



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ เส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัวสำหรับอัลตราทินแลร์โครมาโทกราฟี
Aligned electrospun polyvinyl alcohol for ultrathin layer chromatography

ชื่อนิสิต นางสาวบุษรินทร์ สีเพ็ง

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2558

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัวสำหรับอัลตราทินแลร์โครมาโทกราฟี
Aligned electrospun polyvinyl alcohol for ultrathin layer chromatography



โดย
นางสาวบุษรินทร์ สีเพ็ง

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

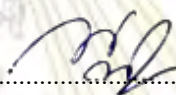
ปีการศึกษา 2558


ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรื่อง เส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัวสำหรับอัลตราทินแลร์โครมาโทกราฟี
โดย นางสาวบุษรินทร์ ลิเพ็ง
ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หม่อมหลวงศิริพัสตร์ ไซยันต์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทธิรักษา วรรณสุภากุล)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ดวงกมล ตุงคะสมิต)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ ดีมาก ดี พอใช้

ชื่อโครงการ เส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัวสำหรับอัลตราทินแลร์
โครมาโทกราฟี

ชื่อนิสิตในโครงการ นางสาวบุษรินทร์ สีเพ็ง เลขประจำตัว 5533108523

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทธรักษา วรานุศุภากุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัวเตรียมได้ด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่งโดยใช้ฉากรับแบบหมุน เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ละลายน้ำได้ทำให้เป็นข้อจำกัดในการใช้เป็นเฟสคงที่ในอัลตราทินแลร์โครมาโทกราฟี ดังนั้น จึงทำการเชื่อมขวางพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกลูตารัลดีไฮด์เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ก่อนนำไปอิเล็กโทรสปินนิ่ง โดยภาวะในการเตรียมเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แบบเรียงตัวได้แก่ อัตราการไหลของพอลิเมอร์เหลว 7 ไมโครลิตรต่อนาที ศักย์ไฟฟ้า 23 กิโลโวลต์ ระยะทางระหว่างปลายเข็มและฉากรองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร และฉากรับเส้นใยแบบหมุนความเร็ว 1250 รอบต่อนาที ได้เส้นใยที่มีลักษณะเรียบและมีการเรียงตัวเป็นแนวตรงเป็นที่น่าพอใจ ทำการตัดเส้นใยเป็นแผ่นขนาด 2x3 ตารางเซนติเมตร ตามแนวการเรียงตัว 45 องศา (45-AE-PVA), 90 องศา (90-AE-PVA) และ 180 องศา (180-AE-PVA) แล้วนำมาเป็นเฟสคงที่ในอัลตราทินแลร์โครมาโทกราฟี การเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่บนแผ่น 45-AE-PVA, 90-AE-PVA และ 180-AE-PVA UTLC สอดคล้องกับสมการของลูคัส-วิทเบิร์น แสดงว่าการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่บนเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัวใช้แรงแคพิลลารีผ่านตัวกลางคล้ายกับแผ่นซิลิกา โดยพบว่าการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่บนแผ่น 45-AE-PVA เคลื่อนที่เอียงไปตามแนวของเส้นใย การเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่บนแผ่น 90-AE-PVA เคลื่อนที่ได้ไวเพราะเคลื่อนที่ไปตามแนวของเส้นใย และการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่บนแผ่น 180-AE-PVA เคลื่อนที่ช้า เนื่องจากเคลื่อนที่ขวางแนวของเส้นใย โดยอัตราการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่บนแผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แบบเรียงตัว 45, 90 และ 180 องศา คือ 0.0085, 0.0280 และ 0.0050 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ สุดท้ายทำการวิเคราะห์กรดอะมิโนด้วยแผ่นเส้นใยในการเรียงตัว 45, 90 และ 180 องศา เทียบกับแผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินและแผ่นซิลิกา พบว่าเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัว 45, 90 และ 180 องศา มีจำนวนเพลทน้อยกว่าแผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินและแผ่นซิลิกา เนื่องจากรูปร่างของจุดสารและแนวการเคลื่อนที่ของสารบนแผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัว

คำสำคัญ : อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัว, เส้นใยนาโน, พอลิไวนิลแอลกอฮอล์, อัลตราทินแลร์โครมาโทกราฟี

Title Aligned electrospun polyvinyl alcohol for ultrathin layer chromatography

Student name Miss Busarin Leepeng ID 5533108523

Advisor Asst. Prof. Dr. Puttaruksa Varanusupakul

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Academic Year 2015

Abstract

In this study, aligned electrospun polyvinyl alcohol nanofibers (AE-PVA) were fabricated by electrospinning technique on rotational collector. Because PVA is soluble in water, this is a limitation to use as stationary phase for ultrathin layer chromatography (UTLC). Therefore, PVA was crosslinked by glutaraldehyde for 5 h before electrospinning process. The AE-PVA nanofibers were generated at the electrospinning condition as follow; solution flow rate of 7 $\mu\text{L}/\text{min}$, high voltage of 23 kV, collector distance of 15 cm and rotational collector speed of 1250 rpm. The satisfied nanofibers in term of morphology and alignment of fibers were obtained. The fibrous membrane was cut into $2 \times 5 \text{ cm}^2$ plate along the fiber alignment at 45° (45-AE-PVA), 90° (90-AE-PVA) and 180° (180-AE-PVA) and then applied as a stationary phase for UTLC. The mobile phase transport on the 45-AE-PVA, 90-AE-PVA and 180-AE-PVA UTLC was fitted the Lucas-Washburn equation suggested that the transport of mobile phase was mainly based on capillary flow through porous media similar to that on conventional silica TLC. As a result, migration of mobile phase on 45-AE-PVA-UTLC was oblique along the fiber alignment. Fast migration of mobile phase was observed on 90-AE-PVA-UTLC because of the movement along the fiber alignment. While slow migration of mobile phase was observed on 180-AE-PVA-UTLC because moving across the fiber alignment. The velocity constant of 45-AE-PVA, 90-AE-PVA and 180-AE-PVA UTLC was 0.0085, 0.0280 and 0.0050 cm^2/s , respectively. Finally, the analysis of amino acids on 45-AE-PVA, 90-AE-PVA and 180-AE-PVA UTLC were compared with E-PVA UTLC and silica TLC. The plate number of 45-AE-PVA, 90-AE-PVA and 180-AE-PVA UTLC showed lower efficiency than E-PVA UTLC and silica TLC because of the shape of sample spot and orientation of the movement of mobile phase on the AE-PVA.

Keywords: aligned electrospun, nanofiber, polyvinyl alcohol, UTLC

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาโครงการในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.พุทธรักษา วรานุสุภากุล ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่ามาเป็นทีปรึษาและให้ข้อเสนอแนะแนวทางในการวิจัยอย่างดีและเป็นประโยชน์อย่างมากในการวิจัยในครั้งนี้ และทำให้ผลงานวิจัยสมบูรณ์และถูกต้องยิ่งขึ้น ผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณพี่นิสิตปริญญาโทในห้องทดลองที่คอยแนะนำวิธีการทดลอง การใช้เครื่องมือภายในห้องทดลองและให้ข้อมูลที่เป็นแนวทางในการทดลอง

สุดท้ายขอขอบคุณทุกคนที่มีส่วนช่วยในการวิจัยครั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นข้อเสนอแนะหรือกำลังใจที่ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

นางสาวบุษรินทร์ ธีเพ็ง

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญรูปประกอบ.....	ช
สารบัญตารางประกอบ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 Electrospinning.....	3
2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์(PVA).....	5
2.3 Thin layer chromatography (TLC).....	6
2.3.1 หลักการแยกสารด้วย TLC.....	6
2.3.2 องค์ประกอบของแผ่น TLC.....	7
2.3.3 Ultrathin layer chromatography (UTLC)	7
2.3.3.1 โครงสร้างมอนอลิธ (Monolith).....	7
2.3.3.2 โครงสร้างนาโน (Nanostructure).....	8
2.3.3.3 เส้นใยนาโนอิเล็กโทรสปิน (Electrospun nanofibers).....	9
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	10
3.2 การเตรียมสารละลาย	
3.2.1 สารละลายมาตรฐาน Amino acid.....	10
3.2.2 สารละลาย Ninhydrin.....	11
3.3 การเตรียมเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัว.....	11
3.4 การทดสอบประสิทธิภาพในการวิเคราะห์กรดอะมิโนด้วย UTLC.....	12
3.4.1 การเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่บนแผ่น AE-PVA UTLC.....	13
3.4.2 การแยกกรดอะมิโน.....	13

บทที่ 4 ผลและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การเตรียมแผ่น AE-PVA UTLC.....15

4.2 การใช้ AE-PVA เป็นเฟสคงที่ในการแยกสารด้วยเทคนิค UTLC..... 16

4.2.1 อัตราการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่..... 16

4.2.2 ทดสอบการแยกกรดอะมิโน.....18

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 24

เอกสารอ้างอิง..... 25

ประวัติผู้วิจัย.....28



ภาควิชาเคมี
 คณะวิทยาศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 (A) แผนภาพอุปกรณ์ในการทำอิเล็กโทรสปินนิง (B) ฉากรับเส้นใยแบบแผ่น (C) รูปขยายของเส้นใยแบบส้อมที่สร้างบนฉากรับแบบแผ่น (D) ฉากรับเส้นใยแบบหมุน (E) รูปขยายของเส้นใยแบบเรียงตัวที่สร้างบนฉากรับแบบหมุน.....	3
2.2 การยืดออกของเส้นใยแบบ Taylor cone (A) hemispherical shape, (B) elongated polymer solution, (C) Taylor cone.....	4
2.3 ปฏิกริยาการเชื่อมขวางพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกลูตาราลดีไฮด์.....	5
2.4 อุปกรณ์การแยกสารด้วยเทคนิค TLC	6
2.5 โครงสร้างมอนอลิธ.....	8
2.6 ภาพจาก SEM ของ macroporous GLAD thin flim (A and B) isotropic, (C and D) anisotropic และ (E and F) blade-like [10].....	8
3.1 แผนภาพในการอิเล็กโทรสปินนิง.....	11
4.1 ปฏิกริยาการเชื่อมขวางพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกลูตาราลดีไฮด์.....	15
4.2 SEM ของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัว.....	15
4.3 ภาพ SEM ของแผ่น UTLC ที่มีทิศทางของเส้นใยแตกต่างกันคือ (A) เส้นใยทำมุม 45° (B) เส้นใยทำมุม 90° และ (C) เส้นใยทำมุม 180°.....	16
4.4 ค่าระยะการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่บนแผ่น UTLC กำลัง 2 กับเวลา ที่เส้นใยทำมุม 45°, 90° และ 180°.....	16
4.5 การเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่บนแผ่น 45-AE-PVA UTLC.....	17
4.6 โครงสร้างของกรดอะมิโน Alanine, Glutamine และMethionine.....	18
4.7 การวิเคราะห์กรดอะมิโนของ (A) 45-AE-PVA-UTLC, (B) 90-AE-PVA-UTLC, (C) 180-AE-PVA-UTLC.....	19
4.8 การวิเคราะห์กรดอะมิโนของ (A) E-PVA-UTLC, (B) silica TLC	20
4.9 ค่า R _f ของกรดอะมิโนบนแผ่น 45°-AE-PVA-UTLC, 90°-AE-PVA-UTLC, 180°-AE-PVA-UTLC, E-PVA-UTLC และsilica TLC.....	21

