

การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มฟินอลในน้ำเสียโดยใช้เทคนิคการปิดลารีโอเลคโตรโฟรีซิส

หนังสืออ้างอิง
เฉพาะในห้องสมุด

วศชล ตามลี

23 เม.ย. 2546

163882

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

ตุลาคม 2545

ISBN 974-957-062-6

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์
ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

..... *ans* ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณี เทอดเทพพิทักษ์)

..... *สมศักดิ์ สิริไชย* กรรมการ

(ดร.สมศักดิ์ สิริไชย)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... *ans* ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณี เทอดเทพพิทักษ์)

..... *สมศักดิ์ สิริไชย* กรรมการ

(ดร.สมศักดิ์ สิริไชย)

..... *ธนิตา ประบุญเรือง* กรรมการ

(ดร.ธนิตา ประบุญเรือง)

..... *ชฎิพร พุฒนวล* กรรมการ

(ดร.ชฎิพร พุฒนวล)

..... *name* กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมถวิล จริตควร)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... *สม* คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)

วันที่ 25 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2545

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาให้คำปรึกษา และช่วยแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณี เทอดเทพพิทักษ์ ซึ่งเป็นประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และ ดร.สมศักดิ์ ศิริไชย กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้รับแนวทางในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้และประสบการณ์อย่างกว้างขวางในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ธนิศา ปะบุญเรือง ดร.ชุตีพร พุฒนวล และ ผศ.ดร.สมถวิล จริตควร คณะกรรมการสอบปากเปล่า ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

คุณประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดามารดาและครูอาจารย์ที่กรุณาอบรมสั่งสอนให้ความรู้และสิ่งดีงามแก่ผู้วิจัย

วสชล สามลี

41910573 : สาขาวิชา : เคมี : วท.ม. (เคมี)

คำสำคัญ : คาปิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิส / ฟีนอล / วิเคราะห์น้ำ / วิธีเตรียมตัวอย่าง / สกัดด้วยเฟสของแข็ง

วศชล สามสี : การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มฟีนอลในน้ำเสียโดยใช้เทคนิคคาปิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิส (DETERMINATION OF PHENOLS IN WASTE WATER BY CAPILLARY ELECTROPHORESIS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.อรุณี เทอดเทพพิทักษ์ Ph.D. (เคมีไฟฟ้า), ดร.สมศักดิ์ ศรีไชย Ph.D. (เคมีวิเคราะห์). 99 หน้า. ISBN 974-957-062-6

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีวิเคราะห์สารประกอบกลุ่มฟีนอล 10 ชนิด ได้แก่ เพนตะคลอโรฟีนอล, ฟีนอล, 2-คลอโรฟีนอล, 2-เมซิล-4,6-ไดไนโตรฟีนอล, 2-ไนโตรฟีนอล, 2,4-ไดคลอโรฟีนอล, 2-4-ไดไนโตรฟีนอล, 2,4,6-ไตรคลอโรฟีนอล, 4-คลอโร-3-เมซิลฟีนอล และ 4-ไนโตรฟีนอล โดยใช้เทคนิคคาปิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิส ตัวตรวจวัดชนิดยูวี พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารประกอบกลุ่มฟีนอลคือ สารละลายบัฟเฟอร์ไฮเดียมบอเรตความเข้มข้น 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 อุณหภูมิที่ใช้ในการแยก 35 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาปิลลารีด้วยความดัน 50 มิลลิบาร์นาน 10 วินาที และความแรงของสนามไฟฟ้า 294 โวลต์ต่อเซนติเมตร สามารถแยกสารกลุ่มฟีนอลได้ในเวลา 22 นาที ขีดจำกัดของการตรวจวัด (limit of detection) และขีดจำกัดของการวิเคราะห์ปริมาณ (limit of quantitation) ของสารกลุ่มฟีนอลอยู่ในช่วง 0.10 ถึง 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.25 ถึง 1.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ช่วงการเป็นเส้นตรง (linearity) อยู่ในช่วง 0.25 ถึง 20.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเที่ยงในเทอมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการวิเคราะห์สารประกอบกลุ่มฟีนอลของพื้นที่ผิวน้อยกว่า 6 ความสูงพีคน้อยกว่า 9 และไม่เกรชันไทม์น้อยกว่า 3

