

การแพร่ของไอโอดेटเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า
Diffusion of iodate into eggshell model accelerated by electro-delivery technique



โดย

นายกฤตวัตร ธนศักดิ์โกศล

นายณัฐศวัส สุนทรวิภาต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

เรื่อง การแพร่ของไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า

โดย นายกฤตวัตร ธนศักดิ์โกศล

นายณัฐศวัส สุนทรวิภาต

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนุญ หนูจักร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปกรณ์ วรานุสุภากุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ภูวไพโรศิรศาล)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดย หัวหน้าภาควิชาเคมี

(รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย พาราสุข)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

วัน.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อโครงการ การแพร่ของไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการ
นำส่งด้วยไฟฟ้า

ชื่อนิสิตในโครงการ นายกฤตวัตร ธนศักดิ์โกศล เลขประจำตัว 5333053423

นายณัฐวุฒิ สุนทรวิภาต เลขประจำตัว 5333056323

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปกรณ์ วรานุศุภากุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของไอโอเดตเข้าไปในไข่ไก่โดยใช้เทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองเปลือกไข่ซึ่งทำโดยแทนที่เนื้อไข่ขาวและไข่แดงด้วยน้ำ Milli Q และทำการยึดแบบจำลองเปลือกไข่นี้โดยการยาแนวพิวเจอร์บอร์ดกับเปลือกไข่ไก่ไว้กึ่งกลางของกล่องพลาสติกเพื่อแบ่งสารละลายออกเป็นสองด้านโดยให้ด้านหนึ่งเป็นด้านที่มีสารละลาย ไอโอเดต อิมิตัวอีกด้านหนึ่งเป็นน้ำ Milli Q จัดวางขั้วไฟฟ้าไว้ในแต่ละด้านของแบบจำลองเปลือกไข่ โดยให้ด้านหนึ่งเป็นขั้วบวกหรือแอโนดซึ่งเป็นด้านที่มีน้ำ Milli Q และอีกด้านหนึ่งเป็นขั้วลบหรือแคโทดซึ่งเป็นด้านที่มีสารละลาย ไอโอเดต อิมิตัวภายใต้ศักย์ไฟฟ้าซึ่ง อาศัยแรงดันไฟฟ้าเป็นตัวผลักดันไอออนลบของไอโอเดตจะถูกผลักเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่จากแคโทดไปสู่แอโนดจากนั้นวิเคราะห์ปริมาณไอโอเดตที่ถูกเสริมเข้าไปด้วยเทคนิค คะพิลลารีอิเล็กโทรโพรซิซโดยมีปัจจัยต่างๆได้แก่ศักย์ไฟฟ้าเวลาและตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าจากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่าระดับไอโอเดตในแบบจำลองเปลือกไข่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าและเวลานอกจากนี้ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าที่นำมาวางติดกับแบบจำลองเปลือกไข่แสดงปริมาณไอโอเดตสูงกว่าตำแหน่งขั้วไฟฟ้าที่วางอยู่ห่างจากแบบจำลองเปลือกไข่

คำสำคัญ: แบบจำลองเปลือกไข่, ไอโอเดต, ตำแหน่งขั้วไฟฟ้า, การนำส่งด้วยไฟฟ้า

Title Diffusion of iodate into egg shell model accelerated by electro-delivery technique

Student names Mr.Kittawat Tanasakkoson ID5333053423

Mr.Natatsawas Soonthornwiphat ID 5333056323

Advisor Assistant Professor Dr. Pakorn Varanusupakul

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University,

Academic year 2013

Abstract

The objective of this research is to study factors affecting the diffusion of iodate into an egg by an electro-delivery technique using an eggshell model. The eggshell model was created by replacing egg white and egg yolk with Milli Q water. The model was fixed and sealed to the future board and placed in the middle of the plastic box to divide the box into two compartments; one was for a saturated iodate solution; the other was for Milli Q water. Two electrodes were placed on each side of the eggshell model, where the anode (+) was immersed in Milli Q water and the cathode (-) was immersed in a saturated iodate solution. Under an electrical potential, negatively charged iodate ion would be pushed by the cathode into the eggshell towards the anode. The iodate level in the eggshell model was determined by a capillary electrophoresis method. Factors such as electrical potential, time, and position of the electrodes were studied in this experiment. The result revealed that the iodate level in the eggshell mode was increasing with increased electrical potentials and time. In addition, the electrodes position that was placed adjacent to the eggshell model exhibited higher iodate level than the position that was placed far away from the eggshell model.

Keywords: Diffusion, Eggshell model, Iodine, Position of the electrodes, Electro-delivery

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปกรณ์ วรรณสุภากุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเป็นอย่างยิ่งที่เสียสละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษาที่ดีเสมอมาสำหรับขั้นตอนต่างๆ รวมทั้งการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ยังเอาใจใส่ดูแลลูกศิษย์อย่างสม่ำเสมอทำให้งานวิจัยและรายงานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธรรมนุญ หนูจักร ประธานกรรมการสอบและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ภูไพบรศิรศาสตร์ กรรมการสอบ สำหรับคำแนะนำ คำติชม และข้อเสนอแนะในงานวิจัยและรายงานวิจัยนี้

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. มนพิชา ศรีสะอาด ขอขอบคุณนางสาวชนิษฐา คนหาญ และนางสาวนัฐธิญา กาลพงษ์นุกุล ที่คอยช่วยเหลือ ดูแล และให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการทดลองด้วยเทคนิคอะทิลาร์อีเล็กโทรไฟริซิส

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณพี่ๆทุกคนจาก Chromatography and Separation Research Unit (ChSRU) สำหรับกำลังใจ คำชี้แนะ การสนับสนุน การตอบทุกข้อซักถาม และความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาทำงานวิจัย

และสุดท้ายคณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ของคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ญ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา มูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	7
2.1 เทคนิคการเคลื่อนย้ายไอออน (iontophoresis)	7
2.2 คัพิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส (Capillary Electrophoresis, CE)	8
2.2.1 ส่วนประกอบของเครื่อง คัพิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส	9
2.2.2 ความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (electrophoretic mobility, μ)	11
2.2.3 อิเล็กโทรออสโมซิส (Electroosmosis flow)	14
2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อ EOF	17
2.2.5 การเคลื่อนที่ภายใต้ EOF มาก	17
2.2.6 อิเล็กโทรฟีโรแกรมและไมเกรชันไทม์ (electropherogram and migration time)	18

2.2.7 การกระจายของฟลักในคะพิลลารีอิเล็กทรอนิกส์	18
2.2.8 ระบบการฉีดสารตัวอย่าง	19
2.2.9 การตรวจวัด (Detection)	19
2.2.10 ภาวะของคะพิลลารีอิเล็กทรอนิกส์	21
ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสารที่ต้องการวิเคราะห์	
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	24
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	24
3.2 สารเคมี	25
3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	26
3.4 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์	27
3.5 การเตรียมแบบจำลองเปลือกไข่ที่ใช้ในการแพร่สารละลายไอโอดีน	27
ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า	
3.6 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการแพร่เข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่	30
ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า	
3.7 การแพร่ของไอโอดีนเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่	30
ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า	
3.8 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของไอโอดีนเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่	32
ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า	
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	34
4.1 ภาวะของคะพิลลารีอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน	34
4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของไอโอดีนเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่	36
ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า	
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	42
ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	46
ประวัติผู้วิจัย	70

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	8
2.2	8
2.3	9
2.4	15
2.5	15
2.6	16
2.7	18
2.8	19
2.9	20
3.1	25
3.2	27
3.3	28
3.4	28
3.5	28
3.6	29
3.7	29
3.8	29
3.9	30
3.10	31
3.11	31
3.12	33

3.13	การวางตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าชนิดขบเปลือกไข่	33
4.1	อิเล็กโทรโพรแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น30 mg/L	35
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีกกับไมเกรชั่นไทม์ (corrected peak area) กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอเดต (mg/L)	36
4.3	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- (mg/L) กับระยะเวลาในการนำส่ง (min) ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 7.3 V	38
4.4	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- (mg/L) กับระยะเวลาในการนำส่ง (min) ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 24.5 V	38
4.5	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- (mg/L) กับระยะเวลาในการนำส่ง (min) ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 33.2 V	39
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามัธยฐานของความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- (mg/L) ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่างๆ กับ ระยะเวลาในการนำส่ง (min) ของการทดลองที่วางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระเบแบบจำลอง และให้ขั้วไฟฟ้าชนิดขบเปลือกไข่	40

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับสร้างกราฟสอบเทียบ	26
4.1	ภาวะของเทคนิคอะตอมสเปกโตรโฟโตเมทรีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน	34
4.2	ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอดีนที่ความเข้มข้น 5, 10, 15, 20, 25, 30 mg/L (ทำการวิเคราะห์เมื่อวันที่ 27 พฤศจิกายน 2556)	35



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์และคำย่อ

α	ค่าความจำเพาะของการแยก (separation factor) หรือ degree of ionization
$\Delta\mu$	ความแตกต่างของค่า μ ของสาร (electrophoretic mobility difference)
ΔT	ความแตกต่างของอุณหภูมิ
η	ความหนืดของสารละลาย (viscosity)
μ	ความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (electrophoretic mobility)
$\bar{\mu}$	ค่าเฉลี่ยของความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของสาร
μ_{eo}	ความสามารถในการเคลื่อนที่ด้วยอิเล็กโทรออสโมซิส (electroosmotic mobility)
μ_{net}	ความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าที่สังเกตได้
σ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพีค
E	ความเข้มของสนามไฟฟ้า (electric field strength)
e	ประจุของอิเล็กตรอน (1.6×10^{-19} คูลอมป์)
F	ค่าคงที่ของฟาราเดย์
L	ความยาวทั้งหมดของแคพิลลารี
l	ความยาวจากปลายแคพิลลารีด้านที่บรรจุสารจนถึงเครื่องตรวจวัด
r_h	รัศมีไฮโดรไดนามิกของไอออน ซึ่งเป็นรัศมีของไอออนที่มีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบขณะที่ไอออนเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้า (hydrodynamic radius of the ion)
S	พื้นที่หน้าตัดของแคพิลลารี
T	อุณหภูมิเคลวิน (temperature (K))
t_m	ไมเกรชันไทม์ (migration time)
v_{ep}	electrophoretic velocity
Z	ประจุบนไอออน (electronic charge)
BGE	สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (background electrolyte)
CE	แคพิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส (capillary electrophoresis)
EOF	การไหลของอิเล็กโทรออสโมซิส (electroosmotic flow)

v_{eo}	electroosmotic velocity	ความเร็วของอิเล็กโทรออสโมซิส
μ_{eff}		ความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าปรากฏ
μ^0	absolute electrophoresis mobility	ความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าจำกัด
ϵ		permittivity ของตัวกลาง
ζ		ค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า (zeta potential)
nm		นาโนเมตร
μm		ไมโครเมตร
cm		เซนติเมตร
μL		ไมโครลิตร
μg		ไมโครกรัม
mg		มิลลิกรัม
g		กรัม
mM		มิลลิโมลาร์
mM / L		มิลลิโมลาร์ / ลิตร
M		โมลาร์
mL		มิลลิลิตร
kV		กิโลโวลต์
V		โวลต์
$^{\circ}\text{C}$		องศาเซลเซียส
$\mu\text{g} / \text{L}$		ไมโครกรัม / ลิตร
mg / L		มิลลิกรัม / ลิตร
g / L		กรัม / ลิตร
μA		ไมโครแอมแปร์
mA		มิลลิแอมแปร์



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

ไอโอดีนเป็นสารที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ในทุกเพศทุกวัยเนื่องจากไอโอดีนเป็นส่วนสำคัญของฮอร์โมนไทรอกซินหรือไทรอยด์ฮอร์โมนซึ่งฮอร์โมนดังกล่าวมีความสำคัญต่อการพัฒนาเซลล์ร่างกายและระบบเผาผลาญพลังงานโดยทั่วไปร่างกายต้องการสารไอโอดีนเฉลี่ยขั้นต่ำวันละ 150 μg และในสตรีมีครรภ์ควรได้รับต่อวันเป็นปริมาณ 250 μg จึงเพียงพอต่อการป้องกันภาวะความพิการของสมองทารก แต่อย่างไรก็ตามภาวะการขาดไอโอดีนยังคงมีกระจายอยู่ทั่วไป องค์การอนามัยโลกได้กำหนดปริมาณไอโอดีนสูงสุดที่ร่างกายสามารถรับได้ไม่เกินวันละ 1 mg ^[1] หากร่างกายได้รับสารไอโอดีนที่ไม่เพียงพอจะทำให้เกิดโรคคอพอก (Goiter) การทำงานของอวัยวะต่างๆผิดปกติ โดยภาวะการขาดไอโอดีนในหญิงตั้งครรภ์มีความรุนแรงที่สุด เนื่องจากจะทำให้ทารกที่คลอดออกมานั้นเสี่ยงต่อการแท้ง การพิการ หรือมีพัฒนาการทางร่างกายและสติปัญญาที่ช้ากว่าปกติได้ ซึ่งอาการแสดงของโรคขาดสารไอโอดีนนั้นขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการขาดสารไอโอดีน และช่วงเวลาของการขาดสารไอโอดีน^[2]

จากงานวิจัยของ WiyadaChareonsirawatanaและคณะ^[3] พบว่าภาวะการขาดไอโอดีนนั้นสามารถพบได้ในทุกจังหวัดของประเทศไทย เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวกระทรวงสาธารณสุขจึงมีโครงการต่างๆที่ส่งเสริมให้ประชากรได้รับไอโอดีนได้เพียงพอ โดยสนับสนุนให้มีการเสริมไอโอดีนลงในอาหารชนิดต่างๆมากมายเช่น เกลือเสริมไอโอดีน น้ำปลาเสริมไอโอดีนบะหมี่สำเร็จรูปเสริมไอโอดีน เป็นต้น แต่พบปัญหาสุขภาพข้างเคียงจากการรับประทานอาหารดังกล่าว เช่น การรับประทานอาหารที่มีรสเค็มส่งผลต่อการทำงานของไต และการรับประทานบะหมี่สำเร็จรูปในปริมาณมากอาจทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ และทำให้ไตทำงานหนักอีกด้วย^[4] จึงไม่สามารถแก้ปัญหาการขาดสารไอโอดีนได้อย่างแท้จริง ดังนั้นจึงควร

เสริมสารไอโอดีนในอาหารที่สามารถบริโภคได้ในปริมาณที่ค่อนข้างมากในแต่ละวัน ใช้เวลาไม่นานในการเสริมไอโอดีน และยังไม่ทำให้อาหารนั้นเสียสภาพไป

ไข่เป็นอาหารที่ประชากรส่วนมากนิยมบริโภค ราคาถูก ง่ายเสีຍยาก สามารถนำไปประกอบอาหารได้อย่างหลากหลายทั้งอาหารคาวและอาหารหวาน นอกจากนี้ไข่ยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ดังนั้นไข่จึงเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเสริมไอโอดีน และนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาคารขาดไอโอดีนได้อย่างแท้จริง

ในปีพ.ศ.2545 Suvanprakorn และคณะ^[5] ได้พัฒนาเทคนิคการเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า ซึ่งเป็นการดัดแปลงมาจากเทคนิคการนำส่งยาด้วยวิธีเคลื่อนย้ายไอออน (Iontophoresis) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างประจุของสารละลายไอโอดีนกับขั้วไฟฟ้าในการทำให้ไอโอดีนเคลื่อนที่เข้าภายในไข่ พบว่าสามารถเสริมไอโอดีนเข้าไปภายในไข่ได้ แต่เทคนิคนี้ยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับความสม่ำเสมอของไอโอดีนที่เสริมลงไปภายในไข่ ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับรูปแบบการจัดวางเครื่องมือ, ชนิดของไอโอดีนสปีชีส์ และวิธีการตรวจวัด

งานวิจัยนี้จึงทดลองทำการเสริมไอโอดีนในไข่ไก่ในรูปแบบของการแพร่ของไอโอดีนเพื่อที่จะศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการแพร่ของไอโอดีนเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้าโดยมีปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้า ระยะเวลาในการแพร่ของไอโอดีน และตำแหน่งของขั้วไฟฟ้า ทำโดยการใช้แบบจำลองเปลือกไข่ ซึ่งแบบจำลองเปลือกไข่นี้จะทำการแทนที่ไข่แดง และไข่ขาวด้วยน้ำ Milli Q และทำการยึดแบบจำลองเปลือกไข่นี้ โดยการยาแนวฟิวเจอร์บอร์ดกับเปลือกไข่ไก่ไว้กึ่งกลางของกล่องพลาสติกเพื่อแบ่งสารละลายออกเป็นสองด้าน โดยให้ด้านหนึ่งเป็นด้านที่มีสารละลายไอโอดีนอิ่มตัว อีกด้านหนึ่งเป็นน้ำ Milli Q จัดวางขั้วไฟฟ้าไว้ในแต่ละด้านของแบบจำลองเปลือกไข่ โดยให้ด้านหนึ่งเป็นขั้วบวกหรือแอโนดซึ่งเป็นด้านที่มีน้ำ Milli Q และอีกด้านหนึ่งเป็นขั้วลบหรือแคโทด ซึ่งเป็นด้านที่มีสารละลาย ไอโอดีน อิ่มตัวภายใต้ศักย์ไฟฟ้าซึ่งอาศัยแรงดันไฟฟ้าเป็นตัวผลักดัน โดยทำการเร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า และตรวจวัดปริมาณไอโอดีนที่แพร่เข้าไปภายในแบบจำลองเปลือกไข่โดยใช้เทคนิคอะทิลลาไรอิลิกไทโรฟริซิส

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ศึกษารูปแบบ และปัจจัยต่างๆ เช่น ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้า ระยะเวลาในการ นำส่ง และค่า ศักย์ไฟฟ้าที่มีผลต่อการแพร่ของไอโอเดตในแบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วย ไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาการเสริมไอโอเดตในแบบจำลองเปลือกไข่ โดยแทนที่เนื้อไข่ด้วยน้ำ Milli Q และ ศึกษาการจืดวางแบบตริงเปลือกไข่ และเสริมไอโอเดตโดยใช้เทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า จากนั้น ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเสริมไอโอเดตได้แก่ ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้า ระยะเวลาในการแพร่ไอ โอเดต และค่าศักย์ไฟฟ้าแล้วนำมาตรวจหาวิเคราะห์ปริมาณไอโอเดตที่ถูกเสริมเข้าไปด้วยเทคนิค คะฟิลลารีอิลีกโทรโพริซิส

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

1.4.1 ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการเสริมปริมาณไอโอเดตในไข่ด้วยด้วยเทคนิคการนำส่งด้วย ไฟฟ้า

1.4.2 เพื่อเป็นแนวทางในการเสริมไอโอเดตในไข่สดด้วยวิธีนำส่งด้วยไฟฟ้าอย่างมี ประสิทธิภาพ

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การส่งผ่านไอโอเดตเข้าไปในไข่ไก่

ในปี ค.ศ. 2003 TuranUnakและคณะ^[6]ได้ทำการส่งผ่านไอโอเดตเข้าไปในไข่ไก่ด้วย I-131 ในรูปที่เป็นอิสระซึ่งเป็นสารกัมมันตภาพรังสี โดยที่ NaIเกิดพันธะโควาเลนต์กับอะนินแล้ว

ส่งผ่านเข้าสู่ไซโตพลาซึมตามรางอาหารของไก่อ โดยแบ่งชุดการทดลองเป็น 2 แบบ คือ ให้ปริมาณ ไอโอดีนเพียงครั้งเดียว กับ ให้ปริมาณไอโอดีนต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ จากทฤษฎีการ กระตุ้น I-131 สามารถส่งผ่านไปยังส่วนต่างๆของไข่ได้ ต่อมานำไปวัดปริมาณไอโอดีนที่เข้าไปใน หน่วยกัมมันตภาพรังสีต่อกรัมแล้วคำนวณร้อยละของปริมาณไอโอดีนที่ถูกกระตุ้นเข้าไป กรณีที่ให้ ไอโอดีนอย่างต่อเนื่องแล้ววัดผลอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 เดือน กรณีที่ให้ปริมาณไอโอดีน เพียงครั้งเดียวพบว่ามี การส่งผ่านไอโอดีนเข้าไปได้เพียง 15% ของ NaI ซึ่งเทียบได้เป็น 1% ของ ปริมาณอะนิลีน จากผลการทดลองพบว่าพันธะระหว่างอะนิลีนกับไอโอดีนมีความแข็งแรง โดยที่ การให้ปริมาณไอโอดีนเพียงครั้งเดียวสามารถทำการตรวจวัดได้ในวันที่ 20-30 วันหลังจากให้ ปริมาณไอโอดีน ส่วนกรณีที่ให้อย่างต่อเนื่องสามารถทำได้หลังจาก 1 สัปดาห์แรกที่ให้ไอโอดีนไป

การเสริมไอโอดีนในไข่ด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า

ในปี พ.ศ. 2550 รุณิสรา เก่งถนอมมำ และสุประวีณ์ วงศ์สุโชติ^[7] ศึกษาการเสริมไอโอดีนใน ไข่สดใช้โดยสารละลายโพแทสเซียมไอโอดेटอิมิตัว และจัดวางไข่แบบลอยตัวในสารละลาย โพแทสเซียมไอโอดेटอิมิตัว แล้วนำไปตรวจวัดความเข้มข้นของสารเชิงซ้อนของเหล็ก (III) ไทโอไซ ยาเนตกับไนโตรทีนในสภาวะกรดโดยมีไอโอดีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าการหาปริมาณไอโอดีนมี ความไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมตัวแปรก่อนและหลังการเสริมไอโอดีนได้

ในปี พ.ศ. 2553 สมโภชน์ อิมเอิบ และคณะ^[8] พบว่าการขาดสารไอโอดีนเป็นโรคที่มีผล ต่อระดับสติปัญญา (ไอคิว) ของเยาวชน จากผลการสำรวจในปี พ.ศ. 2539 เยาวชนไทยมีระดับ สติปัญญาเฉลี่ยที่ระดับ 88 ซึ่งต่ำกว่าค่าระดับ มาตรฐานซึ่งอยู่ระหว่าง 90-110 ไข่เสริมไอโอดีน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งไข่เสริมไอโอดีนนั้นผลิตด้วยเทคนิคการ เคลื่อนย้ายไอออนโดยการแช่ไข่ไก่ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอดेटโดยใช้สนามไฟฟ้าจาก แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าคงที่ 10 mA เป็นตัวที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนไอโอดีน ไอออนให้ เคลื่อนที่เข้าไปในไข่พบว่าปริมาณไอโอดีนที่ถูกเคลื่อนย้ายผ่านเปลือกไข่เข้าไปในไข่จะขึ้นกับ แรงดันไฟฟ้าและเวลา จากการใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอดेटความเข้มข้น 0.5% ได้ปริมาณ ไอโอดีนในไข่ 150 µg / ฟองภายในเวลาน้อยที่สุด 11 นาทีที่แรงเคลื่อนไฟฟ้า 30 V โดยจะได้

ปริมาณไอโอดีนในไข่เพิ่มขึ้น 600% จากไข่ไก่เริ่มต้นซึ่งมีปริมาณไอโอดีน 24.9 μg / ฟองซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่มากพอต่อการบริโภคในแต่ละวัน

ในปี พ.ศ. 2554 ณัฐพร อินทรักษาและมูทิตา รัตนพงศ์^[9] ศึกษาการเสริมไอโอดีนในไข่โดยใช้แบบจำลองเปลือกไข่แบบตริงเปลือกไข่ โดยจำลองไข่สดด้วยเปลือกไข่ที่ถูกแทนที่ไข่ขาวและไข่แดงภายในด้วยน้ำ เพื่อควบคุมตัวแปรก่อนและหลังการเสริมไอโอดีน และศึกษาการจัดวางแบบตริงเปลือกไข่ให้กันสารละลายทั้งสองฝั่งเพื่อบังคับใช้ไอออนเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกขั้วไฟฟ้าหนึ่งผ่านเปลือกไข่เท่านั้น และใช้สารละลายไอโอดีนเป็นสปีซีสีในการทดลองโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอดีนอิ่มตัวไว้ทั้งสองฝั่งของแบบจำลอง นำไปตรวจวัดด้วยวิธีการสกัดไอโอดีนเป็นไอโอดีนด้วยคลอโรฟอร์มและตรวจวัดด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แต่ยังคงมีปัญหาในเรื่องของความเสถียรของไอโอดีน และความยุ่งยากของขั้นตอนการตรวจวัด