สารบัญตารางประกอบ

ตาราง	หน้า
3.1 ตัวทำละลายในการเตรียมสารละลายกรดอะมิโนที่ศึกษา.....	10
3.2 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์กรดอะมิโนด้วย UTLC.....	12
4.1 ค่า velocity constant (K) ของแผ่น UTLC ที่องศาต่างๆ.....	17
4.2 Analysis time, Spot width, plate number (N), plate height (H) ในการวิเคราะห์ กรดอะมิโนบนแผ่น 45°-AE-PVA-UTLC, 90°-AE-PVA-UTLC, 180°-AE-PVA-UTLC, E-PVA-UTLC และ Silica TLC	22

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

เทคนิคทินแลร์โครมาโทกราฟี (thin layer chromatography, TLC) เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการแยกสารประกอบเพื่อระบุองค์ประกอบของสารประกอบ และใช้พิสูจน์สาร เนื่องจาก TLC เป็นเทคนิคที่ง่ายต่อการใช้งาน รวดเร็ว จึงมีการนำไปใช้ในการวิเคราะห์สารต่างๆ หลากหลายด้าน เช่น เภสัชวิทยา (pharmaceutical) สิ่งแวดล้อม อาหาร สมุนไพร (herbal medicinal) รวมถึงทางนิติวิทยาศาสตร์ (forensic) [1-4]

โดยทั่วไปเทคนิค TLC มีเฟสคงที่ (stationary phase) เป็นอนุภาคของแข็งเคลือบเป็นแผ่นบางๆ บนวัสดุที่ไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยา เช่น อนุภาคของ silica gel, alumina, kieselguhr, magnesium silicate และ magnesium oxide [5] ที่มีขนาด 10-12 μm และเคลือบหนา 100-400 μm บนวัสดุที่ไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยา เช่น แก้ว อลูมิเนียม หรือ terephthalate foil, polytetrafluoroethylene (PTFE) และ เส้นใยแก้ว เป็นต้น ต่อมามีการพัฒนาให้เทคนิค TLC มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้เฟสคงที่ที่มีอนุภาคเล็ก โดยในปี ค.ศ. 1970 มีการพัฒนาเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ทินแลร์โครมาโทกราฟี (high-performance thin layer chromatography, HPTLC) ที่ใช้เฟสคงที่ที่มีอนุภาคขนาด 4-6 μm และมีความหนา 100-200 μm [3] และในปี ค.ศ. 2001 มีการพัฒนาเทคนิคอัลตราทินแลร์โครมาโทกราฟี (ultrathin layer chromatography, UTLC) ที่ใช้วัสดุนาโน (nanomaterials) เป็นเฟสคงที่และมีความหนา 5-25 μm วัสดุที่ใช้ในการทำแผ่น UTLC มีหลากหลาย เช่น monolith [6,7], นาโนไฟเบอร์ที่เตรียมด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง [4,8] และ โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโพรงเล็กขนาดนาโนเมตร (nanopores) [6,9,10] เมื่อเปรียบเทียบเทคนิค HPTLC และ UTLC พบว่า UTLC ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นกว่า ใช้วัสดุในการทดลองน้อยกว่า ให้ sensitivity ที่สูงกว่า และมีข้อจำกัดในการทดลองน้อยกว่า [11]

มีงานวิจัยมากมายศึกษาการใช้เส้นใยนาโนที่เตรียมด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (electrospinning technique) เป็นเฟสคงที่ใน UTLC [4,8,12,13] โดยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิงเป็นการใช้แรงทางไฟฟ้าสถิตในการสร้างเส้นใยจากพอลิเมอร์เหลว ซึ่งเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิงนั้นเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว การสร้างเส้นใยด้วยเทคนิคนี้ทำให้ได้เส้นใยที่มีพื้นผิวมากและมีขนาดเส้นใยระดับนาโนเมตร โดยในการสร้างเส้นใยจะมีฉากรับ (collector) เส้นใย ซึ่งฉากรับเส้นใยที่นิยมใช้มี 2 แบบ คือฉากรับแบบแผ่น (plate collector) และฉากรับแบบหมุน (rotating collector) การสร้างเส้นใยโดยใช้ฉากรับแบบแผ่นหรือฉากรับแบบหมุนที่ความเร็วรอบต่ำจะได้แผ่นเส้นใยที่เป็นลักษณะไขว้ไปมาไร้ทิศทาง (nonwoven fibers) แต่ถ้าใช้ฉากรับแบบหมุนที่ความเร็วรอบสูงจะได้แผ่นเส้นใยที่มีการเรียงตัวในทิศเดียวกัน (aligned fibers) [14] ซึ่งการใช้เส้นใยที่มีการเรียงตัวเป็นเฟสคงที่ใน UTLC สามารถใช้ประโยชน์คุณสมบัติเชิงกล [14], เพิ่มประสิทธิภาพในการแยกสาร และลดเวลาในการวิเคราะห์ [4]

ในปัจจุบันพอลิเมอร์ถูกนำมาใช้เป็นเฟสคงที่ในเทคนิค TLC เช่น polyacrylonitrile (PAN) [4], polyvinyl alcohol (PVA) [8], polyvinylpyrrolidone (PVP) [15], cellulose acetate [12] เป็นต้น เนื่องจากพอลิเมอร์มี functional groups ที่หลากหลายและสามารถประยุกต์ใช้ในช่วง pH ที่กว้าง [16] กว่า silica ที่สามารถใช้ได้ในช่วง pH 2-8 เท่านั้น นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการใช้เส้นใยขนาดนาโนเป็นเฟสคงที่ใน UTLC เช่น งานวิจัยของ Lu [8]

เตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินโดยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง งานวิจัยของ Clark [11] เตรียมเส้นใยนาโนพอลิอะครีโลไนไตรล์ (PAN) ด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง เป็นงานวิจัยที่มีการใช้เส้นใยขนาดนาโนจากเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่งเป็นเฟสคงที่

จากงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีการใช้เส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัว (aligned electrospun polyvinylalcohol, AE-PVA) เป็นเฟสคงที่ใน UTLC ซึ่ง AE-PVA UTLC ให้การวิเคราะห์ผลที่เร็วกว่าการใช้ particulate silica TLC และเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบไม่เรียงตัว (E-PVA UTLC) อย่างไรก็ตาม จุดสาร (sample spot) ของการแยกสารโดย AE-PVA UTLC มีขนาดที่ใหญ่กว่า particulate silica TLC และ E-PVA UTLC ทำให้ได้ประสิทธิภาพการแยกสารที่น้อย [17] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาพัฒนาการใช้งาน AE-PVA UTLC เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกสาร โดยทำการทดสอบการใช้งานของ AE-PVA UTLC ในการเรียงตัวของเส้นใยในองศาต่างๆ เช่น 45° , 90° และ 180° เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เตรียมแผ่นเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัวสำหรับอัลตราทินแลร์โครมาโทกราฟี
- 1.2.2 เปรียบเทียบสมบัติในการวิเคราะห์สารของเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัวที่องศาต่างๆ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.3.1 เตรียมเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แบบเรียงตัวด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง
- 1.3.2 ทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของ AE-PVA UTLC ในองศาต่างๆ (45° , 90° และ 180°)
- 1.3.3 เปรียบเทียบการใช้งานของ AE-PVA UTLC ในองศาต่างๆ กับ E-PVA UTLC และ silica TLC

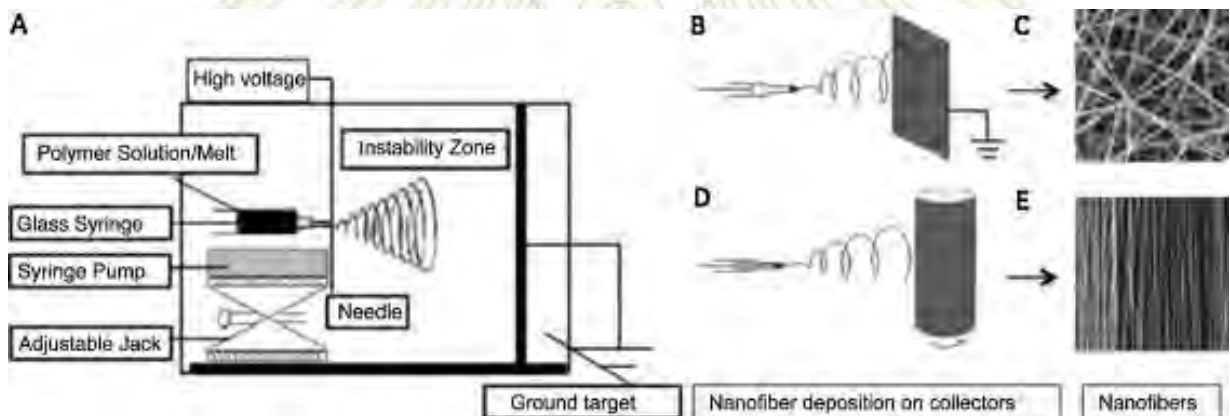
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัว 45° , 90° และ 180° เป็นทางเลือกในการใช้เฟสคงที่สำหรับอัลตราทินแลร์โครมาโทกราฟีเพื่อใช้แยกกรดอะมิโน