ทำการเตรียมตัวอย่างน้ำโดยผ่านเรซิน Amberite XAD-4 pH ของตัวอย่างน้ำที่เหมาะสมต้องปรับเป็น 2.0 จะด้วยอะซิไดไนต์ 5 มิลลิลิตร เมื่อนำวิธีนี้ไปประยุกต์หาสารประกอบกลุ่มฟีนอลจากน้ำเสียจากโรงงานผลิตเรซิน โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานกระดาษและฟาร์มไก่ พบฟีนอล, 2,4,6-ไตรคลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ความเข้มข้น 42.3 ± 2.9 , 44.8 ± 2.4 และ 49.2 ± 2.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

41910573 : MAJOR : CHEMISTRY : M.Sc : (CHEMISTRY)

KEYWORD : CAPILLARY ELECTROPHORESIS / PHENOL / WATER ANALYSIS /
SAMPLE PREPARATION / SOLID-PHASE EXTRACTION

MISS WASACHOL SAMSEE : DETERMINATION OF PHENOLS IN WASTE
WATER BY CAPILLARY ELECTROPHORESIS. THESIS ADVISORS : ARUNEE
THERDTEPPITAK Ph.D. (ELECTROCHEMISTRY) ., SOMSAK SIRICHAH Ph.D.
(ANALYTICAL CHEMISTRY). 99 P. ISBN 974-957-062-6

This thesis reported the determination of phenolic compounds namely :
pentachlorophenol, phenol, 2-chlorophenol, 2-methyl-4,6-dinitrophenol, 2-nitrophenol,
2,4-dichlorophenol 2,4,6-trichlorophenol, 4-chloro-3-methylphenol and 4-nitrophenol using
capillary electrophoresis in combination with UV detection. The study was focused on the
optimization of capillary electrophoresis systems. The optimized conditions for separation were
20 mM borate buffer at pH 9.6, temperature of separation 35 °C, injection for 10 seconds at 50.0
mbar, and electric field of 294 V/cm with analysis time of 22 minutes . Under the optimized
conditions, the limit of detection and the limit of quantitation were in the range of 0.10 to 0.38
mg/L, and 0.25 to 1.25 mg/L, respectively. The linearity for all phenolic compounds was in the
range of 0.25 to 20.00 mg/L. The relative standard deviations of repeatability were less than 6 for
peak area, 9 for peak height, and 3 for migration time.

For sample preparation, resin as an Amberlite XAD-4 was used to concentrate the
phenolic compounds. It was found that pH 2.0 and 5 mL of acetonitrile contributed to were
optimized conditions. The method was applied to determine the phenolic compounds in waste
water discharged from a resin industry, an oil refinery, a paper mill and a chicken farm. Only
phenolic phenol, 2,4,6-trichlorophenol, and 2,4-dichlorophenol were detected having the
concentration of $42.3 \pm 2.9 \mu\text{g/L}$, $44.8 \pm 2.4 \mu\text{g/L}$, and $49.2 \pm 2.1 \mu\text{g/L}$, respectively.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	
 บทที่	
1 บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
ขอบเขตของการศึกษา.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎีเทคนิคการปิดลารีโอเลคโตรโฟรีซิส.....	5
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
3 อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการ.....	21
อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	21
สารเคมี.....	21
วิธีดำเนินการ.....	23
การเตรียมสารเคมี.....	23
การหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์โดยเทคนิคการปิดลารีโอเลคโตรโฟรีซิส.....	30
การหาความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ (method validation).....	31
การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างน้ำโดย solid-phase extraction (SPE).....	32
การวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลในตัวอย่างน้ำ.....	34

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลอง.....	38
ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์โดยเทคนิคการเปิดลารี	
อิเล็กโทรโฟรีซิส.....	38
ผลการศึกษาความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์.....	49
ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างน้ำโดย	
solid-phase extraction (SPE).....	55
ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลในตัวอย่างน้ำโดยใช้กราฟมาตรฐาน....	59
5 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง.....	63
บรรณานุกรม.....	70
ภาคผนวก.....	74
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	99

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ของสารละลายกลุ่มฟีนอล.....	23
2 ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลแต่ละตัวในเมธานอลในช่วงความเข้มข้นต่าง ๆ	28
3 ความเข้มข้นของสารละลายฟีนอลแต่ละตัวในน้ำในช่วงความเข้มข้นต่าง ๆ	29
4 ขีดจำกัดของการตรวจวัดของสารกลุ่มฟีนอล ($n=5$).....	49
5 ขีดจำกัดของการวิเคราะห์ปริมาณของสารกลุ่มฟีนอล ($n=5$).....	50
6 กราฟมาตรฐานของสารกลุ่มฟีนอล ($n=5$).....	50
7 ช่วงการเป็นเส้นตรงของสารกลุ่มฟีนอล ($n=5$).....	51
8 ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ฟิค ความสูงฟิคและไมเกรชันไทม์ ของสารมาตรฐานผสมฟีนอล ความเข้มข้นช่วง 2.99 – 15.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ($n=10$).....	52
9 ความเที่ยงของพื้นที่ฟิค ความสูงฟิคและไมเกรชันไทม์ ($n=10$).....	53
10 ความแม่นยำในเทอมค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ($n=10$).....	54
11 ร้อยละการกลับคืนของสารละลายผสมฟีนอลที่ pH 2.0 และ 5.0 ($n=3$).....	55
12 ร้อยละการกลับคืนที่ชะด้วยเมธานอลและอะซิโตนไตร์ ($n=3$).....	56
13 ร้อยละการกลับคืนของสารละลายผสมฟีนอล ความเข้มข้นช่วง 0.05 – 0.25, 0.10 – 0.50 และ 0.15 – 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ($n=3$).....	57
14 ค่า F-test ของการชะด้วยเมธานอลและอะซิโตนไตร์.....	58
15 ค่า t-test ของการชะด้วยเมธานอลและอะซิโตนไตร์.....	59
16 ปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่าง ๆ	62
17 แสดงสถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารกลุ่มฟีนอลโดยวิธีคาปิลลารี อิเล็กโทรโฟรีซิส.....	67
18 ไมเกรชันไทม์ของสารผสมฟีนอลที่ pH ต่าง ๆ สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียม บอเรต 15 มิลลิโมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่าง เข้าคาปิลลารีนาน 1 วินาที ($n=5$).....	75
19 ค่าการแยกของสารผสมฟีนอลที่ pH ต่าง ๆ สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียม บอเรต 15 มิลลิโมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่าง เข้าคาปิลลารีนาน 1 วินาที ($n=5$).....	75

ตารางที่

หน้า

20	ความสูงพีคของสารผสมพีนอลที่ pH ต่าง ๆ สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 15 มิลลิโมลต่อลิตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารีนาน 1 วินาที ($n=5$).....	76
21	ไมเกรชันใหม่ของสารผสมพีนอลที่ความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรตต่าง ๆ pH 9.6 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารีนาน 1 วินาที ($n=5$)	76
22	ค่าการแยกของสารผสมพีนอลที่ความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรตต่าง ๆ pH 9.6 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารีนาน 1 วินาที ($n=5$)	77
23	ความสูงพีคของสารผสมพีนอลที่ความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรตต่าง ๆ pH 9.6 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารีนาน 1 วินาที ($n=5$)	77
24	อัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่ได้ต่อสัญญาณรบกวน (S/N) ของความสูงพีคของสารผสมพีนอลที่ความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 15 และ 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารีนาน 1 วินาที ($n=5$).....	78
25	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต pH 9.6 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารีนาน 1 วินาที	78
26	ไมเกรชันใหม่ของสารผสมพีนอลที่อุณหภูมิต่าง ๆ สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 นำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารีนาน 1 วินาที ($n=5$)	79
27	ค่าการแยกของสารผสมพีนอลที่อุณหภูมิต่าง ๆ สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 นำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารีนาน 1 วินาที ($n=5$).....	79
28	ความสูงพีคของสารผสมพีนอลที่อุณหภูมิต่าง ๆ สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 นำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารีนาน 1 วินาที ($n=5$).....	80

29	ไมเกรชันไทม์ของสารผสมฟีนอลเมื่อนำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารี่ด้วยเวลาต่าง ๆ สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (n=5)	80
30	ค่าการแยกของสารผสมฟีนอลเมื่อนำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารี่ด้วยเวลาต่าง ๆ สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (n=5).....	81
31	ความสูงพีคของสารผสมฟีนอลเมื่อนำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารี่ด้วยเวลาต่าง ๆ สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (n=5).....	81
32	ไมเกรชันไทม์ของสารผสมฟีนอลเมื่อนำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารี่ที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้เทคนิค stacking สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (n=5).....	82
33	ค่าการแยกของสารผสมฟีนอลเมื่อนำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารี่ที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้เทคนิค stacking สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (n=5).....	82
34	ความสูงพีคของสารผสมฟีนอลเมื่อนำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารี่ที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้เทคนิค stacking สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (n=5)	83
35	ไมเกรชันไทม์ของสารผสมฟีนอลที่เปอร์เซ็นต์ตัวทำละลายอินทรีย์ค่าต่าง ๆ สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารี่นาน 10 วินาที (n=5).....	83
36	ค่าการแยกของสารผสมฟีนอลที่เปอร์เซ็นต์ตัวทำละลายอินทรีย์ค่าต่าง ๆ สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารี่นาน 10 วินาที (n=5).....	84
37	ความสูงพีคของสารผสมฟีนอลที่เปอร์เซ็นต์ตัวทำละลายอินทรีย์ค่าต่าง ๆ สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาลิบลารี่นาน 10 วินาที (n=5).....	84
38	ค่าพื้นที่พีคของสารละลายมาตรฐาน phenol และ 4-chloro-3-methylphenol ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	85

ตารางที่

หน้า

39	ค่าพื้นที่พิษของสารละลายมาตรฐาน pentachlorophenol และ 2,4,6-trichlorophenol ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	85
40	ค่าพื้นที่พิษของสารละลายมาตรฐาน 2,4-dichlorophenol และ 2-methyl-4,6-dinitrophenol ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	86
41	ค่าพื้นที่พิษของสารละลายมาตรฐาน 2-chlorophenol และ 2,4-dinitrophenol ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	86
42	ค่าพื้นที่พิษของสารละลายมาตรฐาน 4-nitrophenol และ 2-nitrophenol ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	87

สารบัญภาพ

ภาพที่

หน้า

1	สูตรโครงสร้างและค่า pK_a ของสารกลุ่มฟีนอล.....	4
2	อุปกรณ์พื้นฐานของเทคนิคคาปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส.....	5
3	โครงสร้างคัปเปิลเลอร์.....	7
4	ก) ลักษณะการเคลื่อนที่แบบ electroosmotic flow ในคาปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส ข) ลักษณะการเคลื่อนที่แบบ lamimar ในแก๊สโครมาโทกราฟีและไฮเพอร์ ฟอร์มานซ์ลิกควิดโครมาโทกราฟี.....	8
5	การเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่มีประจุบวก, ประจุลบ และ โมเลกุลที่เป็นกลาง ในคาปิลลารีภายใต้อิทธิพลสนามไฟฟ้า.....	10
6	การนำสารตัวอย่างเข้าคาปิลลารีของเทคนิคคาปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส ก) โดยใช้ความดัน ข) โดยใช้ความแตกต่างของระดับ ค) โดยใช้ศักย์ไฟฟ้า.....	14
7	เครื่องมือการสกัดแบบ solid-phase extraction.....	35
8	ผลของ pH ของสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรตต่ออิเล็กโทรเฟอร์โรแกรม ของสารกลุ่มฟีนอล สภาวะของการทดลองคือสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 15 มิลลิโมลต่อลิตร ความยาวของคาปิลลารี 68.0 เซนติเมตร ความยาวของ คาปิลลารีที่ใช้ในการแยก 59.5 เซนติเมตร ความแรงของสนามไฟฟ้า 294 โวลต์ต่อเซนติเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาปิลลารีด้วย ความดัน 50 มิลลิบาร์ นาน 1 วินาที ตรวจวัดสัญญาณที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ความกว้างของช่องแสง 20 นาโนเมตร A=Phenol B=4-chloro-3-methylphenol C=Pentachlorophenol D=2,4,6-trichlorophenol E=2,4-dichlorophenol F=2-methyl-4,6-dinitrophenol G=2-chlorophenol H=2,4-dinitrophenol I=4-nitrophenol J=2-nitrophenol ความเข้มข้นช่วง 24.95 – 125.05 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	39

- 9 ผลของความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรตต่ออิเล็กโทร
เฟอร์โรแกรมของสารกลุ่มฟีนอล สภาพะของการทดลองคือสารละลาย
บัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต pH 9.6 ความยาวของคาปิลลารี 68.0 เซนติเมตร
ความยาวของคาปิลลารีที่ใช้ในการแยก 59.5 เซนติเมตร ความแรงของ
สนามไฟฟ้า 294 โวลต์ต่อเซนติเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
นำสารตัวอย่างเข้าคาปิลลารีด้วยความดัน 50 มิลลิบาร์นาน 1 วินาที
ตรวจวัดสัญญาณที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ความกว้างของช่องแสง
20 นาโนเมตร A=Phenol B=4-chloro-3-methylphenol C=Pentachlorophenol
D=2,4,6-trichlorophenol E=2,4-dichlorophenol F=2-methyl-4,6-dinitrophenol
G=2-chlorophenol H=2,4-dinitrophenol I=4-nitrophenol J=2-nitrophenol
ความเข้มข้นช่วง 24.95 – 125.05 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 40
- 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S/N ของความสูงพีคกับความเข้มข้นของสารละลาย
บัฟเฟอร์โซเดียมบอเรตที่ 15 และ 20 มิลลิโมลต่อลิตร..... 41
- 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของสารละลาย
บัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต..... 41
- 12 ผลของอุณหภูมิต่ออิเล็กโทรเฟอร์โรแกรมของสารกลุ่มฟีนอล สภาพะของการ
ทดลองคือสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6
ความยาวของคาปิลลารี 68.0 เซนติเมตร ความยาวของคาปิลลารีที่ใช้ใน
การแยก 59.5 เซนติเมตร ความแรงของสนามไฟฟ้า 294 โวลต์ต่อเซนติเมตร
นำสารตัวอย่างเข้าคาปิลลารีด้วยความดัน 50 มิลลิบาร์ นาน 1 วินาที ตรวจวัด
สัญญาณที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ความกว้างของช่องแสง 20 นาโนเมตร
A=Phenol B=4-chloro-3-methylphenol C=Pentachlorophenol
D=2,4,6-trichlorophenol E=2,4-dichlorophenol F=2-methyl-4,6-dinitrophenol
G=2-chlorophenol H=2,4-dinitrophenol I=4-nitrophenol J=2-nitrophenol
ความเข้มข้นช่วง 24.95 – 125.05 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 42

- 13 ผลของเวลาในการนำสารตัวอย่างเข้าคาปิลลารีต่ออิเล็กโทรเฟอโรแกรมของสารกลุ่มฟีนอล สภาวะของการทดลองคือสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 ความยาวของคาปิลลารี 68.0 เซนติเมตร ความยาวของคาปิลลารีที่ใช้ในการแยก 59.5 เซนติเมตร ความแรงของสนามไฟฟ้า 294 โวลต์ต่อเซนติเมตร อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาปิลลารีด้วยความดัน 50 มิลลิบาร์ ตรวจวัดสัญญาณที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ความกว้างของช่องแสง 20 นาโนเมตร A=Phenol B=4-chloro-3-methylphenol C=Pentachlorophenol D=2,4,6-trichlorophenol E=2,4-dichlorophenol F=2-methyl-4,6-dinitrophenol G=2-chlorophenol H=2,4-dinitrophenol I=4-nitrophenol J=2-nitrophenol ความเข้มข้นช่วง 1.00 – 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.... 44
- 14 ผลของการใช้เทคนิค stacking ในการเพิ่มสภาพไวต่ออิเล็กโทรเฟอโรแกรมของสารกลุ่มฟีนอล สภาวะของการทดลองคือสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 ความยาวของคาปิลลารี 68.0 เซนติเมตร ความยาวของคาปิลลารีที่ใช้ในการแยก 59.5 เซนติเมตร ความแรงของสนามไฟฟ้า 294 โวลต์ต่อเซนติเมตร อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาปิลลารีด้วยความดัน 50 มิลลิบาร์ ตรวจวัดสัญญาณที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ความกว้างของช่องแสง 20 นาโนเมตร A=Phenol B=4-chloro-3-methylphenol C=Pentachlorophenol D=2,4,6-trichlorophenol E=2,4-dichlorophenol F=2-methyl-4,6-dinitrophenol G=2-chlorophenol H=2,4-dinitrophenol I=4-nitrophenol J=2-nitrophenol ความเข้มข้นช่วง 1.00 – 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.... 45
- 15 ความสูงพีคของสารกลุ่มฟีนอลเมื่อนำสารตัวอย่างเข้าคาปิลลารีที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้เทคนิค stacking 46
- 16 ผลของอะซิโตนในสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรตต่ออิเล็กโทรเฟอโรแกรมของสารกลุ่มฟีนอล สภาวะของการทดลองคือสารละลายบัฟเฟอร์ประกอบไปด้วยโซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 ที่เปอร์เซ็นต์อะซิโตนใน 0, 10 และ 30 ความยาวของคาปิลลารี 68.0 เซนติเมตร ความยาวของคาปิลลารีที่ใช้ในการแยก 59.5 เซนติเมตร ความแรงของสนามไฟฟ้า 294 โวลต์ต่อเซนติเมตร อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาปิลลารีด้วยความดัน 50 มิลลิบาร์ นาน 10 วินาที ตรวจวัดสัญญาณที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร

- ความกว้างของช่องแสง 20 นาโนเมตร A=Phenol B=4-chloro-3-methylphenol
C=Pentachlorophenol D=2,4,6-trichlorophenol E=2,4-dichlorophenol
F=2-methyl-4,6-dinitrophenol G=2-chlorophenol H=2,4-dinitrophenol
I=4-nitrophenol J=2-nitrophenol ความเข้มข้นช่วง 1.00 – 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.... 47
- 17 ผลของเมธานอลในสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรตต่ออิเล็กโทรเฟอร์โรแกรม
ของสารกลุ่มฟีนอล ศึกษาของการทดลองคือสารละลายบัฟเฟอร์ประกอบด้วย
โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร pH 9.6 ที่เปอร์เซ็นต์เมธานอล 0, 10 และ 30
ความยาวของคาบิลลารี 68.0 เซนติเมตร ความยาวของคาบิลลารีที่ใช้ในการแยก
59.5 เซนติเมตร ความแรงของสนามไฟฟ้า 294 โวลต์ต่อเซนติเมตร อุณหภูมิ 35
องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาบิลลารีด้วยความดัน 50 มิลลิบาร์ นาน 10
วินาที ตรวจวัดสัญญาณที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร ความกว้างของช่องแสง
20 นาโนเมตร A=Phenol B=4-chloro-3-methylphenol C=Pentachlorophenol
D=2,4,6-trichlorophenol E=2,4-dichlorophenol F=2-methyl-4,6-dinitrophenol
G=2-chlorophenol H=2,4-dinitrophenol I=4-nitrophenol J=2-nitrophenol
ความเข้มข้นช่วง 1.00 – 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 48
- 18 ก) อิเล็กโทรเฟอร์โรแกรมของตัวอย่างน้ำจากโรงงานผลิตเรซิน
ข) อิเล็กโทรเฟอร์โรแกรมของตัวอย่างน้ำจากโรงงานผลิตเรซินเติมฟีนอล
ศึกษาของการทดลองคือสารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร
pH 9.6 ความยาวของคาบิลลารี 68.0 เซนติเมตร ความยาวของคาบิลลารีที่ใช้ใน
การแยก 59.5 เซนติเมตร ความแรงของสนามไฟฟ้า 294 โวลต์ต่อเซนติเมตร
อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาบิลลารีด้วยความดัน 50
มิลลิบาร์ นาน 10 วินาที ตรวจวัดสัญญาณที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร
ความกว้างของช่องแสง 20 นาโนเมตร..... 60

19	ก) อิเลคโทรเฟอโรแกรมของตัวอย่างน้ำจากฟาร์มไก่	
	ข) อิเลคโทรเฟอโรแกรมของตัวอย่างน้ำจากฟาร์มไก่เติมสารละลาย	
	มาตรฐานผสมฟีนอล	
	สถานะของการทดลองคือสารละลายบัฟเฟอร์ไฮเดียมบอเรต 20 มิลลิโมลต่อลิตร	
	pH 9.6 ความยาวของคาบิลลารี 68.0 เซนติเมตร ความยาวของคาบิลลารีที่ใช้ใน	
	การแยก 59.5 เซนติเมตร ความแรงของสนามไฟฟ้า 294 โวลต์ต่อเซนติเมตร	
	อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นำสารตัวอย่างเข้าคาบิลลารีด้วยความดัน 50	
	มิลลิบาร์ นาน 10 วินาที ตรวจวัดสัญญาณที่ความยาวคลื่น 200 นาโนเมตร	
	ความกว้างของช่องแสง 20 นาโนเมตร	61
20	กราฟมาตรฐานของสารละลาย Phenol.....	88
21	กราฟมาตรฐานของสารละลาย 4-chloro-3-methylphenol.....	88
22	กราฟมาตรฐานของสารละลาย Pentachlorophenol	89
23	กราฟมาตรฐานของสารละลาย 2,4,6-trichlorophenol	89
24	กราฟมาตรฐานของสารละลาย 2,4-dichlorophenol	90
25	กราฟมาตรฐานของสารละลาย 2-methyl-4,6-dinitrophenol	90
26	กราฟมาตรฐานของสารละลาย 2-chlorophenol	91
27	กราฟมาตรฐานของสารละลาย 2,4-dinitrophenol	91
28	กราฟมาตรฐานของสารละลาย 4-nitrophenol	92
29	กราฟมาตรฐานของสารละลาย 2-nitrophenol	92
30	ก) สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำจากโรงงานผลิตเรซิน	
	ข) สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำจากโรงงานผลิตเรซินเติมฟีนอล.....	93
31	อิเลคโทรเฟอโรแกรมแสดงขีดจำกัดของการตรวจวัดของ Phenol	
	ที่ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	94
32	อิเลคโทรเฟอโรแกรมแสดงขีดจำกัดของการตรวจวัดของ 4-chloro-3-	
	methylphenol ที่ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	94

33	อิเล็กโทรเฟอร์โรแกรมแสดงขีดจำกัดของการตรวจวัดของ Pentachlorophenol ที่ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	95
34	อิเล็กโทรเฟอร์โรแกรมแสดงขีดจำกัดของการตรวจวัดของ 2,4,6-trichlorophenol ที่ความเข้มข้น 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร	95
35	อิเล็กโทรเฟอร์โรแกรมแสดงขีดจำกัดของการตรวจวัดของ 2,4-dichlorophenol ที่ความเข้มข้น 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร	96
36	อิเล็กโทรเฟอร์โรแกรมแสดงขีดจำกัดของการตรวจวัดของ 2-methyl-4,6-dinitrophenol ที่ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	96
37	อิเล็กโทรเฟอร์โรแกรมแสดงขีดจำกัดของการตรวจวัดของ 2-chlorophenol ที่ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2,4-dinitrophenol ที่ความเข้มข้น 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร	97
38	อิเล็กโทรเฟอร์โรแกรมแสดงขีดจำกัดของการตรวจวัดของ 4-nitrophenol ที่ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	97
39	อิเล็กโทรเฟอร์โรแกรมแสดงขีดจำกัดของการตรวจวัดของ 2-nitrophenol ที่ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร	98