ในปีพ.ศ. 2555 ณจรี ประคองทรัพย์และบารมี ไชยิตชัยวัฒน์^[10] ได้ทำการศึกษาการเสริมไอโอดีนโดยใช้ระบบนำส่งด้วยไฟฟ้า เนื่องจากไอโอดีนมีความเสถียรมากกว่าเกลือโพแทสเซียมไอโอดีน ผ่านแบบจำลองเปลือกไข่วิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนที่ถูกเสริมเข้าไปด้วยเทคนิคอะนาลิติกัลโทรโฟริซิสโดยใช้ Photodiode array เป็นตัวตรวจวัด พบว่า สามารถเสริมปริมาณไอโอดีนผ่านเข้าไปภายในแบบจำลองเปลือกไข่ได้ โดยปริมาณไอโอดีนที่ตรวจวัดได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณแรงดันไฟฟ้า และเวลาที่ใช้ในการเสริม แต่งานวิจัยนี้ยังมีปัญหาในเรื่องเสถียรภาพของเปลือกไข่ และยังมีปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการเสริมไอโอดีน

การตรวจวัดไอโอดีนด้วยเทคนิคอะนาลิติกัลโทรโฟริซิส

ในปี ค.ศ. 2004 Zhuo Huang และคณะ^[11] ศึกษาการตรวจวัดไอโอดีนโดยใช้ไอโอดีนเป็นสปีซีสีในการทดลอง โดยใช้การเพิ่มความเข้มข้นของไอโอดีนด้วยวิธี isotachopheresis จากนั้นตรวจวัดด้วยยูวี-สเปกโทรโฟโตเมตรีที่ความยาวคลื่น 226 nm สามารถหาค่าต่ำสุดของการตรวจวัดที่ 0.4 μg / L และวิเคราะห์หาปริมาณได้อยู่ในช่วง 12- 115 μg / L เมื่อนำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับวิธีไอออนโครมาโทกราฟีพบว่าค่าที่ได้จากวิธี capillary zone electrophoresis สามารถยอมรับได้

ในปี ค.ศ. 2008 Tianlin Wang และคณะ^[12] ได้นำเทคนิค tITP-CZE มาใช้ในการหาปริมาณไอโอดีนในเกลือ ซึ่งการรบกวนของสารตัวอย่างกำจัดได้โดยใช้บัฟเฟอร์ที่ประกอบด้วย โซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นสูง โดยใช้ฟอสเฟตเข้มข้น 1500 mM / L เป็น terminating electrolyte และบัฟเฟอร์ผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 10 g / L ที่ pH = 8 และเซติลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์(CTAC) ที่ความเข้มข้น 20 mM / L ซึ่งกราฟผลการทดลองมีความสูงและพื้นที่ของพีคที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่ดีโดยใช้โครเมทเป็น internal standard ในการหาปริมาณ ในการทดลองใช้ความยาวคลื่นของแสงในการตรวจวัดที่ 218 nm สามารถหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดได้เท่ากับ 3.5 mg / L และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับเทคนิคครีโอดอกซ์ไทเทรชัน พบว่าค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเทคนิค tITP-CZE นี้จึงสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ได้จริงโดยที่มีความไว สะดวก และประสิทธิภาพในการวัดที่ดี



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

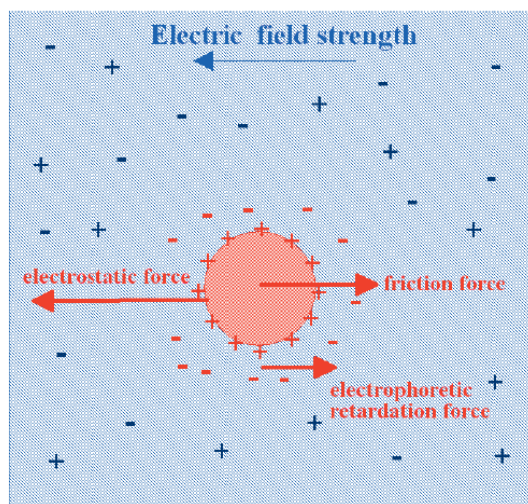
บทที่ 2

ทฤษฎี

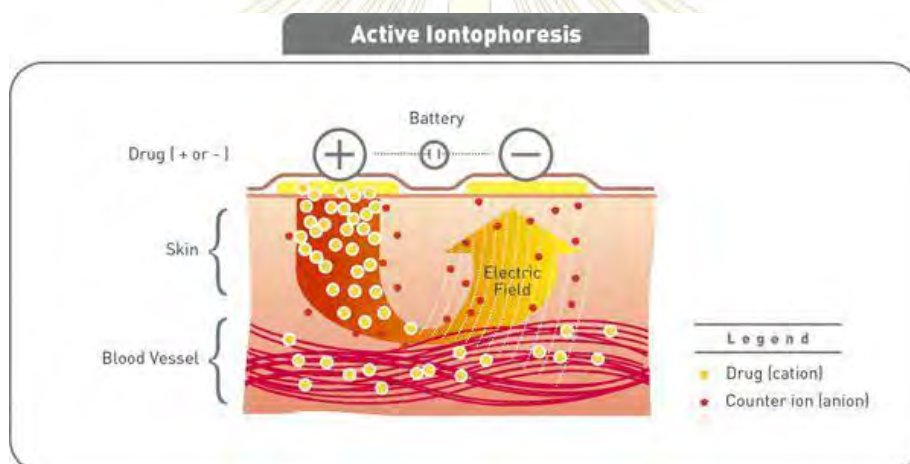
2.1 เทคนิคการเคลื่อนย้ายไอออน (iontophoresis)

Iontophoresis หรือ ion มาจากภาษากรีก หมายถึงอะตอมที่มีประจุ ส่วน phoresis หมายถึง การถูกขนส่งหรือนำพา เทคนิคการเคลื่อนย้ายไอออน (iontophoresis) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับแรงทางไฟฟ้าซึ่งเกิดกับไอออนที่อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้า การเคลื่อนย้ายไอออนด้วยวิธีนี้จะอาศัยหลักการที่ว่าประจุไฟฟ้าที่เหมือนกันจะผลักรัน ส่วนประจุไฟฟ้าที่ต่างกันจะดูดกัน โดยแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะไปกระตุ้นให้ไอออนที่อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้านั้นเคลื่อนที่ไปยังขั้วที่มีประจุตรงข้าม หรืออาจกล่าวได้ว่าไอออนประจุลบในสารละลายจะเคลื่อนที่ไปสู่ขั้วไฟฟ้าบวก (รูปที่ 2.1) ส่วนไอออนประจุบวกในสารละลายก็จะเคลื่อนที่ไปสู่ขั้วไฟฟ้าลบ ทั้งนี้สนามไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวจะไปเพิ่มแรงขับเคลื่อนไอออนให้สามารถเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางได้ดียิ่งขึ้นโดยเฉพาะกับสิ่งกีดขวางที่เป็นรูพรุนเช่น เยื่อเซลล์ (cell membrane) ซึ่งการเคลื่อนย้ายไอออนในสารละลายจะขึ้นกับปัจจัยที่สำคัญต่าง เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความเข้มข้นสารละลาย เวลา ขนาดไอออนสภาพการนำไฟฟ้าและความพรุนของสิ่งกีดขวาง

ในทางการแพทย์ได้มีการใช้วิธีการเคลื่อนย้ายไอออนในการนำส่งยาให้กับผู้ป่วย โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในการผลักดันให้ยาผ่านผิวหนังเข้าไปในร่างกาย ดังนั้นตัวยามีประจุบวกจะถูกวางภายใต้ขั้วบวก ตัวยามีประจุลบจะถูกวางไว้ภายใต้ขั้วลบ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าตัวยาก็จะเคลื่อนที่ผ่านผิวหนังชั้น epidermis ทางรูต่างๆที่ผิวหนัง ต่อมเหงื่อ หรือต่อมรากขน และเข้าไปยังชั้น dermis ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งผิวหนังชั้นจะทำหน้าที่เก็บกักยาแล้วค่อยๆปล่อยตัวยานี้ไปยังเนื้อเยื่อชั้นที่ลึกลงไป การนำส่งยาเข้าสู่ร่างกายด้วยวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องอาศัยเข็มฉีดยาหรืออุปกรณ์รุกล้ำเข้าไปในร่างกาย



รูปที่ 2.1 แรงขับเคลื่อนไอออนในสารละลายภายใต้แรงดันไฟฟ้า^[8]



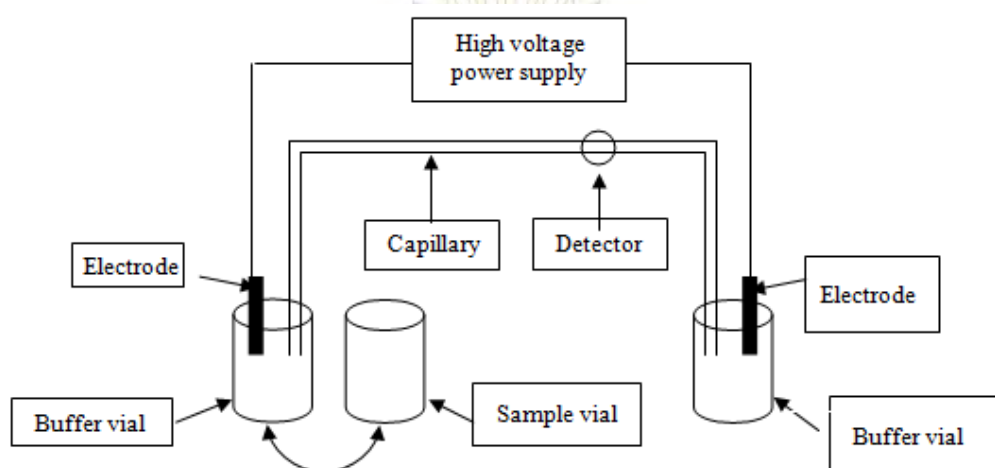
รูปที่ 2.2 แผนภาพการเคลื่อนที่ของตัวยาเข้าสู่ร่างกายผ่านผิวหนัง^[13]

2.2 คัพิลลารีอิเล็กโทรโฟริซิส (Capillary Electrophoresis, CE)

คัพิลลารีอิเล็กโทรโฟริซิส เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารโดยให้สารเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่บรรจุในคัพิลลารีขนาดเล็ก ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า ซึ่งหลักการในการแยกสารนั้นอาศัยความแตกต่างของความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของสารแต่ละชนิด (electrophoretic mobility, μ) ซึ่งขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างประจุต่อขนาดของ

ไอออนของสาร เทคนิคนี้ประยุกต์สำหรับแยกแอนไอออนและแคทไอออนขนาดเล็กของทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ ตลอดจนจนถึงสารโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เพปไทด์ โปรตีน และพอลิเมอร์ เป็นต้น เทคนิคคะพิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส มีข้อดีคือ ความรวดเร็ว เครื่องมือสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อย และสามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณได้

2.2.1. ส่วนประกอบของเครื่องคะพิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบอย่างง่ายของเครื่อง CE ^[14]

2.2.1.1 คะพิลลารี (Capillary)

คะพิลลารีที่ใช้กันโดยทั่วไปเป็น fused silica capillary มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในตั้งแต่ 10 ถึง 200 μm ส่วนใหญ่นิยมใช้ขนาด 50 และ 75 μm เส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอกมีขนาดตั้งแต่ 350 ถึง 400 μm และมีความยาวตั้งแต่ 20 ถึง 100 cm ภายนอกของคะพิลลารีจะเคลือบด้วยพอลิเอไมด์เพื่อป้องกันการแตกหักของซิลิกาที่มีลักษณะเปราะบาง โดยจะมีการลอกพอลิเอไมด์ออก เฉพาะบริเวณตรวจวัดเพื่อให้เครื่องตรวจวัดสามารถทำงานได้ในกรณีที่ใช้เครื่องตรวจวัดประเภทแสง เช่น ยูวี-วิสิเบิล (UV-Visible) หรือฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence)

2.2.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Voltage Supply)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์อยู่ที่ -30 ถึง 30 kV และกระแสสูงสุดไม่เกิน 200 ถึง 300 μA ในการแยก โดย ส่วนใหญ่นิยมใช้

ศักย์ไฟฟ้าคงที่ โดยให้ด้านเครื่องตรวจวัดหรือด้านปลาย (outlet) เป็นขั้วลบ (แคโทด) และให้ด้านฉีดสารหรือด้านเข้า (inlet) เป็นขั้วบวก (แอโนด) เรียกลักษณะนี้ว่าการใช้ศักย์ไฟฟ้าแบบขั้วปกติ (normal polarity of applied voltage) หรือการใช้ศักย์ไฟฟ้าแบบกลับขั้ว (reversed polarity of applied voltage) โดยให้ด้านเครื่องตรวจวัดหรือด้านปลายเป็นขั้วบวก

2.2.1.3 ขั้วไฟฟ้า (electrode)

ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นโลหะแพลทินัม

2.2.1.4 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (background electrolyte, BGE)

ส่วนใหญ่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์โดยจะมีปลายอะทิลลารีทั้งสองข้างขั้วอยู่

2.2.1.5 ภาชนะบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์และ สารตัวอย่าง

ภาชนะบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นแก้วขนาด 1 ถึง 5 mL สำหรับบรรจุสารตัวอย่างที่มีปริมาณน้อยและสารมาตรฐานที่มีราคาแพง

2.2.1.6 เครื่องตรวจวัด (detector)

เครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้คือ ยูวี-วิสิเบิล (UV-Visible) และฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) ซึ่งตรวจจับสารในคอลัมน์

2.2.1.7 ส่วนควบคุมความดัน (Pressure Controller)

ใช้สำหรับบรรจุสารละลายเข้าไปในอะทิลลารี และยังใช้เป็นเทคนิคบรรจุสารตัวอย่างอีกเทคนิคหนึ่ง อาจใช้แก๊สไนโตรเจน หรือเครื่องอัดอากาศ

2.2.1.8 ระบบการฉีดสารตัวอย่าง (Sample Introduction)

การฉีดสารตัวอย่างเข้าไปในอะทิลลารีมี 2 วิธี ได้แก่ การให้ความดัน (pressure injection) และการให้ศักย์ไฟฟ้า (electrokinetic injection) โดยการฉีดสารแบบอัดความดัน จะใช้ความดันจากส่วนควบคุมความดัน

2.2.1.9 ส่วนควบคุมอุณหภูมิของอะทิลลารี (Temperature Controller)

ระบบควบคุมอุณหภูมิของคะพิลลารีจะช่วยลด Joule heating ที่เกิดขึ้น
เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าขณะที่แยกสารตัวอย่าง และใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิเพื่อปรับ
การแยกสาร

2.2.2 ความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (electrophoretic mobility, μ)

ในการแยกสารด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เมื่อให้ความต่างศักย์ที่ขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ใน
ภาชนะที่บรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทำให้เกิดความเข้มข้นของสนามไฟฟ้า E (electric field
strength) ไอออนของสารจะเคลื่อนที่ด้วยแรง F_E ดังสมการ 2.1

$$F_E = zeE \quad (2.1)$$

z คือ ค่าประจุของสาร

e คือ ค่าประจุของอิเล็กตรอน (1.6×10^{-19} คูลอมบ์)

ไอออนของสารจะเกิดแรงต้านการเคลื่อนที่เนื่องจากความหนืดของสารละลายอิเล็กโทร
ไลต์ F_F ซึ่งขึ้นอยู่กับรัศมีไฮโดรไดนามิกของไอออน (hydrodynamic radius of the ion, r_h)
ความเร็วในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของสาร (electrophoretic velocity, v_{ep}) และความหนืดของ
สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (η) ในกรณีที่ย้อนภาคเป็นทรงกลม ค่า F_F จะเป็นดังสมการ 2.2

$$F_F = 6\pi\eta r_h v_{ep} \quad (2.2)$$

ระบบจะสมดุลในมิลลิวินาที แรงไฟฟ้าและแรงต้านทานมีค่าเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกัน
ข้าม

$$F_E = F_F \quad (2.3)$$

$$zeE = 6\pi\eta r_h v_{ep} \quad (2.4)$$

กล่าวได้ว่าในตัวอย่างแต่ละชนิด ความเร็วในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของสารชนิดเดียวกัน
ขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามไฟฟ้า ดังนั้นการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของสารใน
เทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส จะเปรียบเทียบเป็นค่า ความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า
(electrophoretic mobility, μ , หน่วยสากลเป็น $m^2 V^{-1} s^{-1}$) ซึ่งเป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ทาง
ไฟฟ้าของสาร (electrophoretic velocity, v_{ep}) ภายใต้ความเข้มของสนามไฟฟ้า $1 V m^{-1}$ (electric

field strength, E) ค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับค่าประจุ รัศมีไฮโดรไดนามิกและความหนืดของตัวกลาง ดังสมการ 2.5 และ 2.6

$$v_{ep} = \mu E \quad (2.5)$$

$$\mu = \frac{v_{ep}}{E} = \frac{ze}{6\pi\eta r_h} \quad (2.6)$$

z คือ ค่าประจุของสาร

e คือ ค่าประจุของอิเล็กตรอน (1.6×10^{-19} คูลอมบ์)

η คือ ความหนืดของสารละลาย

r_h คือ รัศมีไฮโดรไดนามิกของไอออน (hydrodynamic radius of ion) ซึ่งเป็นรัศมีของไอออนที่มีโมเลกุลของน้ำล้อมรอบขณะที่ไอออนเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้า

E คือ ความเข้มของสนามไฟฟ้า (electric field strength)

μ คือ ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า

v_{ep} คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของสาร

ที่อุณหภูมิ 25°C และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเจือจางมากๆ หรือที่ความแรงไอออนิก (ionic strength) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีค่าประมาณศูนย์ เรียกความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้านี้ว่า ความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าสัมบูรณ์หรือความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าจำกัด (absolute electrophoresis mobility, μ^0) ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของสารแต่ละชนิด

2.2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (electrophoretic mobility, μ) ได้แก่

2.2.2.1.1 ความหนืด จากสมการ 2.6 ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (μ) แปรผกผันกับความหนืด ดังนั้นการเพิ่มความหนืด ของตัวกลางจะส่งผลให้ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (μ) ของสารลดลง

2.2.2.1.2 อุณหภูมิ ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (μ) ขึ้นกับอุณหภูมิของสารโดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายจะ ลดลง ส่งผลให้ ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (μ) เพิ่มขึ้น ดังสมการ 2.7

$$\mu_{T_2} = \mu_{T_1}(1 + f_T \Delta T) \quad (2.7)$$

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ และ f_T เป็นค่าคงที่ มีค่าประมาณ 0.02-0.03 K^{-1} สำหรับสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย หมายความว่า μ เพิ่มขึ้น 2-3% ต่อการเพิ่มอุณหภูมิ 1 K หรือ $1^\circ C$

2.2.2.1.3 ความเข้มข้น หรือความแรงไอออนิก (ionic strength) การเพิ่มความแรงไอออนิกหรือการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ มีผลทำให้ ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (μ) ลดลง เนื่องจาก effective charge (z) ลดลง เพราะไอออนของสารถูกล้อมรอบด้วยเคาน์เตอร์ไอออนซึ่งมีประจุตรงข้ามกับสารละลาย อิเล็กโทรไลต์ นั่นคือ r_h เพิ่มขึ้น ซึ่ง r_h เป็นผลมาจาก r_h ของไอออนสารตัวอย่างและ r_h ของเคาน์เตอร์ไอออน อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์มากเกินไป อาจทำให้เกิด Joule heating หรือความร้อนที่เกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าตลอดพื้นที่หน้าตัดของเซลล์ลวารีส่งผลให้อุณหภูมิในเซลล์ลวารีเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (μ) มีค่าเพิ่มขึ้นได้ด้วย

2.2.2.1.4 pH ของบัฟเฟอร์ กรณีที่สารตัวอย่างที่เป็นกรดอ่อนหรือเบสอ่อน ค่า pH ของบัฟเฟอร์จะมีผลต่อดีกรีการแตกตัวของสาร (degree of dissociation, α) เมื่อ pH เพิ่มขึ้น สารที่เป็นกรดอ่อนจะมี α เพิ่มขึ้น ขณะที่เมื่อ pH ลดลงจะทำให้สารที่เป็นเบสอ่อนมี α เพิ่มขึ้น โดยความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าปรากฏ (μ_{eff}) จะแปรผันตามค่า α ดังสมการ 2.8

$$\mu_{eff} = \alpha \mu^0 \quad (2.8)$$

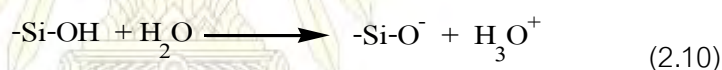
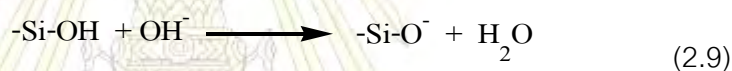
2.2.2.1.5 ตัวทำละลายอินทรีย์ การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ลงในบัฟเฟอร์ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจะทำให้การแตกตัวของกรดอ่อนและเบสอ่อนลดลง ส่งผลให้

- ดีกรีการแตกตัวของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนลดลง ทำให้ effective charge ของสารลดลงด้วยจึงส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า (μ) ลดลง

- ความหนืดของของผสมจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำเพียงอย่างเดียว และเมื่อเติมตัวทำละลายในปริมาณหนึ่งทำให้ความหนืดของของผสมจะเริ่มลดลง
- ถ้าตัวทำละลายสามารถแทนที่โมเลกุลน้ำและล้อมรอบไอออนของสารได้ดี ค่า r_h จะมากขึ้นมีผลลดค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า(μ)

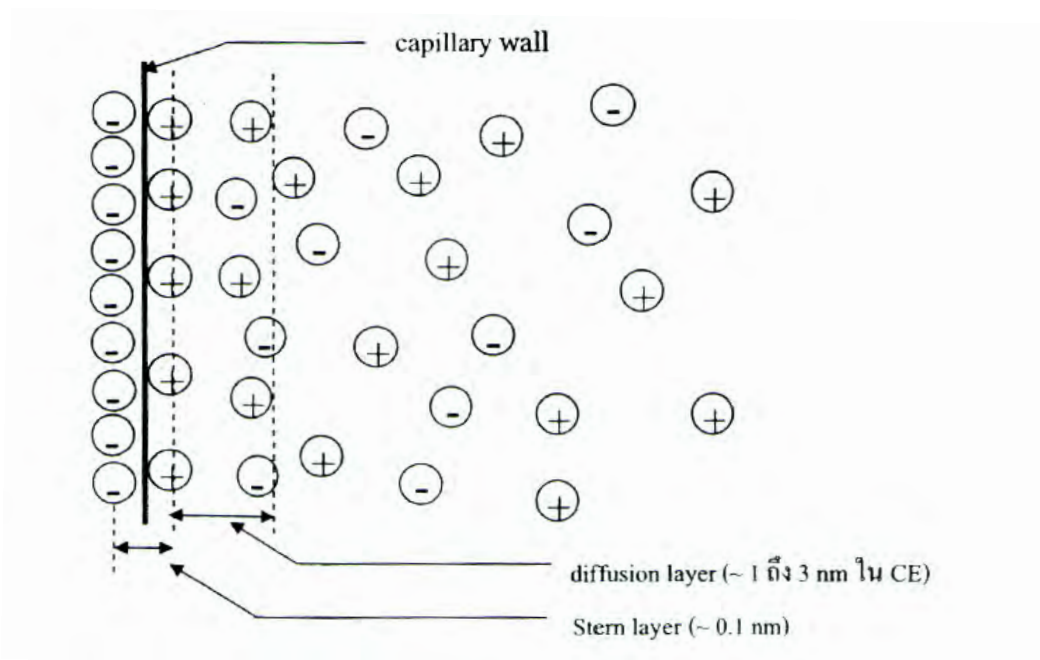
2.2.3 อิเล็กโทรออสโมซิส(Electroosmosis flow)