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 Electrospinning

เทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงเป็นเทคนิคที่ใช้ในการสร้างเส้นใยจากสารละลายพอลิเมอร์ ข้อดีของเทคนิคนี้คือได้เส้นใยที่มีรูพรุนสูง พื้นที่ผิวมาก เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยที่เล็กขนาดนาโนเมตรถึงไมโครเมตร สามารถควบคุมคุณสมบัติของเส้นใยได้ง่าย ง่ายต่อการใช้งานและมีประสิทธิภาพที่สมกับราคา เส้นใยอิเล็กโทรสปินนิงสามารถใช้งานได้หลากหลาย เช่น ผ้าปิดแผล [18,19] ตัวนำส่งยา [20], ตัวกรอง [21], ตัวตรึงเอนไซม์ [22], ไบโอเซ็นเซอร์ [23] และเฟสคงที่ใน TLC [8,11,12,15]

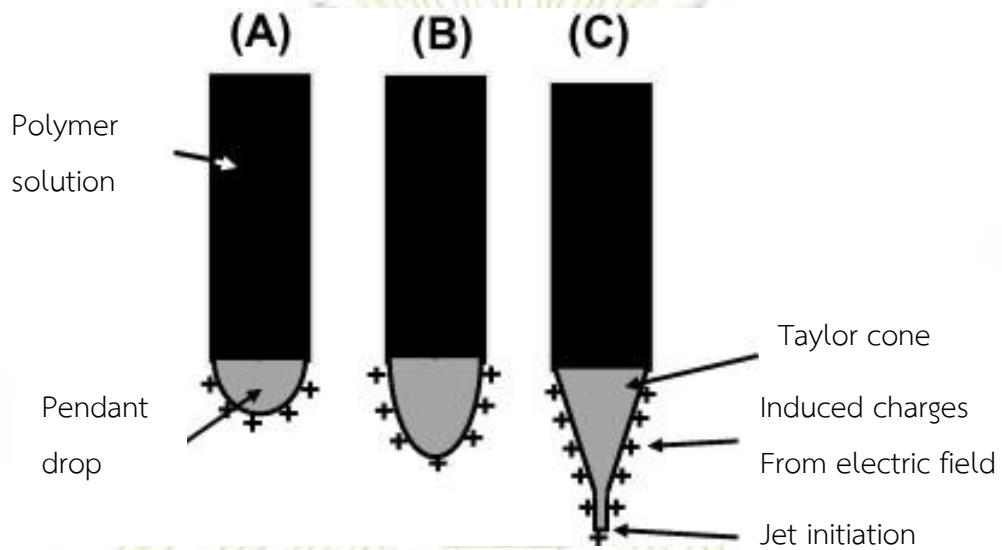


รูปที่ 2.1 (A) แผนภาพอุปกรณ์ในการทำอิเล็กโทรสปินนิง (B) ฉากรับเส้นใยแบบแผ่น (C) รูปขยายของเส้นใยแบบสุ่มที่สร้างบนฉากรับแบบแผ่น (D) ฉากรับเส้นใยแบบหมุน (E) รูปขยายของเส้นใยแบบเรียงตัวที่สร้างบนฉากรับแบบหมุน [24]

การสร้างเส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงใช้อุปกรณ์ดังรูปที่ 2.1(A) โดยประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ เครื่องจ่ายไฟฟ้าแรงสูง เครื่องพ่นสารละลายพอลิเมอร์ และฉากรับเส้นใย เครื่องจ่ายไฟฟ้าแรงสูงส่วนใหญ่จะต้องให้ศักย์ไฟฟ้าได้ในช่วง 1-30 kV เครื่องพ่นสารละลายพอลิเมอร์ประกอบด้วย ไชริงค์ที่ต่อกับเข็มปลายตัดและปั๊มจ่ายสารละลาย (syringe pump) ในส่วนของฉากรับเส้นใยมี 2 แบบ คือ ฉากรับแบบแผ่น (plate collector) ดังรูปที่ 2.1 (B) และฉากรับแบบหมุน (rotating collector) ดังรูปที่ 2.1 (D)

การเกิดเส้นใยในเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงแสดงในรูปที่ 2.2 โดยสารละลายพอลิเมอร์ที่ปลายเข็มจะมีลักษณะเป็นหยดครึ่งวงกลม (รูปที่ 2.2(A)) เนื่องจากแรงตึงผิวและเมื่อเริ่มเปิดเครื่องจ่ายไฟฟ้าแรงสูงจะทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวของสารละลายพอลิเมอร์ที่ปลายเข็ม เนื่องจากเกิดประจุชนิดเดียวกันบนพื้นผิวของสารละลายพอลิเมอร์ ทำให้เกิดแรงผลักรวมกันจนถึงจุดหนึ่งที่ทำให้สารละลายพอลิเมอร์ยืดยาวออกจากปลายเข็มเป็นรูปทรงกรวย (Taylor cone) ดังรูปที่ 2.2(C) เมื่อสารละลายพอลิเมอร์ยืดยาวออกก็จะเกิดเป็นเส้นใยตกลงบนฉากรับเนื่องจากการระเหยออกไปของตัวทำ

ละลาย [24] โดยจะได้เส้นใยพอลิเมอร์ที่มีลักษณะแบบส้อม ดังรูปที่ 2.1(C) และถ้าใช้ฉากรับแบบแผ่นที่ความเร็วรอบสูง จะได้เส้นใยพอลิเมอร์แบบเรียงตัว ดังรูปที่ 2.1(E)



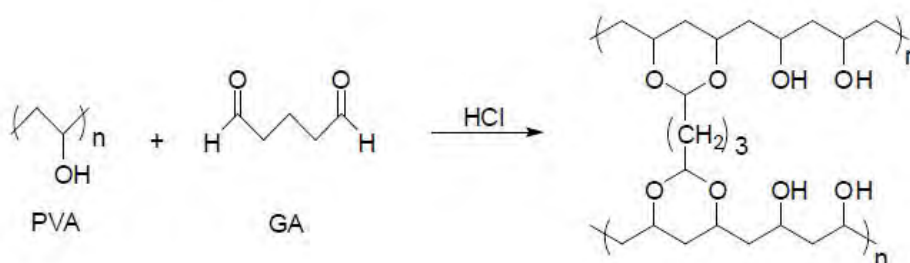
รูปที่ 2.2 การยืดออกของเส้นใยแบบ Taylor cone (A) Hemispherical shape, (B) Elongated polymer solution, (C) Taylor cone [25]

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol, PVA) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์โดยปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของพอลิไวนิลอะซิเตต (polyvinyl acetate) [26] PVA เป็นสารกึ่งผลึก ชอบน้ำ มีความเข้ากันกับสารชีวภาพ ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายได้ มีความคงทนต่อสารเคมี มีความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี และราคาไม่แพง PVA มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี แต่ไม่ละลายในสารอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน แอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เอสเทอร์ คีโตน และน้ำมัน [27] โดยมีการนำ PVA มาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เช่น อุตสาหกรรม พาณิชยกรรม การแพทย์ ยาและอาหาร PVA

เนื่องจาก PVA ละลายน้ำได้ดีจึงเป็นข้อจำกัดในการนำ PVA มาใช้ในระบบที่มีน้ำ ดังนั้น การทำการเชื่อมขวาง (crosslink) จะสามารถเพิ่มความคงทนของ PVA ในน้ำได้ มีสารที่ใช้ในการเชื่อมขวาง PVA หลายชนิด เช่น ฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) [28], ไกลออกซอล (glyoxal) [29], กลูตาราลดีไฮด์ (glutaraldehyde) [8,30] ซึ่งสารที่นิยมใช้ในการทำการเชื่อมขวาง PVA คือ กลูตาราลดีไฮด์ เนื่องจากให้ผลในการเชื่อมขวางที่ดี [31] ดังรูปที่ 2.3

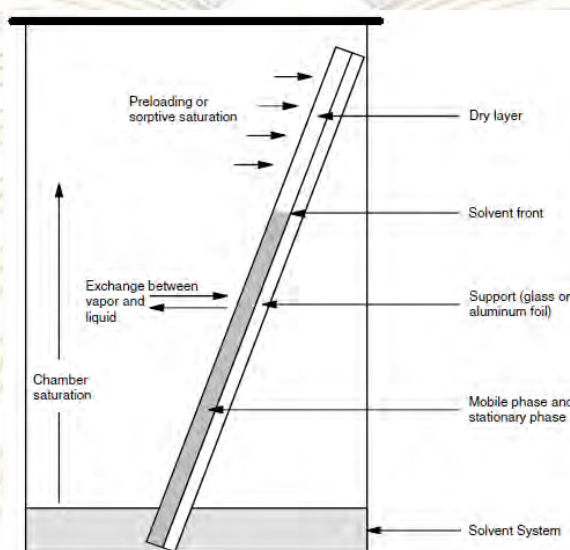


รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาเชื่อมขวางของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกลูตาราลดีไฮด์

การเชื่อมขวางในเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกลูตาราลดีไฮด์มี 2 ขั้นตอน [32,33] โดยขั้นแรกคือการสร้างเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์พอลิเมอร์ จากนั้นจึงค่อยนำเส้นใยที่ได้ไปทำการเชื่อมขวางด้วยสารละลายกลูตาราลดีไฮด์และกรดแกมมาอะซิโตน แต่ในปัจจุบันการเชื่อมขวางในเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถทำได้ โดยการนำสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาเติมกลูตาราลดีไฮด์และกรดไฮโดรคลอริก [8] เพื่อทำให้เกิดการเชื่อมขวางด้วยกลูตาราลดีไฮด์ แล้วจึงนำสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ถูกเชื่อมขวางแล้วไปทำการสร้างเส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์พอลิเมอร์

2.3 Thin layer chromatography (TLC)

TLC เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารประกอบ โดยเฟสคงที่จะเคลือบอยู่บนแผ่นรองที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยการวิเคราะห์ด้วย TLC จะทำการจุดสาร (spot) ลงบนเฟสคงที่แล้วนำไปวางใน TLC chamber ที่บรรจุเฟสเคลื่อนที่ไว้ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์การแยกสารด้วยเทคนิค TLC [34]

2.3.1 หลักการแยกสารด้วย TLC

การแยกสารด้วยเทคนิค TLC เกิดจากแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของเฟสคงที่และเฟสเคลื่อนที่ เฟสเคลื่อนที่ที่เคลื่อนที่ผ่านเฟสคงที่โดยแรงแคพิลลารี (capillary force) ทำให้เกิดการไหลของเฟสเคลื่อนที่ไปบนเฟสคงที่ การไหลของเฟสเคลื่อนที่ทำให้เกิดแรงดึงดูดต่อสารประกอบที่ถูกดูดซับไว้บนเฟสคงที่ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waal's) [5] ถ้าสารประกอบมีสภาพขั้วใกล้เคียงกับเฟสคงที่สารประกอบจะเคลื่อนที่ไปได้ไม่ไกล แต่ถ้าสารประกอบมีสภาพขั้วที่ใกล้เคียงเฟสเคลื่อนที่สารประกอบจะเคลื่อนที่ไปได้ไกล โดยการเคลื่อนที่ของสารในเทคนิค TLC แสดงด้วยค่า retardation factor (R_f) ดังสมการ

$$R_f = \frac{Z_s}{Z_f}$$

โดย Z_s : ระยะทางที่สารที่ต้องการวิเคราะห์เคลื่อนที่

Z_f : ระยะทางที่เฟสเคลื่อนที่เคลื่อนที่

2.3.2 องค์ประกอบของแผ่น TLC

1) เฟสคงที่ (stationary phase)

เฟสคงที่ที่นิยมใช้ใน TLC ได้แก่ ซิลิกา อลูมิเนียมออกไซด์และเซลลูโลส

ซิลิกามีหมู่ซิลินอล (Si-OH) ซึ่งมีความเป็นกรดสูงและมีขั้วสูง โดยซิลิกามีพื้นที่ผิวเฉลี่ย 400-800 m²/g มีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 4-12 nm ใช้แยกสารประเภทไฮโดรคาร์บอน, คีโตน, เอสเทอร์ และอะโรมาติ

อลูมิเนียมออกไซด์ (aluminum oxide) เป็นสารที่มีสภาพขั้วเหมือนซิลิกา มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 5-40 μm มีพื้นที่ผิว 150-200 m²/g มีขนาดรูพรุนเฉลี่ย 2-35 nm อลูมิเนียมออกไซด์สามารถแยกสารประกอบอะโรมาติก, อะโรมาติก, แอลกอฮอล์, สเตียรอยด์, เทอร์พีน และเบส

เซลลูโลส (cellulose) เป็นเส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-20 μm เป็นเส้นใยที่มีโครงสร้างที่มีหมู่ไฮดรอกซี จึงมีความสามารถเป็นเฟสคงที่ที่มีขั้ว เส้นใยเซลลูโลสสามารถใช้แยกสารประเภทกรดอะมิโนและกรดคาร์บอกซิลิก เซลลูโลสเป็นเส้นใยที่ไม่ต้องใช้ตัวช่วยในการยึดเกาะเนื่องจากเส้นใยมีความสามารถในการยึดเกาะอยู่แล้ว

2) แผ่นรองเฟสคงที่ (support)

เฟสคงที่ที่ต้องเคลือบลงบนแผ่นรองที่เป็นสารที่ไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยแผ่นรองเฟสคงที่ที่นิยม ได้แก่ แก้ว แผ่นพลาสติก อลูมิเนียมฟอยล์ terephthalate film และเส้นใยแก้ว

3) ตัวช่วยในการยึดเกาะ (binder)

ตัวช่วยในการยึดเกาะที่ใช้ส่วนใหญ่คืออีพ็อกซีโดยใส่เข้าไปกับเฟสคงที่ก่อนที่จะนำไปเคลือบบนแผ่นรอง ช่วยให้เฟสคงที่ยึดติดกับแผ่นรองเฟสคงที่ได้ดีขึ้น

4) สารเติมแต่ง

สารที่ใช้เติมแต่งเช่น manganese-activated, ซิงค์ซิลิกา และซิงค์แคดเมียม สารประกอบกำมะถันที่ถูกละลายไปในเฟสคงที่เพื่อทำให้สามารถตรวจสอบสารที่ไม่มีสีได้ภายใต้แสงยูวี

ในการตรวจวัดสารบนแผ่น TLC ถ้าสารที่ทำการวิเคราะห์ไม่มีสี เราสามารถเห็นได้ในทันทีบนแผ่น TLC แต่สารที่ไม่สามารถมองเห็นสีได้ ต้องทำการตรวจวัดภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet, UV) หรือทำปฏิกิริยากับสารที่ทำให้เกิดเป็นสารที่สามารถมองเห็นได้ภายใต้แสงปกติหรือภายใต้แสง UV

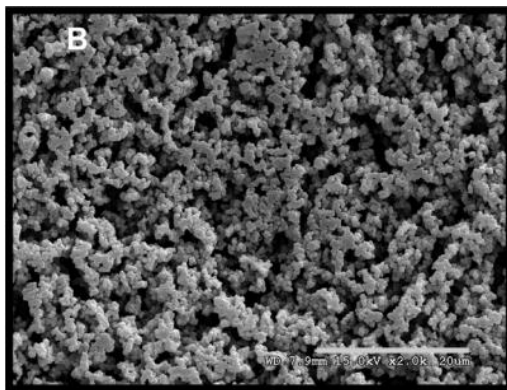
2.3.3 Ultrathin layer chromatography (UTLC)

UTLC เป็นการพัฒนาเทคนิค TLC ให้มีประสิทธิภาพในการแยกสูงขึ้น โดยใช้ขนาดเฟสคงที่ที่เล็กกว่าและเคลือบบางกว่าแผ่น TLC และ HPTLC ทำให้ UTLC สามารถแยกสารได้เร็ว มี sensitivity ที่สูง และใช้สารในการวิเคราะห์น้อย วัสดุที่ใช้เป็นเฟสคงที่ใน UTLC มีหลายประเภท ได้แก่

2.3.3.1 โครงสร้างมอนอลิธ (Monolith)

โครงสร้างมอนอลิธเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนประกอบด้วยรูพรุนขนาดเมโซ (mesopores) และขนาดมาโคร (macropores) แผ่น UTLC ที่เตรียมจากมอนอลิธซิลิกา (monolithic silica) เช่น Louis [35] เตรียม monolithic silica ด้วยเทคนิค glancing-angle deposition (GLAD) มีความหนา 10 μm ซึ่งมีชั้นของ mesopores ขนาด 3-4 nm และ macropores ขนาด 1-2 μm ปริมาตรรูพรุนที่เหมาะสมคือ 0.3 mL/g มีพื้นที่ผิว 350 m²/g มีความหนา 10 μm มอนอลิธซิลิกานำไปใช้แยกสารจำพวกกรดอะมิโนและสารกำจัดแมลง (pesticides) [3]

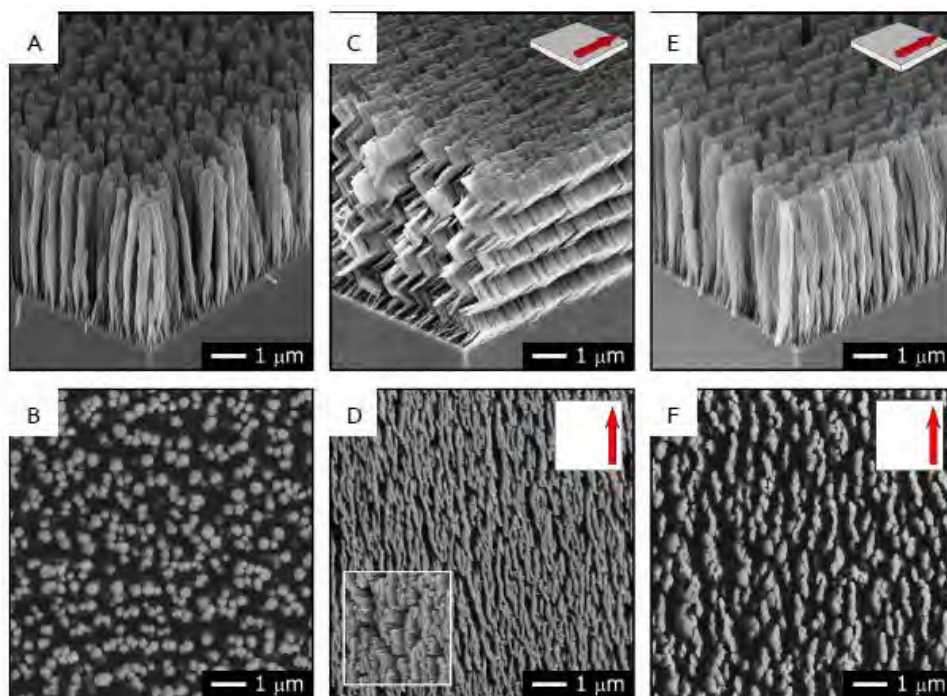
นอกจากนี้ยังมีการใช้มอนอลิธิกพอลิเมอร์ (monolithic polymer) (รูปที่ 2.5) ในการเป็นเฟสคงที่ใน UTLC เช่น Barkry [6] เตรียม poly(butyl methacrylate-co-ethylene dimethacrylate) monolith โดยปฏิกิริยา photoinitiated polymerization มีความหนา 50-200 μm ใช้แยกสารประเภทเปปไทด์ และโปรตีน โดยใช้เวลาวิเคราะห์ 5-6 นาที ในระยะทาง 6 cm



รูปที่ 2.5 โครงสร้างมอนอลิธิก [6]

2.3.3.2 โครงสร้างนาโน (Nanostructure)

โครงสร้างนาโนที่สร้างโดยเทคนิค glancing angle deposition (GLAD) ได้นำมาใช้เป็นเฟสคงที่ใน UTLC จากงานวิจัยของ Jim [10] ได้เตรียมโครงสร้างนาโนฟิล์มบางของซิลิกา ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งมีความหนา 4.6-5.3 μm ใช้ในการแยกสารที่มีการย้อมสี ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่า 2 นาที ด้วยระยะทาง 10 mm ในการใช้แยกสารนั้นแผ่น UTLC มี plate number 150-540 และมี Plate height 12-28 μm



รูปที่ 2.6 ภาพจาก SEM ของ macroporous GLAD thin film (A and B) isotropic, (C and D) anisotropic และ (E and F) blade-like [10]

2.3.3.3 เส้นใยนาโนอิเล็กโทรสปิน (Electrospun nanofibers)

เทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่งเป็นเทคนิคที่ง่ายต่อการผลิตเส้นใย โดยเส้นใยที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิคนี้ สามารถควบคุมความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางได้จากอัตราการไหล ศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างของฉากรับ ระยะเวลาในการสปิน และชนิดของพอลิเมอร์ ตัวอย่างการนำเส้นใยนาโนอิเล็กโทรสปินมาใช้เป็นเฟสคงที่ใน UTLC ได้แก่ งานวิจัยของ Lu [8] ทำการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินโดยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง ได้เส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 190 nm มีความหนาแต่ละชั้นของเฟสคงที่บนแผ่น UTLC 15 μm โดยใช้ทดลองในการแยกกรดอะมิโน โดยแผ่น UTLC จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความสูงของเพลท 30-70 μm และงานวิจัยของ Clark [11] เตรียมเส้นใยนาโนพอลิอะคริโลไนไตรล์ (PAN) ด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง ได้เส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 400 nm มีความหนาของเฟสคงที่บนแผ่น UTLC 25 μm ใช้แยกสารสเตียรอยด์ แผ่น PAN UTLC มีจำนวนเพลท 5300-29000



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 การทดลอง

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

- 1) Poly(vinyl alcohol) (PVA, molecular weigh 72000 g/mol, $\geq 98\%$ hydrolyzed) (Merck, Germany)
- 2) Glutaraldehyde (GA, 25% in aqueous solution) (Merck, Germany)
- 3) Hydrochloric acid (37%) (Merck, Germany)
- 4) Glacial acetic acid (100%) (Merck, Germany)
- 5) Ammonia solution (28%) (Merck, Germany)
- 6) n-Butanol (PANREAC, EU)
- 7) Ethyl acetate (CARLO ERBA, France)
- 8) Methanol (Merck, Germany)
- 9) Ninhydrin (Asia Pacific Specialty Chemicals, Australia)
- 10) L-Alanine (Ala, 98% TLC) (Sigma-Aldrich, USA)
- 11) L-Glutamine (Gln, 98% TLC) (Sigma-Aldrich, Brazil)
- 12) L-Methionine (Met, 98% TLC) (Sigma-Aldrich, Japan)
- 13) TLC silica gel 60 F₂₅₄ (particle sizes 5-40 μm) (Merck, Germany)
- 14) Aluminium foil (Diamond, USA)

3.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.1 สารละลายมาตรฐาน Amino acid

สารละลาย Amino acid ความเข้มข้น 3 mg/mL เตรียมโดยละลาย Amino acid 3 mg ในตัวทำละลาย 9 mL ตามตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวทำละลายในการเตรียมสารละลายกรดอะมิโนที่ศึกษา

Amino acids	Solvent
Alanine	water : methanol (1:4 by volume)
Glutamine	1 M HCl : methanol (1:4 by volume)
Methionine	1 M HCl : methanol (1:4 by volume)

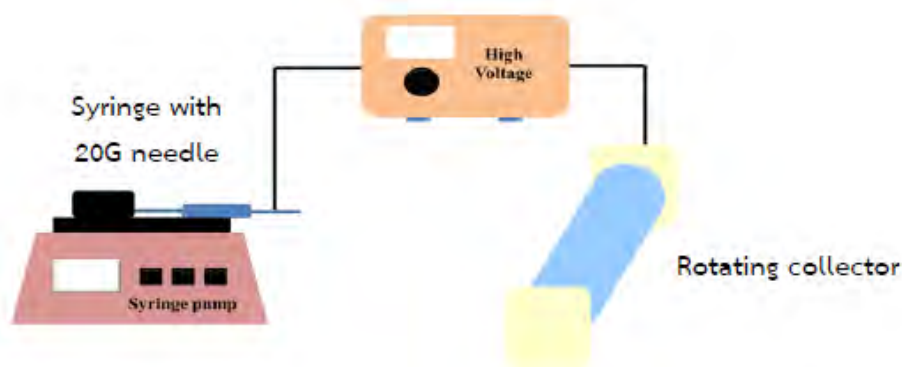
3.2.2 สารละลาย Ninhydrin

สารละลาย Ninhydrin เข้มข้น 3 mg/mL เตรียมโดย ละลาย Ninhydrin 15 mg ในตัวทำละลายผสม n-butanol 5 mL และ acetic acid 150 μ L แล้วนำไป sonicate ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที

3.3 การเตรียมเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัว

เส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัวถูกเตรียมด้วยวิธีของวรรณญา [17] โดยใช้สารละลาย PVA ในน้ำ 10% (w/w) เตรียมโดยชั่ง PVA 2 g ละลายในน้ำ 18 mL แล้วนำมาให้ความร้อน 80°C และคนสารตลอดเวลา 3 ชั่วโมง จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นรอสารละลายเย็นที่อุณหภูมิห้อง ใส่กลูตาราลดีไฮด์ (GA) 498 μ L (GA:PVA, 90:1; mol:mol) เป็นตัวเชื่อมขวาง คนสารที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที จากนั้นใส่กรดไฮโดรคลอริก 0.5 M ปริมาณ 1 mL (HCl:GA, 1:5; mol:mol) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และคนสารละลายต่ออีก 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

เมื่อทำการเชื่อมขวางพอลิเมอร์เสร็จ นำพอลิเมอร์เหลวที่ได้มาขึ้นรูปเป็นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัวด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง ซึ่งจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1 โดยบรรจุ PVA ในไซริงค์ขนาด 3 mL และปลายเข็มห่างจากฉากรับเส้นใย 15 cm ใช้ Prosense B.V. syringe pump กำหนดอัตราการไหลของสารละลายที่ 7 μ L/min ใช้ศักย์ไฟฟ้า 23 kV (series 230, BERTAN, Hicksville, New York, USA) ฉากรับเส้นใยแบบหมุน หมุนด้วยความเร็ว 1250 rpm หุ้มฉากรับเส้นใยด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ประมาณ 40% จากนั้นทำการอิเล็กโทรสปินนิ่ง 5 ชั่วโมง จะได้แผ่นเส้นใยหนา 20-25 μ m แล้วตัดเป็นแผ่นขนาด 2x5 cm ตามแนวเส้นใย 45, 90 และ 180 องศา วัดจากแนวขนานกับการเรียงตัวของเส้นใย



รูปที่ 3.1 แผนภาพในการทำอิเล็กโทรสปินนิ่ง

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพในการวิเคราะห์กรดอะมิโนด้วย UTLC

สารละลายกรดอะมิโนถูกจุดลงบนแผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัว 45, 90 และ 180 องศา แผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปิน และ แผ่นซิลิกา มีภาวะในการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.2 โดยทำการทดสอบในบีกเกอร์ขนาด 100 mL ปิดด้วยกระจกนาฬิกาทิ้งให้เฟสเคลื่อนที่เข้าสู่สมดุล 10 นาที ก่อนการทดลอง

เนื่องจากกรดอะมิโนไม่มีสี จึงทำการตรวจวัดกรดอะมิโนบนแผ่น UTLC โดยการทำปฏิกิริยากับ ninhydrin โดยการฉีด Ninhydrin ลงบนแผ่น TLC แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 4 นาที

ตารางที่ 3.2 ภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์กรดอะมิโนด้วย UTLC

	45-AE-PVA- UTLC	90-AE-PVA- UTLC	180-AE-PVA- UTLC	E-PVA-UTLC	Silica TLC
ขนาดของเพลท (cm)	2x5	2x5	2x5	2x5	2x5
ระยะทางที่ใช้ วิเคราะห์ (cm)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
เฟสเคลื่อนที่	n-butanol:glacial acetic acid:water (12:3:5 โดยปริมาตร)				
ปริมาณ สารละลาย ตัวอย่างที่ใช้ (nL)	25	25	25	25	200
ปริมาณเฟส เคลื่อนที่ที่ใช้ใน การวิเคราะห์ (mL)	3	3	3	3	6
เวลาที่ใช้ในการ วิเคราะห์ (min)	14-16	5-6	20-30	15-16	13-14

3.4.1 การเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่บนแผ่น AE-PVA UTLC

การเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่แสดงด้วยค่า **velocity constant** ซึ่งคำนวณจากสมการของลูคัส-วอชเบิร์น (สมการที่ 1) [4]

$$Z_f^2 = \frac{\gamma R t \cos \theta}{2\eta} \quad (1)$$

โดย Z_f : the migration distance of mobile phase

γ : the surface tension

R : the effective capillary (or pore) radius

t : the corresponding time

η : the viscosity of the mobile phase

θ : the contact angle of the mobile phase with the stationary phase

ค่า velocity constant (K) เป็นอีกพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ ซึ่ง $K = \gamma R / 2\eta$ ในสมการลูคัส-วอชเบิร์น ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ (Z_f) และ velocity constant ของเฟสเคลื่อนที่ (K) ได้ตามสมการที่ 2

$$Z_f^2 = Kt \quad (2)$$

3.4.2 การแยกกรดอะมิโน

ค่า retardation factor (R_f) คำนวณตามสมการที่ 3

$$R_f = \frac{Z_s}{Z_f} \quad (3)$$

โดย Z_s : ระยะทางที่สารที่ต้องการวิเคราะห์เคลื่อนที่

Z_f : ระยะทางที่เฟสเคลื่อนที่เคลื่อนที่

ประสิทธิภาพการแยกของแผ่น TLC เปรียบเทียบจากจำนวนเพลท (N) และความสูงของเพลท (H) ซึ่งคำนวณได้ตามสมการที่ 4 และ 5

$$N = 16 \left(\frac{Z_s}{w} \right)^2 \quad (4)$$

โดย Z_s : ระยะทางที่สารที่ต้องการวิเคราะห์เคลื่อนที่

w : ความกว้างของจุด

$$H = \frac{L}{N} \quad (5)$$

โดย N : จำนวนแผ่น

H : ความสูงของแผ่น

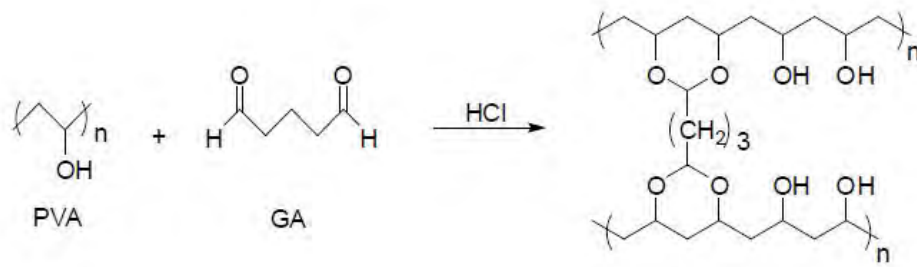
L : ความกว้างของแผ่น TLC

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

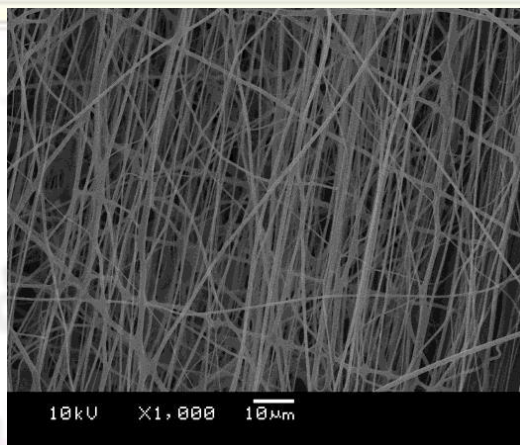
ในงานวิจัยนี้ทำการเตรียมเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อีเล็กโทรสปินแบบเรียงตัว (AE-PVA) ด้วยเทคนิคอีเล็กโทรสปินนิ่ง โดยทำการเชื่อมขวาง (crosslink) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกลูตาราลดีไฮด์ (glutaraldehyde) ตามปฏิกิริยาในรูปที่ 4.1 เพื่อเพิ่มความคงทนของเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในน้ำและตัวทำละลายที่มีขั้วเมื่อนำไปใช้เป็นเฟสคงที่ในเทคนิค ultathin layer chromatography (UTLC)



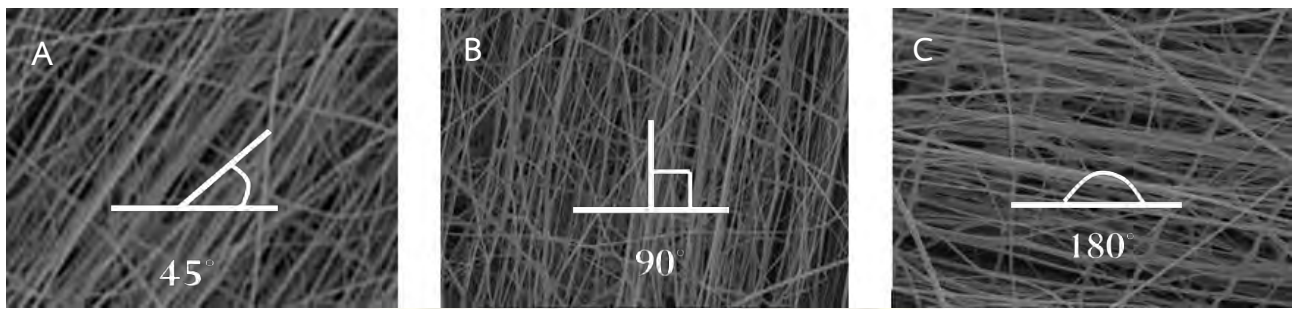
รูปที่ 4.1 ปฏิกิริยาการเชื่อมขวางพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกลูตาราลดีไฮด์

4.1 การเตรียมแผ่น AE-PVA UTLC

เส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากเทคนิคอีเล็กโทรสปินนิ่งมีความหนา 10 μm เส้นใยมีการเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าการเรียงตัวของเส้นใย (fiber alignment) เท่ากับ 65% (รูปที่ 4.2) จากนั้น ทำการตัดแผ่นเส้นใยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อีเล็กโทรสปินแบบเรียงตัวขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร ด้วยทิศทางของเส้นใยที่แตกต่างกัน คือ ทำมุม 45°, 90° และ 180° กับแนวนานกับการเรียงตัวของเส้นใย ดังรูปที่ 4.3 [17]



รูปที่ 4.2 SEM ของเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อีเล็กโทรสปินแบบเรียงตัว [17]

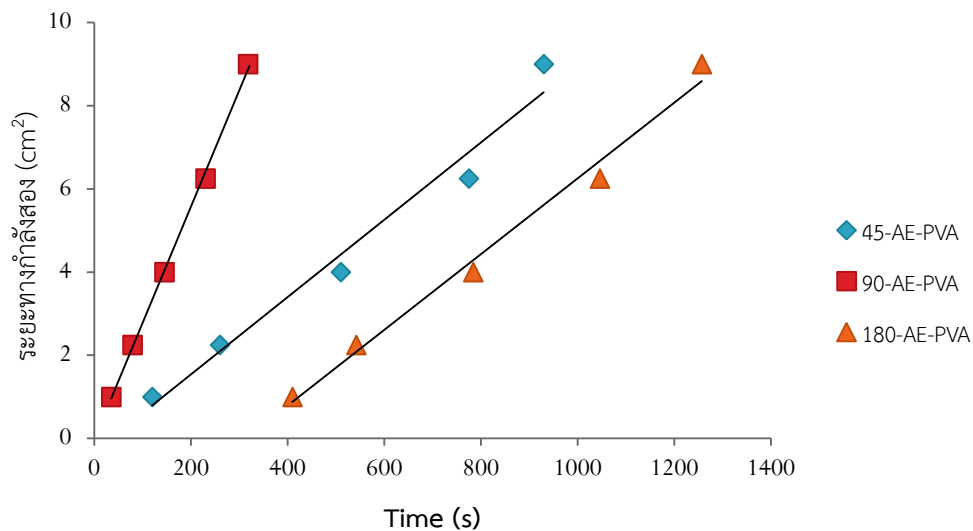


รูปที่ 4.3 ภาพ SEM ของแผ่น UTLC ที่มีทิศทางของเส้นใยที่คาดได้จากการหมุนภาพที่ 4.2 คือ (A) เส้นใยทำมุม 45° (B) เส้นใยทำมุม 90° และ (C) เส้นใยทำมุม 180° [17]

4.2 การใช้ AE-PVA เป็นเฟสคงที่ในการแยกสารด้วยเทคนิค UTLC

4.2.1 อัตราการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่

เนื่องจากเฟสเคลื่อนที่ใน UTLC เคลื่อนที่ด้วยแรงแคพิลลารี ดังนั้น อัตราการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ (migration of mobile phase) บน AE-PVA UTLC นำมาใช้ในการเปรียบเทียบเวลาของการวิเคราะห์ โดยใช้ระบบวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) เป็นสารละลายผสม n-butanol : acetic acid : water (12:3:5 by volume) พล็อตกราฟระหว่างกำลังสองของระยะทาง (Z^2) ที่สารละลายเคลื่อนที่และระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของสารละลายในระยะทางที่เท่ากัน ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเส้นใยในองศาต่างมีผลต่ออัตราการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่เนื่องจากแรง capillary ของเส้นใย



รูปที่ 4.4 ค่าระยะการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่บนแผ่น UTLC กำลัง 2 กับเวลา ที่เส้นใยทำมุม 45° , 90° และ 180°

ค่า velocity constants ของเฟสเคลื่อนที่ (k) ของแผ่น UTLC ที่ทำมุมองศาต่างๆ กันในระบบเฟสคงที่ สารละลายผสม n-butanol : acetic acid : water (12:3:5 by volume) ดังตารางที่ 4.1 ได้ว่าค่า velocity constants นั้นมีค่าต่างกันไปตามองศาของเส้นใย จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าแผ่น UTLC ที่เส้นใย 90° มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่เร็วที่สุดเนื่องจากเส้นใยมีการวางตัวไปในทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่

ทำให้แรง capillary เสริมให้มีการแพร่ที่เร็วขึ้น และเมื่อดูจากแผ่น UTLC ที่เส้นใย 180° พบว่ามีอัตราการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ช้าที่สุดเนื่องจากเส้นใยวางตัวในแนวขวางการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ทำให้แรง capillary ระหว่างเส้นใยมีการดึงดูดกันในแนวนอน ซึ่งเป็นการขวางการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ ทำให้อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ช้าลง แต่สามารถเคลื่อนที่ได้จากเส้นใยส่วนที่ไม่ได้อยู่ในแนวนอนเนื่องจากเส้นใยที่ได้จากการสปินมีการเรียงตัวเพียง 65% ของเส้นใยทั้งหมด ซึ่งในแผ่น UTLC ที่เส้นใย 45° ก็เช่นกันดังรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่จะเฉียงไปตามแนวของเส้นใย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแรง capillary ของเส้นใยนั้นมีผลอย่างมากในการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่

ตารางที่ 4.1 ค่า velocity constant (K) ของแผ่น UTLC ที่องศาต่างๆ

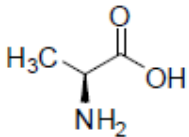
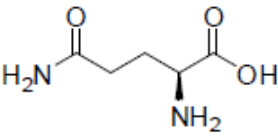
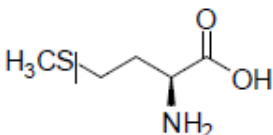
Z_f (cm)	AE-PVA UTLC	K_{avg} (cm ² /s)	SD
3.0	45°	0.0085	0.0007
	90°	0.0280	0.0006
	180°	0.0050	0.0018



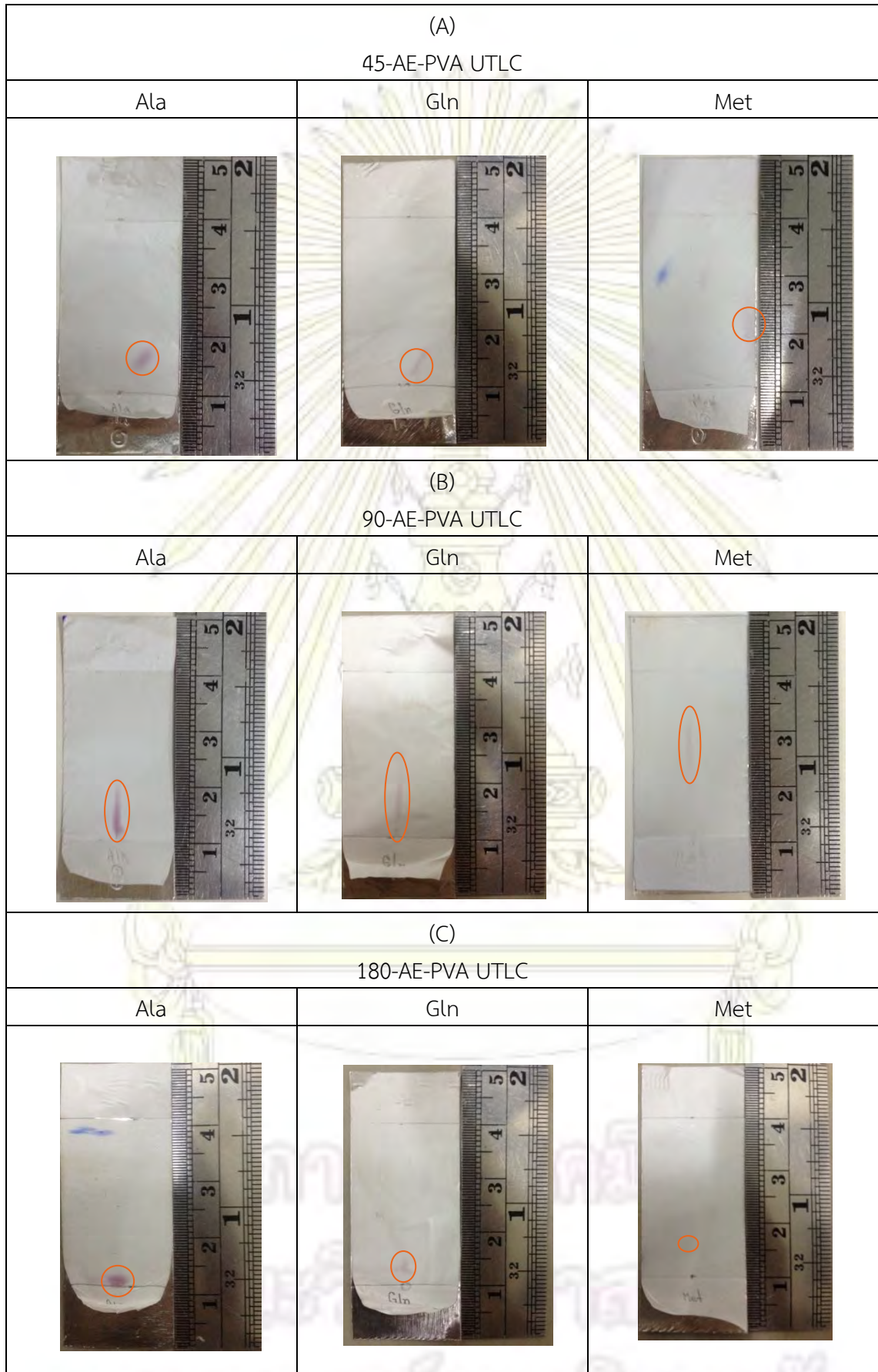
รูปที่ 4.5 การเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่บนแผ่น 45-AE-PVA UTLC

4.4.2 ทดสอบการแยกกรดอะมิโน

การทดสอบการแยกกรดอะมิโนถูกทดสอบบนแผ่น UTLC แบบ 45-AE-PVA UTLC, 90-AE-PVA UTLC และ 180-AE-PVA UTLC เทียบกับ E-PVA UTLC และ silica TLC โดยดูการแยกของกรดอะมิโน 3 ชนิดคือ Alanine, Glutamine และ Methionine (รูปที่ 4.6) ทดสอบการใช้งานของแผ่น UTLC แบบ 45°(45-AE-PVA UTLC), 90°(90-AE-PVA UTLC) และ 180°(180-AE-PVA UTLC) ได้ผลดังรูปที่ 4.7 เมื่อทดสอบการใช้งานแผ่น 45-AE-PVA UTLC จะเห็นว่ากรดอะมิโนจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับเส้นใยซึ่งทำให้เมื่อต้องการทดสอบสารที่มีการเคลื่อนที่ไปได้ไกลอย่าง Methionine สารจะหลุดออกไปกองที่ของของแผ่น ดังรูปที่ 4.7(A) R_f ได้ ค่า R_f คำนวณได้ดังรูปที่ 4.9

โครงสร้าง	ชื่อ	ตัวย่อ
	Alanine	Ala
	Glutamine	Gln
	Methionine	Met

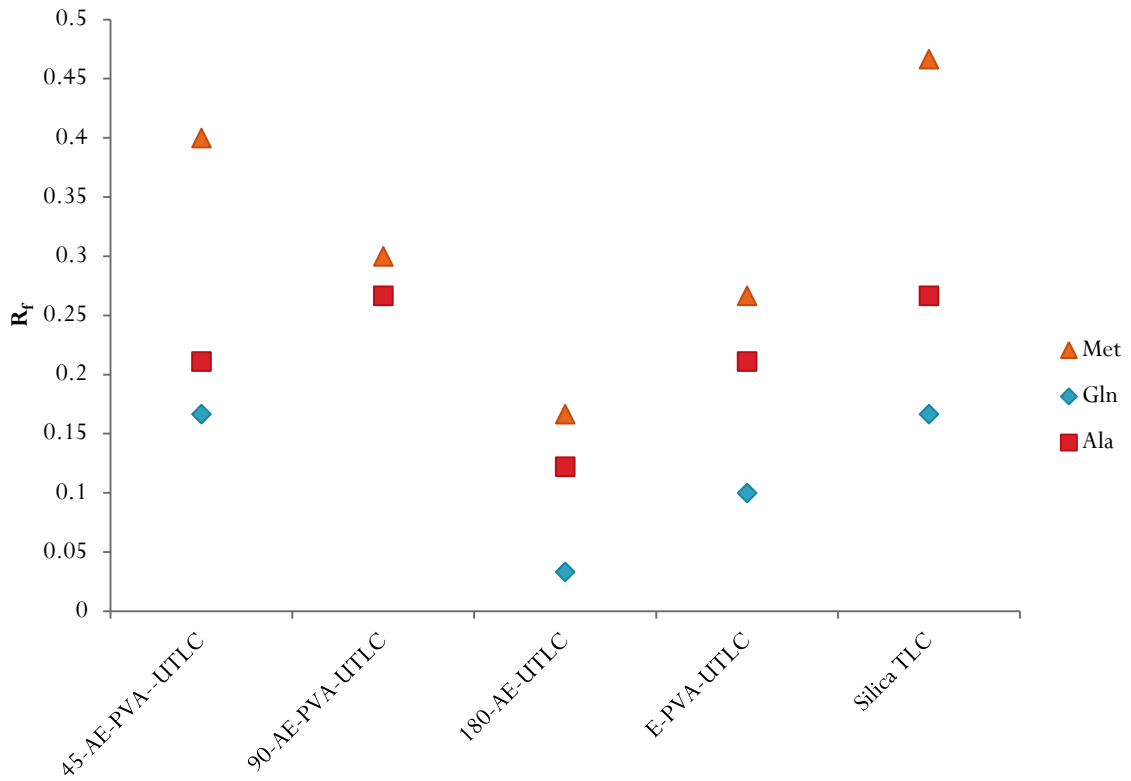
รูปที่ 4.6 โครงสร้างของกรดอะมิโน Alanine, Glutamine และ Methionine



รูปที่ 4.7 การวิเคราะห์กรดอะมิโนของ (A) 45-AE-PVA-UTLC, (B) 90-AE-PVA-UTLC และ (C) 180-AE-PVA-UTLC



รูปที่ 4.8 การวิเคราะห์กรดอะมิโนของ (A) E-PVA-UTLC และ (B) silica TLC อ้างอิงจากงานของวรัญญา [17]



รูปที่ 4.9 ค่า R_f ของกรดอะมิโนบนแผ่น 45-AE-PVA UTLC, 90-AE-PVA UTLC, 180-AE-PVA UTLC, E-PVA UTLC และ silica TLC

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าค่า R_f ของกรดอะมิโนบนแผ่น 45-AE-PVA UTLC, 90-AE-PVA UTLC และ 180-AE-PVA UTLC สามารถใช้วิเคราะห์เทียบกับ E-PVA UTLC และ silica TLC ได้ แต่จะเห็นว่าค่า R_f ของแผ่น 180-AE-PVA UTLC มีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องจากการเคลื่อนที่ของกรดอะมิโนที่สั้นและช้าโดยเป็นผลมาจากแรง capillary ที่กระทำต่อการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่

ตารางที่ 4.2 Analysis time, Spot width, plate number (N), plate height (H) ในการวิเคราะห์กรดอะมิโนบนแผ่น 45-AE-PVA UTLC, 90-AE-PVA UTLC, 180-AE-PVA UTLC, E-PVA UTLC และ Silica TLC

Amino acid	Stationary phase	angle	Migration distance (cm)	Analysis time (min)	Spot width (cm)	N	H (mm)
Ala	AE-PVA	45	3	15.40	0.70	13	2.32
		90		6.89	0.90	13	2.38
		180		20.95	0.50	9	3.49
	E-PVA[17]	-		16.26	0.20	160	0.19
	Silica[17]	-		13.7	0.30	114	0.26
Gln	AE-PVA	45	3	14.06	0.80	6	4.80
		90		5.45	0.90	13	2.37
		180		28.01	0.30	7	4.22
	E-PVA[17]	-		15.35	0.25	23	1.30
	Silica[19]	-		13.75	0.25	64	0.47
Met	AE-PVA	45	3	16.35	0.70	47	0.64
		90		5.02	0.70	26	1.13
		180		30.01	0.30	44	0.68
	E-PVA[17]	-		15.35	0.30	113	0.26
	Silica[17]	-		13.63	0.30	300	0.10

ประสิทธิภาพการแยกของแผ่น 45-AE-PVA UTLC, 90-AE-PVA UTLC และ 180-AE-PVA UTLC สามารถประเมินได้จากการคำนวณค่า plate number (N) และ plate height (H) ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่า plate number (N) ของแผ่น 45-AE-PVA UTLC, 90-AE-PVA UTLC และ 180-AE-PVA UTLC มีค่าต่ำกว่าแผ่น E-PVA UTLC และ Silica TLC ค่อนข้างมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานของแผ่น 45-AE-PVA UTLC, 90-AE-PVA UTLC และ 180-AE-PVA UTLC ต่ำกว่าแผ่น E-PVA UTLC และ Silica TLC ดูได้จากค่า plate height (H) ที่สูงกว่า ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกสารไม่ดีนัก จากการทดสอบการแยกสารผสมพบว่าการแยกของแผ่น 45-AE-PVA UTLC นั้นการแยกของสารผสมนั้นไม่ชัดเจนและเมื่อสารเคลื่อนที่ในระยะทางที่มากทำให้สารไปกองอยู่ตรงขอบแผ่น 45-AE-PVA UTLC และเนื่องจากการเคลื่อนที่ของเฟสคงที่บน 45-AE-PVA UTLC เอียงตามแนวเส้นใยจึงทำให้ไม่เหมาะแก่การนำ 45-AE-PVA มาใช้เป็นเฟสคงที่ใน UTLC และเนื่องจากการทดสอบการวิเคราะห์ด้วย 180-AE-PVA UTLC พบว่าเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์มากกว่าแผ่น UTLC และ TLC ถึง 2 เท่า ทำให้ 180-AE-PVA ไม่เหมาะแก่การใช้เป็นเฟสคงที่ใน UTLC เช่นกัน



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเตรียมเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์อิเล็กโทรสปินแบบเรียงตัว 45° , 90° และ 180° (45-AE-PVA UTLC, 90-AE-PVA UTLC และ 180-AE-PVA UTLC) ด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง เพื่อเป็นเฟสคงที่ในอัลตราทินแลร์โครมาโทกราฟี โดยทำการเชื่อมขวางเส้นใยด้วยกลูตาาราลดีไฮด์เพื่อเพิ่มความคงทนของเส้นใยในน้ำ ก่อนนำมาอิเล็กโทรสปินด้วย อัตราการไหล 7 ไมโครลิตรต่อนาที ศักย์ไฟฟ้า 23 กิโลโวลต์ ปลายเข็มห่างจากฉากรับเส้นใย 15 เซนติเมตร และใช้ความเร็วการหมุนของฉากรับเส้นใยแบบหมุน 1250 รอบต่อนาที แล้วนำมาทดสอบประสิทธิภาพการแยกกรดอะมิโนเทียบกับแผ่นเส้นใยนาโนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (E-PVA-UTLC) และ แผ่นซิลิกา TLC พบว่า ค่าคงที่ความเร็วบนแผ่น 45-AE-PVA UTLC, 90-AE-PVA UTLC และ 180-AE-PVA UTLC คือ 0.0085, 0.0280 และ 0.0050 cm^2/s ตามลำดับ เทียบกับค่าคงที่ความเร็วบนแผ่น E-PVA UTLC คือ 0.0092 cm^2/s สุดท้ายได้ทำการวิเคราะห์กรดอะมิโนด้วยแผ่น 45-AE-PVA UTLC, 90-AE-PVA UTLC และ 180-AE-PVA UTLC เทียบกับ E-PVA UTLC และ silica TLC โดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแยกด้วยค่า plate number (N) และ plate height (H) พบว่าแผ่น 45-AE-PVA UTLC, 90-AE-PVA UTLC และ 180-AE-PVA UTLC ให้ประสิทธิภาพการแยกที่ต่ำกว่า E-PVA UTLC และ silica TLC

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mennickent, S.; de Diego, M.; and Vega, M.; Ultrathin-layer chromatography (UTLC). *Chromatographia*, 76(19-20), **2013**, 1233-1238.
- [2] Poole, C.F.; Chapter 6 - Thin-Layer Chromatography. in *Poole, C.F. (ed.) The essence of chromatography pp*, Amsterdam Elsevier Science. **2003**, 499-567.
- [3] Patel, R.; Gopani, M.; and Patel, M.; UTLC: An advanced technique in planar chromatography. *Chromatographia*, 76(19-20), **2013**, 1225-1231.
- [4] Beilke, M.C.; Zewe, J.W.; Clark, J.E.; and Olesik, S.V. Aligned electrospun nanofibers for ultra-thin layer chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 761, **2013**, 201-208.
- [5] Spangenberg, B.; Poole, C.; and Weins, C. The stationary phase in thin-layer chromatography *Quantitative Thin-Layer Chromatography*. Springer Berlin Heidelberg, **2011**.
- [6] Bakry, R.; Bonn, G.K.; Mair, D.; and Svec, F. Monolithic porous polymer layer for the separation of peptides and proteins using thin-layer chromatography coupled with MALDI-TOF-MS. *Analytical Chemistry*, 79(2), **2007**, 486-493.
- [7] Frolova, A.M.; Konovalova, O.Y.; Loginova, L.P.; Bulgakova, A.V.; and Boichenko, A.P. Thin-layer chromatographic plates with monolithic layer of silica: Production, physical-chemical characteristics, separation capabilities. *Journal of Separation Science*, 34(16-17), **2011**, 2352-2361.
- [8] Lu, T.; and Olesik, S.V. Electrospun polyvinyl alcohol ultra-thin layer chromatography of amino acids. *Journal of Chromatography B*, 912, **2013**, 98-104.
- [9] Oko, A.J.; Jim, S.R.; Taschuk, M.T.; and Brett, M.J. Analyte migration in anisotropic nanostructured ultrathin-layer chromatography media. *Journal of Chromatography A*, 1218(19), **2011**, 2661-2667.
- [10] Jim, S.R.; Taschuk, M.T.; Morlock, G.E; Bezuidenhout, L.W.; Schwack, W.; and Brett, M.J. Engineered anisotropic microstructures for ultrathin-layer chromatography. *Analytical Chemistry*, 82(12), **2010**, 5349-5356.
- [11] Clark, J.E. and Olesik, S.V. Technique for ultrathin layer chromatography using an electrospun nanofibrous stationary phase. *Analytical Chemistry*, 81(10), **2009**, 4121-4129.
- [12] Tidjarat, S; Winotapun, W; Opanasopit, P; Ngawhirunpat, T; and Rojanarata, T. Uniaxially aligned electrospun cellulose acetate nanofibers for thin layer chromatographic screening of hydroquinone and retinoic acid adulterated in cosmetics. *Journal of Chromatography A*, 1367, **2014**, 141-147.
- [13] Newsome, T.E. and Olesik, S.V. Silica-based nanofibers for electrospun ultra-thin layer chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1364(0), **2014**, 261-270.
- [14] Lee, J. and Deng, Y. Increased mechanical properties of aligned and isotropic electrospun PVA nanofiber webs by cellulose nanowhisker reinforcement. *Macromolecular Research* 20(1), **2012**, 76-83.

- [15] Newsome, T.E. and Olesik, S.V. Electrospinning silica/polyvinylpyrrolidone composite nanofibers. *Applied Polymer Science*, 131(21), **2014**, 40966.
- [16] Smith, R.M. Chapter 2 Column liquid chromatography. *Chromatography Library*, ed. Heftmann, E. Vol. Volume 69: Elsevier, **2004**.
- [17] Wanranya Akhahardsri; Aligned electrospun poly(vinyl alcohol) nanofibers for ultrathin layer chromatography. Master's thesis, **2014**.
- [18] Rho, K.S., et al. Electrospinning of collagen nanofibers; Effects on the behavior of normal human keratinocytes and early-stage wound healing. *Biomaterials*, 27(8), **2006**, 1452-1461.
- [19] Min, B.-M; Lee, G; Kim, S.H; Nam, Y.S; Lee, T.S; and Park, W.H. Electrospinning of silk fibroin nanofibers and its effect on the adhesion and spreading of normal human keratinocytes and fibroblasts in vitro. *Biomaterials*, 25(7-8), **2004**, 1289-1297.
- [20] Kenawy, E.-R; et al. Release of tetracycline hydrochloride from electrospun poly(ethylene-co-vinylacetate), poly(lactic acid), and a blend. *Controlled Release*, 81(1-2), **2002**, 57-64.
- [21] Tsai, P.P; Schreuder-Gibson, H; and Gibson, P. Different electrostatic methods for making electret filters. *Journal of Electrostatics*, 54(3-4), **2002**, 333-341.
- [22] Ye, P; Xu, Z.-K.;Wu, J; Innocent, C; and Seta, P. Nanofibrous membranes containing reactive groups: electrospinning from poly(acrylonitrile-co-maleic acid) for lipase immobilization. *Macromolecules*, 39(3), **2006**, 1041-1045.
- [23] Wang, X; Drew, C; Lee, S.-H; Senecal, K.J; Kumar, J; and Samuelson, L.A. Electrospun nanofibrous membranes for highly sensitive optical sensors. *Nano Letters*, 2(11), **2002**, 1273-1275.
- [24] Jiang, T; Carbone, E.J; Lo, K.W.H; and Laurencin, C.T. Electrospinning of polymer nanofibers for tissue regeneration. *Progress in Polymer Science*, 46(0), **2015**, 1-24.
- [25] Baji, A; Mai, Y.-W; Wong, S.-C; Abtahi, M; and Chen, P. Electrospinning of polymer nanofibers: Effects on oriented morphology, structures and tensile properties. *Composites Science and Technology*, 70(5), **2010**, 703-718.
- [26] Baker, M.I; Walsh, S.P; Schwartz, Z; and Boyan, B.D. A review of polyvinyl alcohol and its uses in cartilage and orthopedic applications. *Biomedical Materials Research Part B Applied Biomaterials*, 100B(5), **2012**, 1451-1457.
- [27] DeMerlis, C.C. and Schoneker, D.R. Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA). *Food and Chemical Toxicology*, 41(3), **2003**, 319-326.
- [28] Chen, C.T; Chang, Y.J; Chen, M.C; and Tobolsky, A.V. Formalized poly(vinyl alcohol) membranes for reverse osmosis. *Applied Polymer Science*, 17(3), **1973**, 789-796.

- [29] S, P. and R, S. Chemically Resistant Asymmetric Membranes Made from PVA for the Separation of Organic Solvents and Phenols from Aqueous Solutions. *Synthetic Membranes: Volume II. Vol. 154: American Chemical Society, 1981.*
- [30] Kim, K.-J; Lee, S.-B; and Han, N.W. Effects of the degree of crosslinking on properties of poly(vinyl alcohol) membranes. *Polymer Journal*, 25(12), **1993**, 1295-1302.
- [31] Bolto, B; Tran, T; Hoang, M; and Xie, Z. Crosslinked poly(vinyl alcohol) membranes. *Progress in Polymer Science*, 34(9), **2009**, 969-981.
- [32] Wang, X; Chen, X; Yoon, K; Fang, D; Hsiao, B.S; and Chu, B. High flux filtration medium based on nanofibrous substrate with hydrophilic nanocomposite coating. *Environmental Science and Technology*, 39(19), **2005**, 7684-7691.
- [33] Wang, Y; and Hsieh, Y.L. Immobilization of lipase enzyme in polyvinyl alcohol (PVA) nanofibrous membranes. *Journal of Membrane Science*, 309(1-2), **2008**, 73-81.
- [34] Hahn-Deinstrop, E. Solvent Systems, Developing Chambers and Development. *Applied Thin-Layer Chromatography*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, **2007**.
- [35] Bezuidenhout L. and Brett M. Ultrathin layer chromatography on nanostructured thin films. *Journal of Chromatography A*, 39(1-2), **2008**, 179-185.



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวบุษรินทร์ ลีเพ็ง เกิดเมื่อวันที่ 5 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2536 ที่จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนวินิตศึกษาในพระราชูปถัมภ์ฯ จังหวัดลพบุรี เมื่อปีการศึกษา 2554 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2555 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 61 หมู่ 4 ตำบลกกโก อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000 อีเมล busarin.l@hotmail.com



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย