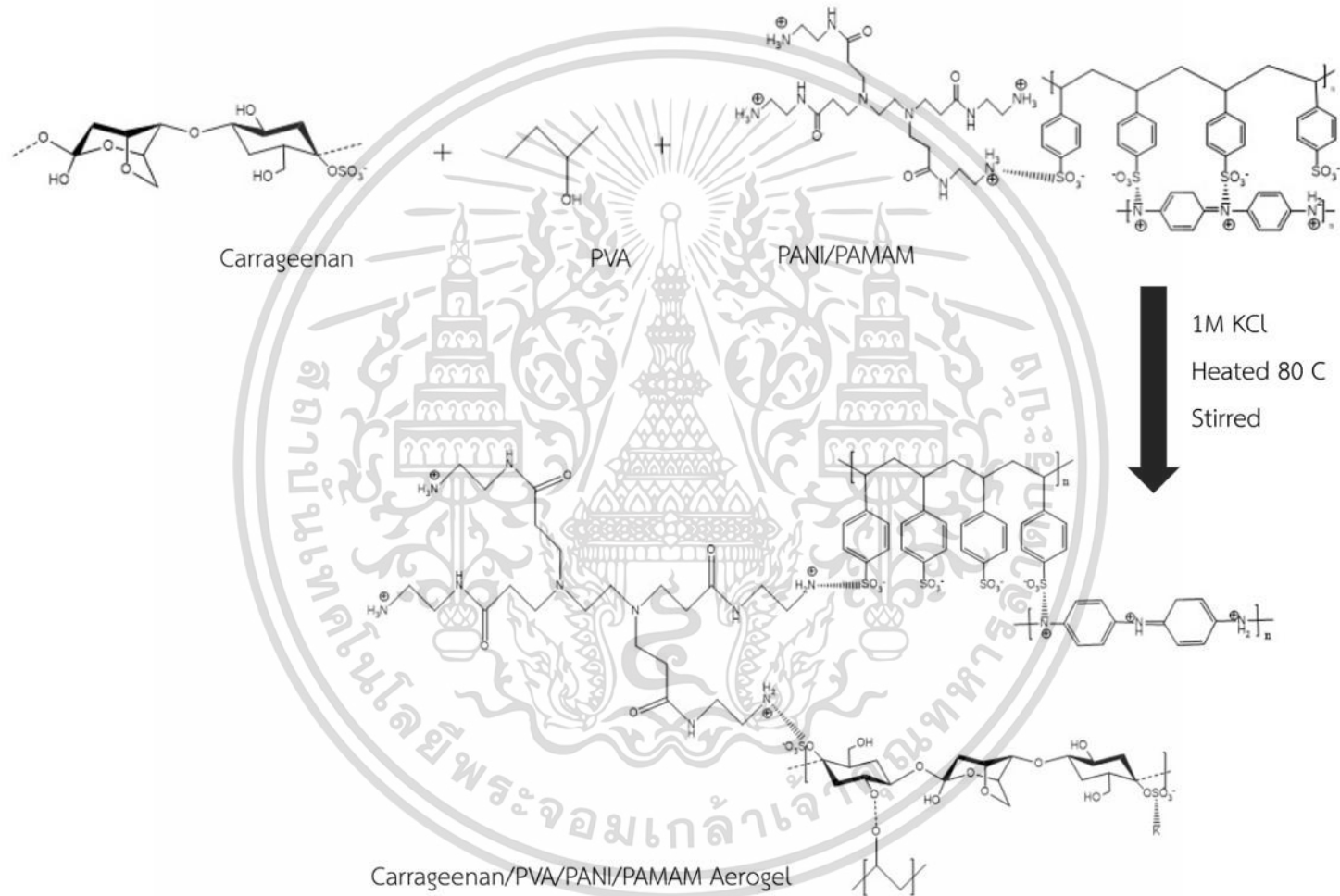
รูปที่ 4.7 รูปแสดงค่าศักย์ซีตา (Zeta potential) ของสารละลาย PANI/PAMAM ที่ความเข้มข้นของ PAMAM 0.006 0.03 0.06 และ 0.12 % wt./v.

จากรูป 4.7 จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย PAMAM ที่ 0.006 0.03 0.06 และ 0.12 % wt./v. ในการทำปฏิกิริยากับสารละลาย Polyaniline-Poly(styrene sulfonate) เพิ่มขึ้น จะพบว่าประจุของสารละลาย PANI/PAMAM จะลดลง แสดงให้เห็นว่า ภายใต้การเกิดปฏิกิริยาแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ ระหว่าง  $-SO_3^-$  ของ Polyaniline-Poly(styrene sulfonate) และ  $-NH_3^+$  ของ Poly(amidoamine) dendrimers สามารถเกิดสารผลิตภัณฑ์ PANI/PAMAM ได้

#### 4.1.3 การสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เดนไดเมอร์แอโรเจล (Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM aerogel)

คาร์ราจีแนน และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ถูกใช้พื้นฐานรองรับในการสังเคราะห์ พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เดนไดเมอร์แอโรเจล การทดลองได้นำสารละลาย PANI/PAMAM ที่ความเข้มข้น 0.12 % wt./v. ปริมาตร 80 ml ผสมกับ Carrageenan และ PVA น้ำหนัก 1 g และ 2 g ตามลำดับ และให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 80 °C เพื่อให้ Carrageenan และ PVA ละลาย จากนั้นทำการเติมสารละลาย KCl 1 M ลงไป 7 ml และเติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรสารละลายเป็น 100 ml หลังจากนั้นทำการลดอุณหภูมิลงเพื่อให้ Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM พอร์มตัวเป็นเจล ซึ่งกลไกการสังเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง Carrageenan/Poly(vinyl alcohol)/Polyaniline-Poly(styrene sulfonate) และ Poly(amidoamine) dendrimers

จากรูปที่ 4.8 หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของคาร์ราจีแนน จะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (H bonding) กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ในขณะที่เดียวกันการเกิดปฏิกิริยาแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่าง  $-NH_3^+$  ของ PANI/PAMAM และหมู่  $-SO_3^-$  ของคาร์ราจีแนน