ในส่วนของผิวด้านในของคะพิลลารีจะประกอบด้วยหมู่ซิลานอล (-Si-OH) ซึ่งเมื่อสัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือบัฟเฟอร์ที่มี $\text{pH} > 2$ จะเกิดการไอออไนซ์ขึ้น เป็นประจุลบ(-Si-O⁻) ดังสมการ 2.9 และสมการ 2.10

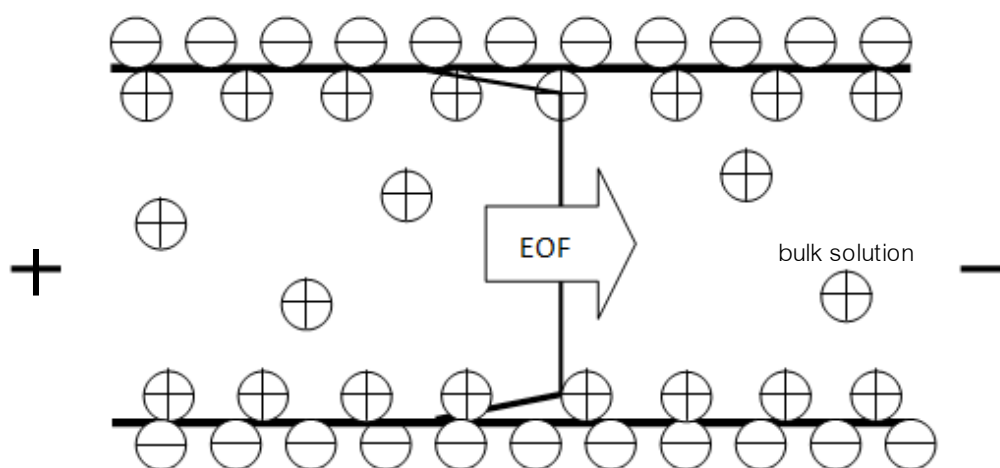


จากสมการ จะเห็นได้ว่ามี H_3O^+ หรือ H^+ กระจายอยู่ในสารละลายหรือรวมกับ OH^- เกิดเป็นโมเลกุลของน้ำ ดังนั้น H^+ จึงน้อยมากเมื่อเทียบกับแคทไอออนจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือบัฟเฟอร์ทำให้แคทไอออนจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเกิดเป็น double layer ขึ้น ดังรูปที่ 2.4 แคทไอออน บางส่วนจะติดอยู่ที่ผิวของ คะพิลลารี เรียกว่า stern layer ซึ่งจะไม่เคลื่อนที่เนื่องจากอิทธิพลของไฟฟ้าสถิต และ/หรือ แรงวนเดอริวาลส์ แคทไอออนบางส่วนจะกระจายอยู่ในสารละลายเป็น diffusion layer และ แคทไอออน ที่เหลือจะอยู่ใน bulk solution เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองข้างของคะพิลลารี (โดยปลายด้านเครื่องตรวจวัดเป็นขั้วแคโทดหรือขั้วลบ แคทไอออนจำนวนมากที่อยู่ใน diffusion layer และ bulk solution จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทด ซึ่งปกติแคทไอออนของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ ทำให้เกิดการดึงโมเลกุลน้ำเคลื่อนที่ไปยังขั้ว แคโทด ด้วย เรียกปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลนี้ว่า

อิเล็กโทรออสโมซิส (electroosmosis) และเรียกการเคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลนี้ว่าการไหลของอิเล็กโทรออสโมซิส (electroosmotic flow, EOF) ดังรูปที่ 2.5

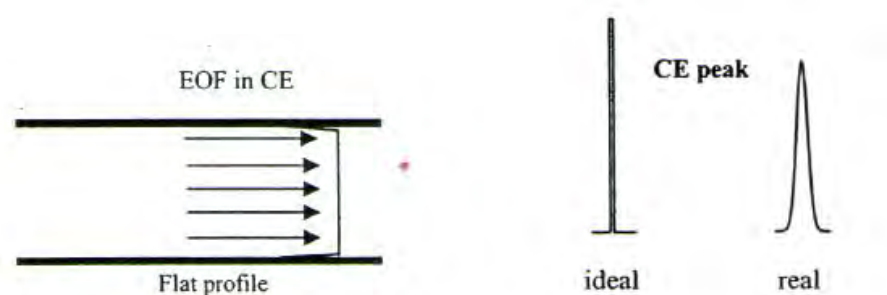


รูปที่ 2.4 Double electric layer^[14]



รูปที่ 2.5 Electroosmotic flow (EOF)^[14]

ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของสารในคะพิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสซึ่งเป็นแบบหน้าตัดเรียบ (flat flow profile) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะการเคลื่อนที่ (flow profile) และพีกของสาร ในคะพิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส^[14]

โดยความเร็วของอิเล็กโทรออสโมซิส (electroosmotic velocity, v_{eo}) ในความเข้มสนามไฟฟ้า 1 V m^{-1} (electric field strength, E) เรียกว่า ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรออสโมซิส หรือสัมประสิทธิ์ของอิเล็กโทรออสโมซิส (electroosmotic mobility หรือ electroosmotic coefficient, μ_{eo}) แสดงดังสมการที่ 2.11

$$\mu_{eo} = \frac{v_{eo}}{E} = \frac{-\varepsilon\zeta}{4\pi\eta} \quad (2.11)$$

ε คือ permittivity ของตัวกลาง

ζ คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้า (zeta potential) เป็นค่าความแตกต่างของประจุไฟฟ้าระหว่างชั้นความหนาแน่นของไอออนที่อยู่รอบๆอนุภาคและประจุในของเหลวที่อยู่ล้อมรอบ

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อ EOF

2.2.4.1 ชนิดของคะพิลลารี และค่า pH ของบัฟเฟอร์

ที่ค่า pH เท่ากัน คะพิลลารีแต่ละชนิดให้ค่า ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรออสโมซิส (μ_{eo}) ต่างกันเนื่องจากความหนาแน่นของประจุลบที่ผิวคะพิลลารีต่างกัน และค่า ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรออสโมซิส (μ_{eo}) เพิ่มขึ้นตามค่า pH เนื่องจากผิวของคะพิลลารีมีประจุลบมากขึ้น ดังนั้นค่า ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรออสโมซิส (μ_{eo}) มากขึ้น ในขณะที่ค่า pH ต่ำๆ ที่ผิวคะพิลลารีมีซิลินอลมากขึ้น ค่า ζ ลดลง ดังนั้นค่า ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรออสโมซิส (μ_{eo}) จึงน้อยลง

2.2.4.2 ความหนืดและอุณหภูมิ

จากสมการที่ 2.11 ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรออสโมซิส (μ_{eo}) แปรผกผันกับความหนืด ดังนั้นเมื่อความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรออสโมซิส (μ_{eo}) ลดลง และการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง ค่า μ_{eo} จึงเพิ่มขึ้น

2.2.4.3 ความเข้มข้นหรือความแรงไอออนิกของสารละลาย

การเพิ่มความเข้มข้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำให้ความหนาของdiffusion layer ลดลง ซึ่งความหนาของ diffusion layer มีความสัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้าซีตา (zeta potential; ζ) ดังนั้นจึงส่งผลให้ขนาดของ ζ ลดลง และจากสมการที่ 2.11 ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรออสโมซิส (μ_{eo}) จึงลดลง

2.2.4.4 ตัวทำละลายอินทรีย์

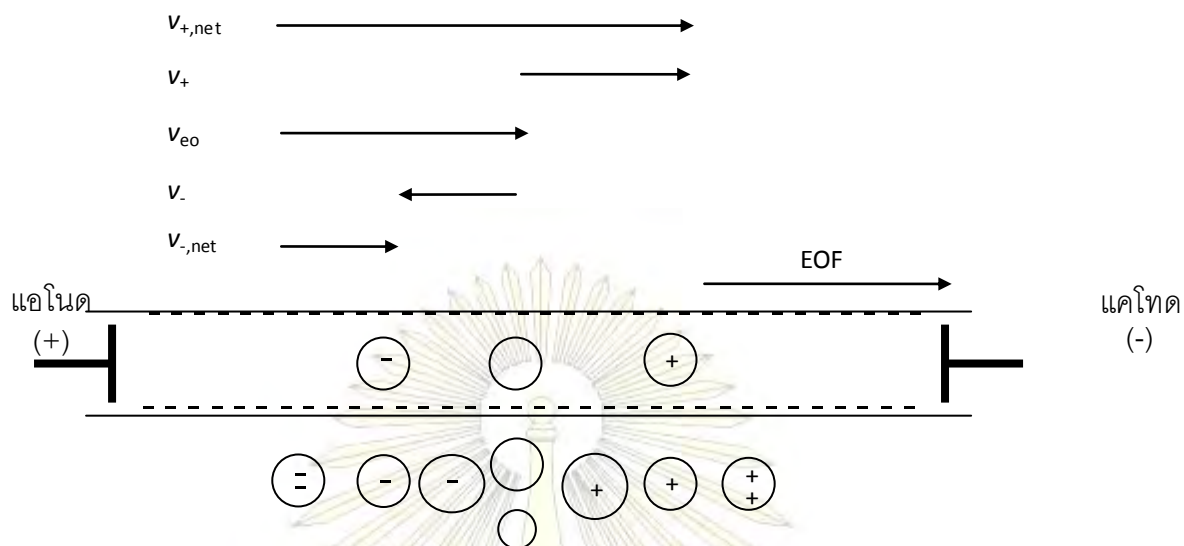
เนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาของตัวทำละลายอินทรีย์กับผนังคะฟิลลารี ส่งผลให้บริเวณ double layer มีความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์เพิ่มขึ้น ความหนืดบริเวณ double layer จึงสูงขึ้น ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรออสโมซิส (μ_{eo}) จึงลดลงดังสมการ 2.11 จึงทำให้ EOF ลดลง

2.2.4.5 ผลของความต่างศักย์และขนาดคะฟิลลารี

การเพิ่มความต่างศักย์หรือขนาดคะฟิลลารีอาจทำให้ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กโทรออสโมซิส (μ_{eo}) เพิ่มขึ้นได้ ถ้ามีผลของJoule heating เกิดขึ้นมา

2.2.5 การเคลื่อนที่ภายใต้ EOF มาก

เมื่อผิวของคะฟิลลารีเป็นประจุลบและด้านเครื่องตรวจจับเป็นขั้วแคโทด (ขั้วลบ) EOF จะมีทิศทางไปทางขั้วแคโทด สารตัวอย่างที่เป็นแคทไอออน จะเคลื่อนที่ไปขั้วแคโทดด้วย EOF และความเร็วของอิเล็กโทรออสโมซิส ($v_{net,+} = v_{ep,+} + v_{eo}$) โดยแคทไอออนที่มีประจุมากและรัศมีไฮโดรไดนามิกน้อย (ค่า μ มาก) จะเคลื่อนที่ออกมาก่อน ส่วนสารตัวอย่างที่เป็นแอนไอออน จะมีทิศทางของ μ ไปทางด้านแอโนด แต่แอนไอออนจะสามารถเคลื่อนที่ไปด้านแคโทดได้ ถ้าแอนไอออนนั้นมีขนาด v_{eo} มากกว่า $v_{ep,-}$ โดยลำดับการเคลื่อนที่ที่ตรงข้ามกับแคทไอออน กล่าวคือแอนไอออนที่มีประจุมากและรัศมีไฮโดรไดนามิกน้อย (ค่า μ มาก) จะเคลื่อนที่ออกมาทีหลัง ส่วนสารตัวอย่างที่ไม่มีประจุจะเคลื่อนที่ไปเครื่องตรวจจับได้เนื่องจากEOF ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของสารภายใต้ภาวะ EOF มาก และกรณีที่มีผิวของคะพิลลารีเป็นประจุลบและใช้ขั้วไฟฟ้าปกติ ขนาดของไอออนที่แสดงหมายถึงรัศมีไฮโดรไดนามิก^[14]

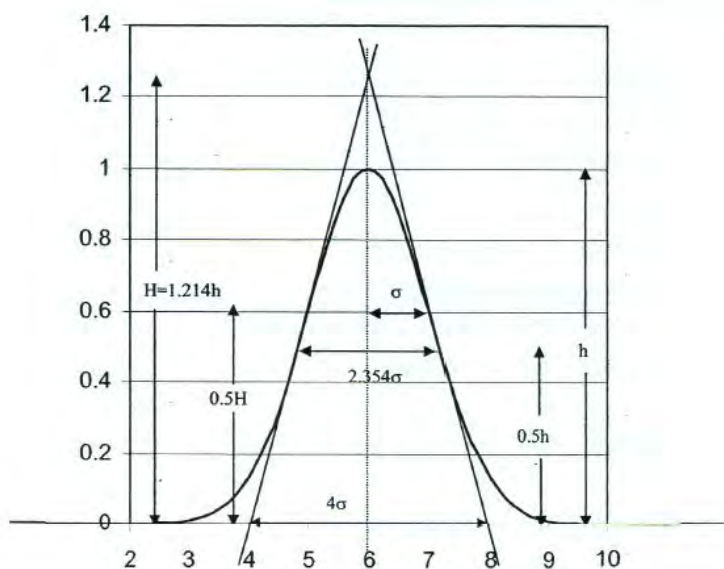
2.2.6 อิเล็กโทรโฟโรรแกรมและไมเกรชันไทม์ (electropherogram and migration time)

เมื่อสารตัวอย่างถูกเคลื่อนที่ผ่านเครื่องตรวจวัด ผลการวิเคราะห์ที่แสดงจะเรียกว่า อิเล็กโทรโฟโรรแกรม (electropherogram) และระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของสารจากปลายคะพิลลารีด้านบรรจุน้ำสารไปยังเครื่องตรวจวัด เรียกว่า ไมเกรชันไทม์ (migration time)

2.2.7 การกระจายของพีคในคะพิลลารีอิเล็กโทรโฟริซิส

ลักษณะของพีคอุดมคติ (Ideal peak) ในคะพิลลารีอิเล็กโทรโฟริซิส มีลักษณะเป็น Gaussian peak ดังรูปที่ 2.8

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 ลักษณะของพีคแบบ Gaussian ^[14]

โดย σ เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพีค (standard deviation of the peak) ในหน่วยของระยะทาง (m) ความกว้างของพีคที่ฐาน (peak width at base, w) เท่ากับ 4σ ความสูงของพีคเท่ากับ h และความกว้างของพีคจะมีค่าครึ่งหนึ่งของความสูงของพีค (peak width at half height, $w_{0.5h}$) เท่ากับ 2.354σ โดยที่ปริมาณสารจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคกับไมเกรชันไทม์ ซึ่งเรียกว่า corrected peak area

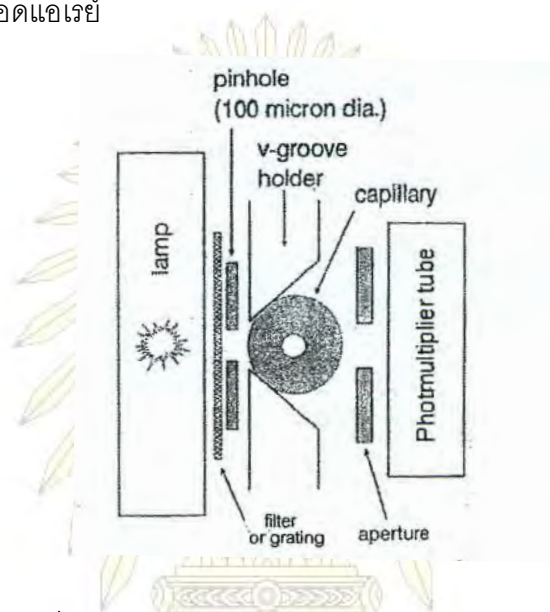
2.2.8 ระบบการฉีดสารตัวอย่าง

โดยทั่วไปมีการฉีดสารตัวอย่างเข้าไปในคอลัมน์ 2 วิธี ได้แก่ การให้ความดัน (pressure injection) และการให้ศักย์ไฟฟ้า (electrokinetic injection) โดยในที่นี่จะใช้การบรรจุสารด้วยวิธีการให้ความดัน ทำได้โดยการอัดอากาศเข้าไปในภาชนะบรรจุสารเป็นระยะเวลาหนึ่ง

2.2.9 การตรวจวัด (Detection)

การตรวจวัดใช้เครื่องตรวจวัดประเภทแสง (optical detectors) นั่นคือ ยูวี-วิสิเบิล ซึ่งเป็นวิธีการตรวจวัดที่นิยมเนื่องจากความง่ายของเครื่องตรวจวัด ราคาถูกและสารส่วนใหญ่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงยูวี โดยส่วนประกอบของเครื่องตรวจวัดยูวี-วิสิเบิล ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิล ให้แสงผ่านฟิลเตอร์ (filter) หรือเกรตติง (grating) เพื่อเลือกแสงความยาวคลื่นเฉพาะผ่านสลิต (slit) หรือ ช่องเล็ก (pinhole) ไปที่ตะกั่วลิตร ซึ่งมี V-groove holder เพื่อให้แสง

ผ่านตรงกลางคะพิลลารีและป้องกันแสงผ่านส่วนชั้นแก้ว แสงบางส่วนถูกดูดกลืนโดยสารตัวอย่าง จากนั้นแสงผ่าน aperture และตัววัดแสงที่เป็นหลอดโฟโตมัลติพายเออร์ (photomultiplier tube) ก่อนเข้าสู่ส่วนประมวลผล ในกรณีที่ตัววัดแสงเป็นโฟโตไดโอดแอเรย์ (photodiode array) ไม่จำเป็นต้องมีฟิลเตอร์หรือเกรตติงก่อนที่จะผ่านสารละลาย แต่อาจมีเกรตติงหลังจากที่แสงผ่านสารละลายก่อนโฟโตไดโอดแอเรย์



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจวัดแบบยูวี-วิสิเบิลในคะพิลลารีเล็กโทรโฟริติก^[14]

โดยตำแหน่งของการตรวจวัด จะใช้ตำแหน่งแบบ On-column เป็นการตรวจวัดบนคะพิลลารีโดยส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องวัด ประเภทแสง โดยลอกพอลิเอไมด์ที่เคลือบภายนอกของคะพิลลารี ที่ตำแหน่ง 5-10 cm จากปลายด้านหนึ่งของคะพิลลารี

การทำหน้าต่างตรวจวัด สำหรับเครื่องตรวจวัดประเภทแสงทำได้โดยการลอกพอลิเอไมด์ที่เคลือบอยู่ภายนอกคะพิลลารี เป็นแถบความยาวประมาณ 1-3 mm โดยใช้สารละลายเบสแก่ (NaOH) ที่เข้มข้น การใช้ความร้อนจากเปลวไฟ หรือจากขดลวดนำความร้อน (filament) โดยสำหรับการใช้กรดหรือเบสมีข้อเสียคือ ส่วนที่เป็นแก้วอาจสึกกร่อนทำให้ผิวไม่เรียบและมีผลต่อการหักเหของแสงที่ผ่านได้ ส่วนการใช้เปลวไฟเป็นวิธีที่ง่าย แต่การไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของเปลวไฟได้อย่างแน่นอนและกำหนดความกว้างที่แน่นอนของหน้าต่างตรวจวัดได้ยาก และถ้าร้อนเกินไปแก้วจะหลอมได้ ส่วนการใช้ขดลวดนำความร้อนสามารถควบคุมอุณหภูมิและความกว้าง

ของหน้าต่างตรวจวัดได้ ทำให้ได้คุณภาพของหน้าต่างตรวจวัดที่ดีสม่ำเสมอสำหรับการทำคะฟิลลารีในแต่ละอัน ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ขดลวดนำความร้อน(filament) ในการทำหน้าต่างตรวจวัด

สำหรับคะฟิลลารีที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 50 และ 75 μm นิยมใช้ขนาดของช่องที่ให้แสงผ่านสู่คะฟิลลารี กว้าง 100 μm และยาว 200 ถึง 800 μm การใช้ความยาวของการตรวจวัดสั้นจะเพิ่มการแยกของสารได้ในกรณีที่สารเคลื่อนใกล้กัน แต่ถ้าความยาวของการตรวจวัดยาวจะเพิ่มสัญญาณการตรวจวัดได้

2.2.10 ภาวะของคะฟิลลารีอิเล็กทรอนิกส์ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสารที่ต้องการวิเคราะห์

2.2.10.1 คะฟิลลารี

2.2.10.1.1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคะฟิลลารี

การเลือกขนาดคะฟิลลารีควรให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ คะฟิลลารีที่มีขนาดใหญ่มีข้อดี คือ เพิ่มสภาพไวของการตรวจวัด แต่จะเกิด Joule Heating ได้มาก ทำให้ไม่สามารถใช้กระแสไฟฟ้าสูงหรือใช้ความเข้มข้นของบัฟเฟอร์มากๆ ได้ จึงทำให้ค่าการแยกของสารต่ำกว่าคะฟิลลารีขนาดเล็กกว่า คะฟิลลารีที่นิยมใช้จึงมีขนาดคือ ขนาด 50 และ 75 μm

2.2.10.1.2 ความยาวคะฟิลลารี

คะฟิลลารีที่ใช้ทั่วไปยาวประมาณ 30 ถึง 70 cm การใช้คะฟิลลารียาวจะใช้เวลาวิเคราะห์นาน แต่จะสามารถทำการแยกได้ดีกว่าเล็กน้อย และเนื่องจากระบบควบคุมอุณหภูมิสามารถควบคุมอุณหภูมิของคะฟิลลารีได้บางส่วน ส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิไม่ได้ยาวประมาณ 8-15 cm ดังนั้นถ้าใช้คะฟิลลารีสั้นไป อาจทำให้ความเที่ยงของไมเกรชั่นไม่ต่ำได้ ดังนั้นจึงควรเลือกความยาวของคะฟิลลารีให้เหมาะสมกับเวลาและการแยกของสาร

2.2.10.1.3 ปลายคะฟิลลารี

ในการทำคะฟิลลารีต้องตัดปลายคะฟิลลารีให้เรียบ มีความสม่ำเสมอ เนื่องจากมีผลต่อรูปร่างความสมมาตรของพีค และการแยกของสารได้ นอกจากนี้

การตัดพอลิเอไมด์ที่เคลือบคะพิลลารี ถ้าไม่เรียบและมีส่วนที่เกินออกมา อาจไปอุดคะพิลลารีเวลาที่บรรจุสาร หรือสารตัวอย่างอาจเกาะติดคะพิลลารีได้

2.2.10.1.4 สมบัติทางเคมีของผิวคะพิลลารีและการล้างคะพิลลารี

ก่อนการใช้งานควรล้างผิวด้านในของคะพิลลารีใหม่ด้วยเมทานอล เพื่อกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่อาจตกค้างในคะพิลลารี และตามด้วยน้ำ แล้วล้างด้วย 1.0 M HCl เพื่อให้ผิวคะพิลลารีเป็นหมูซูลิโนล จากนั้นล้างด้วย 1.0 M NaOH, น้ำ, 0.1 M NaOH และบัฟเฟอร์ ก่อนใช้งานแต่ละวันล้างคะพิลลารีด้วย 0.1 M NaOH และบัฟเฟอร์ ระหว่างการวิเคราะห์แต่ละครั้งล้างผิวด้านในคะพิลลารีด้วยวิธีการที่เหมาะสม โดยทั่วไปเป็น 0.1 M NaOH และบัฟเฟอร์ และเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแต่ละวันล้างคะพิลลารีด้วย 0.1 M NaOH และน้ำ

สมบัติทางเคมีของผิวคะพิลลารีอาจมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงของการวิเคราะห์ ซึ่งมีผลต่อความเที่ยงของ EOF นอกจากนี้ความเข้มข้นและเวลาในการล้างภายในคะพิลลารีมีผลต่อ EOF ได้เช่นกัน ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงควรล้างคะพิลลารีด้วยภาวะที่เหมือนกัน

2.2.10.1.5 การควบคุมอุณหภูมิของคะพิลลารี

ระบบที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิมี่ 3 แบบ คือ อากาศ น้ำสารหล่อเย็น โดยการทดลองใช้สารหล่อเย็นในการควบคุมอุณหภูมิคะพิลลารี ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพของการควบคุมอุณหภูมิที่ดี ได้ความเที่ยงของไมเกรชันไทม์และพื้นที่ใต้พีกที่ดี สามารถใช้บัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้นสูง และสามารถใช้ที่ศักย์ไฟฟ้าในการแยกสูงได้