เพื่อเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล (Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM aerogel) ผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างฐานในการรองรับ PANI/PAMAM

#### 4.1.3.1 การสังเคราะห์คาร์ราจีแนนแอโรเจล (Carrageenan aerogel)

การสังเคราะห์ Carrageenan aerogel จะถูกสังเคราะห์ขึ้นจาก K-carrageenan โดยใช้ KCl เป็น Crosslinking agent และนำไปผ่านกระบวนการ Freeze Dry โดย Carrageenan ที่นำขึ้นรูปเป็น Aerogel มีทั้งหมด 3 ความเข้มข้นได้แก่ 0.5%, 1.0%, และ 2.0% wt./v. โดยได้นำชิ้นงานไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุนด้วยเครื่อง BET และได้ผลออกมาเป็นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะและผล BET ของ Carrageenan aerogel

Carrageenan (% wt./v.)	ลักษณะของชิ้นงาน	พื้นที่ผิว (m <sup>2</sup> /g)	ขนาดของรูพรุน (nm)
0.5		Not detected	Not detected
1.0		Not detected	Not detected
2.0		1.2904	116.0347

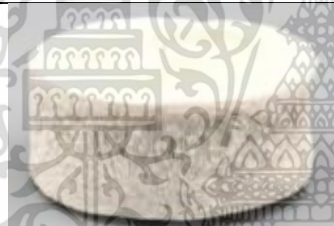


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 เห็นว่าลักษณะภายนอกของ Carrageenan aerogel ที่ความเข้มข้น Carrageenan 2.0% wt./v. มีความแข็งแรงมากที่สุด โดยเมื่อทำการศึกษาพื้นที่ผิว และขนาดของรูพรุน พบว่ามีค่า 1.2904 m<sup>2</sup>/g และ 116.0347 nm ตามลำดับ

#### 4.1.3.2 การสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์แอโรเจล (Carrageenan/PVA aerogel)

การสังเคราะห์ Carrageenan/PVA aerogel จะถูกสังเคราะห์ขึ้นจาก K-carrageenan 2.0% โดยน้ำหนัก และ Poly(vinyl alcohol) ที่ความเข้มข้น 1, 3, และ 5 % wt./v. โดยใช้ KCl เป็น Crosslinking agent และนำไปผ่านกระบวนการ Freeze Dry และนำชิ้นงาน Carrageenan/PVA aerogel ไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุนด้วยเครื่อง BET และได้ผลออกมาเป็นดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะและผล BET ของ Carrageenan/PVA aerogel

PVA (% wt./v.)	ลักษณะของชิ้นงาน	พื้นที่ผิว (m <sup>2</sup> /g)	ขนาดของรูพรุน (nm)
1.0		Not detected	Not detected
3.0		Not detected	Not detected
5.0		Not detected	Not detected

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า Carrageenan/PVA aerogel ที่มีความเข้มข้นของ PVA มากกว่า 1.0% wt./v. ลักษณะชิ้นงานนั้นจะดูแข็งแรงขึ้นและมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า Carrageenan/PVA aerogel 1.0% wt./v. แต่ไม่สามารถมองเห็นรูพรุนได้ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับจึงได้เลือก Carrageenan/PVA aerogel 1.0% wt./v. มาใช้ในการทำเป็นวัสดุดูดซับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3.3 การสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิสไตรีนซัลโฟเนต แอโรเจล (Carrageenan/PVA/PANI/PSS aerogel)

การสังเคราะห์ Carrageenan/PVA/PANI/PSS aerogel จะถูกสังเคราะห์ขึ้นจาก K-carrageenan ความเข้มข้น 2.0% wt./v. ผสมกับสารละลาย Poly(vinyl alcohol) 1.0% wt./v. และสารละลาย PANI/PSS ที่ความเข้มข้น 0.395% wt./v. ที่ pH 1-11 โดยใช้ KCl เป็น Crosslinking agent และนำไปผ่านกระบวนการ Freeze Dry และนำไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุนด้วยเครื่อง BET ได้ผลออกมาตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของการขึ้นรูป Carrageenan/PVA/PANI/PSS aerogel ที่ PANI/PSS ที่ pH ต่างๆ

pH PANI/PSS	รูปชิ้นงาน Aerogel	ลักษณะชิ้นงาน Aerogel	พื้นที่ผิว (m <sup>2</sup> /g)	ขนาดของรูพรุน (nm)
1		Not detected	Not detected	Not detected
3		Not detected	Not detected	Not detected
5		Not detected	Not detected	Not detected
7		- สีเขียวอ่อน - สามารถคงรูปได้ไม่ มีขุยและรอยแตกปริ	0.3055	148.7584
9		- สีเขียวเข้ม - สามารถคงรูปได้ไม่ มีขุยและรอยแตกปริ	Not detected	Not detected
11		- สีน้ำเงิน - สามารถคงรูปได้ไม่ มีขุยและรอยแตกปริ	Not detected	Not detected

จากตารางที่ 4.3 จะพบว่า pH ของสารละลาย PANI/PSS 7, 9, และ 11 สามารถขึ้นรูปคาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิสไตรีนซัลโฟเนต แอโรเจลได้ ในขณะที่ pH ของสารละลายต่ำกว่า 7 หรือสูงกว่า 11 จะไม่สามารถขึ้นรูปได้ เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลาย PANI/PSS ที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป ทำให้เกิดปัญหาในการขึ้นรูปแอโรเจลได้ ในขณะที่ยังคงต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานของแอโรเจลด้วย

PANI/PSS ต่ำกว่า 5 ไม่สามารถขึ้นรูปคาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิไสตริลีนซัลโฟเนต แอโรเจลได้ เนื่องจากสารละลายมีสถานะตกตะกอน

#### 4.1.3.4 การสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล (Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM aerogel)

การสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดย ผสมสารละลาย K-carrageenan ความเข้มข้น 2.0% wt./v. กับสารละลาย Poly(vinyl alcohol) 1.0% wt./v. และสารละลาย PANI<sub>pH 7</sub>/PAMAM ที่ความเข้มข้น 0.006 - 0.12 % wt./v. โดยใช้ KCl เป็น Crosslinking agent และนำไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุนด้วยเครื่อง BET ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผล BET และการขึ้นรูป Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM aerogel ที่ PAMAM ความเข้มข้น 0.006 - 0.12 % wt./v.