2.2.10.2 บัฟเฟอร์

2.2.10.2.1 การเตรียมบัฟเฟอร์และการเปลี่ยนบัฟเฟอร์ระหว่างการวิเคราะห์

เมื่อวิเคราะห์คะพิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส สติดต่อกันหลายครั้งโดยใช้บัฟเฟอร์ชุดเดิม สมบัติของบัฟเฟอร์อาจเปลี่ยนไป จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงชุดบัฟเฟอร์ที่ใช้ในระหว่างการวิเคราะห์ นอกจากนี้ควรใช้ภาชนะ

บรรจубัฟเฟอร์สำหรับล้างคะพิลลารีแยกต่างหากจากบัฟเฟอร์ที่ใช้สำหรับแยกสาร

2.2.10.2.2 การระเหยของบัฟเฟอร์

เนื่องจากภาชนะที่บรรจубัฟเฟอร์ไม่ได้ปิดสนิท อาจมีการระเหยของบัฟเฟอร์ นอกจากนี้ตัวทำละลายในตัวอย่างอาจระเหยไปทำให้ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้มากกว่าความเป็นจริง

2.2.11.2.3 Siphoning

Siphoning เป็นลักษณะการไหลของสารละลายจากภาชนะหนึ่งไปยังอีกภาชนะหนึ่ง เป็นผลมาจาก

- ความแตกต่างของระดับของสารละลายในภาชนะทั้งสองข้าง ที่เป็นผลมาจากการเติมบัฟเฟอร์หรือระดับปลายคะพิลลารีไม่เท่ากันเนื่องจากการตัด ซึ่ง siphoning มีผลต่อความไม่เที่ยงของ EOF และ ไมเกรชันไทม์ได้ วิธีการลดปัญหานี้ คือ การทำให้ระดับสารละลายหรือปลายคะพิลลารีเท่ากัน

- อาจเกิดจากการหยดที่ปลายคะพิลลารีระหว่างที่สัมผัสกับอากาศ ซึ่งมีผลต่อความไม่เที่ยงของปริมาณสารที่บรรจุเข้าคะพิลลารีได้ ดังนั้นเวลาที่บรรจุสารควรจุ่มปลายด้านนอกของคะพิลลารีในบัฟเฟอร์ที่ใช้แยกสาร แทนที่เป็นภาชนะเปล่าที่เป็นอากาศ

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.1 เครื่องคะพิลลารีอิลเล็กโทรฟอริซิส ของบริษัทBeckman รุ่น MDQ
- 3.1.2 เครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง ยี่ห้อ DENVER INSTRUMENT รุ่น SI-234
- 3.1.3 เครื่องวัดค่า pH meter ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น SevenCompact™
- 3.1.4 เครื่อง Heating Magnetic Stirrer ยี่ห้อ VELP SCIENTIFICA
- 3.1.5 เครื่อง sonication ของ ultrasonic steri-cleaner
- 3.1.6 เครื่องผลิตน้ำ Milli Q
- 3.1.7 Vial ขนาด 1.5 mL พร้อมฝาปิด
- 3.1.8 ไมโครปิเปตขนาด 100-1000 μ L ยี่ห้อ EPPENDORF รุ่น Research Plus และ ไมโครปิเปตขนาด 1-10 mL ยี่ห้อ EPPENDORF รุ่น Research Plus
- 3.1.9 ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 25 และ 250 mL
- 3.1.10 บีกเกอร์ขนาด 10, 100, 1000 mL
- 3.1.11 กระจกตวงขนาด 100 mL
- 3.1.12 หลอดหยด
- 3.1.13 ซ้อนตักสาร
- 3.1.14 กระดาษฟรอยด์
- 3.1.15 แผ่นพาราฟิล์ม
- 3.1.16 Magnetic Bar
- 3.1.17 นาฬิกาจับเวลา

3.1.18 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำ

3.1.19 กระจกแบบจำลอง กว้าง 9 cm ยาว 11 cm สูง 5 cm

3.1.20 แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด

3.1.21 ไข้ไก่เหล็กโดยคัดขนาดใกล้เคียงกัน และเปลือกไข่มีความหนา
ระหว่าง 0.045 ถึง 0.050 mm จากแหล่งเดียวกัน

3.1.22 ขั้วไฟฟ้าสแตนเลส กว้าง 3 cm ยาว 7.5 cm

3.1.23 ปืนยิงการซิลิโคน

3.1.24 Syringe ขนาด 25 mL

3.1.25 อุปกรณ์เจาะเปลือกไข่

3.2 สารเคมี

3.2.1 โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) จากบริษัท CARLO ERBA

3.2.2 ไตโซเดียมเตทระบอเรต ($Na_2B_4O_7$) จากบริษัท AnalaR

3.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) จากบริษัท LAB - SCAN

3.2.4 ไฮโดรคลอริก (HCl) จากบริษัท MERCK

3.2.5 เมทานอล ($MeOH$) จากบริษัท MERCK

3.2.6 ซิลิโคนยาแนว ยี่ห้อ Paco acrylic

3.2.7 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

3.2.8 น้ำ Milli Q

3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.3.1 สารละลายมาตรฐาน KIO_3 ความเข้มข้น 1000 mg/L

การเตรียม ชั่ง KIO_3 น้ำหนักแน่นอนในโถแก้วเคียง 0.250 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 mL ทำการละลายด้วยน้ำ Milli Q แล้วนำไปใส่ในเครื่อง sonication จนละลายหมด ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Milli Q ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 250 mL ทำการห่อขวดกำหนดปริมาตรด้วยกระดาษฟรอยด์

3.3.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับกราฟสอบเทียบ

การเตรียม นำ stock solution ในข้อ 3.3.1 มาเตรียมสารละลายสำหรับสร้างกราฟสอบเทียบโดยปิเปตสารละลาย ดังตารางที่ 3.1 และปรับปริมาตรด้วยน้ำ Milli Q ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 25 mL

ตารางที่ 3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับสร้างกราฟสอบเทียบ

ขวดที่	ปริมาตรปิเปต (μL)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน KIO_3 (mg/L)
1	125	5
2	250	10
3	375	15
4	500	20
5	625	25
6	750	30

3.4 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

3.4.1 การเตรียมสารละลาย $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ความเข้มข้น 20 mM

การเตรียม ซึ่ง $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ น้ำหนักใกล้เคียง 0.191 g ทำการละลายด้วยน้ำ Milli Q แล้วนำไปใส่ในเครื่อง sonication จนละลายหมด ปริมาตรด้วยน้ำ Milli Q ให้มีปริมาตร 25 mL นำไปทำการวัดค่า pH โดยจะมีค่าประมาณ 9.15 (เตรียมสารละลายใหม่ทุกครั้งในการทำกราฟสอบเทียบ)

3.5 การเตรียมแบบจำลองเปลือกไข่ที่ใช้ในการแพร่สารละลายไอโอดีนที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า

3.5.1 การเตรียมแบบจำลองเปลือกไข่

3.5.1.1 ทำการเจาะด้านบนของเปลือกไข่ แกะเปลือกไข่ให้ เปิดออกเพียงพอให้สามารถนำเนื้อไข่ออกมา ซึ่งยังคงรูปและเยื่อของไข่ให้ได้มากที่สุดดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การเจาะด้านบนของเปลือกไข่

3.5.1.2 ใช้ syringe ดูดไข่ขาวและไข่แดงออกจากไข่ จากนั้นล้างน้ำให้สะอาด ด้วยน้ำปราศจากไอออน ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.3 การดูดไข่ขาวและไข่แดงออกจากไข่



รูปที่ 3.4 เปลือกไข่พร้อมนำไปทำแบบจำลอง

3.5.2 การจัดวางแบบจำลองเปลือกไข่

3.5.2.1 นำเปลือกไข่มาวัดและตัดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดตามรอยโค้งด้านข้างทั้งสองข้างของเปลือกไข่ ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6



รูปที่ 3.5 การวัดเปลือกไข่เพื่อที่จะตัดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดให้ได้ตามขนาด



รูปที่ 3.6 โครงตัดฟิวเจอร์บอร์ดที่เป็นรอยโค้งด้านข้างของเปลือกไข่

3.5.2.2 ใช้ซิลิโคนยาแนวบริเวณรอยต่อระหว่างไข่กับแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด และวางไข่พร้อมฟิวเจอร์บอร์ดที่ยาแนวแล้วตรงกลางภายในกล่องพลาสติกขนาดกว้าง 9 cm ยาว 11 cm สูง 5 cm แล้วทำการยิงซิลิโคนยาแนวรอบรอยต่อต่างๆ ระหว่างกล่องพลาสติกกับฟิวเจอร์บอร์ด รวมถึงยาแนวบริเวณฐานของเปลือกไข่กับกล่องพลาสติกดังรูปที่ 3.7, 3.8 และ 3.9



รูปที่ 3.7 ภาพด้านบนของการยาแนวซิลิโคนด้านข้างของเปลือกไข่กับกล่องพลาสติก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 ภาพด้านข้างของการยาแนวซิลิโคนด้านข้างของเปลือกไข่กับกล่องพลาสติก



รูปที่ 3.9 ภาพด้านหน้าของการยาแนวซิลิโคนของเปลือกไข่กับกล่องพลาสติก

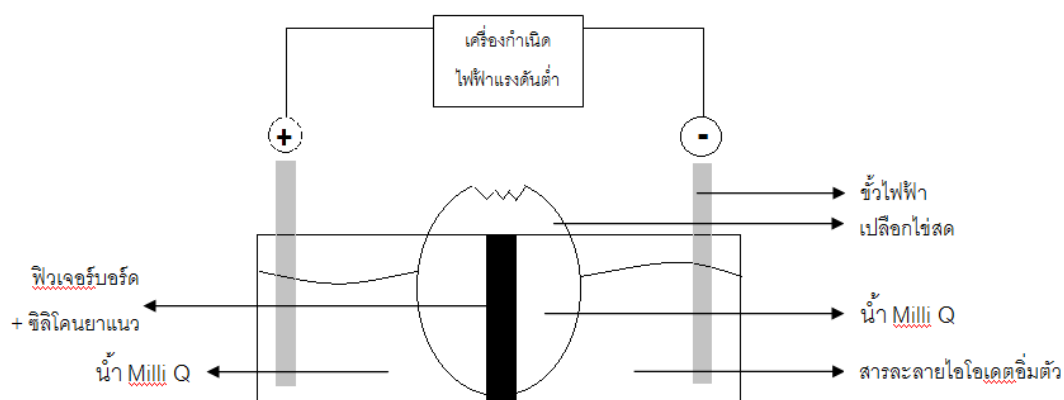
3.6 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการแพร่เข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า

3.6.1 การเตรียมสารละลาย IO_3^- อิมิตัว

การเตรียม ละลาย KIO_3 ด้วยน้ำ Milli Q ในบีกเกอร์ขนาด 1000 mL โดยใช้ปริมาณของโพแทสเซียมไอโอเดตมากกว่า 90 g (ค่าการละลายของ KIO_3 เท่ากับ 9.16 g ต่อ น้ำ 100 mL ที่อุณหภูมิ 25°C) โดยการใช้ เครื่อง Heating Magnetic Stirrer และใส่ Magnetic bar ลงไปเพื่อช่วยในการละลาย เมื่อได้สารละลาย IO_3^- อิมิตัวแล้ว ทำการปิดปากบีกเกอร์ด้วยแผ่นพาราฟิล์ม

3.7 การแพร่ของไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า

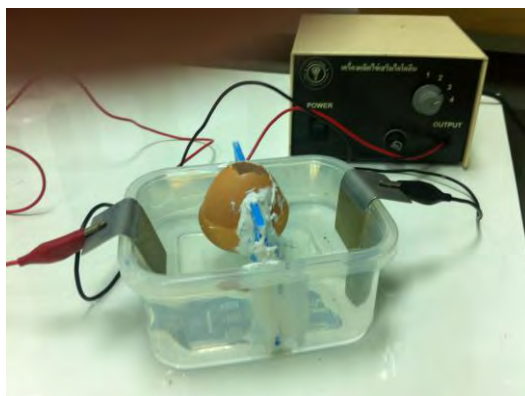
เทคนิคการแพร่ของไอโอดีนในรูปแบบของ IO_3^- คณะผู้วิจัยได้ประยุกต์จากเทคนิคไอออนโตโฟเรซิส มาใช้ในการผลัก IO_3^- เข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ โดยการวางแบบจำลองเปลือกไข่ให้อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าสองขั้ว ที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำ และอาศัยแรงดันทางไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสองทำให้ IO_3^- ผ่านเข้าไปอยู่ภายในแบบจำลองไข่ไก่ได้ โดยคณะผู้วิจัยได้กำหนดบริเวณด้านข้างของแบบจำลองทั้งสองด้านด้วยฉนวนไฟฟ้า (ซิลิโคนยานว) จากนั้นให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง สารละลายไอโอดีนที่อยู่ข้างที่มีขั้วไฟฟ้าลบจะวิ่งหนีขั้วดังกล่าวผ่านเข้าไปยังภายในของแบบจำลองไข่ไก่ได้ ซึ่งรูปแบบการเสริมไอโอดีนในรูปแบบของไอโอดีนสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังแสดงรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนภาพด้านข้างของรูปแบบการแพร่ไอโอดีนโดยวิธีการในกามแพร่ไอโอดีนเข้าไปภายในแบบจำลองเปลือกไข่

3.7.1 ปิดเตา Milli Q 50.00 mL ใส่ลงไปนเปลือกไข่ จากนั้นเติมสารละลายอิมิตัวของ KIO_3 ลงไปในกระบะแบบจำลองด้านหนึ่ง ในระดับที่เท่ากับระดับน้ำ Milli Q ในเปลือกไข่ ส่วนอีกด้านหนึ่งทำการเติมน้ำ Milli Q ในระดับที่เท่ากับระดับน้ำ Milli Q ในเปลือกไข่ เช่นกัน

3.7.2 ติดตั้งขั้วไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยหนีบเข้ากับขั้วไฟฟ้าสแตนเลส กว้าง 3 cm ยาว 7.5 cm จุ่มขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วลบ (สีดำ) ลงในกระบะแบบจำลองด้านที่เติม สารละลายอิมิตัวของ KIO_3 ไว้ และจุ่มขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวก (สีแดง) ลงในกระบะแบบจำลองด้านที่เติมน้ำปราศจากไอออนไว้ จากนั้นเปิดสวิตซ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำดังรูปที่ 3.11 ทำการจับเวลา



รูปที่ 3.11 รูปแบบการแพร่ไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า

3.7.3 เมื่อทำการแพร่สารละลายไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่เรียบร้อยแล้วตามที่กำหนด ทำการดูดสารละลายภายในเปลือกไข่โดยใช้ปิเปตปริมาณ 1 mL ใส่ลงไปใน Vial ขนาด 1.5 mL เพื่อไปทำการตรวจวัดหาปริมาณไอโอเดตโดยใช้เทคนิคอะตอมิการ์ฟิสิกส์

3.8 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า

3.8.1 การศึกษาผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้า

ทำการแพร่สารละลาย IO_3^- เข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ โดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำ ที่เบอร์ 1, 3 และ 4 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 7.3, 24.5, 33.2 V ตามลำดับ รวมทั้งทำการแพร่สารละลาย IO_3^- เข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่โดยไม่ใช้แรงดันไฟฟ้า ในการแพร่สารละลายไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า

3.8.2 การศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการนำส่งสารละลายไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า

ทำการนำส่งสารละลายไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่ระยะเวลา 0, 1, 5 และ 10 นาที โดยการทดลองที่ใช้ศักย์ไฟฟ้าที่เบอร์เดียวกัน ที่ระยะเวลาในการนำส่งต่างกัน จะใช้แบบจำลองเปลือกไข่อันเดียวกัน ในการแพร่สารละลายไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า

3.8.3 การศึกษาตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการแพร่สารละลายไอโอดีนเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า

ทำการวางตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง ดังรูปที่ 3.12 และให้ขั้วไฟฟ้าชนิดขบเปลือกไข่ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 การวางตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง



รูปที่ 3.13 การวางตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าชนิดขบเปลือกไข่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

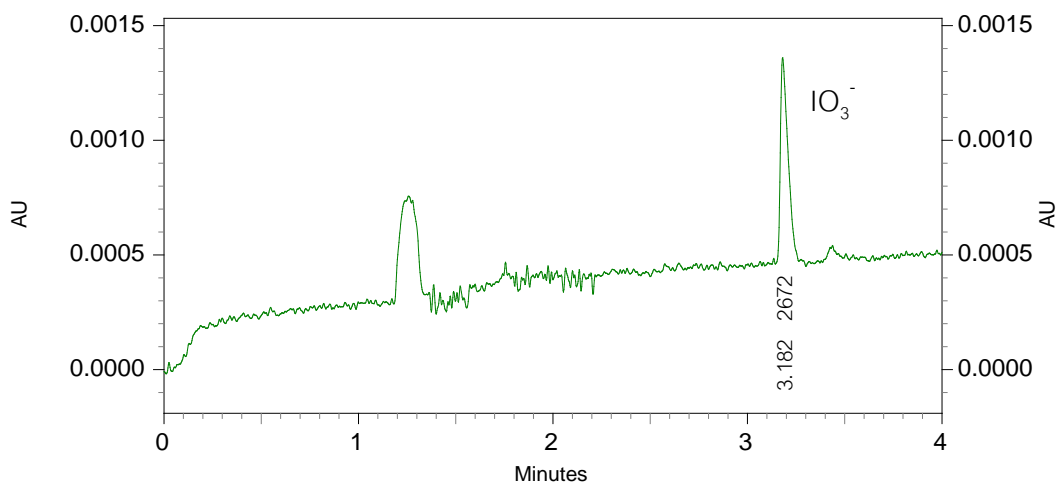
4.1 ภาวะของคะปิลลารีอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอเดต

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคคะปิลลารีอิเล็กทรอนิกส์ในการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอเดตจากการแพร่ไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีขั้นตอนการทำงานน้อย ไม่ยุ่งยาก สามารถตรวจวัดได้ทันที และใช้สารปริมาณน้อยในการวิเคราะห์ โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณไอโอเดตโดยใช้สภาวะจากงานวิจัยของณจรี ประคองทรัพย์ และบารมี โฆษิตชัยวัฒน์ และทำการดัดแปลงเพื่อให้ได้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมยิ่งขึ้น โดยคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองใช้คะปิลลารีแบบ uncoated fused silica capillary เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย ราคาถูก และดูแลรักษาง่าย ทำให้ได้สภาวะการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ภาวะของเทคนิคคะปิลลารีอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไอโอเดต

เครื่อง CE	Beckman รุ่น MDQ
คะปิลลารี	uncoated fused silica capillary 40 μ m x 40.2 cm (30 cm to detector)
อุณหภูมิ	25°C
ศักย์ไฟฟ้า	25 kV
BGE(Background Electrolyte)	20 mM Na ₂ B ₄ O ₇
สารที่ใช้ในการ Rinse Column	0.1 NaOH
ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์	4 mins
เครื่องตรวจวัด (Detector)	UV – visible detector (wavelength 218 nm)

ทำการทดลองจากสภาวะดังกล่าวข้างต้น ได้ผลอิเล็กโทรโกราฟีโรแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 30 mg/L ดังแสดงในรูปที่ 4.1



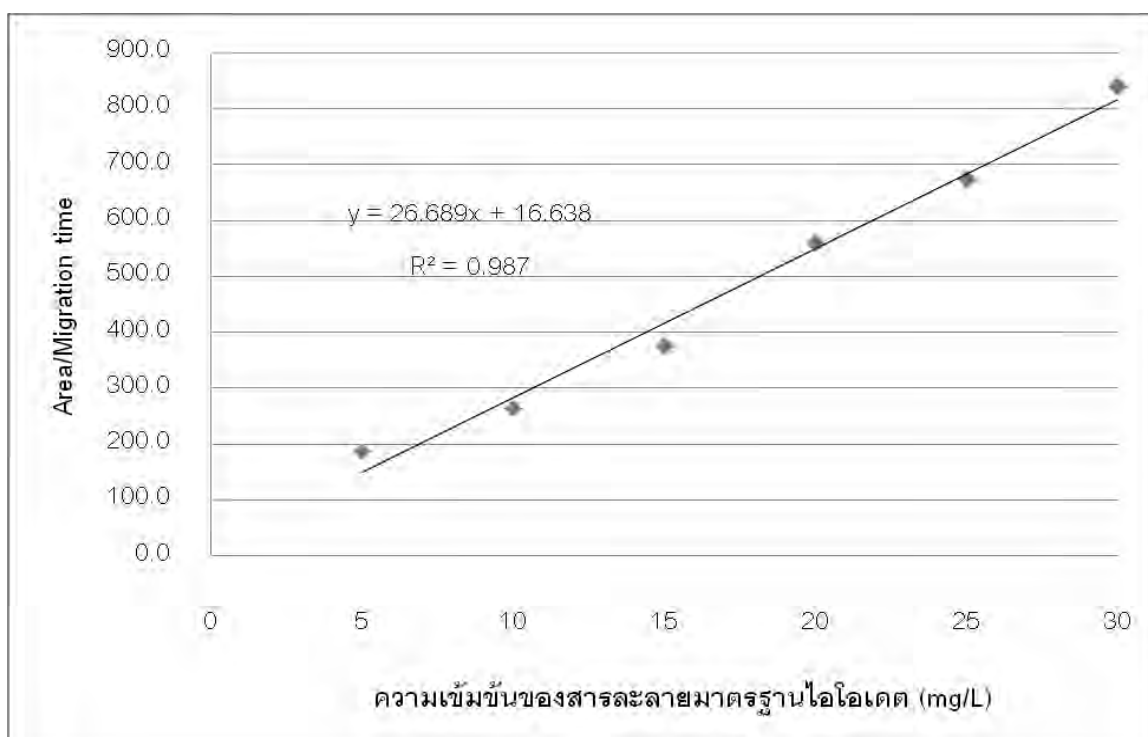
รูปที่ 4.1 อิเล็กโทรโกราฟีโรแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 30 mg/L

โดยทำการหาปริมาณความเข้มข้นของไอโอเดต จากการทำการกราฟมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอเดต 5, 10, 15, 20, 25, 30 mg/L โดยนำค่าพื้นที่ใต้พีคและค่าไมเกรชันไทม์ ที่ได้จากการวิเคราะห์ มาคำนวณอัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคกับไมเกรชันไทม์ (corrected peak area) เนื่องจากเทคนิคคัพปลาริอิเล็กโทรโกราฟีจะใช้ค่า corrected peak area ในการวิเคราะห์ เพื่อเพิ่มความเที่ยงของปริมาณวิเคราะห์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตที่ความเข้มข้นต่างๆ (ทำการวิเคราะห์ เมื่อวันที่ 27 พฤศจิกายน 2556)

ความเข้มข้น (mg/L)	ไมเกรชันไทม์ (min)	พื้นที่ใต้พีค	อัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคกับไมเกรชันไทม์ (corrected peak area)
5	3.135	589	187.9
10	3.179	841	264.5
15	3.169	1194	376.8
20	3.163	1769	559.3
25	3.200	2156	673.8
30	3.181	2672	840.0

เมื่อนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน ได้ผลของกราฟ รวมทั้งสมการที่ใช้ในการหาความเข้มข้นของไอโอเดต ดังรูปที่ 4.2 (ทำการสร้างกราฟมาตรฐานใหม่ทุกครั้งที่ทำกรวิเคราะห์โดยเทคนิคอะทราไรอิลิกโทรโฟริซิส)



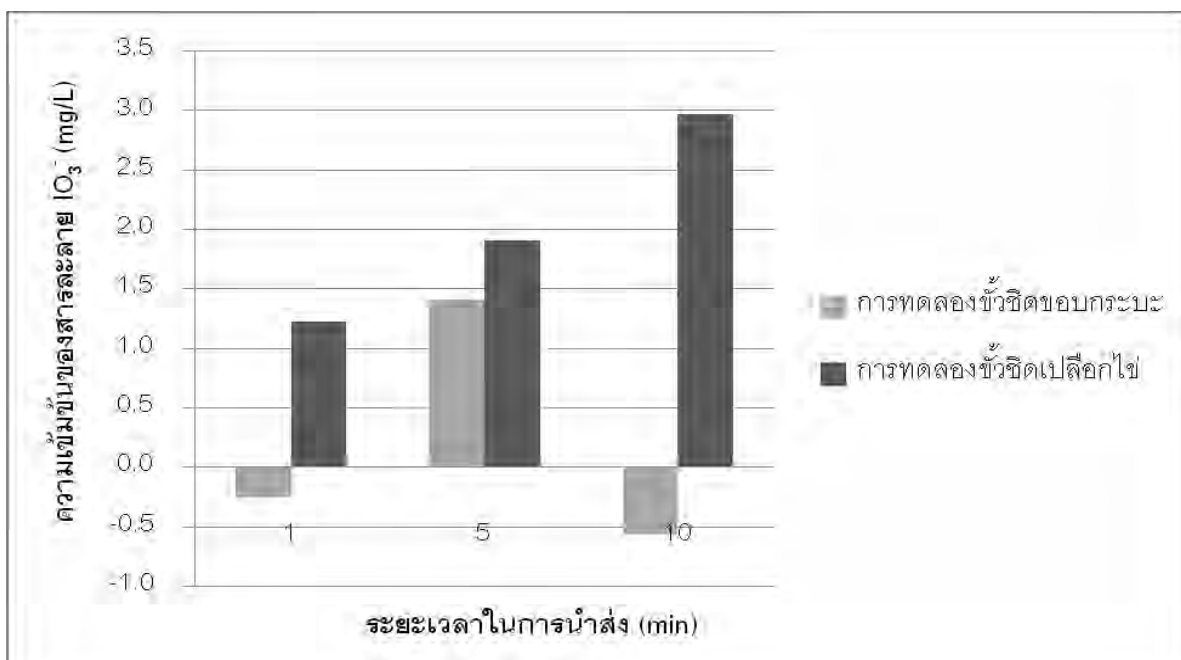
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีกกับไมเกรชันไทม์ (corrected peak area) กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอเดต (mg/L)

4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า

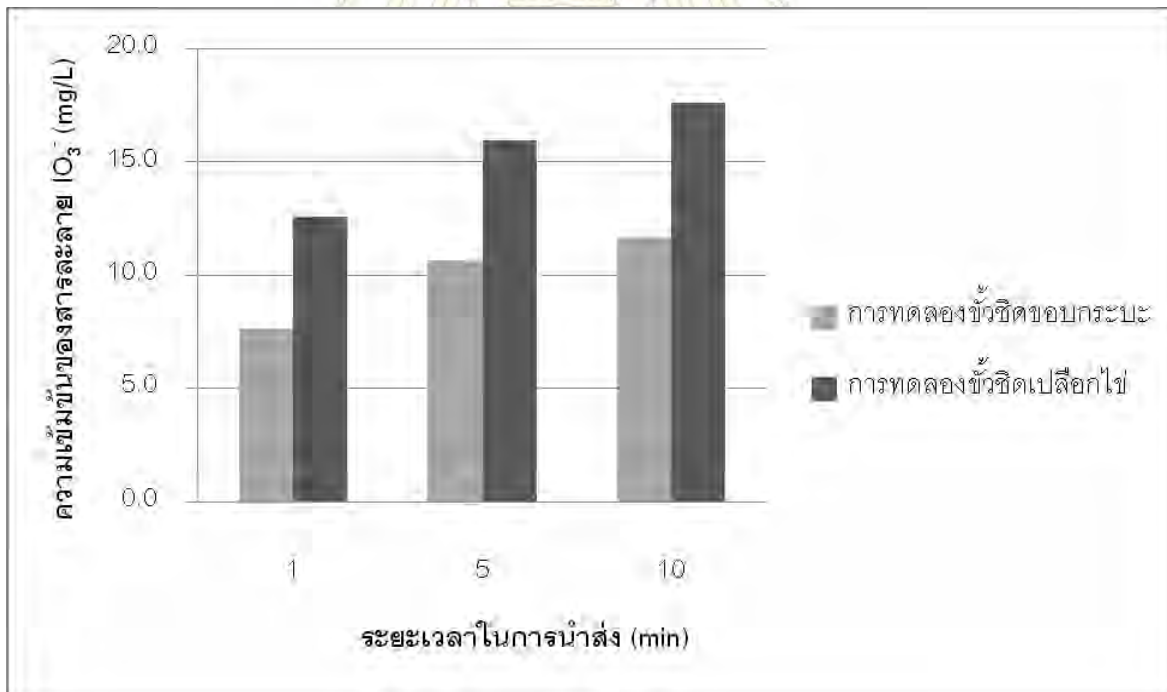
ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของ ไอโอเดต เข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลของแรงดันไฟฟ้า ระยะเวลาในการนำส่ง และตำแหน่งของขั้วไฟฟ้า โดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำ ที่เบอร์ 1, 3 และ 4 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 7.3, 24.5, 33.2 V ตามลำดับ รวมทั้งทำการแพร่สารละลาย IO_3^- เข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ โดยไม่ใช้แรงดันไฟฟ้า ที่ระยะเวลาในการนำส่ง 1, 5 และ 10 นาที รวมทั้งศึกษาตำแหน่งการวางขั้วไฟฟ้าเป็น 2 ลักษณะ คือ วางตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าขิดขอบกระเพาะแบบจำลอง และ ให้ขั้วไฟฟ้าขิดขอบเปลือกไข่ พบว่าผลการทดลอง การทดลองการแพร่สารละลาย IO_3^- เข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ โดยไม่ใช้แรงดันไฟฟ้า ที่ระยะเวลาใน

การนำส่ง 1, 5 และ 10 นาที ไม่พบปริมาณ IO_3^- เกิดขึ้น เมื่อทำการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำ ที่เบอร์ 1 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 7.3 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 1, 5, 10 นาที โดยเปรียบเทียบระหว่างการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าชนิดขบ กระบะแบบจำลอง และให้ขั้วไฟฟ้าชนิดขบเปลือกไข่ พบว่าการทดลองที่ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าชนิดขบ กระบะแบบจำลองมีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- ต่ำมาก ทำให้เกิดความแปรปรวนของความเข้มข้นซึ่งอาจเกิดจากการรบกวนของไอออนตัวอื่น ส่งผลให้มีอิทธิพลต่อค่าที่นำมาใช้ในการคำนวณ และการหาค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐานมีการคลาดเคลื่อนและไม่ถูกต้อง ทำให้ไม่สามารถเทียบแนวโน้มที่แน่นอนของการทดลองได้ เมื่อเทียบกับทดลองที่ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าชนิดขบเปลือกไข่พบว่ามีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- มากกว่าเล็กน้อยในระดับที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการนำส่ง แต่ทั้งสองกรณีถือว่ามีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- อยู่ในปริมาณที่น้อยมาก นั่นคือมีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- ต่ำกว่า 3 mg/L ดังแสดงผลในรูปที่ 4.3

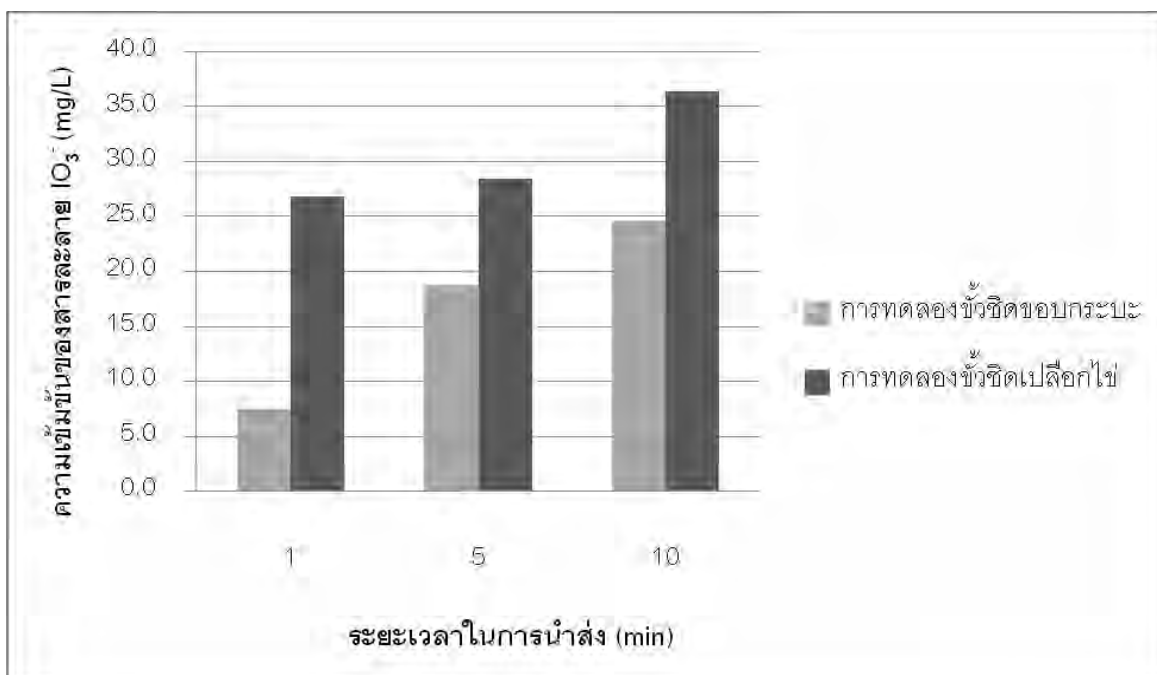
เมื่อทำการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำ ที่เบอร์ 3 และ เบอร์ 4 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 24.5 V และ 33.2 V ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการนำส่ง 1, 5, 10 นาที โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าชนิดขบ กระบะแบบจำลอง และให้ขั้วไฟฟ้าชนิดขบเปลือกไข่ พบว่า การทดลองที่ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าชนิดขบ กระบะแบบจำลองมีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- ในระดับที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการนำส่ง เมื่อเทียบกับทดลองที่ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าชนิดขบเปลือกไข่พบว่า มีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการนำส่ง โดยมีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- มากกว่า การทดลองที่ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง ที่ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ระดับ โดยที่ การทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำ ที่เบอร์ 4 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 33.2 V มีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- ที่มากกว่า ดังแสดงผลในรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- (mg/L) กับระยะเวลาในการนำส่ง (min) ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 7.3 V



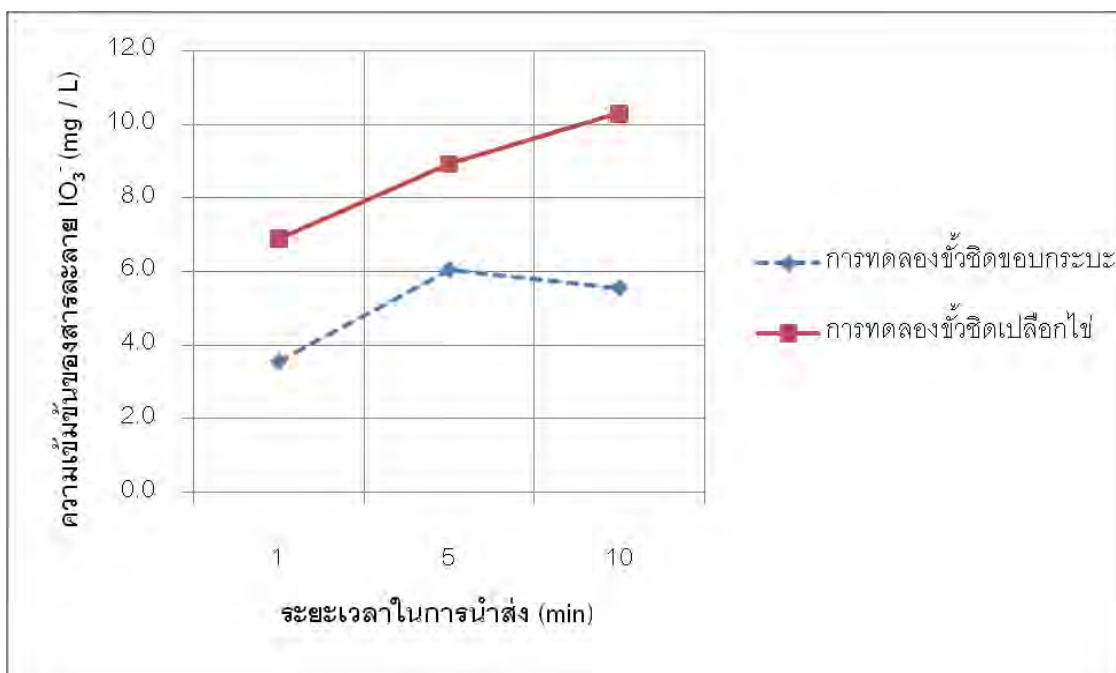
รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- (mg/L) กับระยะเวลาในการนำส่ง (min) ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 24.5 V



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- (mg/L) กับระยะเวลาในการนำส่ง (min) ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 33.2 V

จะเห็นว่าแนวโน้มส่วนใหญ่ของการทดลอง พบว่าเมื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า และระยะเวลาในการนำส่ง จะทำให้มีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ระดับแรงดันไฟฟ้ามากขึ้น ส่งผลให้ไปกระตุ้นการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลาย ทำให้ IO_3^- เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น และสามารถเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีขึ้น ในขณะที่เมื่อระยะเวลาในการนำส่งเพิ่มขึ้น จะทำให้ IO_3^- สามารถแพร่เข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ได้ในระยะเวลาและปริมาณที่มากขึ้น จึงทำให้ปริมาณ IO_3^- ในแบบจำลองเปลือกไข่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- เพิ่มมากขึ้น

การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- ของการทดลองที่วางตำแหน่งขั้วไฟฟ้า โดยให้ขั้วไฟฟ้าชนิดขอบกระเบื้องแบบจำลอง และให้ขั้วไฟฟ้าชนิดเปลือกไข่ (รูปที่ 4.6) พบว่าการทดลองที่วางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าชนิดเปลือกไข่ พบความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- มากกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ระยะห่างของตำแหน่งขั้วไฟฟ้าอยู่ในระยะที่สั้นลง ส่งผลให้ ความแรงของสนามไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น และเมื่อวางขั้วไฟฟ้าขั้วบวกไว้ชนิดขอบเปลือกไข่ อาจส่งผลให้ ขั้วไฟฟ้าซึ่งเป็นขั้วบวกสามารถดึงดูด IO_3^- ซึ่งเป็นประจุลบไว้ได้ ทำให้ IO_3^- ที่แพร่เข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ ไม่สามารถแพร่ออกไปนอกเปลือกไข่ได้ หรือสามารถแพร่ออกไปนอกเปลือกไข่ได้ในปริมาณที่น้อยมาก



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามัธยฐานของความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- (mg/L) ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่างๆ กับ ระยะเวลาในการนำส่ง (min) ของการทดลองที่วางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าซีตขอบกระเบแบบจาลอง และให้ขั้วไฟฟ้าซีตขอบเปลือกไข่

เมื่อเปรียบเทียบแนวโน้มของการทดลองจากงานวิจัยของณจรี ประคองทรัพย์ และบารมี โฆษิตชัยวัฒน์^[10] ซึ่งศึกษา การใช้แบบจาลองเปลือกไข่สำหรับศึกษาการเสริมไอโอดีนในไข่สดโดยใช้เทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า โดยใช้แบบจาลองเปลือกไข่ ทำการแทนที่เนื้อไข่ด้วยน้ำปราศจากไอออน ทำการใส่สารละลาย IO_3^- อิ่มตัวไว้ที่ทั้งสองข้างของกระเบแบบจาลอง และทำการนำส่งที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 7.3, 24.2, 32.7 V รวมทั้งไม่ใช้แรงดันไฟฟ้าที่ระยะเวลาในการนำส่ง 1, 3, 5 นาที พบว่าแนวโน้มของการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือเมื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า และระยะเวลาในการนำส่ง จะทำให้มีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเสถียรภาพของเปลือกไข่ พบว่าเสถียรภาพของเปลือกไข่ไม่ผลต่อการเสริมสารละลาย IO_3^- ลงไปในไข่ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้แบบจาลองเปลือกไข่เดียวกันในการทดลองที่ใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำเบอร์เดียวกัน ที่ระยะเวลาในการนำส่งต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อเสถียรภาพของเปลือกไข่ ในการแพร่ของสารละลาย IO_3^- เข้าสู่แบบจาลองเปลือกไข่ แต่เนื่องด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการนำส่งที่น้อย (10 นาที) อาจส่งผลต่อเสถียรภาพของเปลือกไข่เพียงเล็กน้อย และสามารถใช้ในการควบคุมปัจจัยต่างๆของความ

แตกต่างของเปลือกไข่ รวมทั้งระยะเวลาในการทดลอง และความเปลี่ยนแปลงในการใช้เปลือกไข่
อีกด้วย

จากงานวิจัยนี้พบว่า การทดลองที่มีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- มากที่สุดคือการ
ทดลองที่ใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ระหว่างขั้ว 33.2 V ที่ระยะเวลาในการนำส่ง 10
นาที่ โดยมีความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- ประมาณ 40 mg/L ในสารละลายที่อยู่ในแบบจำลอง
เปลือกไข่ 50 mL เมื่อคำนวณแล้วพบว่าปริมาณไอโอดีน 2 mg ซึ่งจากข้อมูลที่ว่าองค์การ
อนามัยโลกได้กำหนดปริมาณไอโอดีนสูงสุดที่ร่างกายสามารถรับได้ไม่เกินวันละ 1 $\text{mg}^{[1]}$ เป็น
ปริมาณที่มากเกินไปสำหรับความต้องการของร่างกาย แต่เมื่อทำการแพร่สารละลาย IO_3^- เข้าไป
ในไข่จริง องค์ประกอบต่างๆภายในไข่ อาจทำให้ปริมาณไอโอดีนที่แพร่เข้าไปลดน้อยลง หรือมี
ความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นแนวคิดที่ควรศึกษาต่อไป



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของไอโอเดตเข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยเทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า โดยใช้แบบจำลองเปลือกไข่ที่จัดวางเปลือกไข่ไว้ที่กึ่งกลางของกระบะแบบจำลอง ทำการเติมน้ำ Milli Q ลงไปในเปลือกไข่ หลังจากนั้นเติมสารละลายอิมิตัวของ KIO_3 ลงไปในกระบะแบบจำลองด้านหนึ่ง ในระดับที่เท่ากับระดับน้ำ Milli Q ในเปลือกไข่ ส่วนอีกด้านหนึ่งทำการเติมน้ำปราศจากไอออน ในระดับที่เท่ากับระดับน้ำ Milli Q ในเปลือกไข่เช่นกัน ทำการจุ่มขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วลบ (สีดำ) ลงในกระบะแบบจำลองด้านที่เติมสารละลายอิมิตัวของ KIO_3 ไว้ และจุ่มขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวก (สีแดง) ลงในกระบะแบบจำลองด้านที่เติมน้ำปราศจากไอออน เพื่อให้ขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวก ผลัก IO_3^- เข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ของขั้วแตกต่างกัน ระยะเวลาที่ใช้ในการนำส่ง และตำแหน่งการจัดวางของขั้วในลักษณะต่างๆ จากนั้นนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิคอะตอมมิกสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยใช้ภาวะที่เหมาะสมเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- ที่ถูกแพร่เข้าไปในแบบจำลอง พบว่าความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- ที่ถูกแพร่เข้าไปในแบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยวิธีการนำส่งด้วยไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับ ระดับแรงดันไฟฟ้า ระยะเวลาที่ใช้ในการนำส่ง และระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้านั้นคือเมื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อให้มีความต่างศักย์ระหว่างขั้วเพิ่มมากขึ้น จะพบว่ามี ความเข้มข้นสารละลาย IO_3^- เพิ่มมากขึ้น และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการนำส่ง จะพบว่ามี ความเข้มข้นสารละลาย IO_3^- เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าติดขอบกระบะแบบจำลอง และ ให้ขั้วไฟฟ้าติดขอบเปลือกไข่ พบว่าการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าติดขอบเปลือกไข่ ส่งผลให้มีความเข้มข้นสารละลาย IO_3^- มากกว่าการวางตำแหน่งขั้วไฟฟ้าโดยให้ขั้วไฟฟ้าติดขอบกระบะแบบจำลอง กล่าวได้ว่าเมื่อระยะห่างของขั้วไฟฟาลดน้อยลง สามารถเพิ่มปริมาณของ IO_3^- ที่ถูกแพร่เข้าไปในแบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยวิธีการนำส่งด้วยไฟฟ้าได้

ข้อเสนอแนะ

การทำการทดลองควรใช้ระยะเวลาในการทดลองอันรวดเร็ว เนื่องจากสภาพของเปลือกไข่ อาจส่งผลต่อการแพร่ของสารละลาย IO_3^- ที่เร่งด้วยวิธีการนำส่งด้วยไฟฟ้า นอกจากนี้ยังอาจทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ใช้ในการแพร่สารละลาย IO_3^- เข้าสู่แบบจำลองเปลือกไข่ที่เร่งด้วยวิธีการนำส่งด้วยไฟฟ้า ให้ได้ปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย IO_3^- มากที่สุด หรือให้มีประสิทธิภาพในส่งเสริมการแพร่ของสารละลาย IO_3^- มากที่สุด โดยอาจเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ระยะเวลาในการนำส่ง หรือทำการเปลี่ยนการวางตำแหน่งของขั้ว ทั้งนี้การตรวจวัดด้วยเทคนิคอะนาลิติกัลอิเล็กโทรโพรซิส ควรทำการตรวจวัดอย่างน้อย 2 ครั้งเพื่อความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และบางครั้งสารละลายอาจมีความเข้มข้นสูงหรือต่ำกว่ากราฟมาตรฐานสอบเทียบ จึงอาจต้องเปลี่ยนช่วงของกราฟสอบเทียบ หรือทำการเจือจางสารละลายให้อยู่ภายในช่วงกราฟสอบเทียบ

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. วิไล เทียนรุ่งโรจน์, "ไอโอดีนเท่าไร...จึงพอดี", วารสารฉลาดซื้อ ปีที่ 5 ฉบับที่ 29 ก.พ.-มี.ค., 2542
2. "โรคขาดสารไอโอดีน", <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/iodine/chapter2/idd.html>
3. Wiyada, C.; Pongsant, T.; Punthip, T.; Jintana, W. Consuming iodine enriched eggs to solve the iodine deficiency endemic for remote areas in Thailand. *Nutrition Journal* 2010, 1-5
4. "บะหมี่สำเร็จรูปกินง่ายอร่อยปากลำบากสุขภาพ", <http://variety.teenee.com/foodforbrain/> .html, วันพุธที่ 28 ธันวาคม 2548 เวลา 20:32 น.
5. Suvanprakom, P.; Tanasugarn, L.; Limahksohn, A.; Sinawat, S.; Vuthipongse, P. Method for the iodine fortification of eggs. *U.S. Patent 6,410,060*, June 25, 2002.
6. Unak, T.; Yildirim, Y.; Avcibasi, U.; Cetinkaya, B.; Unak G., Transfer of orally administrated iodine-131 into chicken eggs. *Applied Radiation and Isotopes* 2003, 58, 299-307.
7. สุนิสา เก่งถนอมม้า; สุประวีณ์ วงศ์สุโชโต. การเสริมไอโอดีนในไข่สดด้วยวิธีไอออนโตโพเรซิส, โครงการการเรียนรู้เพื่อเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เล่มที่ 2550 – 10. 2550
8. สมโภชน์ อิมเอิบ, "ไข่เสริมไอโอดีนโดยเทคนิคการเคลื่อนย้ายไอออน", วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 พ.ค. - ส.ค. 2553
9. ณัฐพร อินทร์क्षा; มุชิตา รัตนพงศ์. การใช้แบบจำลองเปลือกไข่สำหรับการศึกษาการเสริมไอโอดีนในไข่สดโดยใช้ระบบนำส่งด้วยไฟฟ้า , โครงการการเรียนรู้เพื่อเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เล่มที่ 2554 - 10. 2554

10. ณจรี ประคองทรัพย์; บารมี โฆษิตชัยวัฒน์. การใช้แบบจำลองเปลือกไขสำหรับศึกษาการเสริมไอโอดีนในไข่สดโดยใช้เทคนิคการนำส่งด้วยไฟฟ้า โครงการการเรียนรู้เพื่อเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เล่มที่ 2555 -13. 2555
11. Zhuo, H.; Kazuaki, I.; Takeshi, H.; Further research on iodine speciation in seawater by capillary zone electrophoresis with isotachopheresis preconcentration. *Journal of Chromatography A* 2004, 1055, 229–234.
12. Tianlin, W.; Shuzhen, Z.; Chanhong, S.; Jing, T.; Dan, W.; Determination of iodate in table salt by transient isotachopheresis–capillary zone electrophoresis. *Food Chemistry* 2009, 112, 215–220.
13. Iontophoresis – “Pain free – Needle free treatment option”,
<http://houghtonphysicaltherapy.com/RehabPrograms/Iontophoresis.asp>
14. ธรรมนุญ หนูจักร, “อะพิลลารีอีเล็กโทรฟอริซิส ทฤษฎี หลักการ และการประยุกต์”, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

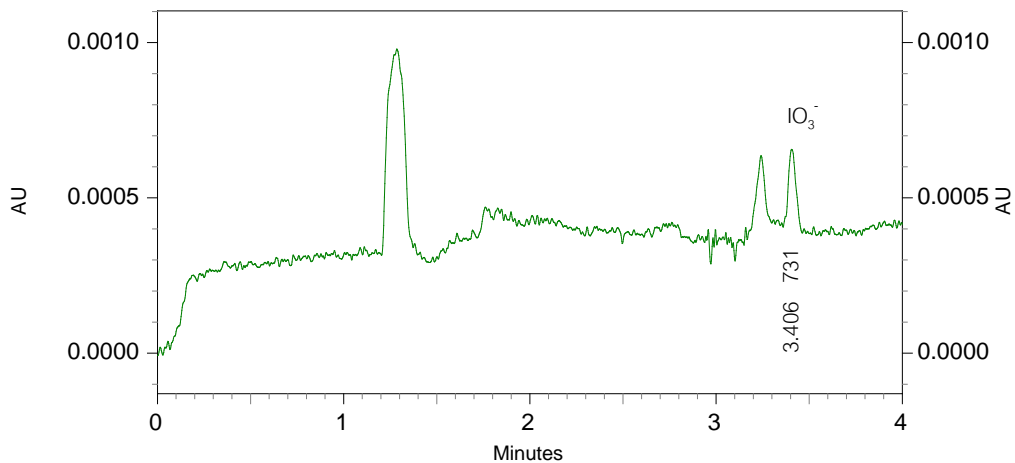


ภาคผนวก

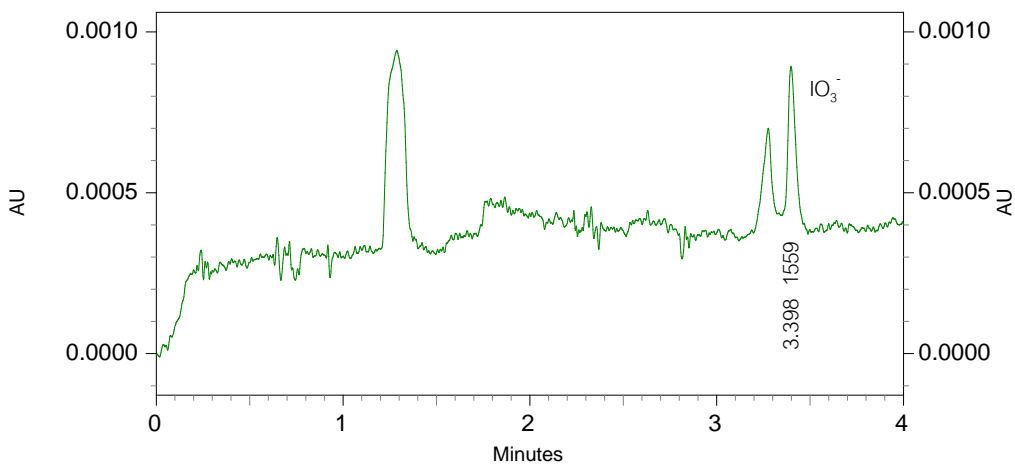
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

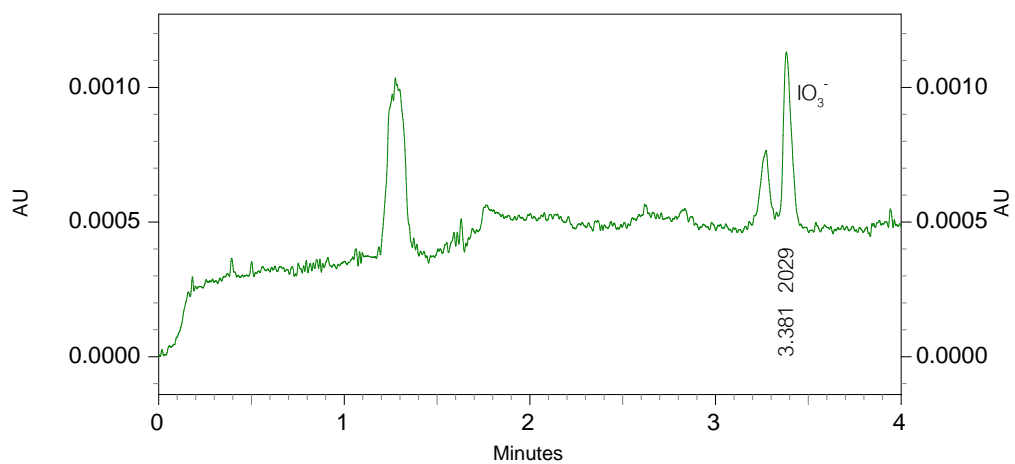
ผลการทดลองวันที่ 23 พฤศจิกายน 2556



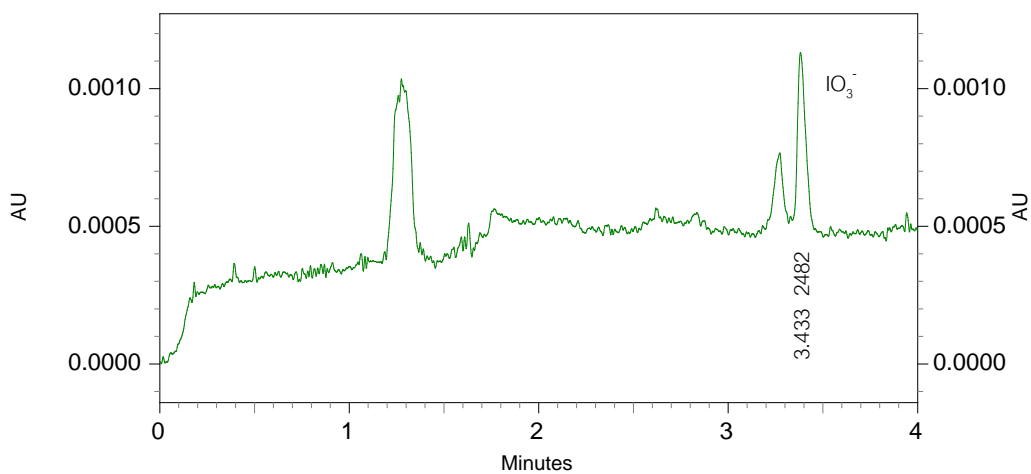
รูปที่ ก.1 อิเล็กโทรฟิโรแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 5 mg/L



รูปที่ ก.2 อิเล็กโทรฟิโรแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 10 mg/L

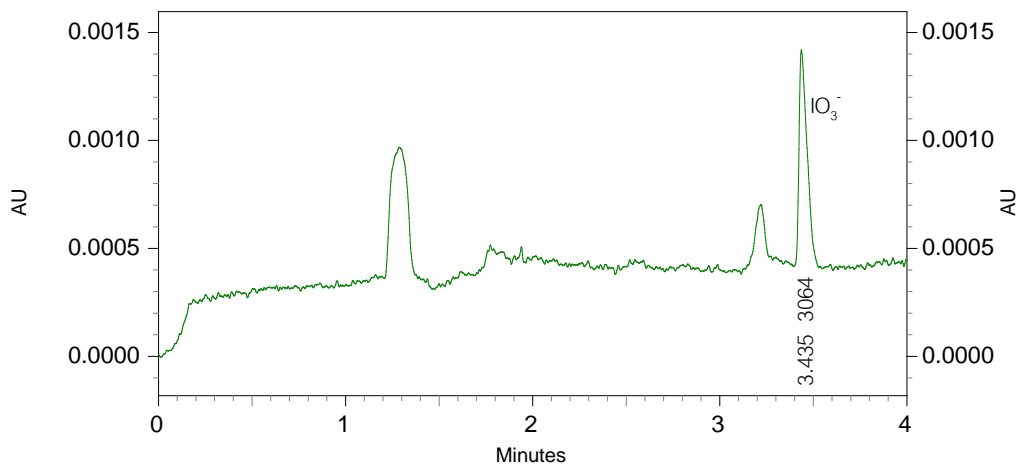


รูปที่ ก.3 อิเล็กโทรโฟโกราฟีของสารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 15 mg/L

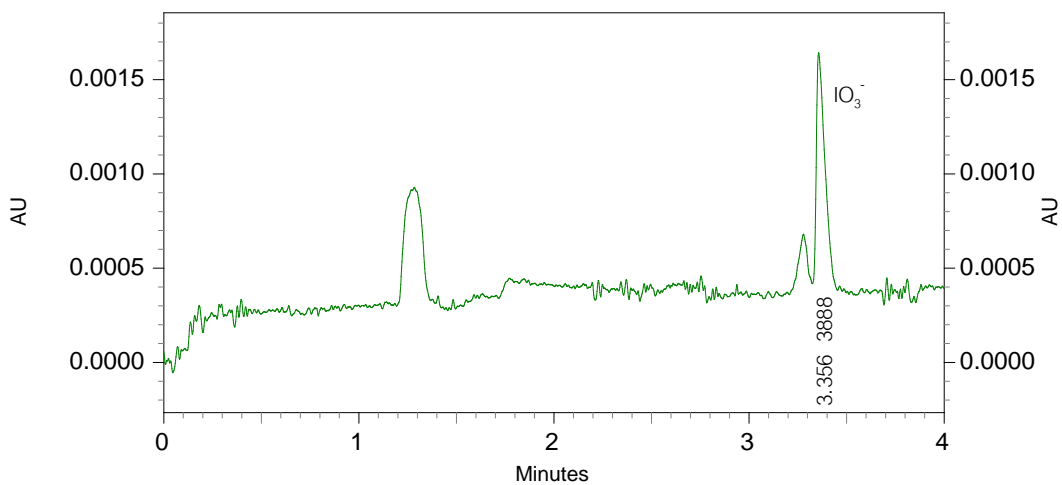


รูปที่ ก.4 อิเล็กโทรโฟโกราฟีของสารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 20 mg/L

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.5 อิเล็กโทรโฟโแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 25 mg/L

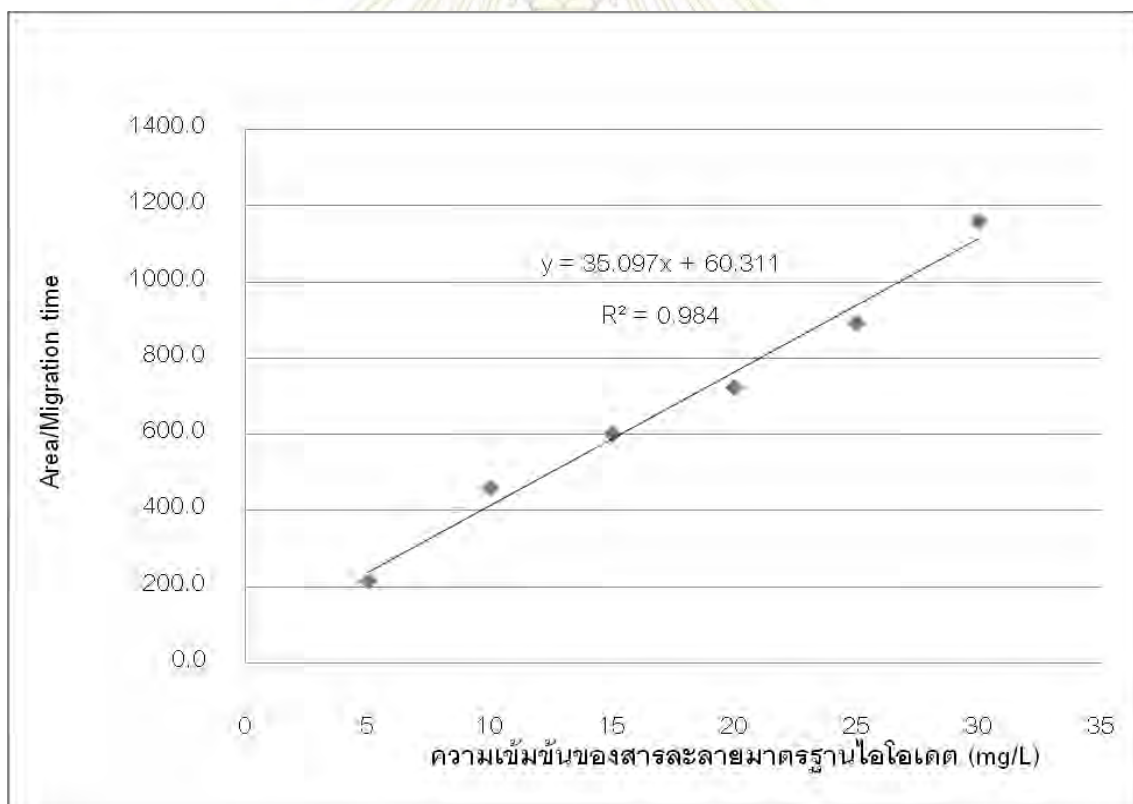


รูปที่ ก.6 อิเล็กโทรโฟแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 30 mg/L

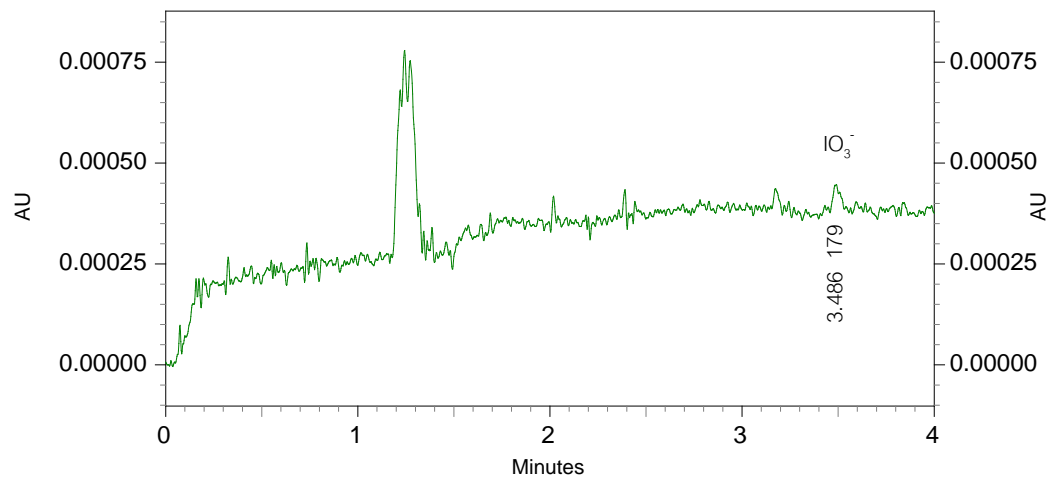
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอดีตที่ความเข้มข้นต่างๆ

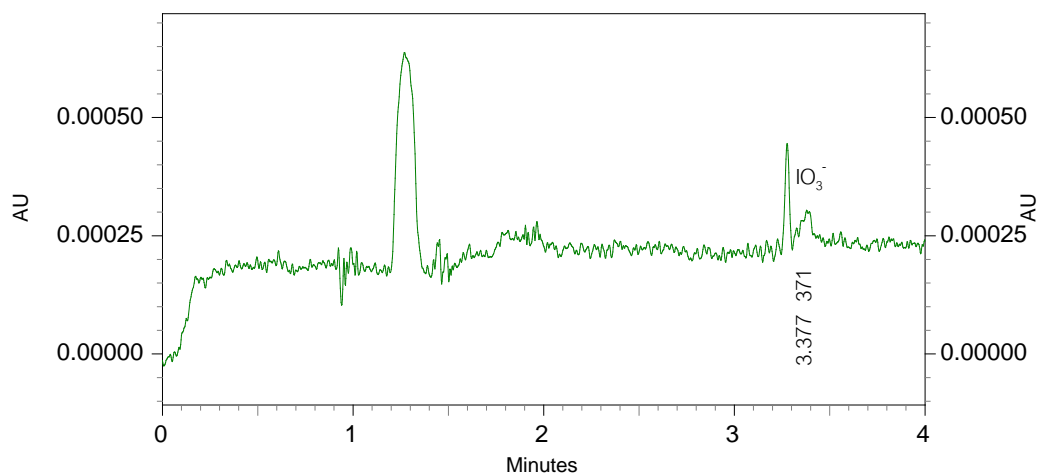
ความเข้มข้น (mg/L)	ไมเกรชั่นไทม์ (min)	พื้นที่ใต้พีค	อัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคกับไมเกรชั่นไทม์ (corrected peak area)
5	3.406	731	214.6
10	3.398	1559	458.8
15	3.381	2029	600.1
20	3.433	2482	723.0
25	3.435	3064	892.0
30	3.356	3888	1158.5



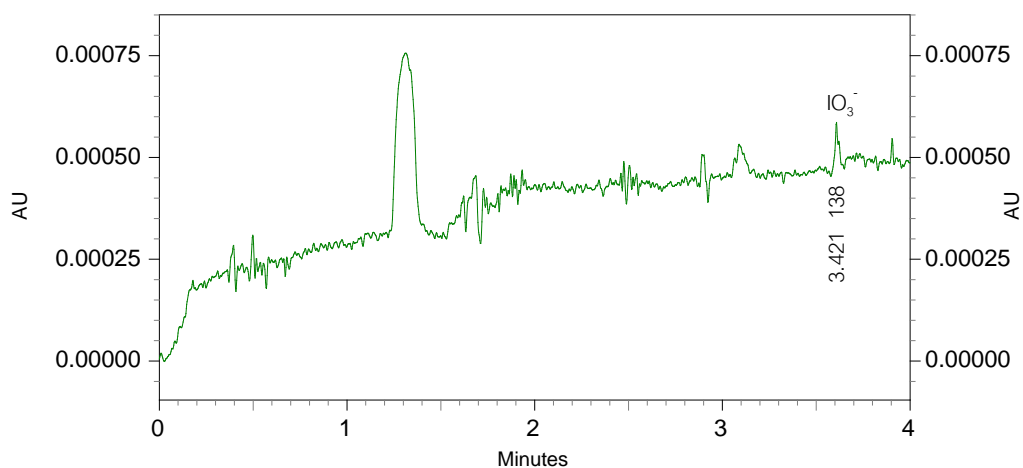
รูปที่ ก.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคกับไมเกรชั่นไทม์ (corrected peak area) กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีต (mg/L)



รูปที่ ก.8 อิเล็กโทรโฟโกราฟีของสารทดสอบโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 1 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 7.3 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 1 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง



รูปที่ ก.9 อิเล็กโทรโฟโกราฟีของสารทดสอบโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 1 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 7.3 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 5 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง

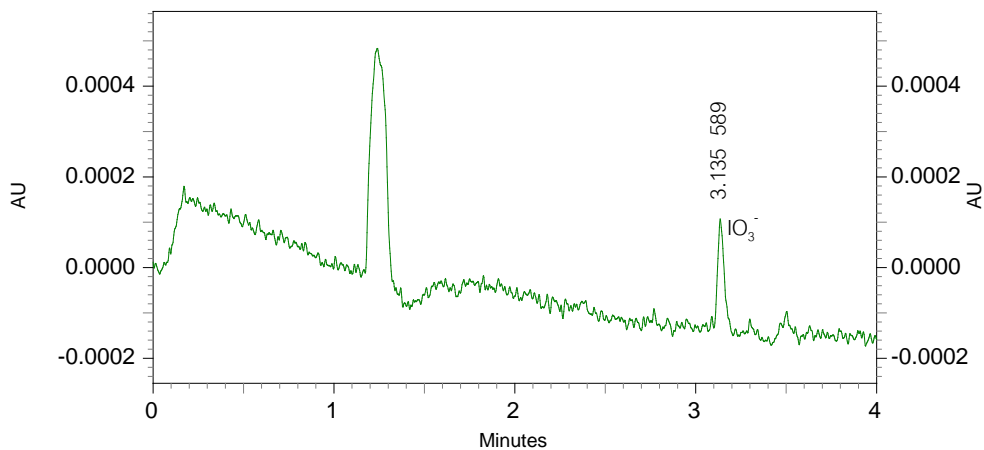


รูปที่ ก.9 อิเล็กโทรโฟโกราฟีของไอออนไนต์ของไอโอดีนโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 1 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 7.3 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 10 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง

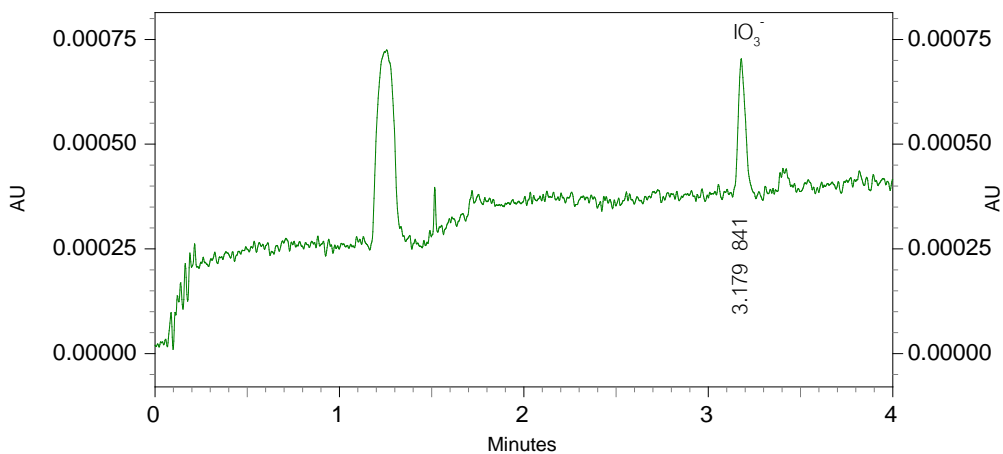
ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์การนำส่งสารละลายไอโอดีน โดยมีตำแหน่งขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง

ความต่างศักย์ (V)	เวลาที่ใช้ในการนำส่ง (min)	ไมเกรชันไทม์ (min)	พื้นที่ใต้พีค	อัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคกับไมเกรชันไทม์ (corrected peak area)	ความเข้มข้น (mg/L)
0	1	-	-	-	-
	5	-	-	-	-
	10	-	-	-	-
7.3	1	3.486	179	51.3	-0.255
	5	3.377	371	109.9	1.412
	10	3.421	138	40.3	-0.569

ผลการทดลองวันที่ 27 พฤศจิกายน 2556

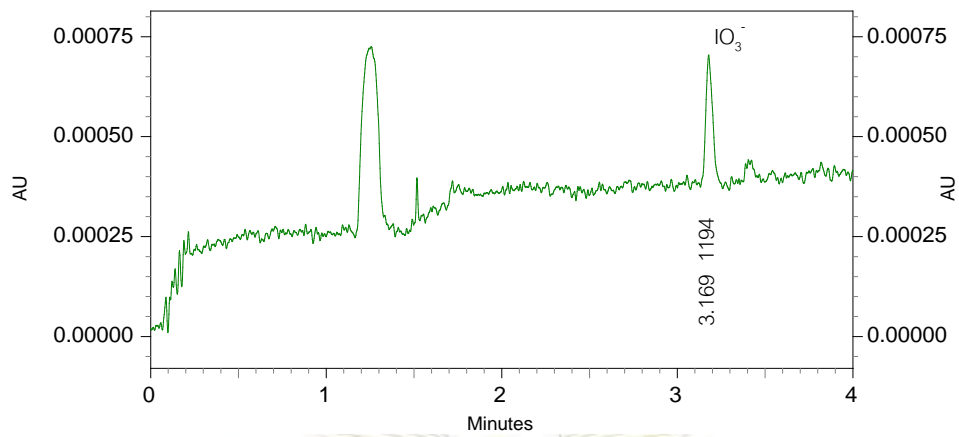


รูปที่ ก.10 อิเล็กโทรโฟรีแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอดेटเข้มข้น 5 mg/L