ความเข้มข้น PAMAM (% wt./v.)	รูปขึ้นงาน Aerogel	ลักษณะชิ้นงาน Aerogel	พื้นที่ผิว (m <sup>2</sup> /g)	ขนาดของรูพรุน (nm)
0.006		- สีเขียวอ่อน - เป็นเนื้อเดียวกัน - สามารถคงรูปได้ไม่มีขยุยและรอยแตกปริ	Not detected	Not detected
0.030		- สีเขียวเข้มด้านในและขอบด้านนอกมีสีขาว - ยังมีความไม่เข้ากันของ PANI/PSS และ PAMAM - สามารถคงรูปได้ไม่มีขยุยและรอยแตกปริ	0.1444	Not detected
0.060		- สีเขียวเข้มด้านในและขอบด้านนอกมีสีขาว - กระจาย	0.0966	Not detected

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น PAMAM (% wt./v.)	รูปชิ้นงาน Aerogel	ลักษณะชิ้นงาน Aerogel	พื้นที่ผิว (m <sup>2</sup> /g)	ขนาดของรูพรุน (nm)
		-ยังมีความไม่เข้ากันของ PANI/PSS และ PAMAM -ชิ้นงาน Aerogel มีการยุบตัว -มีขุยและรอยแตกเกิดขึ้น		
0.120%		-สีเขียวเข้มด้านในและขอบด้านนอกมีสีขาวประปราย -ยังมีความไม่เข้ากันของ PANI/PSS และ PAMAM	0.3215	Not detected

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ที่ความเข้มข้นของ PAMAM 0.120 % wt./v. ในการสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล ให้ลักษณะชิ้นงานที่มีขนาดพื้นที่ผิว 0.3215 m<sup>2</sup>/g ซึ่งแสดงพื้นที่ผิวมากที่สุด ซึ่งอาจจะส่งผลให้ในทางที่ดีต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับได้

จากการทดลองสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล สามารถสรุปสูตรในการสังเคราะห์ Aerogel ดังนี้

**ตารางที่ 4.5** สูตรในการสังเคราะห์คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล

ลำดับที่	สภาวะ	เงื่อนไข
1	PANI/PSS <sub>pH7</sub> 0.395% wt./v. ปริมาตร 40 ml / PAMAM 0.304% wt./v. ปริมาตร 40 ml	ปริมาตร 80 ml
2	อุณหภูมิ 80-90°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับให้ความร้อนและปั่นกวนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่าในรูปแบบใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลเบื้องต้นและต่อว่าถึงถึงเจ้าของเอกสารหรือผู้เผยแพร่เอกสาร

ลำดับ ที่	สภาวะ	เงื่อนไข
3	Carrageenan	1.000 % wt./v. ปริมาตร 2 g
4	PVA	2.000 % wt./v. ปริมาตร 1 g
5	KCl	1 M ปริมาตร 7 ml
6	DI water	ปริมาตร 13 ml
7	Freeze	อุณหภูมิต่ำ -5°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
8	Freeze Dry	อุณหภูมิต่ำ -100 °C เป็น เวลา 72 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ของคาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไคเมอร์แอโรเจล

### 4.2.1 กราฟมาตรฐานของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

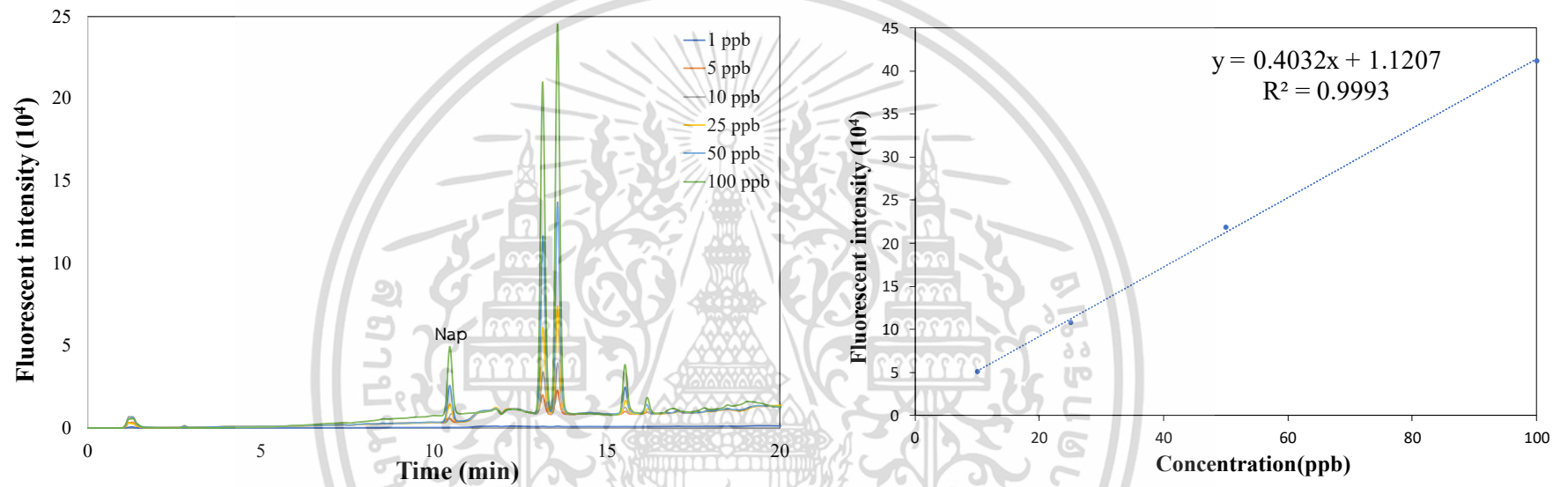
สารมาตรฐาน PAHs 5 ชนิดได้แก่ Naphthalene, Acenaphthylene, Phenanthrene, Pyrene และ Fluorene ถูกนำมาศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐาน โดยใช้เทคนิค High Performance Liquid Chromatography, HPLC โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

ตารางที่ 4.6 สภาวะเทคนิค High Performance Liquid Chromatography, HPLC ในการวิเคราะห์สารมาตรฐาน Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

Parameters	Conditions
High-Performance Liquid Chromatography, HPLC	
Column	C 18 – Reversed-phase
Column temperature	25 องศาเซลเซียส
Detector	Fluorescence
Mobile phase	Acetonitrile/water
Stationary phase	C 18 – Reversed-phase
Flow rate	1 มิลลิลิตร
Retention time	0-30 min
Injection volume	20 ไมโครกรัมต่อลิตร

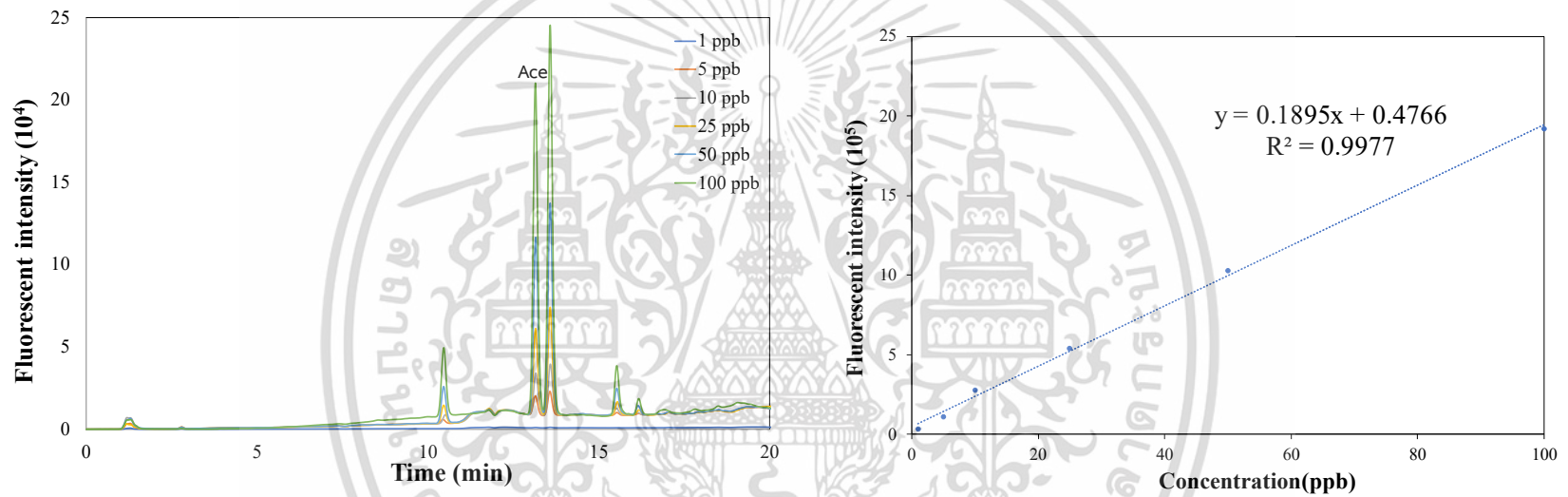
Parameters	Conditions		
Gradient conditions	Time (min)	Volume % Acetonitrile	Volume % Water
	0.0	60	40
	1.5	60	40
	7.0	90	10
	13.0	100	0
	30	100	0
Wavelengths for Fluorescence detection of PAH	Compound	Wavelengths	
		excitation	emission
	Naphthalene	280	360
	Acenaphthene	280	360
	Phenanthrene	250	360
	Fluoranthene	250	400
	Pyrene	250	400

#### 4.2.1.1 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Naphthalene



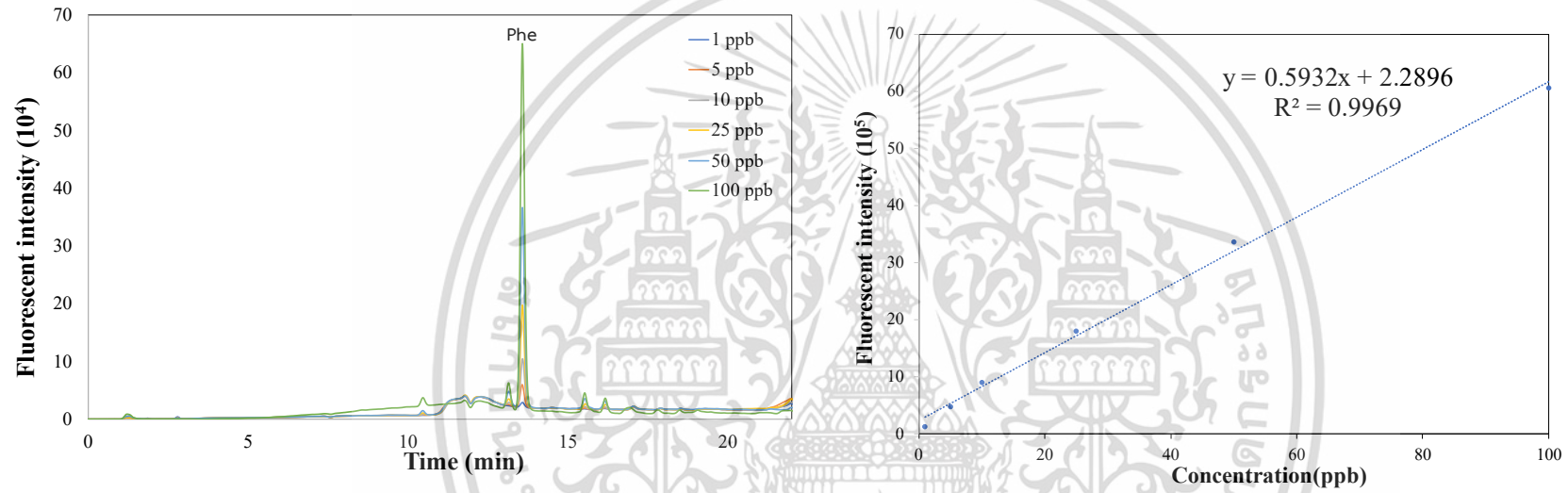
รูปที่ 4.9 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Naphthalene

#### 4.2.1.2 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Acenaphthylene



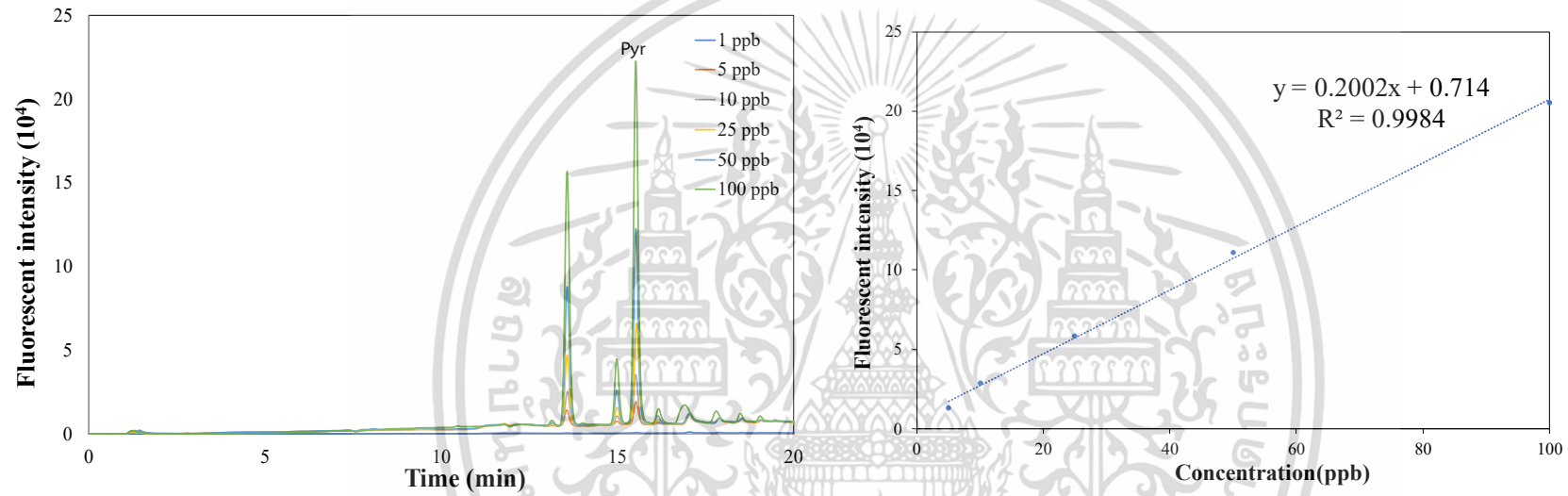
รูปที่ 4.10 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Acenaphthylene

#### 4.2.1.3 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Phenanthrene



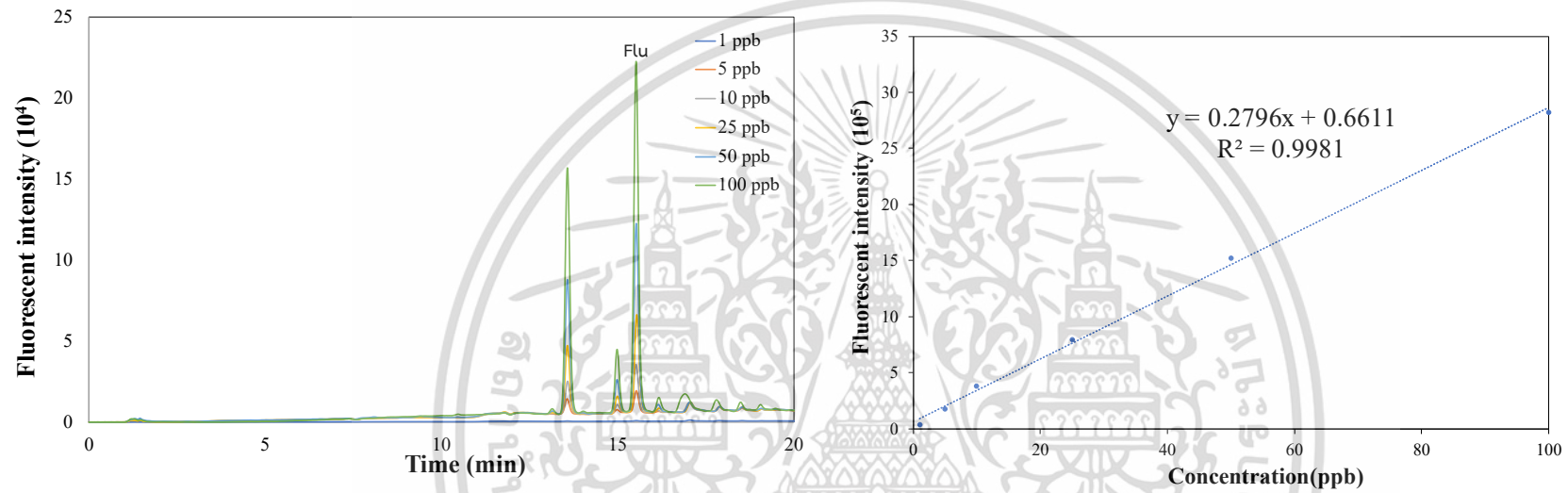
รูปที่ 4.11 โครมาโทแกรมของ และสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Phenanthrene

#### 4.2.1.4 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Pyrene



รูปที่ 4.12 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Pyrene

#### 4.2.1.5 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Fluorene



รูปที่ 4.13 โครมาโทแกรมและสมการเส้นตรงของสารมาตรฐาน Fluorene

ตารางที่ 4.7 ตารางสรุปสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานของ Standard Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

สารมาตรฐาน PAHs	สมการถดถอยเชิงเส้น (Calibration curve)	R <sup>2</sup>
Naphthalene	$y = 4032.3x + 11207$	0.9993
Acenaphthylene	$y = 18946x + 47655$	0.9977
Phenanthrene	$y = 59319x + 228958$	0.9969
Pyrene	$y = 20017x + 71401$	0.9984
Fluorene	$y = 27956x + 66111$	0.9981

#### 4.3 การศึกษาการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ของคาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล

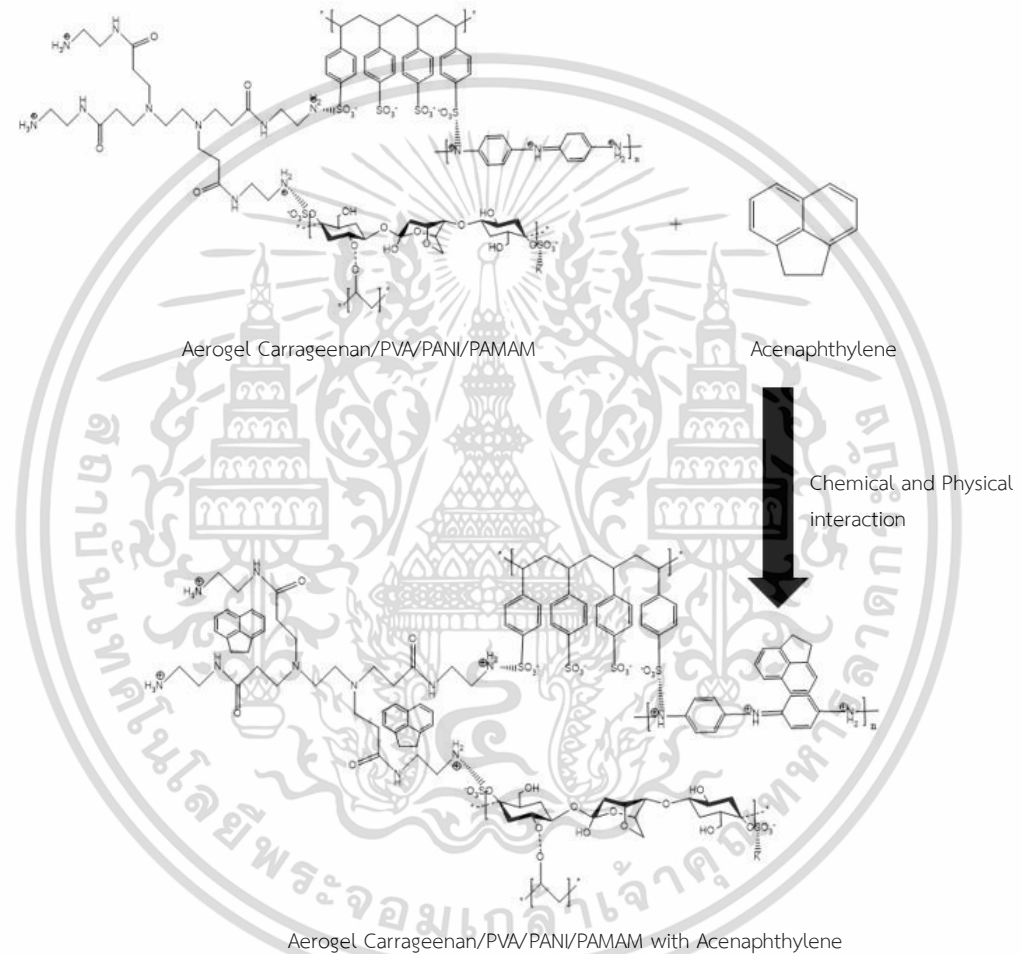
การศึกษาการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ของคาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล สามารถแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 4.14 โดย Polycyclic Aromatic Hydrocarbons จะสามารถเกิดอันตรกิริยากับ คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล โดยอาศัย 2 กลไกการเกิดปฏิกิริยา คือ

1. การเกิดอันตรกิริยาทางเคมี (Chemical interaction) โดยเกิด  $\pi$ - $\pi$  interaction ระหว่างวงอะโรมาติกของ PAHs และ PANI
2. การเกิดอันตรกิริยาทางกายภาพ (Physical interaction) โดยเกิดการดูดซับเข้าไปในโพรงของ PAMAM

การศึกษาการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons คาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล โดยได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการดูดซับ PAHs ทั้งหมด 3 ตัวแปรด้วยกันได้แก่ ขนาดของ Aerogel, เวลาที่ใช้ในการดูดซับ และชนิดของสารละลายที่ใช้ในการชะ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons โดยทำการทดลองควบคุม

1. ปริมาณของ Aerogel ขนาด 0.20 mg, 0.15 mg และ 0.10 mg
2. เวลาที่ใช้ในการดูดซับโดยจะมีการควบคุมเวลาในการดูดซับทั้งหมด 4 ช่วงเวลาได้แก่ 5 นาที, 10 นาที, 20 นาที และ 30 นาที
3. ควบคุมชนิดของสารละลายที่ใช้ในการชะ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons จะใช้สารละลายทั้งหมด 4 ชนิดด้วยกันได้แก่ อะซิโตน ไนไตรท์ (Acetonitrile), อะซิโตน (Acetone), เมทานอล (Methanol), และเอทานอล (Ethanol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Aerogel Carrageenan/PVA/PANI/PAMAM และตัวอย่าง PAHs

ตารางที่ 4.8 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณคาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล ที่มีผลต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

ขนาดของ Aerogel (mg)	ความเข้มข้นของ Naphthalene, Acenaphthylene, Phenanthrene, Pyrene และ Fluorene , ppb
0.20	Not detected
0.15	Not detected
0.10	Not detected

ตารางที่ 4.9 การศึกษาอิทธิพลของเวลา ที่มีผลต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons บนวัสดุดูดซับคาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล

เวลาที่ใช้ในการ (min)	ความเข้มข้นของ Naphthalene, Acenaphthylene, Phenanthrene, Pyrene และ Fluorene , ppb
5	Not detected
10	Not detected
20	Not detected
30	Not detected

ตารางที่ 4.10 การศึกษาอิทธิพลของสารละลาย ที่มีผลต่อการชะ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ออกจากวัสดุดูดซับคาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล

ชนิดของสารละลายที่ใช้ชะ	ความเข้มข้นของ Naphthalene, Acenaphthylene, Phenanthrene, Pyrene และ Fluorene , ppb
Acetonitrile	Not detected
Acetone	Not detected
Methanol	Not detected
Ethanol	Not detected

จากตารางที่ 4.7, 4.8, และ 4.9 แสดงอิทธิพลของปริมาณ เวลา และสารละลาย ที่มีผลต่อการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons บนวัสดุดูดซับคาร์ราจีแนน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์/พอลิอะนิลีน/พอลิอิมิโดเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล

ลิวมิโตเอมีน เคนไดเมอร์แอโรเจล โดยจากการทดลองพบว่า วัสดุดูดซับดังกล่าว ไม่สามารถดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ในสารละลายได้ เนื่องจากสารละลาย PAHs ที่ทำการวิเคราะห์อยู่ในสถานะของ สารละลาย จึงส่งผลต่อการหดรูพรุน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ Polyaniline/Poly(styrene sulfonate)/Poly(amidoamine) dendrimers และทำการขึ้นรูปเป็น Aerogel จาก Carrageenan และ Poly(vinyl alcohol) ด้วยกระบวนการ Freeze dry จากการศึกษาตัวแปรของ Aerogel ที่สังเคราะห์ได้และการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่างๆรวมทั้งการทดสอบกับตัวอย่าง Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ในน้ำสรุปได้ว่า

1. ความเข้มข้นของ Carrageenan ที่นำมาใช้ในการขึ้นรูป Aerogel คือ 2.0% wt./v. ปริมาณ 2 g
2. ความเข้มข้นของ PVA ที่นำมาใช้ในการขึ้นรูป Aerogel คือ 1.0% wt./v. ปริมาณ 1 g
3. pH ที่สามารถนำสารละลาย PANI/PSSมาขึ้นรูปเป็น Aerogel คือ pH 7, pH 9, และ pH 11
4. สารละลาย PANI/PSS<sub>pH7</sub> 0.395% wt./v. ปริมาตร 40 ml / PAMAM<sub>0.304%</sub> wt./v. ปริมาตร 40 ml จะถูกนำมาใช้ขึ้นรูปเป็น Aerogel ปริมาตร 80 ml
5. ความเข้มข้นของ KCl นำมาใช้ในการขึ้นรูป Aerogel คือ 1 M ปริมาตร 7 ml และน้ำ DI ปริมาตร 13 ml
6. เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการ Freeze คือ 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ -5°C
7. เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการ Freeze Dry คือ 72 ชั่วโมง อุณหภูมิ -100°C
8. ขึ้นงาน Carrageenan/Poly(vinyl alcohol)/Polyaniline/Poly(amidoamine) dendrimers aerogel ไม่สามารถดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ในน้ำได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ขึ้นงาน Carrageenan/Poly(vinyl alcohol)/Polyaniline/Poly(amidoamine) dendrimers aerogel ไม่เหมาะสมที่จะทำการดูดซับ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ในน้ำควรทำการดูดซับในวัฏภาคอื่นเช่น อากาศ เป็นต้น
2. หากต้องการตรวจหา Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ในวัฏภาคของน้ำควรที่จะเปลี่ยนชนิดของ Aerogel ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] B.G. Armstrong, E. Hutchinson, J. Unwin, T. Fletcher Environ Health Perspect, 112 (9) (2004), pp. 970-978
- [2] IARC (International Agency for Research on Cancer) Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures Monogr Eval Carcinog Risks Hum, 92 (2010), pp. 765-771
- [3] CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). Canadian soil quality guidelines for potentially carcinogenic and other PAHs: scientific criteria document. CCME: Winnipeg: 2010
- [4] Hussain, K., et al., Monitoring and Risk Analysis of PAHs in the Environment, in Handbook of Environmental Materials Management. 2018. p. 1-35.
- [5] Hussein I. Abdel-Shafy , Mona S.M. Mansour. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation March 2016, Pages 107-123
- [6] BYJU'S 2023 Polymers - Types, Classification, Properties, and Uses of Polymers. [Online]. Available: <https://byjus.com/jee/polymers/#Structure-of-Polymers>
- [7] Gavin Van De Walle March 5, 2021. Carrageenan: Types, Applications, Safety, and More [Online]. Available: <https://www.ulprospector.com/knowledge/11460/fb-carrageenan-types-applications-safety-and-more/>
- [8] Leonel Pereira 2016. Carrageenan Properties and Applications [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/307856589\\_Carrageenan\\_Properties\\_and\\_Applications\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/307856589_Carrageenan_Properties_and_Applications_A_Review)
- [9] Vedantu 2023. Polyvinyl Alcohol [Online]. Available: <https://www.vedantu.com/chemistry/polyvinyl-alcohol>
- [10] เคมีภัณฑ์ 2566. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์. [Online]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.chemipan.com>
- [11] Samala Sai and Anil Kumar 2019 Physical and Chemical properties of Polyaniline School of Chemical Engineering and Physical Sciences, Lovely Professional University, Phagwara, india
- [12] N. Thummarungsan, D. Pattavarakorn, Electrochromic performances of conductive polyaniline copolymer, Int. J. Chem. Eng. Appl. 5 , 2014, 176—180.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] G.G. Wallace, G.M. Spinks, L.A.P. Kane-Maguire, and P.R. Teasdale, Conductive Electroactive Polymers: Intelligent Polymer Systems, 3rd edition, CRC Press: Taylor & Francis group, 2009
- [14] D.A. Tomalia, J.M. Fréchet Discovery of dendrimers and dendritic polymers: a brief historical perspective J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed., 40 (16) (2002), pp. 2719-2728
- [15] D.A. Tomalia, H. Baker, J. Dewald, M. Hall, G. Kallos, S. Martin, J. Roeck, J. Ryder, P. Smith A new class of polymers: starburst-dendritic macromolecules Polym. J., 17 (1) (1985), pp. 117-132
- [16] ภาพการ์ตูนแสดงโครงสร้างของเดนไดเมอร์ที่ประกอบด้วยแกนกลาง หน่วยย่อยที่ซ้ำกันซึ่งก่อตัวเป็นรู้น และกลุ่มปลายบนผิวเดนไดเมอร์ แกนกลางคือรุ่น 0 (G0); รุ่น 1 (G1), รุ่น 2 (G2) และรุ่น 3 (G3) หมายถึงเดนไดเมอร์ที่มีการแตกแขนงระดับที่หนึ่ง สอง และสามตามลำดับ . [Online]. Available: [https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2468519417302033-gr1\\_lrg.jpg](https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2468519417302033-gr1_lrg.jpg)
- [17] องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ 2564. แอโรเจล (Aerogel) ของแข็งที่เบาที่สุดในโลก [Online]. Available: <https://www.nsm.or.th/nsm/th/node/6066>
- [18] Tatiana Budtova, Daniel Antonio Aguilera, 2020 Biorefinery Approach for Aerogels MDPI. Aerogels from Carrageenan pp. 29-31
- [19] Mohamed Mehawed Abdellatif, Soliman Mehawed Abdellatif Soliman, Nabil H. El-Sayed, Faten Hassan Hassan Abdellatif Iota-carrageenan based magnetic aerogels as an efficient adsorbent for heavy metals from aqueous solutions 2019
- [20] Yan Wang\*, Xiang Gao, Yuqiao Fu, Xinming Wu, Qiguan Wang, Wenzhi Zhang, Chunyan Luo School of Materials and Chemical Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an, 710021, Enhanced microwave absorption performances of polyaniline/graphene aerogel by covalent bonding PR China Composites Part B 169 (2019) 221–228
- [21] UV-1900 UV-VIS Spectrophotometer [Online]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.upmarketing.co.th%2FU>
- [22] RIC Kku ศูนย์เครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ อาคาร 1 ชั้น 4 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer) [Online]. Available: <https://ric.kku.ac.th/ricv3/myapp/index.php/serviceinstrument/index/5>
- [23] เครื่อง (Particle Size Analyzer) [Online]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fthaismegp.com%2Fproduct%2F>
- ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2F6164fb2efd571f50ddce5a56&psig=AOvVaw0U-

WuL2C1NTJdLKtTxrTWK&ust=1686838964095000&source=images&cd=vfe&ved=0CBE

QjRxqFwoTCPDz0Pv6wv8CFQAAAAAdAAAAABAE

[24] เทคนิค BET Surface area [Online]. Available:

<http://fulltext.rmu.ac.th/fulltext/2561/%E0%B9%84%E0%B8%94%E0%B8%94%E0%B8%A3%E0%B8%9F%E0%B9%8C%E0%B8%89%E0%B8%B1%E0%B8%99/%5B2561%20file%5D/%5B9>

[25] เครื่องวิเคราะห์คุณลักษณะพื้นที่ผิว (Surface Area Analyzer) [Online]. Available:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.cmit.kmitl.ac.th>

[26] สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน(องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี FTIR Micro-

Spectrometer เครื่องฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโมโครสโคป[Online]. Available:

<https://www.slri.or.th/bdd/th/22->

[27] เครื่องฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโมโครสโคป[Online]. Available:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.slri.or.th%2Fbdd%2Fth%2F22%25E0%25B8%259A%25E0%25B8%25A3%25E0%25B8%25B4%25E0%25B8%2581%25E0%>

[28] TU.2023 High Performance Liquid Chromatography (HPLC) [Online]. Available:

<https://www.med.tu.ac.th/UserFiles/File/vijai/equipment/High%20performance%20liquid%20chromatography.htm>

[29] High Performance Liquid Chromatography (HPLC) [Online]. Available:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fprodigyscientific.com%2Fproduct%2Fagilent-1200-hplc%2F&psig=AOvVaw1izdimpUSnX2gZosxLyUVc&ust=1686840037422000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjRxqFwoTCOilufv-wv8CFQAAAAAdAAAAABAE>

[30] N. Manousi, E.A. Deliyanni, E. Rosenberg et al. 2021 Ultrasound-assisted magnetic solid-phase extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons and nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons from water samples with a magnetic polyaniline modified graphene oxide nanocomposite

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] T. Ye *et al.* .2020 Poorly-crystallized poly(vinyl alcohol)/carrageenan matrix: Highly ionic conductive and flame-retardant gel polymer electrolytes for safe and flexible solid-state supercapacitors
- [32] ยิงพิศ พรพัฒน์กุล 2021 .พอลิเมอร์นำไฟฟ้าพอลิอะนิลีนที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีดีสเพอร์ชันพอลิเมอร์ไรเซชัน Conducting Polyaniline Produced from Dispersion Polymerization
- [33] Hu, C.W., Kawamoto, T., Tanaka, H., Lee, K.M., Kao, S.Y., Liao, Y.C., & Ho, K.C. (2016). Water processable Prussian blue-polyaniline: polystyrene sulfonate nanocomposite (PB-PANI: PSS) for multi-color electrochromic applications. *Journal of Materials Chemistry C*, 4(43), 10293-10300.  
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/tc/c6tc03351b>
- [34] Surajit, K., Jyoti, P.G., Amarijyoti, K., & Dolui, S.K. (2011). Synthesis of expanded graphite filled polyaniline composites and evaluation of their electrical and electrochemical properties. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 22(8), 1154-1161.
- [35] Nanna, R.K., Marcel, T.A., & Anne, S.M. (2015). Seaweed Hydrocolloid Production: An Update on Enzyme Assisted Extraction and Modification Technologies. *Marine Drugs*. 13, 3340-3359, 10.3390/md13063340.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 23 เดือน มิถุนายน พ.ศ 2566

ข้าพเจ้า นางสาว ทิราพร กุมารทิพย์

รหัสประจำตัว 62050288

นาย ธนกฤษ พานิชย์เลิศอำไพ

รหัสประจำตัว 62050289

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การพัฒนาวัสดุดูดซับโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยใช้โพลี(อะมิโดเอมีน) เดนไดเมอร์/โพลีอะนิลีน แอโรเจล

ชื่อภาษาอังกฤษ DEVELOPMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS ADSORBENT USING POLY(AMIDOAMINE) DENDRIMERS/POLYANILINE AEROGEL

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว  
โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 3.34 %

ลงชื่อ.....**ทิราพร กุมารทิพย์**.....

ลงชื่อ.....**ธนกฤษ พานิชย์เลิศอำไพ**.....

(ทิราพร กุมารทิพย์)

(นาย ธนกฤษ พานิชย์เลิศอำไพ)

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ ของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

(รศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้