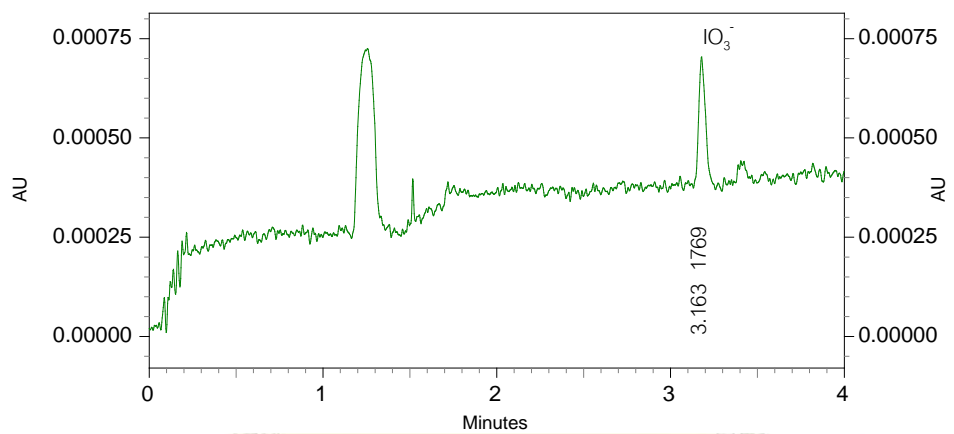


รูปที่ ก.11 อิเล็กโทรโฟรีแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอดेटเข้มข้น 10 mg/L

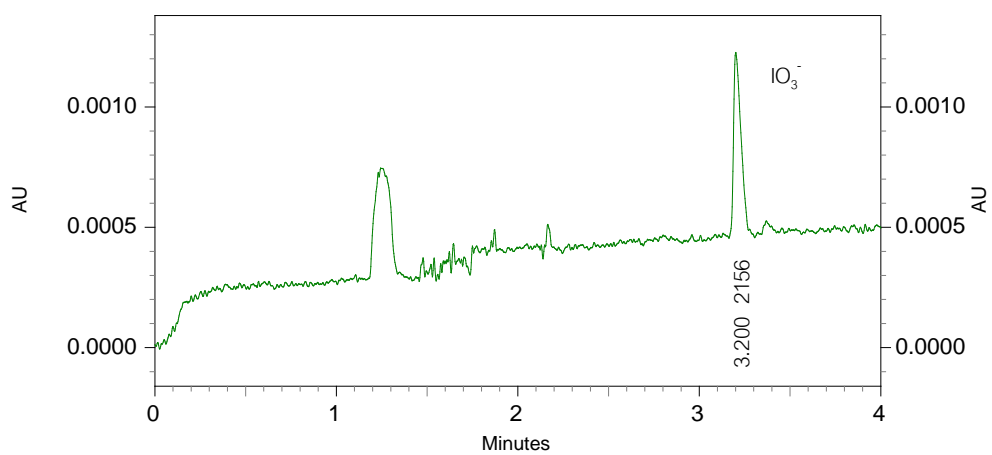
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



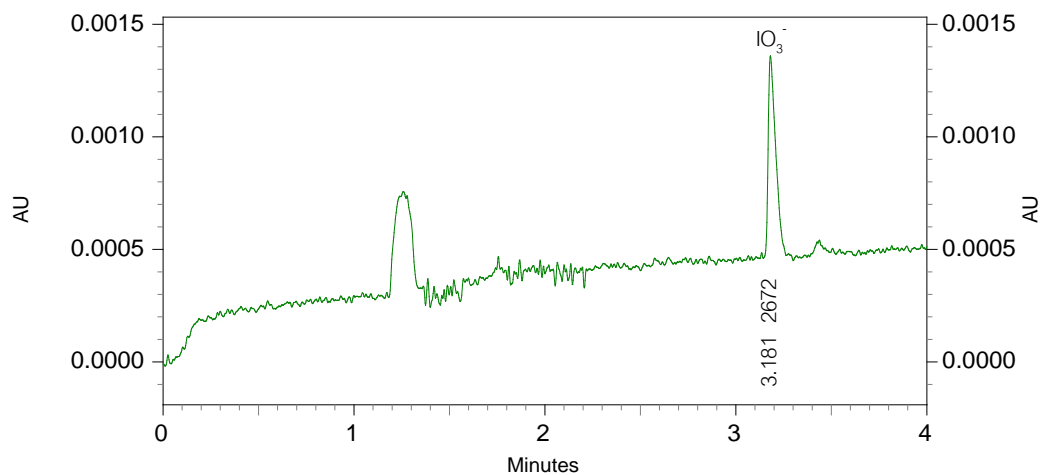
รูปที่ ก.12 อิเล็กโทรโฟรีแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 15 mg/L



รูปที่ ก.13 อิเล็กโทรโฟรีแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 20 mg/L



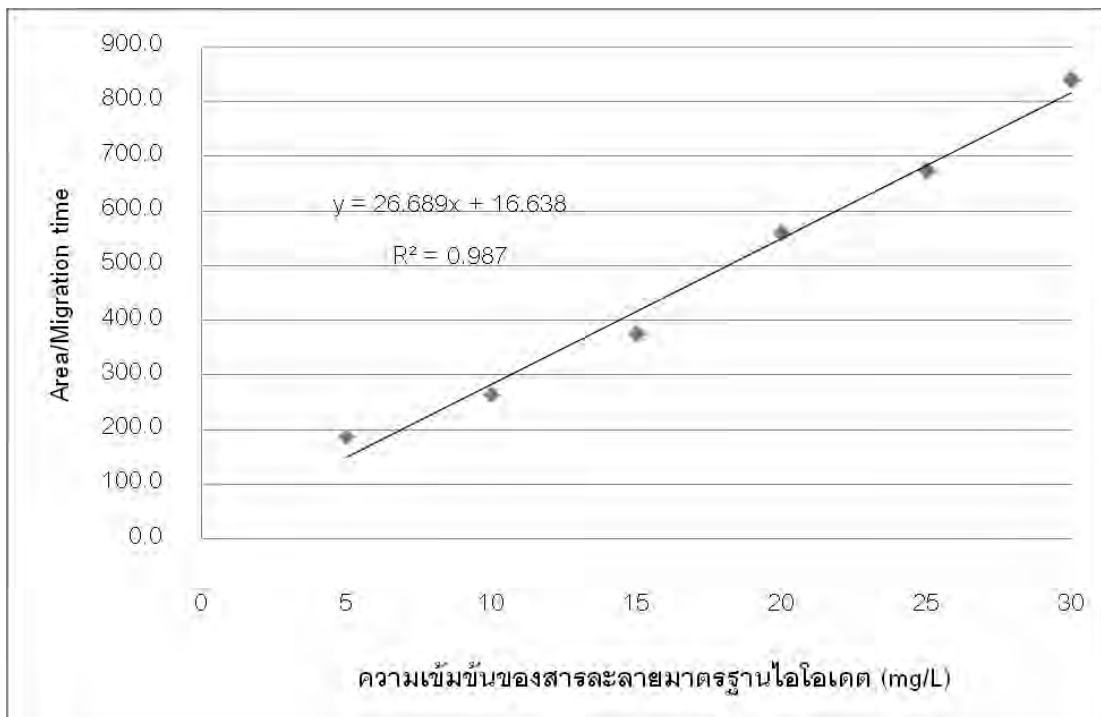
รูปที่ ก.14 อิเล็กโทรโฟรีแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 25 mg/L



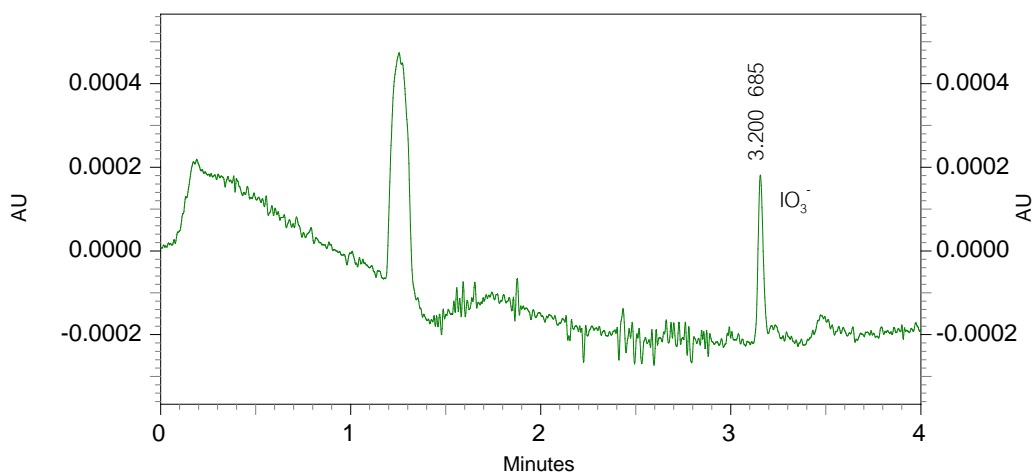
รูปที่ ก.15 อิเล็กโทรกราฟของสารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 30 mg/L

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตที่ความเข้มข้นต่างๆ

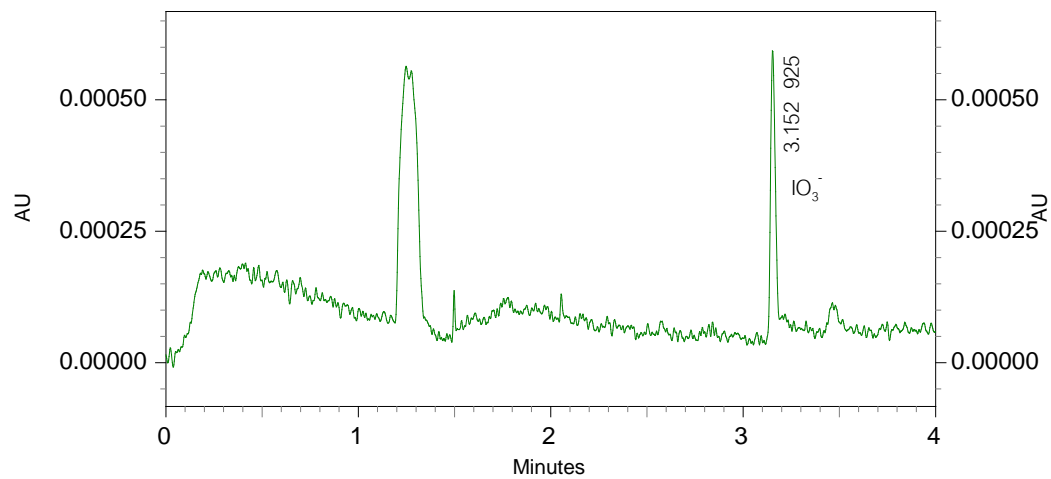
ความเข้มข้น (mg/L)	ไมเกรชั่นไทม์ (min)	พื้นที่ใต้พีค	อัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคกับไมเกรชั่นไทม์ (corrected peak area)
5	3.135	589	187.9
10	3.179	841	264.5
15	3.169	1194	376.8
20	3.163	1769	559.3
25	3.200	2156	673.8
30	3.181	2672	840.0



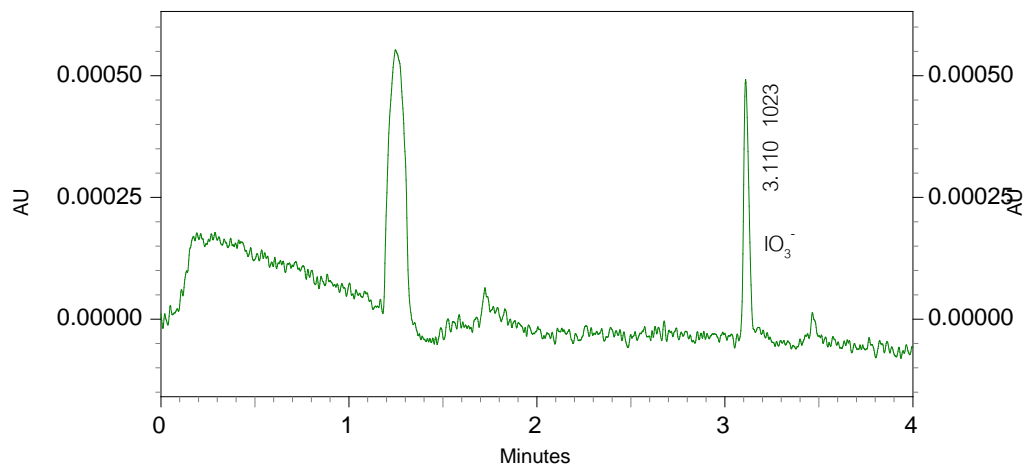
รูปที่ ก.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีกกับไมเกรชันไทม์ (corrected peak area) กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอเดต (mg/L)



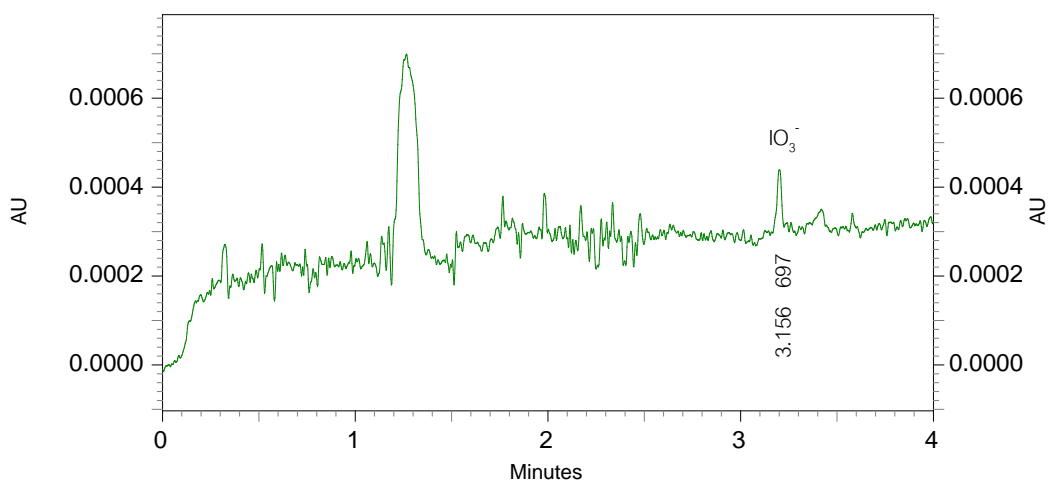
รูปที่ ก.17 อิเล็กโทรโฟเรแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำ ที่เบอร์ 3 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 24.5 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 1 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง



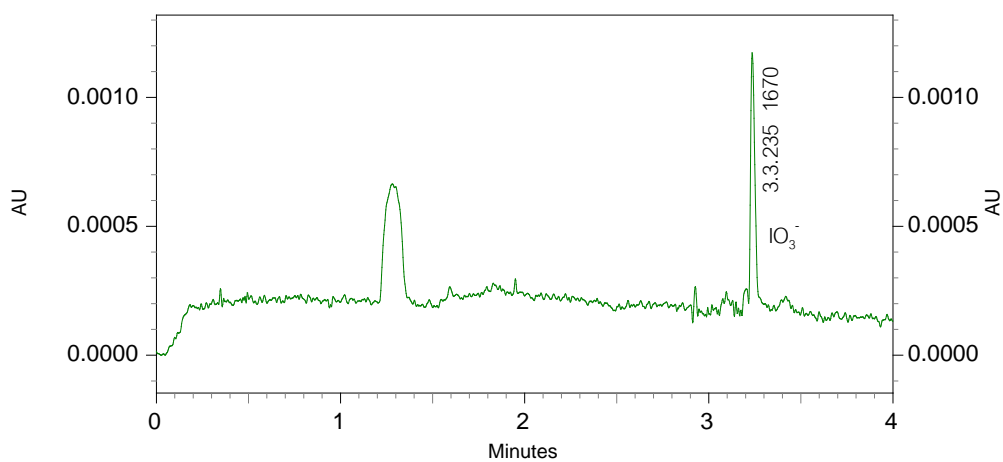
รูปที่ ก.18 อิเล็กโทรโฟเรแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 3 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 24.5 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 5 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง



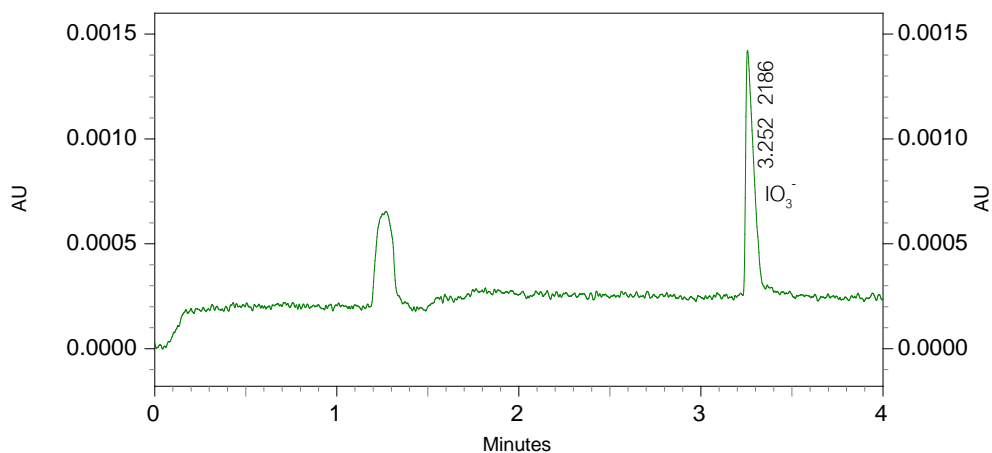
รูปที่ ก.19 อิเล็กโทรโฟเรแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 3 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 24.5 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 10 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง



รูปที่ ก.20 อิเล็กโทรโฟเรแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 4 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 33.2 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 1 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง



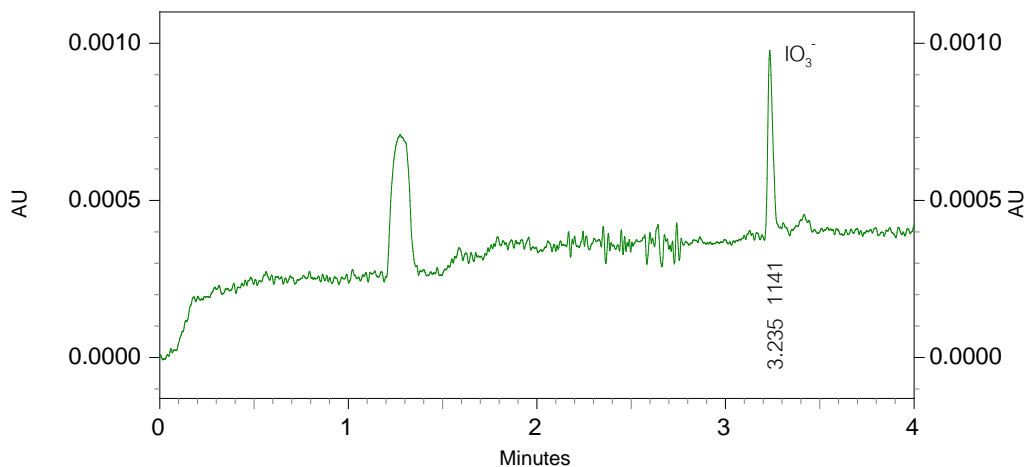
รูปที่ ก.21 อิเล็กโทรโฟเรแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 4 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 33.2 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 5 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง



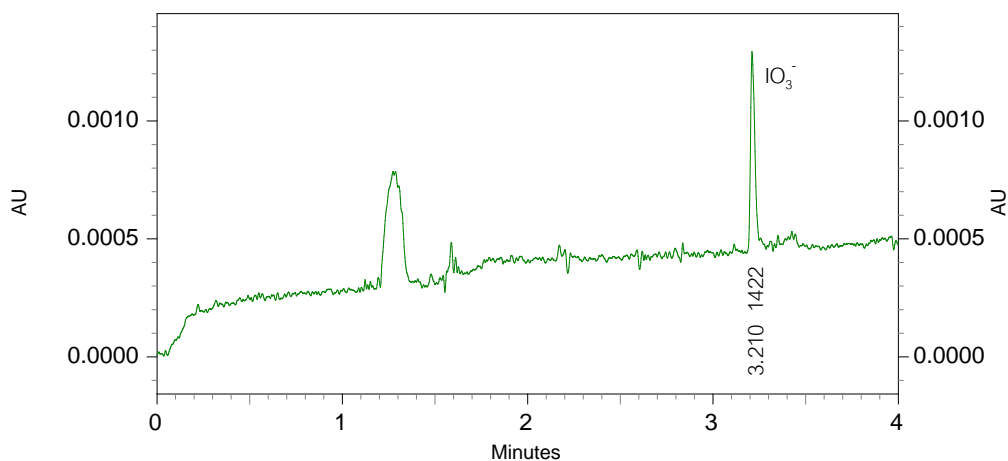
รูปที่ ก.22 อิเล็กโทรโฟโกราฟีของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 4 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 33.2 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 10 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง

ตารางที่ ก.4 ผลการวิเคราะห์การนำส่งสารละลายไอโอเดต โดยมีตำแหน่งขั้วไฟฟ้าชนิดขบกระบะแบบจำลอง

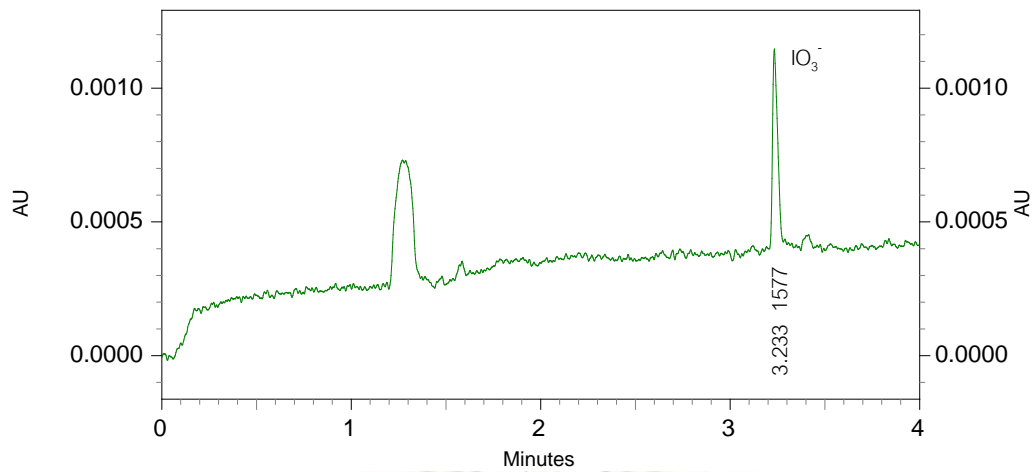
ความต่างศักย์ (V)	เวลาที่ใช้ในการนำส่ง (min)	ไมเกรชั่นไทม์ (min)	พื้นที่ใต้พีค	อัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคกับไมเกรชั่นไทม์ (corrected peak area)	ความเข้มข้น (mg/L)
24.5	1	3.200	685	214.1	7.397
	5	3.152	952	302.0	10.693
	10	3.110	1023	328.9	11.701
33.2	1	3.156	697	220.8	7.652
	5	3.235	1670	516.2	18.719
	10	3.252	2186	672.2	24.563



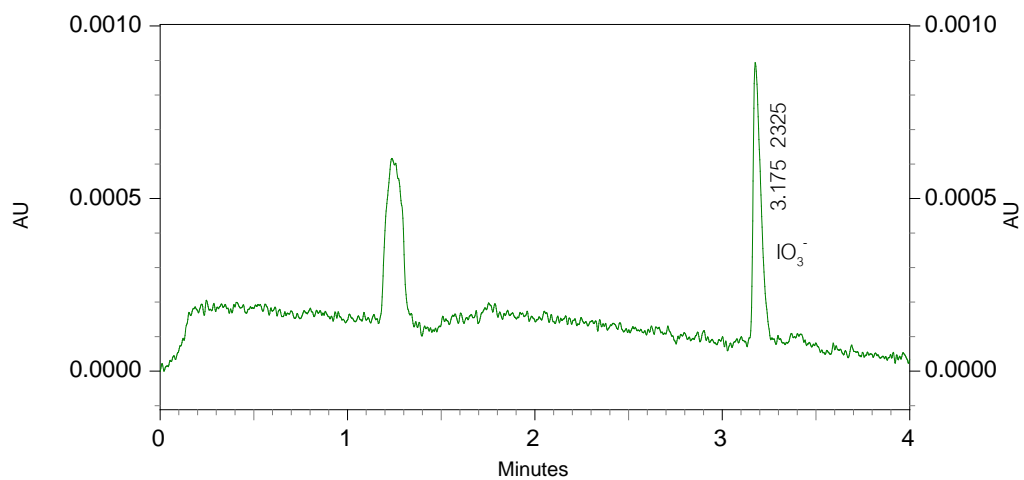
รูปที่ ก.23 อิเล็กโทรโฟรีแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 3 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 24.5 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 1 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขอบเปลือกไข่



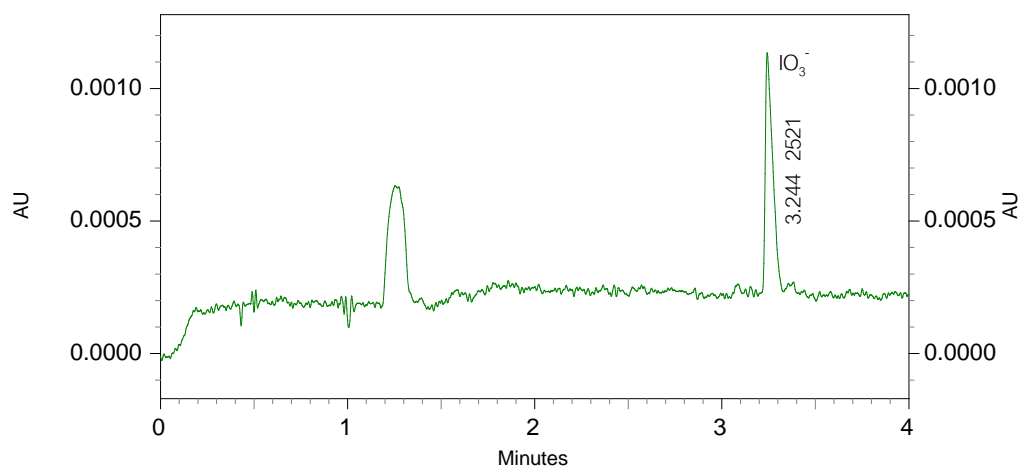
รูปที่ ก.24 อิเล็กโทรโฟรีแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 3 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 24.5 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 5 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขอบเปลือกไข่



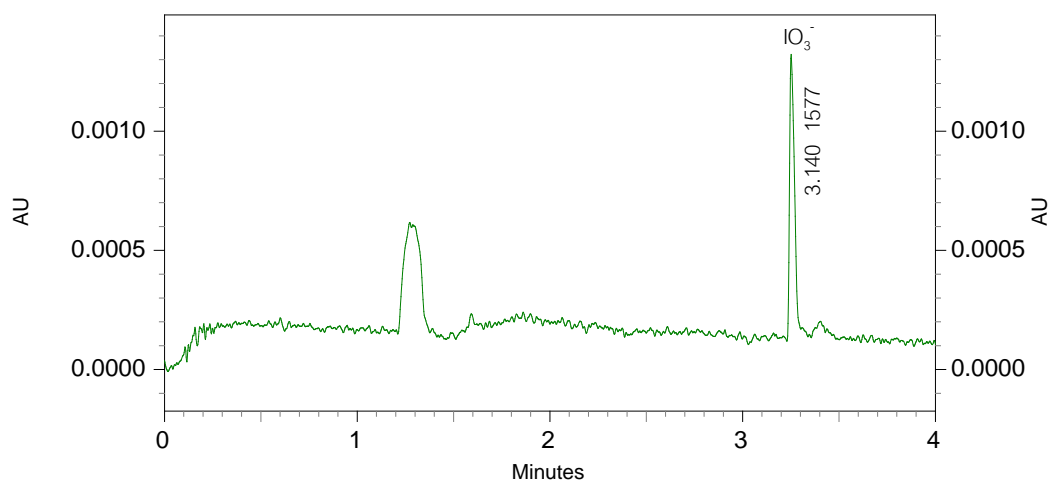
รูปที่ ก.25 อิเล็กโทรโกราแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 3 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 24.5 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 10 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขอบเปลือกไข่



รูปที่ ก.26 อิเล็กโทรโกราแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 4 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 33.2 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 1 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขอบเปลือกไข่



รูปที่ ก.27 อิเล็กโทรโฟโกราฟีโรแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 4 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 33.2 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 5 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขอบเปลือกไข่

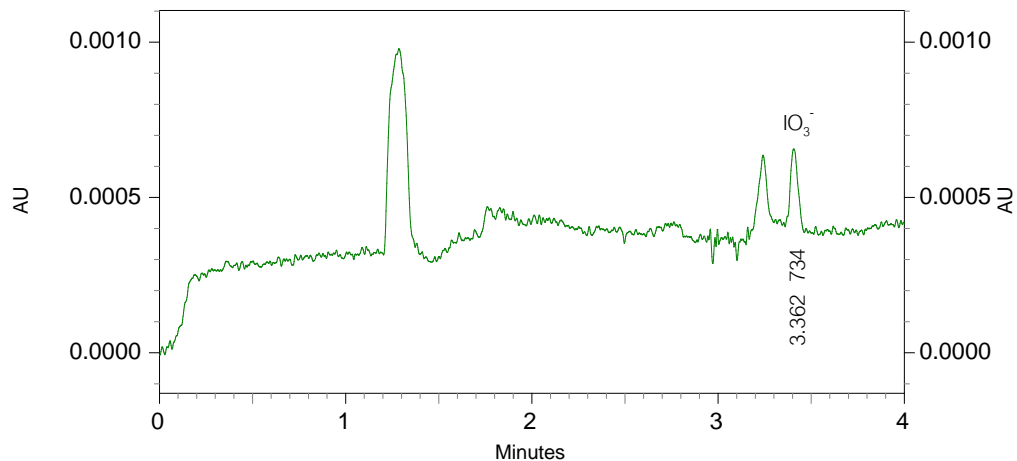


รูปที่ ก.29 อิเล็กโทรโฟโกราฟีโรแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 3 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 33.2 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 10 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขอบเปลือกไข่ (ทำการเจือจางเป็น 2 เท่า)

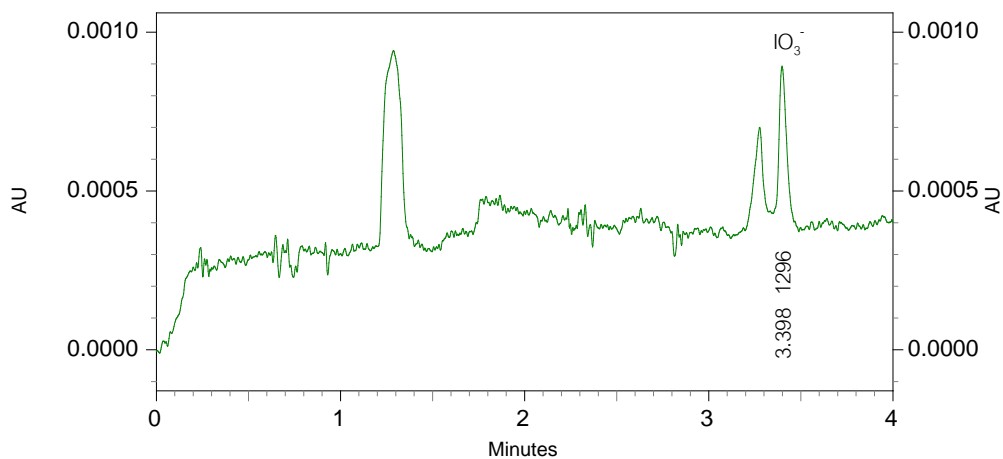
ตารางที่ ก.5 ผลการวิเคราะห์การนำส่งสารละลายไอโอเดต โดยมีตำแหน่งหัวไฟฟ้าชนิดขอบเปลือก
ไข่

ความต่างศักย์ (V)	เวลาที่ใช้ในการนำส่ง (min)	ไมเกรชั่นโทม (min)	พื้นที่ใต้พีค	อัตราส่วนของพื้นที่ใต้ พีคกับไมเกรชั่นโทม (corrected peak area)	ความเข้มข้น (mg/L)
24.5	1	3.235	1141	352.7	12.592
	5	3.210	1422	442.9	15.975
	10	3.233	1577	487.8	17.653
33.2	1	3.175	2325	732.3	26.814
	5	3.244	2521	777.1	28.494
	10	3.140	1577	502.2	18.194 (38.389)

ผลการทดลองวันที่ 7 ธันวาคม 2556

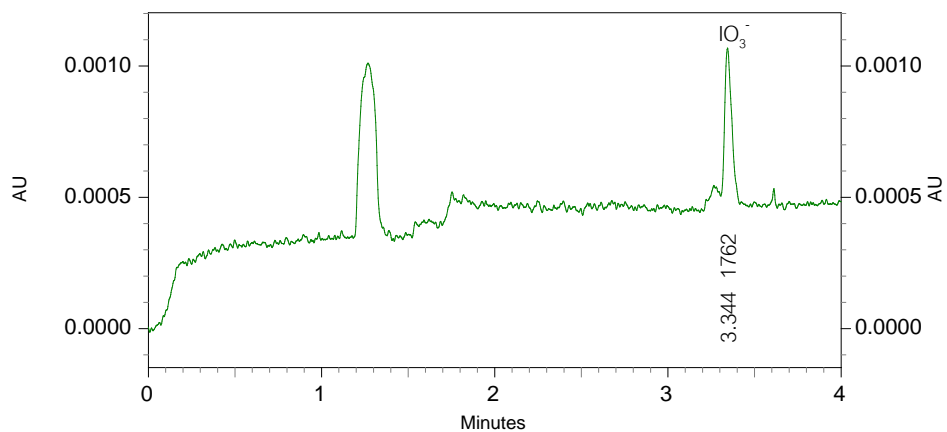


รูปที่ ก.30 อิเล็กโทรโฟรีแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 5 mg/L

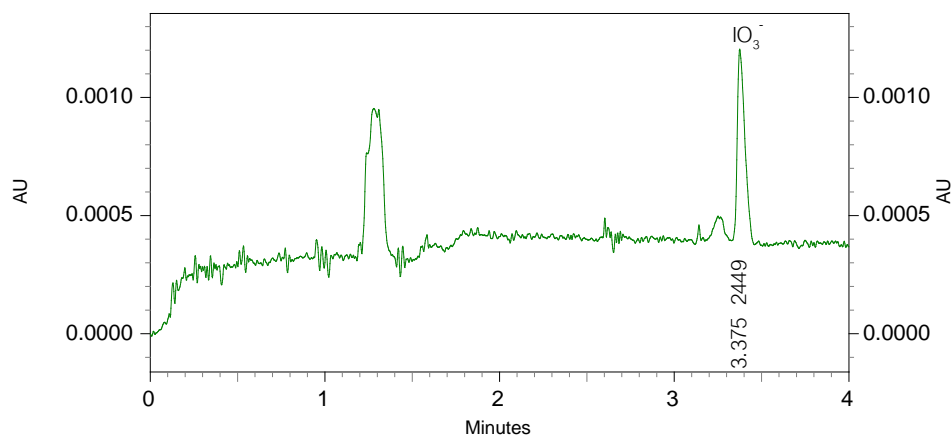


รูปที่ ก.31 อิเล็กโทรโฟรีแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 10 mg/L

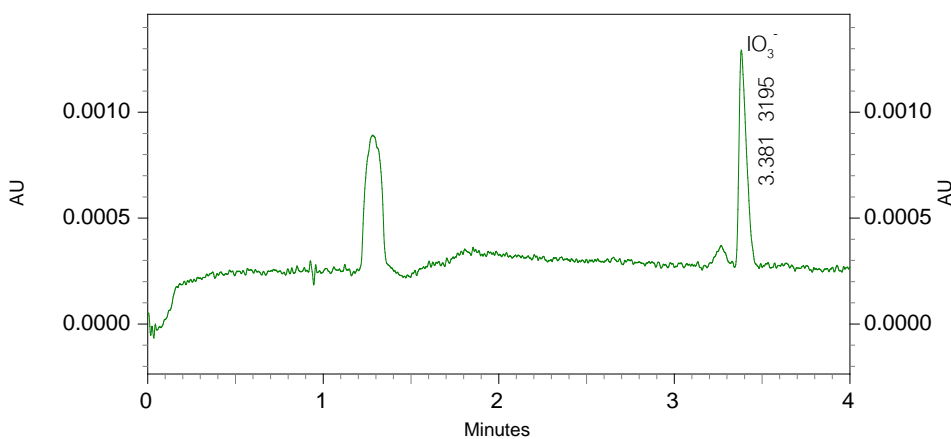
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



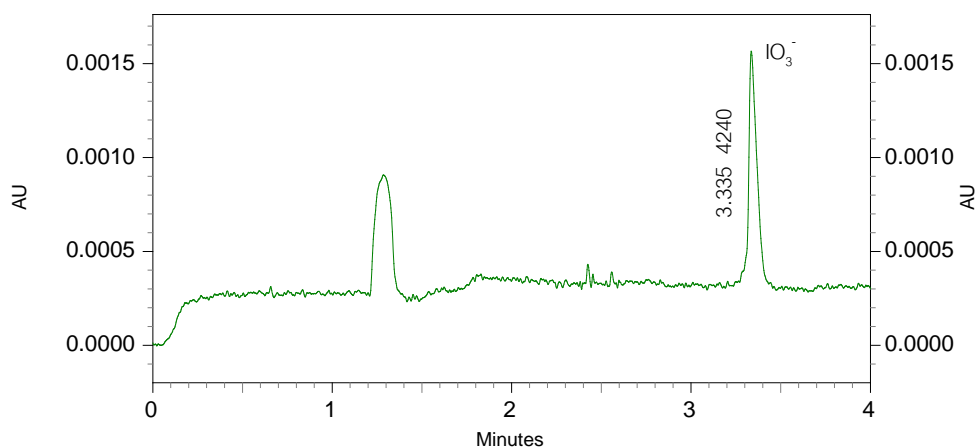
รูปที่ ก.32 อิเล็กโทรโกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 15 mg/L



รูปที่ ก.33 อิเล็กโทรโกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 20 mg/L



รูปที่ ก.34 อิเล็กโทรโกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 25 mg/L

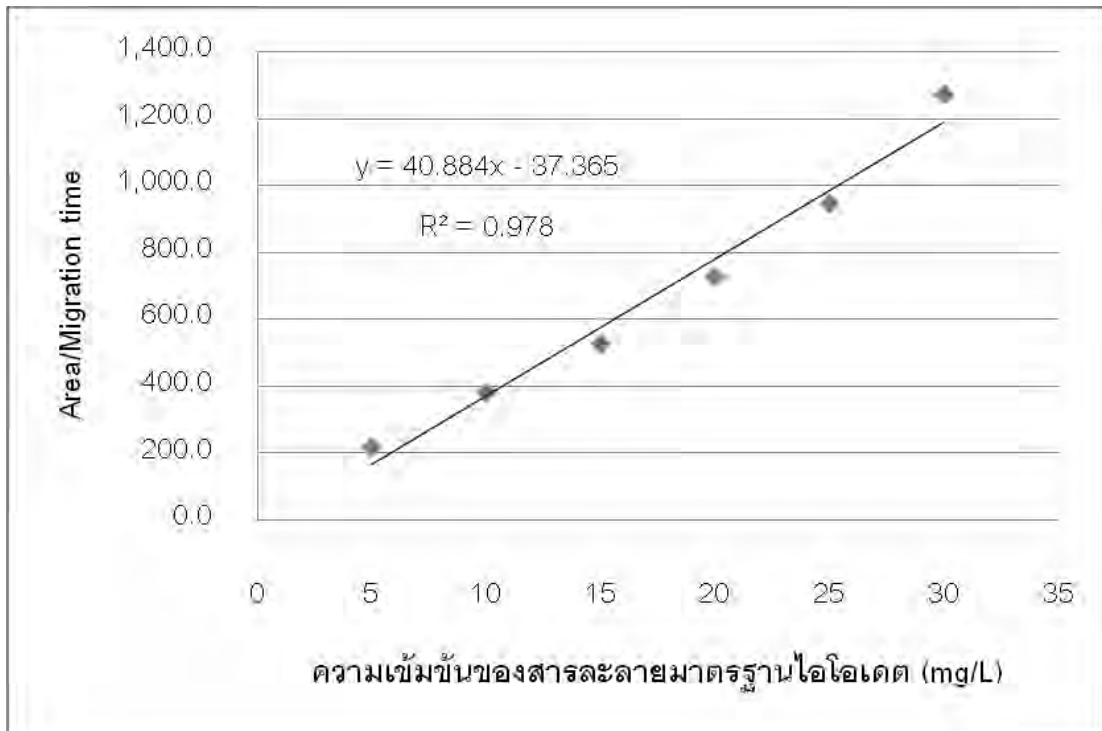


รูปที่ ก.35 อิเล็กโทรฟิโรแกรมของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตเข้มข้น 30 mg/L

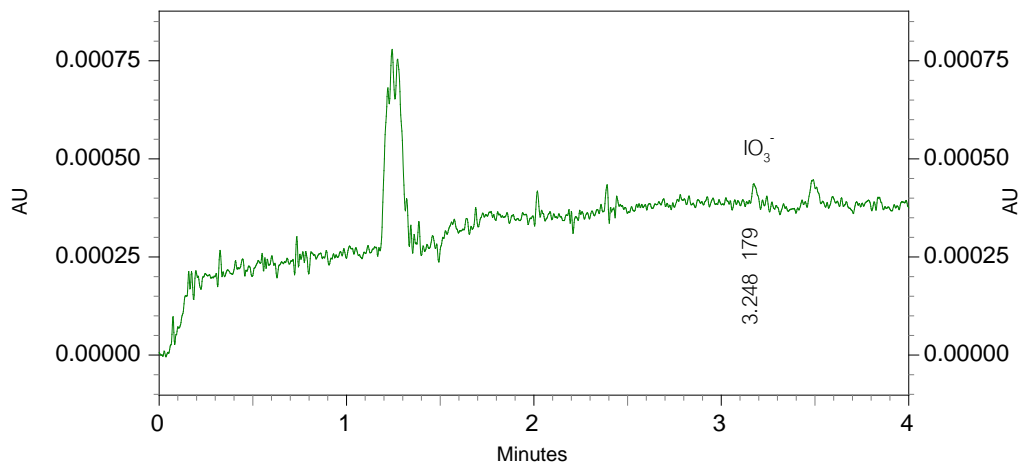
ตารางที่ ก.6 ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไอโอเดตที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (mg/L)	ไมเกรชันไทม์ (min)	พื้นที่ใต้พีค	อัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคกับไมเกรชันไทม์ (corrected peak area)
5	3.362	734	218.3
10	3.398	1296	381.4
15	3.344	1762	526.9
20	3.375	2449	725.6
25	3.381	3195	944.9
30	3.335	4240	1271.4

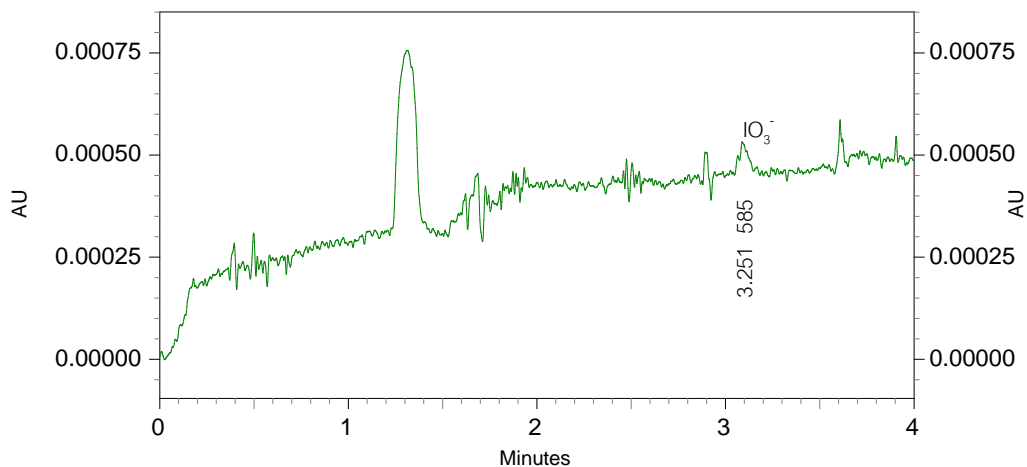
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



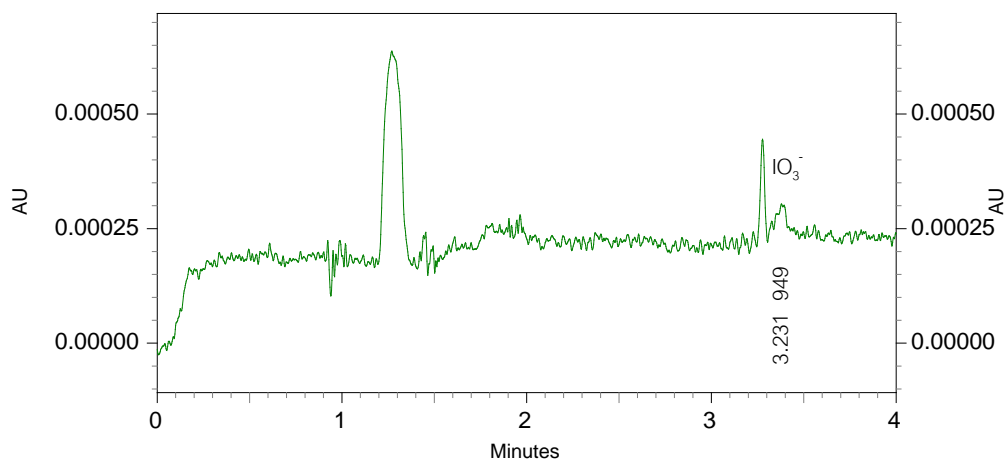
รูปที่ ก.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคกับไมเกรชันไทม์ (corrected peak area) กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอโอดีน (mg/L)



รูปที่ ก.37 อิเล็กโทรโฟเรแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำ ที่เบอร์ 1 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 24.5 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 1 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขอบเปลือกไข่



รูปที่ ก.38 อิเล็กโทรโครมโแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 1 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 24.5 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 5 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขอบเปลือกไข่



รูปที่ ก.38 อิเล็กโทรโครมโแกรมของการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เบอร์ 1 ซึ่งมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้ว 24.5 V ที่ระยะเวลาการนำส่ง 10 นาที และวางขั้วไฟฟ้าชนิดขอบเปลือกไข่

ตารางที่ ก.7 ผลการวิเคราะห์การนำส่งสารละลายไอโอเดต โดยมีตำแหน่งชั่วโมงไฟฟ้าขีดขอบเปลือก
ไข่

ความต่างศักย์ (V)	เวลาที่ใช้ในการนำส่ง (min)	ไมเกรชั่นไทม์ (min)	พื้นที่ใต้พีค	อัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีค กับไมเกรชั่นไทม์ (corrected peak area)	ความเข้มข้น (mg/L)
7.3	1	3.248	179	55.1	1.233
	5	3.251	585	149.3	1.913
	10	3.231	949	293.7	2.969

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นาย ยกฤตวัตร ธนศักดิ์โกศล เกิดเมื่อวันที่ 27 มีนาคม พ.ศ. 2534 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนกวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อปีการศึกษา 2552 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2553 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ คือ 438 ซอย บางบอน 5 ซ.18 แขวง บางบอน เขต บางบอน จ.กรุงเทพฯ 10150

นายณัฐภูศวัส สุนทรวิภาต เกิดเมื่อวันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2535 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สายสามัญ แผนกวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนเทพศิรินทร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อปีการศึกษา 2552 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2553 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้หลังจบปริญญาตรี คือ 748/23 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 35 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงคลองชักพระ เขตตลิ่งชัน กรุงเทพมหานคร 10170

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย