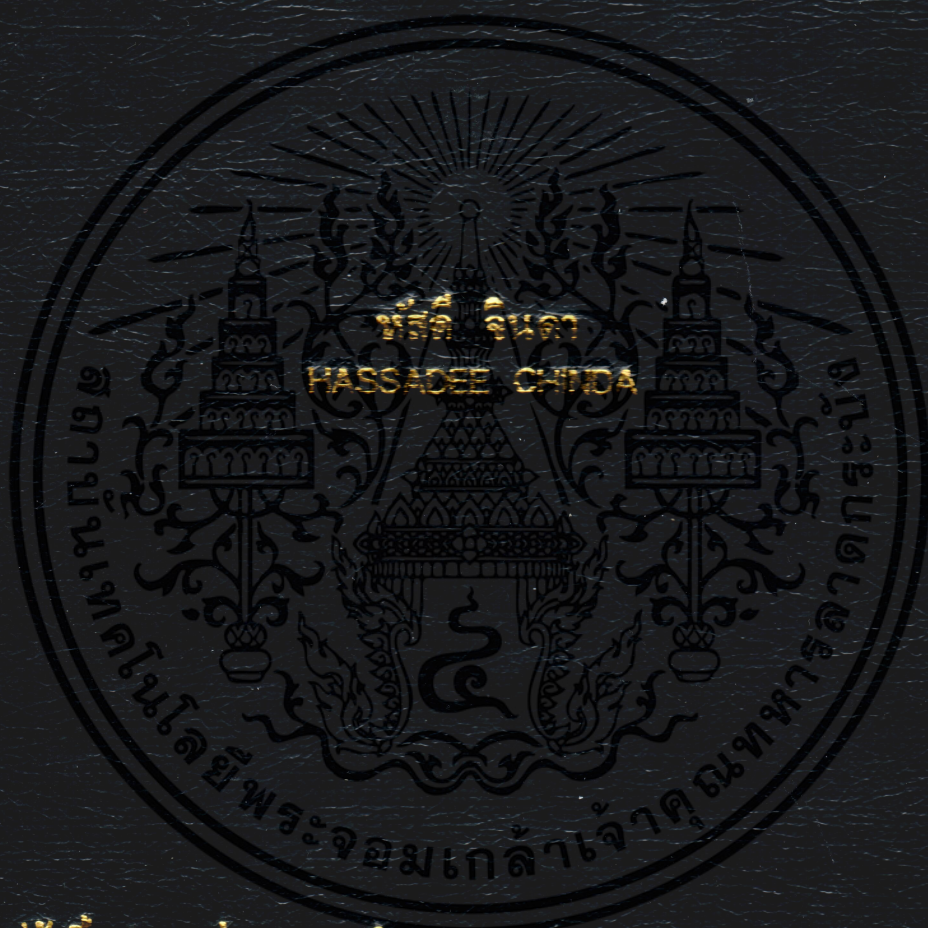


การพัฒนาขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรตชนิดเยื่อพอลิเมอร์

DEVELOPMENT OF POLYMERIC MEMBRANE
NITRATE ION SELECTIVE ELECTRODES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการศึกษาศาสตร์ (เคมี)

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-838-5

การพัฒนาขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์

DEVELOPMENT OF POLYMERIC MEMBRANE
NITRATE ION SELECTIVE ELECTRODES



หัสดี จินดา
HASSADEE CHINDA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ (เคมี)

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 36291

ISBN 974-622-898-6

วัน, เดือน, ปี 7 ส.ค. 2543

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF POLYMERIC MEMBRANE
NITRATE ION SELECTIVE ELECTRODES



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN SCIENCE EDUCATION
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

ISBN 974-622-898-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2000

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์
DEVELOPMENT OF POLYMERIC MEMBRANE NITRATE ION
SELECTIVE ELECTRODES

ชื่อนักศึกษา นายหัสดี จินดา

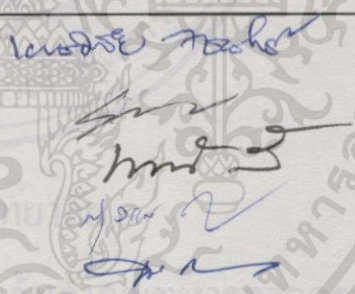
รหัสประจำตัว 38063217

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา การศึกษาวิทยาศาสตร์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เพ็ญชัย ไชยสิทธิ์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.เพ็ญชัย	ไชยสิทธิ์	
รศ.ดร.รวีวรรณ	ชินะตระกูล	
ผศ.ดร.พรรณี	ลิกิจวัฒน์	
ผศ.ดร.สุวรรณ	ไชยสิทธิ์	
รศ.อรุณี	กองศักดิ์ไพศาล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 31 พฤษภาคม 2543 เวลา 15.30 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้องสมาคมศิษย์เก่าบัณฑิตศึกษาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....19.....เดือน.....สิงหาคม.....พ.ศ.....2543.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาชีวไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์

นักศึกษา

นายหัสดี จินดา

รหัสประจำตัว

38063217

ปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา

การศึกษาวิทยาศาสตร์ (เคมี)

พ.ศ.

2543

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.เผชญชัย ไชยสิทธิ์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ผศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาชีวไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิไวนิลคลอไรด์ โดยศึกษาผลของชนิดพลาสติกไซเซอร์, และการใช้กระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรงที่มีต่อ ค่าเวลาในการตอบสนอง, ความชัน, ความเข้มข้นต่ำสุดของไอออนที่วัดได้, ช่วงความเป็นกรดเบสที่วัดได้, ค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะไอออน และอายุการใช้งานของชีวไฟฟ้า

พบว่าชีวไฟฟ้าที่ใช้ 2-Nitrophenyloctyl ether (2-NPOE) เป็นพลาสติกไซเซอร์ และใช้กระดาษกรองเบอร์ 93 ของ Whatman เป็นตัวเสริมแรง เป็นชีวที่ดีที่สุด คือ ค่าเวลาในการตอบสนอง 75 วินาที, ค่าความชัน -59.9 mV/decade , ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของไอออนที่วัดได้ $2.9 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$, ช่วงความเป็นกรด เบสที่วัดได้คือ 3.3-9.0, ลำดับของค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะไอออนที่รบกวนเป็นดังนี้ ไอโอไดด์ > คลอไรด์, ไชยาไนต์ > ฟลูออไรด์ และมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 สัปดาห์

Thesis Title	Development of Polymeric Membrane Nitrate Ion Selective Electrodes
Student	Mr.Hassadee Chinda
Student ID	38063217
Degree	Master of Science
Programme	Science Education (Chemistry)
Year	2000
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Pachernchai Chaiyasith
Thesis Co-Advisor	Asst.Prof.Dr.Suwan Chaiyasith

ABSTRACT

The objective of this research is to study the development of polyvinyl chloride membrane nitrate ion selective electrodes.

The study is focused on the effects of plasticizers types, and the use of supported filter paper which affects the response time, the slope, the detection limit, the pH range, the selectivity coefficient, and application period of electrodes.

The study reveals that the electrode with 2-nitrophenyloctyl ether (2-NPOE) and supported by Whatman filter paper number 93 is the best electrode. That is, the response time is 75 seconds, the slope is -59.9 mV/decade, the detection limit is 2.9×10^{-5} mol/l, the pH range is 3.3-9.0, the selectivity coefficients are as follows: iodide>chloride, cyanide> fluoride, and the application period is longer than 10 weeks.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 นิยามศัพท์.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 โฟเทนชิโอเมทรี.....	5
2.1.1 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง.....	8
2.1.1.1 ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์.....	8
2.1.2 ขั้วไฟฟ้าใช้งาน.....	8
2.1.2.1 ขั้วไฟฟ้าเยื่อของเหลว.....	8
2.1.3 เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า.....	9
2.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะ.....	10
2.1.5 เวลาการตอบสนอง.....	14
2.1.6 ระดับความเข้มข้นต่ำสุดของสารละลายที่สามารถตรวจวัดได้.....	14
2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรท.....	15
2.2.1 วิธีสร้างกราฟมาตรฐาน.....	15
2.2.2 วิธีเติมสารมาตรฐาน.....	16

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 ไนเตรท.....	18
2.3.1 แหล่งที่พบ.....	18
2.3.2 ความเป็นไปในสิ่งแวดล้อมของไนเตรท.....	19
2.3.3 ความเข้มข้นของไนเตรทในสิ่งแวดล้อม.....	19
2.3.4 โทษของไนเตรทที่มีต่อสิ่งมีชีวิต.....	20
2.3.5 ข้อเสนอแนะและมาตรการทางกฎหมาย.....	21
2.3.6 ประโยชน์ไนเตรท.....	23
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	26
3.2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าทำงาน.....	27
3.2.1 การเตรียมเยื่อ.....	28
3.2.2 การนำเยื่อมาติดหลอดแก้วขั้วไฟฟ้าทำงาน.....	29
3.2.3 การทำลวดอ้างอิงใช้ทำขั้วไฟฟ้า.....	30
3.2.4 การเตรียมสารละลายอ้างอิง.....	30
3.2.5 การประกอบชิ้นส่วนของขั้วไฟฟ้าทำงาน.....	31
3.3 การทำขั้วอ้างอิงซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์.....	32
3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทำงาน.....	32
3.4.1 การศึกษาเวลาที่ตอบสนองของขั้วไฟฟ้าทำงาน.....	32
3.4.2 การศึกษาการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าทำงานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ..	33
3.4.3 การศึกษาผลของ พีเอช ต่อขั้วไฟฟ้าทำงาน.....	33
3.4.4 การศึกษาผลของการรบกวนของไอออนอื่น.....	34
3.4.5 ศึกษาอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้าทำงาน.....	34
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	34
3.6 การสรุปและรายงานผล.....	34

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์.....	59
ภาคผนวก ข. แสดงวิธีการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้.....	64
ภาคผนวก ค. ข้อมูลผลของเวลาการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนชนิดเยื่อพอลิเมอร์.....	69
ภาคผนวก ง. ผลของ pH ที่มีต่อศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์.....	75
ภาคผนวก จ. ข้อมูลของสารรบกวนอื่น ๆ ต่อขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์.....	84
ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทของบริษัท Metrohm และการคำนวณหาค่าแอกทิวิตี.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณไนเตรทสูงสุดที่ยอมให้มีในอาหารสัตว์.....	21
2.2 การกำหนดปริมาณไนเตรทในน้ำ.....	23
4.1 แสดงสูตรการเตรียมแผ่นเยื่อพอลิเมอร์.....	36
4.2 ผลการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าไนเตรทสูตรที่ 1(E11) ,2 (E21),3(E33) และ 4(E43) ที่วัดในสารละลาย NaNO_3 ที่ความเข้มข้น $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ ที่ 25°C	38
4.3 แสดงค่าความชันและความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้จากการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 1 โดยใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซออร์ แบบมีกระดาศกรง.....	39
4.4 แสดงค่าความชันและความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้จากการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 2 โดยใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซออร์ แบบไม่มีกระดาศกรง.....	41
4.5 แสดงค่าความชันและความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้จากการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 3 โดยใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซออร์ แบบมีกระดาศกรง ที่อุณหภูมิ 25°C	42
4.6 แสดงค่าความชันและค่าความเข้มข้นต่ำสุดจากการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 4 โดยใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซออร์ แบบที่ไม่มีกระดาศกรง ที่อุณหภูมิ 25°C	43
4.7 แสดงผลการเปรียบเทียบช่วง pH ของขั้วไฟฟ้าที่สร้างจากสูตร 1-4.....	46
4.8 แสดงผลการรบกวนของไอออนต่าง ๆ ต่อขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรท.....	49
4.9 แสดงอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้า.....	49
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	53
ก.1 ข้อมูลการวัดศักย์ไฟฟ้าและค่า lineat ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISEสูตรที่ 1.....	60
ก.2 ข้อมูลการวัดศักย์ไฟฟ้าและค่า lineat ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISEสูตรที่ 2.....	61
ก.3 ข้อมูลการวัดศักย์ไฟฟ้าและค่า lineat ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISEสูตรที่ 3.....	62
ก.4 ข้อมูลการวัดศักย์ไฟฟ้าและค่า lineat ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISEสูตรที่ 4.....	63
ค.1 แสดงผลของการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/l}$ สูตรที่1 ชนิดใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซออร์แบบมีกระดาศกรง.....	71
ค.2 แสดงผลของการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/l}$ สูตรที่2 ชนิดใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซออร์แบบไม่มีกระดาศกรง.....	72
ค.3 แสดงผลของการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/l}$ สูตรที่3 ชนิดใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซออร์แบบมีกระดาศกรง.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.4 แสดงผลของการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าในเตรท ISE ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1} mol/l สูตรที่ 4 ชนิดใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซออร์แบบมีกระดาดากรอง.....	74
ง.1 แสดงค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 1 วัดในสารละลายโซเดียมไนเตรทที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-3} และ 1.0×10^{-5} mol/l.....	76
ง.2 แสดงค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 2 วัดในสารละลายโซเดียมไนเตรทที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-3} และ 1.0×10^{-5} mol/l.....	78
ง.3 แสดงค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 3 วัดในสารละลายโซเดียมไนเตรทที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-3} และ 1.0×10^{-5} mol/l.....	80
ง.4 แสดงค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 4 วัดในสารละลายโซเดียมไนเตรทที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-3} และ 1.0×10^{-5} mol/l.....	82
จ.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดในสารละลายที่มีไอออนรบกวนจากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 1.....	86
จ.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดในสารละลายที่มีไอออนรบกวนจากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 2.....	87
จ.3 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดในสารละลายที่มีไอออนรบกวนจากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 3.....	88
จ.4 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดในสารละลายที่มีไอออนรบกวนจากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 4.....	89
ฉ.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าและเวลาของการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าในเตรท ISE (Metrohm) ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} mol/l - 1.0×10^{-1} mol/l.....	92
ฉ.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าและความชันของขั้วในเตรท ISE (Metrohm).....	93
ฉ.3 แสดงค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วในเตรท ISE (Metrohm) วัดในสารละลายโซเดียมไนเตรทที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-3} และ 1.0×10^{-5} mol/l.....	95
ฉ.4 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดในสารละลายที่มีไอออนรบกวนของขั้วในเตรท ISE (Metrohm).....	97
ฉ.5 แสดงค่าความเข้มข้น ค่าไอออนิกสเตรนจ์,สัมประสิทธิ์แอกทิวิตีและค่าแอกทิวิตีของโซเดียมไนเตรท.....	99

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 อุปกรณ์ในการทำโพเทนชิอเมทรี.....	6
2.2 แสดงภาพของขั้วเยื่อเหลว.....	9
2.3 แสดงการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะโดยวิธีการทำให้แยกทิวดีเท่ากันและวิธีทำให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน.....	12
2.4 แสดงรูปแบบการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะ โดยวิธีกำหนดให้แยกทิวดีของไอออนรบกวนคงที่ และวิธีกำหนดให้แยกทิวดีของไอออนที่จะวิเคราะห์คงที่.....	13
2.5 ก ระดับความเข้มข้นต่ำสุดของสารละลายที่สามารถตรวจวัดได้ขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนในทางทฤษฎี.....	15
2.5 ข ระดับความเข้มข้นต่ำสุดของสารละลายที่สามารถตรวจวัดได้ของขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนในทางปฏิบัติ.....	15
3.1 แสดงการเตรียมเยื่อเลือกเฉพาะไอออนไนเตรท.....	28
3.2 แสดงการตัดแผ่นเยื่อเป็นแผ่นเล็ก ๆ 3-4 อัน.....	29
3.3 แสดงการติดเยื่อกับหลอดแก้วของขั้วใช้งาน.....	29
3.4 แสดงการ anodizing ลวดเงิน.....	30
3.5 แสดงการประกอบชิ้นส่วนขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรท.....	31
3.6 แสดงขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl.....	32
4.1 แสดงขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl.....	36
4.2 แสดงลักษณะแผ่นเยื่อ.....	37
4.3 ขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์.....	37
4.4.ก กราฟแสดงเวลาที่ตอบสนองและค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า E11, E21,E33 และE43 วัดสารละลาย NaNO_3 ที่ความเข้มข้น $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ ที่ 25°C	38
4.4.ข กราฟแสดงเวลาที่ตอบสนองและค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า metrohm วัดสารละลาย NaNO_3 ที่ความเข้มข้น $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ ที่ 25°C	39
4.5 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ จากขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ขั้ว ที่สร้างขึ้นตามสูตรที่ 1 ใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติไซเซอร์แบบมีกระดาษกรอง โดย ก-ค แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ ของขั้วไฟฟ้าที่ E11-E13 ตามลำดับ เมื่อ E11 , E12 และ E13 คือขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้จากเยื่อสูตรที่ 2 ขึ้นที่ 1,2 และ 3 ตามลำดับ.....	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ จากขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ขั้ว ที่สร้างขึ้นตามสูตรที่ 2 ใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซออร์แบบไม่มีกระดาดากรอง โดย ก-ค แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ ของขั้วไฟฟ้าที่ E21-E23 ตามลำดับ เมื่อ E21 , E22 และ E23 คือขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้จากเยื่อสูตรที่ 2 ชั้นที่ 1,2 และ 3 ตามลำดับ.....	41
4.7 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ จากขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ขั้ว ที่สร้างขึ้นตามสูตรที่ 3 ใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซออร์แบบไม่มีกระดาดากรอง โดย ก-ค แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ ของขั้วไฟฟ้าที่ E31-E33 ตามลำดับ เมื่อ E31 , E32 และ E33 คือขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้จากเยื่อสูตรที่ 3 ชั้นที่ 1,2 และ 3 ตามลำดับ.....	42
4.8 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ จากขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ขั้ว ที่สร้างขึ้นตามสูตรที่ 4 ใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซออร์แบบไม่มีกระดาดากรอง โดย ก-ค แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ ของขั้วไฟฟ้าที่ E41-E43 ตามลำดับ เมื่อ E41 , E42 และ E43 คือขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้จากเยื่อสูตรที่ 4 ชั้นที่ 1,2 และ 3 ตามลำดับ.....	43
4.9 แสดงค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากขั้วไฟฟ้าหมายเลข E11 ดังในรูป ก และขั้วไฟฟ้าหมายเลข E21 ดังในรูป ข ที่ระดับความเข้มข้น สารละลาย NaNO_3 $a=1.0 \times 10^{-1}$, $b=1.0 \times 10^{-3}$ และ $c=1.0 \times 10^{-5}$ mol/l.....	44
4.10 แสดง pH ที่วัดได้จากขั้วไฟฟ้าหมายเลข E33 ดังในรูป ก และหมายเลข E43 ดังในรูป ข ที่ระดับความเข้มข้น สารละลาย NaNO_3 $a=1.0 \times 10^{-1}$, $b=1.0 \times 10^{-3}$ และ $c=1.0 \times 10^{-5}$ mol/l.....	45
4.11 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้ากับลอการิทึมที่มี Cl^- , CN^- , F^- และ I^- เป็นสารรบกวนที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l ที่วัดได้จากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 1 (E11).....	47
4.12 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้ากับลอการิทึมที่มี Cl^- , CN^- , F^- และ I^- เป็นสารรบกวนที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l ที่วัดได้จากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 2 (E21).....	47
4.13 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้ากับลอการิทึมที่มี Cl^- , CN^- , F^- และ I^- เป็นสารรบกวนที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l ที่วัดได้จากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 3 (E33).....	48
4.14 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้ากับลอการิทึมที่มี Cl^- , CN^- , F^- และ I^- เป็นสารรบกวนที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l วัดได้จากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 4 E43).....	48

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.1 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 1 ขั้วหมายเลข E11,E12 และ E13.....	60
ก.2 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 2 ขั้วหมายเลข E21,E22 และ E23.....	61
ก.3 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 3 ขั้วหมายเลข E31,E32 และ E33.....	62
ก.4 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 4 ขั้วหมายเลข E41,E42 และ E43.....	63
ข.1 กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 1 ของขั้ว หมายเลข E11,E12 และ E13.....	65
ข.2 กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 2 ของขั้ว หมายเลข E21,E22 และ E23.....	66
ข.3 กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 3 ของขั้ว หมายเลข E31,E32 และ E33.....	67
ข.4 กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 4 ของขั้ว หมายเลข E41,E42 และ E43.....	68
ค.1 กราฟแสดงการหาค่าเวลาที่ตอบสนองของขั้วไฟฟ้าในเตรท.....	70
ค.2 กราฟแสดงผลการตอบสนองต่อเวลาของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 1 ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1} mol/l.....	71
ค.3 กราฟแสดงผลการตอบสนองต่อเวลาของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 2 ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1} mol/l.....	72
ค.4 กราฟแสดงผลการตอบสนองต่อเวลาของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 3 ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1} mol/l.....	73
ค.5 กราฟแสดงผลการตอบสนองต่อเวลาของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 4 ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1} mol/l.....	74
ง.1 กราฟแสดงช่วงของ pH ที่วัดได้ของขั้วไฟฟ้าในเตรท ISE (E11) ในสารละลาย โซเดียมไนเตรท ที่ความเข้มข้น $a = 1.0 \times 10^{-1}$, $b = 1.0 \times 10^{-3}$ และ $c = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/l.....	77
ง.2 กราฟแสดงช่วงของ pH ที่วัดได้ของขั้วไฟฟ้าในเตรท ISE(E21) ในสารละลาย โซเดียมไนเตรท ที่ความเข้มข้น $a = 1.0 \times 10^{-1}$, $b = 1.0 \times 10^{-3}$ และ $c = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/l.....	79
ง.3 กราฟแสดงช่วงของ pH ที่วัดได้ของขั้วไฟฟ้าในเตรท ISE (E33) ในสารละลาย โซเดียมไนเตรท ที่ความเข้มข้น $a = 1.0 \times 10^{-1}$, $b = 1.0 \times 10^{-3}$ และ $c = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/l.....	81

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.4 กราฟแสดงช่วงของ pH ที่วัดได้ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE (E43) ในสารละลาย โซเดียมไนเตรท ที่ความเข้มข้น $a = 1.0 \times 10^{-1}$, $b = 1.0 \times 10^{-3}$ และ $c = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/l.....	83
จ.1 กราฟแสดงวิธีการหาค่า a_A เพื่อนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะ ไอออน.....	85
จ.2 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารรบกวน คลอไรด์, โซเดียม, ฟลูออไรด์ และไฮโดรเจน ในสารละลายโซเดียมไนเตรท โดยใช้ขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE สูตรที่ 1.....	86
จ.3 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารรบกวน คลอไรด์, โซเดียม, ฟลูออไรด์ และไฮโดรเจน ในสารละลายโซเดียมไนเตรท โดยใช้ขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE สูตรที่ 2.....	87
จ.4 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารรบกวน คลอไรด์, โซเดียม, ฟลูออไรด์ และไฮโดรเจน ในสารละลายโซเดียมไนเตรท โดยใช้ขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE สูตรที่ 3.....	88
จ.5 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารรบกวน คลอไรด์, โซเดียม, ฟลูออไรด์ และไฮโดรเจน ในสารละลายโซเดียมไนเตรท โดยใช้ขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE สูตรที่ 4.....	89
ฉ.1 กราฟแสดงการตอบสนองต่อเวลาที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} mol/l มีค่าเท่ากับ 35 วินาที	91
ฉ.2 กราฟแสดงการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE Metrohm.....	92
ฉ.3 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไนเตรท ISE Metrohm ที่วัดสารละลาย โซเดียมไนเตรท.....	93
ฉ.4 กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ของขั้วไนเตรท ISE Metrohm ครั้งที่ 1-3..	94
ฉ.5 กราฟแสดงช่วงของ pH ที่วัดได้ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE Metrohm ในสารละลาย โซเดียมไนเตรทที่ความเข้มข้น $a = 1.0 \times 10^{-1}$, $b = 1.0 \times 10^{-3}$ และ $c = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/l.....	96
ฉ.6 ก. แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของไอออนรบกวนต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ข. แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของไอออนรบกวนต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม Microcal Original 3.5	97
ฉ.7 แสดงวิธีการหาค่าเอกทิวติของไนเตรท(a_N) ที่มีไอออนอื่นรบกวนผสมอยู่โดยใช้ โปรแกรม Microcal Original 3.5	98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน เน้นที่การเปลี่ยนแปลงระบบของการผลิตจากการเกษตรกรรมมาเป็นอุตสาหกรรม การขยายตัวทางการผลิตส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว อันเกิดจากการปนเปื้อนของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อม เป็นเหตุให้เกิดความเปลี่ยนแปลงด้านนิเวศวิทยา และการสูญเสียความสมดุลทางธรรมชาติและทรัพยากร

แหล่งการปนเปื้อนของสารมลพิษที่สำคัญคือในอากาศและน้ำ โดยเฉพาะในแหล่งน้ำเปรียบเสมือนที่รองรับสารมลพิษทั้งปวงไม่ว่าจะมาจากดิน พืช หรืออากาศ แหล่งน้ำจึงเป็นแหล่งปนเปื้อนของสารมลพิษที่สำคัญ ปริมาณสารพิษจะส่งผลโดยตรงต่อสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ ซึ่งสัตว์เหล่านี้จะสะสมสารพิษไว้ในร่างกายและถ่ายทอดต่อไปตามวงจรอาหาร จนเป็นอันตรายต่อมนุษย์ผู้บริโภคในที่สุด

ไนเตรทเป็นสารที่ใช้มากในด้านการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้ปุ๋ยในแหล่งเกษตรกรรมซึ่งเป็นแหล่งใหญ่ของไนเตรท ของเสียจากสัตว์ ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การใช้สารไนเตรทเป็นสารปรุงแต่งอาหารและไนเตรทเกิดจากวัฏจักรของไนโตรเจนตามธรรมชาติ ซึ่งนับวันจะเพิ่มปริมาณมากขึ้น มีผลทำให้ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินนับวันจะมีปริมาณมากขึ้น โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่ไหลผ่านเขตเกษตรกรรม [1] แต่พิษที่ตามมาเมื่อการใช้และการได้รับสารไนเตรทปริมาณมากเกินมาตรฐาน เป็นผลเกี่ยวกับระบบย่อยอาหารมีสารก่อให้เกิดมะเร็ง (carcinogen) โดยเฉพาะกับเด็กทารกและเด็กมีความเสี่ยงต่อการได้รับพิษจากไนเตรทมากกว่าผู้ใหญ่ คือเป็นโรค methaemoglobinaemia เมื่อบริโภคน้ำที่มีไนเตรทปริมาณเพียง 50 mg/l มีเด็กหลายรายป่วยและตายจากการดื่มนมที่ใช้น้ำบ่อที่มีไนเตรทสูงกว่า 90 mg/l ผสม เด็กดื่มน้ำที่มีไนเตรทเพียง 30 mg/l แล้วเสียชีวิตแสดงว่าไนเตรทมีพิษต่อเด็กมากโดยเฉพาะทารกที่มีอายุต่ำกว่า 6 สัปดาห์ เพราะในกระเพาะของเด็กมีแบคทีเรียที่รีดิวซ์ไนเตรทได้ ซึ่งจะมีผลทำให้ เม็ดเลือดหมดสภาพไม่สามารถลำเลียงออกซิเจนได้อีก

การตรวจสอบคุณภาพน้ำจึงเป็นวิธีการป้องกันและแก้ไขปัญหาระบบน้ำ ที่มีความจำเป็นมากในภาวะปัจจุบัน การวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทในสิ่งแวดล้อม และในที่ต่าง ๆ ซึ่งกระทำได้หลายวิธี เช่น Spectrophotometry, Spectrofluorometry, Ion chromatography, (IC) Flow - injection analysis, (FIA), Ultraviolet Spectrometric Method เป็นต้น ซึ่งปัญหาที่เกิด

ขึ้นคือเครื่องมือราคาแพงขนาดไม่สะดวกที่จะนำไปปฏิบัติในภาคสนาม ที่สำคัญคือเครื่องมือส่วนมากต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ

ขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออน (Ion-Selective Electrode; ISE) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณไอออนต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอเมตรีในการวิเคราะห์ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและสร้างเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท โดยใช้พื้นฐานเชิงไฟฟ้าเคมีคือขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทที่มีราคาถูก เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์รวดเร็วและแม่นยำ ใช้สารเคมีและสารตัวอย่างในปริมาณน้อยสามารถหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อหาชนิดของพลาสติกไซเซอรและองค์ประกอบที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อพอลิเมอร์

1.2.2 เพื่อพัฒนาการสร้างขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์และสร้างขั้วไฟฟ้าอ้างอิง

1.3 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

Davies J. E. W. และคณะ [2] และ Nielsen, H. J. I. [3] ได้สร้างขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิไวนิลคลอไรด์ขึ้นโดยใช้สารประกอบ quaternaryammomium nitrate เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออน และใช้ dibutyl phthalate (DBP) หรือ 2- nitrophenyloctyl ether (2-NPOE) เป็นพลาสติกไซเซอร

Zurthor F. และ Camman K. [4] ได้ปรับปรุงอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรท ให้มีอายุการใช้งานให้ยาวขึ้นโดยใช้ modified quaternaryammomium nitrate เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออน o - NPOE เป็นพลาสติกไซเซอร พบว่าขั้วไฟฟ้าดังกล่าวมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า 15 เดือน

Knoll M. และคณะ [5] ได้ปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเยื่อพอลิเมอร์ของขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนโพแทสเซียมโดยใช้แผ่นกรองพอลิเอมิด (polyamide : Satorius membrane filter type SM 25006) ใยแก้ว (glass fiber) และกระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรง (inert microfibre matrix) พบว่าการเสริมแรงด้วยวัสดุดังกล่าว ไม่มีผลต่อค่าความไว, ค่าขีดจำกัดของการวัด

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาผลของพลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิดคือ 2-nitrophenyloctyl ether และ dibutyl phthalate เป็นพลาสติกไซเซอร์เป็นส่วนผสมของเยื่อพอลิเมอร์ในการสร้างขั้วไฟฟ้าที่มี tridodecyl methylammonium nitrate เป็นสารแลกเปลี่ยนไอออนในเตรท

1.4.2 สร้าง ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์เพื่อนำไปใช้ประกอบการวัดกับขั้วไฟฟ้าใช้งาน

1.4.3 ศึกษาผลของ pH, การรบกวนไอออนอื่น, การตอบสนองของขั้วไฟฟ้าที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ, ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้, เวลาที่ตอบสนองและอายุการใช้งานที่มีต่อขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนในเตรท ชนิดที่ใช้กระดาศกรองและไม่ใช้กรองเป็นตัวเสริมแรง

1.4.4 ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนในเตรท ที่สร้างขึ้นกับที่มีขายในท้องตลาด

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 อิเล็กโทรด (Electrode) หมายถึง ขั้วไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้า เป็นส่วนประกอบของเซลล์ไฟฟ้ามีอย่างน้อย 2 ขั้ว คือขั้วแอโนดและขั้วแคโทดแต่ละขั้วเรียกว่าครึ่งเซลล์ต่อเชื่อมระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้า เพื่อใช้ในการวิเคราะห์

1.5.2 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) [6] หมายถึง สารที่เติมใส่ในพลาสติกเพื่อเพิ่มความสามารถในการยืดหยุ่นของพลาสติก โดยทำให้อุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (T_g) ลดลงจนถึงขั้นที่ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ทำให้พลาสติกเปลี่ยนสมบัติจากแข็งเปราะแตกง่ายเหมือนแก้วไปเป็นวัสดุที่มีสมบัติอ่อนยืดหยุ่นได้และเหนียว

1.5.3 สัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะ (Selectivity coefficient, $K_{A,B}^{Pot}$) หมายถึง ความสามารถของขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนที่สามารถจำแนกในเตรทไอออนกับไอออนตัวอื่นในสารละลาย โดยทั่วไปแล้วจะหาได้จากอัตราส่วนของแอกทिवิตีของไอออนวิเคราะห์ต่อแอกทिवิตีของไอออนอื่น ค่า $K_{A,B}^{Pot}$ ยิ่งน้อยแสดงว่าขั้วยังมีความเลือกเฉพาะต่อไอออนวิเคราะห์สูง

1.5.4 ไอออนในเตรท (Nitrate ion) หมายถึง แอนไอออนมีสูตร NO_3^- อยู่ในสภาพสารละลายที่มาจากสารประกอบไอออนิกของธาตุต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้ทุกชนิด

1.5.5 พิวซีเรซิน (Poly vinyl chloride resin) คือ สารพอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายแป้ง (Powder) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวัตถุดิบ vinyl chloride monomer โดยตัวพิวซีเรซินนี้ยังไม่สามารถนำไปใช้ผลิตวัสดุพลาสติกได้ทันที เพราะยังไม่มีคุณสมบัติเป็นพลาสติกต้องนำไปผสมกับสารเคมีอื่นที่มีคุณสมบัติที่ต้องการจึงจะนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.6 เยื่อ (Membrane) เป็นตัวแยกระหว่างสารละลายภายในและสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งเยื่อนี้มีสมบัติการตอบสนองต่อศักย์ไฟฟ้าและมีความเลือกเฉพาะต่อไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น เยื่อสำหรับไอออนไนเตรท เตรียมโดยใช้พีวีซีเรซินผสมกับ tridodecylmethyl ammonium nitrate, 2-nitrophenyloctylether, dibutyl phthalate ละลายใน THF (tetrahydrofuran)

1.5.7 ขีดจำกัดของการวัด (Limit of detection) หมายถึง ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารตัวอย่างที่ขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะสามารถวิเคราะห์ได้

1.5.8 ความเสถียร (Stability) หมายถึง ความคงทนของขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ, ความเป็นกรด - เบส เป็นต้น

1.5.9 Nernstian response หมายถึง ช่วงแอกทिवิตีของสารละลายที่สัมพันธ์กับศักย์ไฟฟ้าแบบเชิงเส้นโดยมีค่าความชัน $= 2.303 \times 10^3 \text{ RT/Z}_A\text{F mV/decade}$ หรือมีค่าเท่ากับ $59.16 / \text{Z}_A \text{ mV/unit of pa}_A$ ที่ 25°C

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนชนิดเยื่อพอลิเมอร์ที่มีขนาดเล็ก ราคาถูก เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจวัดไอออนไนเตรทในน้ำ

1.6.2 ได้ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ที่ใช้เป็นขั้วอ้างอิงในการวัดศักย์ไฟฟ้า

1.6.3 ส่งเสริมให้มีการสร้างเทคโนโลยีขึ้นใช้เองภายในประเทศ เพื่อเป็นการลดการนำเข้าจากต่างประเทศ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่องชีวไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์ ผู้วิจัยได้ศึกษา ทฤษฎี เอกสาร วารสาร รายงาน และผลงานการวิจัย รวมทั้งบทความทั้งในประเทศและต่าง ประเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1 โพลเทนชิอเมทรี

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้ชีวไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์

2.3 ไนเตรท

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

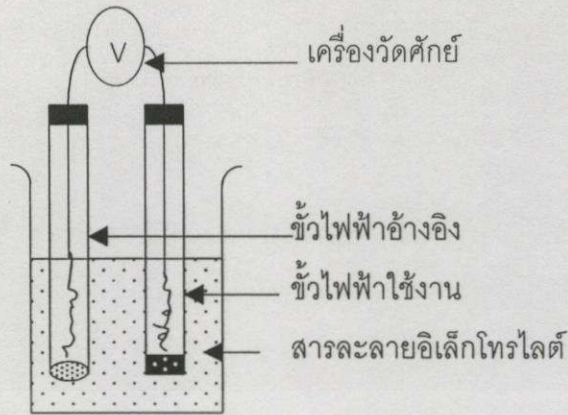
2.1 โพลเทนชิอเมทรี (Potentiometry) [7][8]

โพลเทนชิอเมทรี เป็นวิธีวิเคราะห์หาความเข้มข้นหรือแอกทิวิตีของสารที่สนใจในสารละลายตัวอย่าง โดยอาศัยการวัดศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก ซึ่งประกอบด้วยขั้วอ้างอิงและชีวไฟฟ้าใช้งานจุ่มอยู่ในสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ โดยไม่มีกระแสไหลผ่านเซลล์ ศักย์ไฟฟ้าของขั้วอ้างอิงจะมีค่าคงที่ ดังนั้นค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จึงแปรผันโดยตรงกับศักย์ไฟฟ้าของชีวทำงาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นหรือแอกทิวิตีของสารที่วิเคราะห์

สำหรับค่าศักย์ที่วัดได้เป็นค่ารวมของศักย์อุณหภูมิวัด และศักย์รอยต่อสารละลายเท่านั้นซึ่งศักย์อุณหภูมิวัดเป็นผลต่างของศักย์ชีวไฟฟ้าทั้งสองที่คำนวณได้จากสมการเนิร์นสต์ เครื่องมือที่ใช้ในโพลเทนชิอเมทรี ประกอบด้วย

1. ขั้วอ้างอิง
2. ชีวไฟฟ้าใช้งาน
3. เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ในการทำโพเทนชิโอเมทรี

การจัดเซลล์เคมีไฟฟ้าเพื่อการวัดศักย์สามารถเขียนแทนด้วยแผนภาพโดยให้ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเป็นแอโนดและขั้วไฟฟ้าแบบเยื่อเป็นแคโทด ดังนี้

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง || สารละลายเยื่อ | สารละลายอ้างอิงภายใน | Ag/AgCl

ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงศักย์ของเซลล์เคมีไฟฟ้าได้ดังนี้

$$E_{cell} = E_{ind} - E_{ref} + E_j \quad (2.1)$$

เมื่อ E_{cell} = ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เคมี

E_j = ศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณรอยต่อระหว่างสารละลายตัวอย่างและสารละลายของขั้วอ้างอิง

E_{ref} = ศักย์ไฟฟ้าของขั้วอ้างอิงที่มีค่าคงที่และทราบค่าแน่นอน

E_{ind} = ศักย์ไฟฟ้าของขั้วใช้งาน ที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อของผิวขั้วกับสารละลายตัวอย่าง ซึ่งแปรผันตามเอกทิวิตีของสารที่สนใจตามสมการของเนิร์นสต์ดังนี้

$$E_{ind} = k - \frac{RT}{nF} \ln a_A \quad (2.2)$$

หรือ

$$E_{ind} = k' - \frac{RT}{nF} \ln C_A \quad (2.3)$$

เมื่อ a_A และ C_A = เอกทิวิตี และความเข้มข้นของสารที่สนใจ A ตามลำดับ

n = จำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องกับครึ่งปฏิกิริยา

R = ค่าคงที่ของก๊าส

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

F = ค่าคงที่ของฟาราเดย์

แทนสมการ (2.2) ลงในสมการ (2.1) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{\text{cell}} = k - \frac{RT}{nF} \ln a_A - E_{\text{ref}} + E_j$$

ถ้า E_j และ E_{ref} คงที่ $\therefore$ $E_{\text{cell}} = K - \frac{RT}{nF} \ln a_A$ (2.4)

สำหรับข้อไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออน ความต่างศักย์ที่วัดได้เมื่อจุ่มลงในสารละลายมาตรฐานที่มีไอออนซึ่งให้การตอบสนองต่อขั้วนั้น จะเป็นไปตามสมการของเนิสต์ดังนี้

$$E = \text{constant} \pm \frac{2.303RT}{Z_A F} \log a_A \quad (2.5)$$

$$a_A = f_A c_A$$

a_A = แอกทิวิตีของไอออน A เมื่อมีประจุ Z_A

f_A = สัมประสิทธิ์ของแอกทิวิตีของไอออน A

c_A = ความเข้มข้นของไอออน A

ในสมการ (2.5) เครื่องหมาย + สำหรับไอออนที่มีประจุ +
เครื่องหมาย - สำหรับไอออนที่มีประจุ -

ค่า f_A เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับความแรงไอออน (ionic strength, μ) ซึ่งค่าความแรงไอออนขึ้นอยู่กับว่าสารนั้นมีความเข้มข้นมากหรือน้อยเพียงใดในสารละลายและขึ้นอยู่กับจำนวนประจุของไอออนของสารด้วย ถ้าความแรงของไอออนในสารละลายมีค่าน้อยมาก (<0.001) ค่าความแรงของไอออนมีค่าประมาณศูนย์ หรือ f มีค่าประมาณ 1 ซึ่งจะทำให้ค่า a_A มีค่าเท่ากับความเข้มข้น ความต่างศักย์ที่วัดได้ตามสมการที่ (2.5) จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$E = \text{constant} \pm \frac{2.303RT}{Z_A F} \log c_A \quad (2.6)$$

แต่เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วข้อไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออน จะให้การตอบสนองต่อไอออนอื่น ๆ (interfering ion) ได้ ถ้ามีปริมาณของไอออนนั้นในอัตราส่วนที่สูงเมื่อเทียบกับไอออนที่ต้องการวัด ดังนั้นค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ของ ISE เมื่อมีไอออนอื่นอยู่ด้วย เขียนได้ดังนี้

$$E = \text{constant} \pm \frac{2.303RT}{Z_A F} \log(a_A + K_{A,B}^{\text{Pot}} a_B^{Z_A/Z_B}) \quad (2.7)$$

เมื่อ a_B = แอกทิวิตีของไอออน B ที่มีประจุ Z_B

$K_{A,B}^{\text{Pot}}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะไอออน

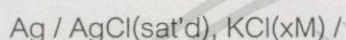
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง

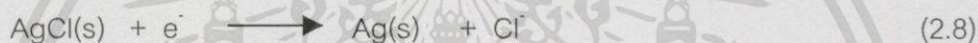
เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่นิยมใช้จัดเป็นขั้วไฟฟ้าโลหะชนิดที่สอง ให้ทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนดของเซลล์เคมีไฟฟ้า ที่นิยมใช้คือขั้วไฟฟ้าคาโลเมลและขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์ - ซิลเวอร์คลอไรด์ (ซึ่งเหมาะในการวิเคราะห์สารในเตรท)

2.1.1.1 ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ซิลเวอร์ - ซิลเวอร์คลอไรด์ประกอบด้วยหลอดแก้วที่มีหลอดโลหะเงินจุ่มอยู่ในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ที่อิ่มตัวและซิลเวอร์คลอไรด์ ส่วนปลายของหลอดแก้วเป็นวุ้นแข็ง ที่มีความพรุน สัญลักษณ์ของขั้วไฟฟ้านี้เขียนได้ดังนี้



ปฏิกิริยาที่ครึ่งเซลล์เป็นดังนี้



ศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์ - ซิลเวอร์คลอไรด์ขึ้นกับความเข้มข้นของไอออนคลอไรด์ในขั้วไฟฟ้า ซึ่งปกติใช้ความเข้มข้นที่อิ่มตัวจึงทำให้ค่าศักย์ขั้วไฟฟ้าของซิลเวอร์ - ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นค่าคงที่ค่าเดียว และแปรตามอุณหภูมิได้บ้าง

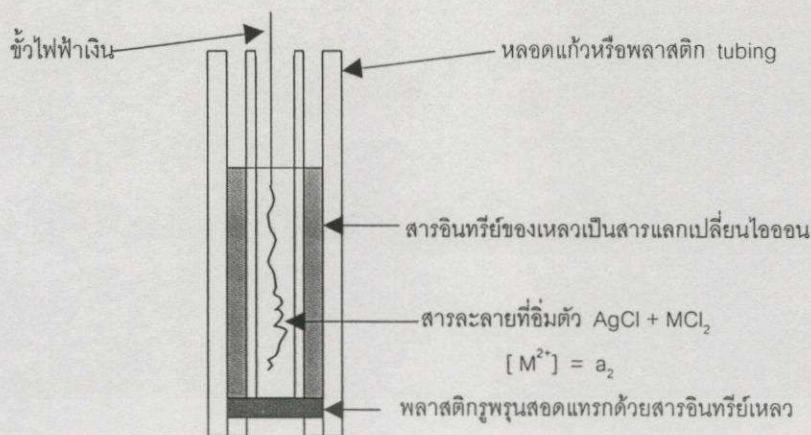
2.1.2 ขั้วไฟฟ้าใช้งาน

ขั้วไฟฟ้าแบบเยื่อ หรือ ISE มีหลายชนิดซึ่งมีความเลือกเฉพาะต่อไอออนชนิดต่าง ๆ จึงเหมาะใช้เป็นขั้วไฟฟ้าใช้งานในการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนต่าง ๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ที่รู้จักและใช้มากได้แก่ขั้วไฟฟ้าเยื่อแก้ว เยื่อของเหลว เยื่อสถานะของแข็ง และเยื่อแก๊สเซนซึ่ง

2.1.2.1 ขั้วไฟฟ้าเยื่อของเหลว (Liquid - membrane electrode) [7][9]

เยื่อที่เป็นของเหลวนั้นประกอบด้วยสารอินทรีย์ไม่ระเหยง่าย (nonvolatile) ไม่รวมกับน้ำเป็นเนื้อเดียวกัน มีสมบัติแลกเปลี่ยนไอออนบางชนิดได้ (ion exchanger) สารอินทรีย์นี้จะแทรกเข้าไปในเยื่อพลาสติกที่เป็นรูพรุน (porous plastic membrane) เยื่อของเหลวจะกั้นระหว่างสารละลายที่มีไอออนที่ต้องการวิเคราะห์และไอออนในสารละลายอ้างอิงภายในขั้ว สามารถแลกเปลี่ยนกับสารที่อยู่ในเยื่อได้ ถ้าความเข้มข้นของไอออนในสารละลายทั้งสองข้างของเยื่อที่มีค่าแตกต่างกัน จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างผิวของเยื่อที่สัมผัสกับของเหลวทั้งสองด้าน

แผ่นเยื่อของเหลว จะอยู่ส่วนปลายสุดของขั้วดังแสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงภาพของขั้วเยื่อของเหลว

สารอินทรีย์ที่ใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนแอนไอออน (Anion exchanger) ส่วนใหญ่จะเป็นสารเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชันกับลิแกนด์ที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น



ปัจจุบันขั้วไฟฟ้าเยื่อได้ถูกพัฒนามาเพื่อหาความเข้มข้นของไอออนหลายแบบ

2.1.3 เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า [8]

เป็นเครื่องมือในการอ่านหรือบอกศักย์ของเซลล์ ที่เกิดจากสมดุลของปฏิกิริยาของสารตัวอย่างที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า เครื่องมือนี้เรียกว่า โฟเทนชิโอมิเตอร์ ใช้วัดศักย์ได้ละเอียดถึง ± 0.1 หรือ ± 0.01 mV โดยมีขีดจำกัดการใช้งานขึ้นกับความต้านทานของเซลล์ และความไวของมาตรวัดกระแส ถ้าขั้วไฟฟ้ามีความต้านทานมากจะไม่สามารถวัดศักย์ด้วยเครื่องโฟเทนชิโอมิเตอร์ได้ แต่ใช้เครื่องวัดศักย์ที่เรียกว่า พี-เอมิเตอร์ หรือ พี-โอมิเตอร์ หรือ ไอออนมิเตอร์ วัดเฉพาะไอออนอื่น ๆ แทน

อุปกรณ์วัดศักย์ (Voltage follower operational amplifier, op – amp)

op-amp เป็นอุปกรณ์วัดศักย์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเป็นวงจรรวมเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้กับวงจรที่มีความต้านทานสูง เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบ พี – เอมิเตอร์ ซึ่งถูกใช้แยกส่วนของแหล่งศักย์กับส่วนของเซลล์ที่ต้องการวัดค่า โดยอยู่ในวงจรไฟฟ้าเดียวกัน การทำงานของ op-amp เป็นการทำให้ศักย์ที่ออกจากเซลล์ มีค่าเท่ากับศักย์ที่ให้กับวงจร เมื่อเกิดศักย์จากปฏิกิริยาสารตัวอย่างที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อไฟฟ้าใช้งาน ค่าศักย์ที่เกิดขึ้นเป็นศักย์ที่ให้เข้ากับ op-amp ซึ่งปรับให้ศักย์ที่ออกจากวงจรให้ค่าเท่ากัน ค่าที่ปรับถูกปรากฏบนโวลต์มิเตอร์ ทำให้รู้ค่าของการเกิดปฏิกิริยาซึ่งแปรตามแอคติวิตีของสารตัวอย่าง

2.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะ (Selectivity coefficient , $K_{A,B}^{pot}$)[10]

ค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะเป็นสิ่งสำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของข้อไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออน ซึ่งในทางปฏิบัติในกรณีที่มีไอออนอื่นรบกวน สามารถหาสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะได้จากสมการ Nicolsky-Eisenman (Nicolsky-Eisenman Equation) ดังสมการ (2.7)

ซึ่งค่านี้จะบอกให้ทราบถึงอิทธิพลของไอออนรบกวนที่มีต่อศักย์ไฟฟ้าของไอออนที่จะวิเคราะห์ในระบบ ซึ่งถ้าข้อไฟฟ้ามีการเลือกเฉพาะที่ดีจะมีค่า $K_{A,B}^{pot}$ ต่ำ

วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะมีหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมี 2 วิธีดังนี้

1. วิธีการแยกสารละลาย (Separated solution method)
2. วิธีการผสมสารละลาย (Mixed solution method)

1. วิธีการแยกสารละลาย (Separated solution method)

วิธีการแยกสารละลายทำได้โดยการแยกวัดศักย์ไฟฟ้าของไอออนที่ต้องการวิเคราะห์และไอออนที่รบกวนที่แอคติวิตีต่าง ๆ และพลอตกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับแอคติวิตี ในกราฟเดียวกันดังรูปที่ 2.3 ซึ่งวิธีการแยกสารละลายสามารถแบ่งได้ เป็น 2 วิธี ดังนี้

1.1 วิธีทำให้แอคติวิตีเท่ากัน (Iso-activity method)

วิธีนี้ทำได้โดยวัดศักย์ไฟฟ้าของไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ A ที่แอคติวิตีต่าง ๆ โดยที่ไม่มีไอออนอื่นรบกวน (B) ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้ ดังสมการ (2.9)

$$E_1 = E^\circ \pm \frac{RT}{z_A F} \ln a_A \quad (2.9)$$

และวัดศักย์ไฟฟ้าของสารละลายที่มีเฉพาะไอออนรบกวน B ที่แอคติวิตีต่าง ๆ โดยไม่มีไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ (A) ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้ สมการ (2.10)

$$E_2 = E^\circ + \frac{RT}{z_A F} \ln (K_{A,B}^{pot} \cdot a_B^{z_A/z_B}) \quad (2.10)$$

วิธีการคำนวณหาค่า $K_{A,B}^{pot}$ ทำได้โดยพลอตกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับแอคติวิตี ในกราฟเดียวกัน ดังรูปที่ 2.3 แล้วหาจุดตัดของกราฟทั้งสองที่ทำให้ $a_A = a_B$ ดังในรูปที่ 2.3 จะได้จุดตัด W และ X ต่อกันนั้นลากเส้นตรงตั้งฉากให้ตัดกับแกนค่าศักย์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกราฟทั้งสองจะได้จุดตัด Y และ Z ซึ่งเป็นแกนค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุดซึ่งจะทำให้ทราบค่า E_1 และ E_2 และนำไปแทนค่าในสมการ (2.11) ซึ่งได้จากการเอาสมการ (2.10) ลบสมการ (2.9) จะได้สมการที่ (2.11)

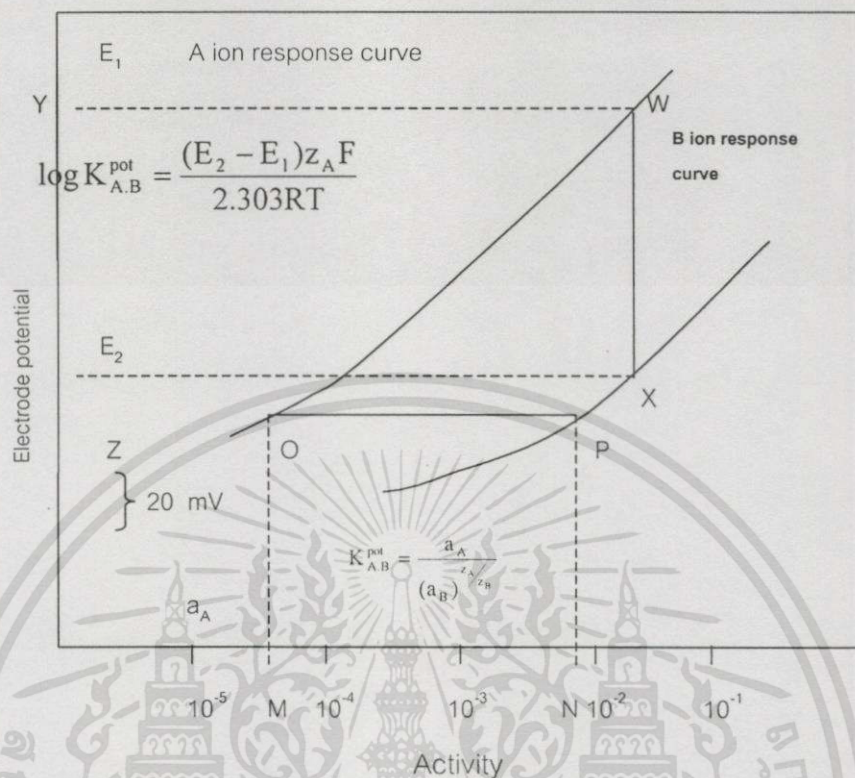
$$\log K_{A,B}^{\text{pot}} = \frac{(E_2 - E_1)z_A F}{2.303RT} + \left(1 - \frac{z_A}{z_B}\right) \log a_A \quad (2.11)$$

1.2 วิธีทำให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน (Iso-potential method)

วิธีนี้คล้ายกับวิธีแรกคือวัดศักย์ไฟฟ้าของสารละลายที่มีไอออนที่จะวิเคราะห์ A ที่แอคติวิตีต่าง ๆ และวัดศักย์ไฟฟ้าของสารละลายที่มีเฉพาะไอออนรบกวน B ที่แอคติวิตีต่าง ๆ และหาค่า $K_{A,B}^{\text{pot}}$ ได้โดยทำวิธีการเดียวกับวิธีทำแอคติวิตีเท่ากันแต่จะต่างกันตรงที่เป็นการหาจุดที่ $E_1 = E_2$ โดยการลากเส้นตรงตั้งให้ฉากตัดกับแกนของศักย์ไฟฟ้าเส้นกราฟทั้งสองเส้น จะได้จุดตัด O และ P จากนั้นลากเส้นตรงให้ตั้งฉากตัดกับแกนค่าแอคติวิตีที่จุด M และ N ของกราฟทั้งสอง จะได้ค่า a_A และ a_B และนำไปแทนค่าในสมการ (2.12) ซึ่งได้จากการสมการ (2.9) เท่ากับ สมการ (2.10) จะได้สมการ (2.12)

$$K_{A,B}^{\text{pot}} = \frac{a_A}{\left(a_B\right)^{z_A/z_B}} \quad (2.12)$$

วิธีการทำให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน และวิธีทำให้แอกทิวิตีเท่ากัน แสดงได้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะโดยวิธีการทำให้แอกทิวิตีเท่ากัน และวิธีทำให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน

2. วิธีการผสมสารละลาย (Mixed solution method)

วิธีการผสมสารละลายเป็นวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าของสารละลาย ที่มีทั้งแอกทิวิตีของสารที่ต้องการวิเคราะห์และไอออนรบกวน ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 วิธี ดังนี้

2.1 วิธีสร้างกราฟโดยทำให้แอกทิวิตีของไอออนรบกวนคงที่ (Graphical method of fixed interfering ion activity)

วิธีนี้ทำได้โดยการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าในสารละลายผสมของไอออนที่ต้องการวิเคราะห์กับไอออนที่รบกวน โดยให้แอกทิวิตีของไอออนที่รบกวนคงที่ และเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ (A) ที่แอกทิวิตีต่าง ๆ วัดศักย์ไฟฟ้า และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าศักย์ไฟฟ้ากับแอกทิวิตีของ A ดังรูปที่ 2.4 เมื่อไอออน A ลดลงการรบกวนของไอออน B จะปรากฏขึ้นมาดังช่วงที่เลเงา และต่อจากนั้นศักย์ไฟฟ้าจะขึ้นกับแอกทิวิตีของไอออน A กำหนดให้จุดตัดระหว่างเส้นสัมผัสของความชันของกราฟและเส้นสัมผัสของกราฟที่ขนานกับแกน X ของ แอกทิวิตีของไอออนรบกวนที่จุด A ดังรูปที่ 2.4 คือ แอกทิวิตีของไอออน A (a_A) ที่จะนำไปคำนวณหาค่า $K_{A,B}^{pot}$ ในสมการที่ (2.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_{A,B}^{\text{pot}} = \frac{a_A}{(a_B)^{z_A/z_B}} \quad (2.12)$$

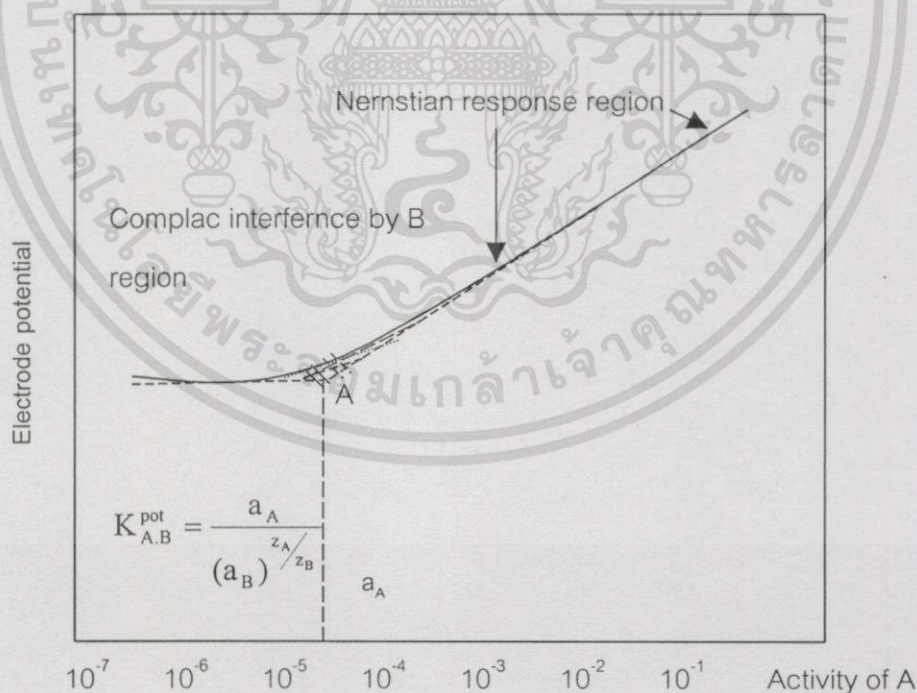
เมื่อ $z_A = z_B$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$K_{A,B}^{\text{pot}} = \frac{a_A}{a_B} \quad (2.13)$$

2.2 วิธีสร้างกราฟโดยกำหนดให้แอกทิวิตีของไอออนที่จะวิเคราะห์คงที่

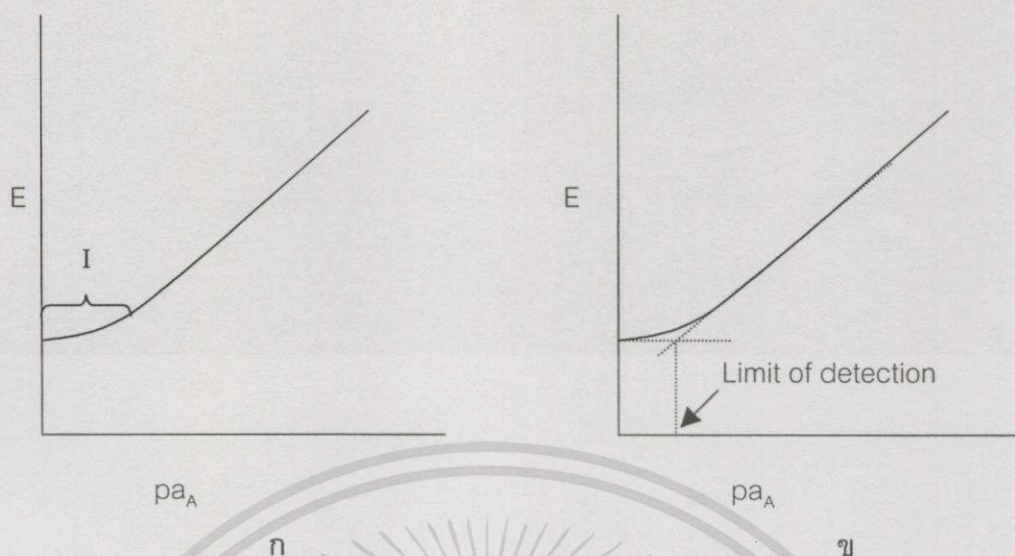
(Graphical method of fixed primary ion activity)

วิธีนี้จะตรงข้ามกับวิธีการแรกคือ เป็นวิธีที่ทำให้แอกทิวิตีของไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ A คงที่ และเปลี่ยนแปลงแอกทิวิตีของไอออนที่รบกวน B ที่แอกทิวิตีต่าง ๆ วิธีนี้เป็นประโยชน์มากในการคำนวณการรบกวนของ H^+ ต่อขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนสำหรับตรวจไอออนบวก และ OH^- ต่อขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนสำหรับไอออนลบ วิธีการคำนวณจะเหมือนกับวิธีการแรก ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะ โดยวิธีกำหนดให้แอกทิวิตีของไอออนรบกวนคงที่ และวิธีกำหนดให้แอกทิวิตีของไอออนที่จะวิเคราะห์คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ก ระดับความเข้มข้นต่ำสุดของสารละลายที่สามารถตรวจวัดได้ของไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนในทางทฤษฎี

ข ระดับความเข้มข้นต่ำสุดของสารละลายที่สามารถตรวจวัดได้ของไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนในทางปฏิบัติ

ประสิทธิภาพของไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนขึ้นกับระดับความเข้มข้นต่ำสุดของสารละลายที่สามารถตรวจวัดได้ด้วย ซึ่งถ้ามีค่าต่ำแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สูง แต่กราฟมาตรฐานที่อยู่ใกล้กับจุดระดับความเข้มข้นต่ำสุดของสารละลายที่สามารถตรวจวัดได้จะมีความแม่นยำและความเที่ยงในการวิเคราะห์ต่ำ เนื่องจากความไม่เสถียรของศักย์ของไฟฟ้าที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทโดยใช้ ไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรท

2.2.1 วิธีสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve method) [11]

เนื่องจากค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแอกทิวิตีของไอออน โดยทั่วไปเรานิยมที่จะวิเคราะห์หาปริมาณไอออนในหน่วยของความเข้มข้นมากกว่าค่าแอกทิวิตี ในการทำกราฟมาตรฐานจะต้องเติม ISA หรือ TISAB ลงในสารละลายมาตรฐานและตัวอย่างในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แอกทิวิตีคงที่ จากสมการเนินสต์จะได้

$$\begin{aligned}
 E_{\text{cell}} &= k - 0.0591 \log a \\
 &= k - 0.0591 \log f - 0.0591 \log C \\
 &= k' - 0.0591 \log C
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$

เมื่อ k และ k' เป็นค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ k และ k' เป็นค่าคงที่

แม้ว่าเราจะไม่ทราบค่า f แต่เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_{cell} ของสารละลายตัวอย่างมาเทียบกับกราฟมาตรฐานนี้ก็สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของตัวอย่างได้

2.2.2 วิธีเติมสารมาตรฐาน (Standard addition method)

วิธีนี้ให้เติมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นมากกว่าตัวอย่างประมาณ 10 เท่า โดยต้องทราบปริมาตรสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้ดังนี้

$$C_x = \frac{C_s V_s}{(V_x + V_s) \times 10^{-n\Delta E / 0.0591} - V_x} \quad (2.15)$$

เมื่อ

C_x	แทนความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง
C_s	แทนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน
V_x	แทนปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง
V_s	แทนปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน
n	แทนจำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา
ΔE	แทนศักย์ไฟฟ้าหลังเติมสารละลายมาตรฐาน-ศักย์ไฟฟ้าก่อนเติมสารละลายมาตรฐาน

สมการนี้เป็นการคำนวณที่แก้ไขข้อผิดพลาดอันเนื่องจากการเจือจางแล้ว (dilution effect)

การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางโพเทนชิอเมทรีส่วนใหญ่จะเป็นการวัดศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่เหมาะสมกับขั้วไฟฟ้าใช้งาน โดยใช้กราฟมาตรฐานหรืออ่านค่า pI ของไอออน I โดยตรงจากเครื่องวัด (pI meter) หรืออาจจะหาโดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน (standard addition) กราฟที่ได้จากการพล็อตความต่างศักย์ที่วัดได้กับค่า $\log$ ของแอกทิวิตีของไอออนที่ขั้วไฟฟ้าตอบสนองจะเป็นเส้นตรงตามสมการ

$$E = K + \frac{0.0591}{Z_A} \log a_A \quad (2.16)$$

แต่เนื่องจากสารละลายที่ทำการวิเคราะห์มักจะมีมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำทำให้ค่าแอกทิวิตีของไอออนมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มข้นของไอออนนั้น ๆ ทำให้การพล็อตกราฟมาตรฐานโดยทั่วไปในทางปฏิบัติเป็นการพล็อตระหว่าง $\log$ ของความเข้มข้นของไอออนกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากอิเล็กโทรด และกราฟที่ได้ค่อนข้างจะเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่การวิเคราะห์จะกระทำโดยการอ่านค่าโดยตรงจากเครื่องวัดที่เป็นแบบ pH-มิเตอร์จำเป็นจะต้องมีสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นสองค่า โดยที่ค่าหนึ่งต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็นของสารตัวอย่าง และอีกค่าหนึ่งจะต้องสูงกว่า ในการวัดนั้น จะใช้สารละลายมาตรฐานของไอออนที่สนใจ มาปรับค่าของเครื่องวัดให้อ่านค่าได้ สอดคล้องกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานทั้งสองดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามในการวัดโดยวิธีนี้หรือการสร้างกราฟมาตรฐานต้องมั่นใจว่าสารละลายทั้งหลายที่ทำการวัดจะต้องมีสารที่จะรบกวนการวิเคราะห์ในปริมาณที่เท่ากัน และการกระทำเช่นนั้นเป็นสิ่งที่ทำได้ยากมากในทางปฏิบัติ ส่วนใหญ่เนื่องจากสารตัวอย่างจริง ๆ นั้นมักจะไม่มีผู้ใดทราบถึงชนิดและปริมาณของสารที่จะรบกวนที่แท้จริง ดังนั้นในทางปฏิบัติเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (standard addition technique) จึงเป็นวิธีที่จะแก้ไขปัญหาลักษณะนี้ได้ซึ่งจะให้การคำนวณโดยการเติมสารละลายมาตรฐานของไอออนที่สนใจเพียงครั้งเดียว ทำการวัดความต่างศักย์ของสารละลายตัวอย่างก่อน และหลังจากเติมสารมาตรฐาน ทำให้ได้สมการดังนี้

ก. ก่อนการเติมสารมาตรฐาน

$$E_1 = K + \frac{0.0591}{Z} \log C_{unk} \quad (2.17)$$

เมื่อ C_{unk} เป็นความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่มีปริมาตร $V \text{ cm}^3$

ข. เมื่อเติมสารมาตรฐานเข้มข้น C_s ปริมาตร $v \text{ cm}^3$ ลงไป

$$E_2 = K + \frac{0.0591}{Z} \log \left| \frac{VC_{unk} + vC_s}{V + v} \right| \quad (2.18)$$

นำสมการที่ (2.18) ลบด้วยสมการที่ (2.17) จะได้

$$E_2 - E_1 = E = \frac{0.0591}{Z} \log \left| \frac{VC_{unk} + vC_s}{(V + v)C_{unk}} \right| \quad (2.19)$$

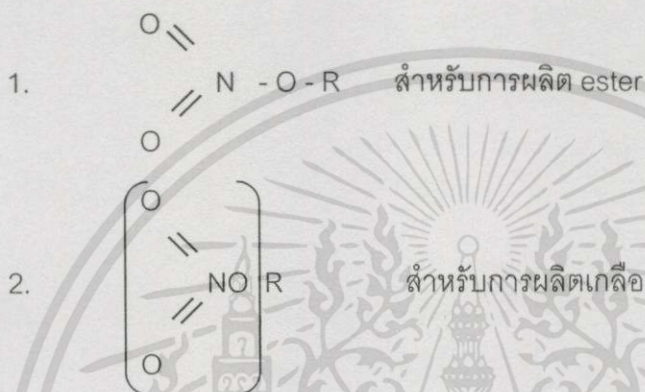
สมการที่ 2.19 นี้ จะสามารถใช้ในการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างได้

2.3 ไนเตรท (Nitrate) [1]

ไนเตรทเป็นเกลือของกรดไนตริกซึ่งเป็นกรดแก่ เกลือไนเตรทที่ใช้ในทางการเกษตรและอุตสาหกรรม ได้แก่ เกลือไนเตรทของโซเดียม, โพแทสเซียม, แคลเซียม, แอมโมเนียม ทองแดง, เหล็ก, อะลูมิเนียม, โครเมียม, พรอท, เงิน, บิสมัท, แบเรียม, สตรอนเทียมและตะกั่ว

สูตรโมเลกุล $R[NO_3]$

สูตรโครงสร้าง มี 2 ไอโซเมอร์



2.3.1 แหล่งที่พบ

2.3.1.1 แหล่งธรรมชาติ

ไนเตรทในดิน, น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเกิดขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่นโปรตีนในพืช สัตว์และของเสียจากสัตว์โดยจุลินทรีย์ แอมโมเนียมไอออนจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์และไนเตรท การเกิดไนเตรทและไนไตรท์ตามธรรมชาติจึงเป็นผลเนื่องจากวัฏจักรของไนโตรเจนแต่ไนไตรท์โดยปกติจะพบในปริมาณต่ำมาก

2.3.1.2 แหล่งที่เกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์

1. ปุ๋ย ปุ๋ยสังเคราะห์ซึ่งเป็นแหล่งใหญ่ของไนเตรทในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ สารประกอบไนเตรทของ แอมโมเนียม แคลเซียม, โพแทสเซียมและโซเดียมรวมทั้งยูเรีย

2. ของเสียจากสัตว์ การทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์ก่อให้เกิดสารประเภทไนโตรเจนซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทได้ ของเสียที่ได้จากวัว 7-8 ตัว สามารถนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์เป็นจำนวนถึง 6 ไร่ และการใช้ในปริมาณมากอาจก่อให้เกิดการสะสมของปริมาณไนเตรทในชั้นน้ำใต้ดินสูงกว่า 10 mg/l ปริมาณของไนเตรทจากของเสียจากมนุษย์ประเมินได้ว่ามีประมาณ 5 kg .ต่อคนต่อปี

3. ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณไนโตรเจนในของเสียจะแตกต่างกันตามชนิดของอุตสาหกรรม แต่อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงปิโตรเลียมและการผลิตอาหาร

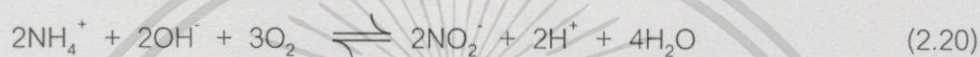
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจเป็นแหล่งเผาไหม้ที่ใช้คุณหมีสวมมีประมาณ 50 ล้านตันต่อปี ปริมาณดังกล่าวส่วนใหญ่จะหมุนเวียนกลับไปยังพื้นโลกในรูปของไนเตรท

4. การใช้สารไนเตรทเป็นสารปรุงแต่งอาหาร ทั้งไนเตรทและไนไตรท์มีการใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตเนื้อสัตว์และรักษาคุณภาพปลาในบางประเทศ

2.3.2 ความเป็นไปในสิ่งแวดล้อมของไนเตรท

สารไนโตรเจนมีวัฏจักรของไนโตรเจนโดยไนโตรเจนในบรรยากาศถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบพวก แอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์ โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในพืชและดิน เช่น ในน้ำ ผิวดิน, ดิน แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) สามารถเปลี่ยนเป็นไนเตรทและไนไตรท์ไอออนได้โดยขบวนการ biological oxidation (nitrification) 2 ขั้นตอน ดังนี้

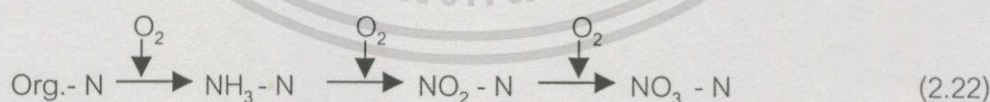


ปฏิกิริยาทั้งสองนี้อาศัยจุลินทรีย์ที่ต่างกัน กล่าวคือโดยจุลินทรีย์ชนิด aerobic chemolithotroph หรือ nitrosomonas และจุลินทรีย์ nitrobacter ซึ่งได้รับพลังงานเกือบทั้งหมดจากการออกซิเดชันไนไตรท์

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำที่สำคัญ มี 4 ประเภท คือ

1. สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic-N) ได้แก่สารประกอบโปรตีนและยูเรีย
2. สารประกอบแอมโมเนีย ($\text{NH}_3\text{-N}$) อยู่ในรูปเกลือแอมโมเนียมบางส่วนอยู่ในรูปอิสระ
3. สารประกอบไนไตรท์ ($\text{NO}_2\text{-N}$) เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการสลายตัวของสารอินทรีย์ไนโตรเจน และมีอยู่ในน้ำจำนวนไม่มากนัก
4. สารประกอบไนเตรท ($\text{NO}_3\text{-N}$) เป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นในขั้นสุดท้ายของการสลายตัวของสารอินทรีย์ไนโตรเจน

การเติมออกซิเจนในสารประกอบไนโตรเจน โดยจุลินทรีย์เกิดขึ้นเป็นขั้นตอนดังนี้



แสดง oxidation chain ของไนโตรเจนในน้ำส่วนสุดท้ายคือไนเตรท

2.3.3 ความเข้มข้นของไนเตรทในสิ่งแวดล้อม

1. บรรยากาศ ความเข้มข้นของไนเตรทในอากาศอยู่ระหว่าง $1\text{--}40 \mu\text{g/m}^3$ การออกซิเดชันในอากาศของออกไซด์ของไนโตรเจนคือ nitrate aerosols และปริมาณของฝุ่นไนเตรทที่เกิดจาก photochemical pollution อาจเกิดขึ้นในเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. น้ำ ปกติน้ำผิวดินมีไนเตรทไม่เกิน 10 mg/l แต่ไนเตรทในน้ำผิวดินและในน้ำใต้ดินในหลาย ๆ ประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น ในสหรัฐอเมริกาพบไนเตรทเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 45 mg/l แม่น้ำ Tamagawa ที่โตเกียวประเทศญี่ปุ่นในปี 1951-1965 พบว่าไนเตรทเพิ่มขึ้นเป็น 9.1 mg/l

จากการสำรวจบ่อน้ำชนบทกว่า 2000 บ่อใน Saskatchewan ประเทศแคนาดา พบว่ามีไนเตรทเกินกว่า 50 mg/l ปริมาณไนเตรทในน้ำใต้ดินในเขตโกลโลวเกีย อยู่ระหว่าง 18-257 mg/l และ พบว่าบ่อน้ำประมาณ 180 บ่อ ในชุมชนที่หนาแน่นในที่ราบภาคกลางและชายฝั่งทะเลด้านใต้ของอิสราเอลมีปริมาณไนเตรทสูงกว่า 45 mg/l

ในประเทศอังกฤษความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำใต้ดินอยู่ระหว่าง 12 mg/l จนถึงมากกว่า 22 mg/l ในสหภาพโซเวียตพบว่าบ่อขุดบางแห่งมีไนเตรทสูง เช่นบ่อในเลนินกราดพบ 310-400 mg/l ใน Tater พบ 110 -200 mg/l และใน Moldvian พบสูงกว่า 430 mg/l

น้ำใต้ดินบริเวณที่มีการปนเปื้อนของไนเตรทที่มีความเข้มข้นสูง ๆ จนเกินขีดความสามารถที่จะยอมรับได้ จะต้องใช้ระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 30 ปีระดับความเข้มข้นของไนเตรทจึงจะเจือจางลงมาในระดับที่ยอมรับได้ [12]

สำหรับประเทศไทยจากการสำรวจคุณภาพน้ำแม่ น้ำของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พบไนเตรทไม่เกินระดับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจืดที่กำหนดไว้คือ 5 mg/l

3. อาหาร จากการรวบรวมข้อมูลของ National Institute of Enviromental Health Science (NIEHS ,1970) พบว่าปริมาณไนเตรทในผักอยู่ในช่วง 0.9 ถึง 2,165 mg/kg นมวัวมีปริมาณไนเตรท 0.05 mg/l

ปริมาณไนเตรทในอาหารทารกเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจเป็นพิเศษเนื่องจากเด็กมีความเสี่ยงต่อการได้รับพิษจากไนเตรทมากกว่าผู้ใหญ่ อาหารสำหรับทารกได้แก่ผลไม้, ผลิตภัณฑ์นม, พุดดิ้ง, ผลิตภัณฑ์ไข่, เนื้อ, อาหารเสริมแห้งและชนิดเข้มข้นจำนวน 194 ตัว อย่างมีปริมาณไนเตรทโดยเฉลี่ยต่ำกว่า 90 mg/kg

ในการสำรวจเนื้อสัตว์พบว่าแฮมมีปริมาณไนเตรทสูงสุด คือ อยู่ระหว่าง 370-511 mg/kg และจากการศึกษาโดย Panalaka และคณะในปี 1972 พบว่าในเนื้อสัตว์ที่มีการถนอมอาหาร (cured meat) มีไนเตรทระหว่าง 0 - 3,467 mg / kg

2.3.4 โทษของไนเตรทที่มีต่อสิ่งมีชีวิต[13]

1 ถ้าบริโภคน้ำที่มีไนเตรทมากเกินไปก่อให้เกิดโรค methaemoglobinaemia หรือที่เรียกว่า Blue Baby Syndrome ปรากฏอาการตัวเขียวในเด็กเกิดจากไนเตรทถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) โดยแบคทีเรียที่พบอยู่ในระบบย่อยอาหารของมนุษย์และสัตว์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อจากนั้น ไนโตรที่จะไปออกซิไดส์เหล็กในโมเลกุลของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) จาก Fe^{2+} กลายเป็น Fe^{3+} และก่อให้เกิดเป็นสารที่เรียกว่า methemoglobin ซึ่งจะไปขัดขวางการทำงานของขนส่งออกซิเจนของฮีโมโกลบินเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีผิวของทารกเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งโรคดังกล่าวจะเกิดกับทารกที่ได้รับปริมาณไนเตรทมากเกินไปในช่วง 1-3 เดือนมากกว่าวัยอื่น ภายหลังจากทารกมีอายุ 3-6 เดือนแล้วความเป็นกรดในกระเพาะอาหารของร่างกายจะเพิ่มขึ้น จนถึงระดับที่พอเพียงที่จะยับยั้งกิจกรรมของแบคทีเรียที่จะเปลี่ยนรูปไนเตรทเป็นไนโตรที่ เพราะฉะนั้น กระทรวงสาธารณสุข (2535) กำหนดมาตรฐานน้ำดื่มไว้ให้มีปริมาณไนเตรทไม่เกิน 5.0 mg/l

2. ผลกระทบด้านอื่น ๆ ของไนเตรทเกี่ยวกับสุขภาพของมนุษย์คือสามารถก่อให้เกิดเป็นไนโตรซามีน (Nitrosamine ; $\text{R}_2\text{N}-\text{N}=\text{O}$) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง นอกจากนี้ไนโตรซามีนยังก่อให้เกิดสภาพเนื้องอกในสัตว์ทดลองโดยตรง [14]

2.3.5 ข้อเสนอแนะและมาตรการทางกฎหมาย

2.3.5.1 ในต่างประเทศ

(1) อาหารสัตว์

สหภาพโซเวียตแนะนำปริมาณไนเตรทสูงสุดที่ยอมให้มีในอาหารสัตว์ ดัง

ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไนเตรทสูงสุดที่ยอมให้มีในอาหารสัตว์

สัตว์	ปริมาณไนเตรท (mg/l)	
	ไนเตรทไอออน	โพแทสเซียมไนเตรท
วัว ควาย	50	90
ลูกวัวต่ำกว่า 6 เดือน	20	32
สัตว์ทุ่งหญ้าตัวเล็ก	40	64
ลูกแกะ ลูกแพะ	4.0	6.0
หมู	10	16
ลูกหมูต่ำกว่า 2 เดือน	1.0	1.6
แม่ไก่	100	160
ลูกไก่	10.0	16.0

(2) อาหารสำหรับมนุษย์

สหภาพโซเวียตแนะนำปริมาณไนเตรทสูงสุดที่ยอมให้มีในผักชนิดต่าง ๆ ดังนี้ มันฝรั่ง 45 mg/kg กระหล่ำ 160 mg/kg แตงกวา 160 mg/kg บีท 1600 mg/kg แครอท 415 mg/kg หากมีการต้มผักดังกล่าวปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้สามารถเพิ่มเป็น 2 เท่า เนื่องจากไนเตรทบางส่วนลงไปอยู่ในน้ำที่ต้ม นอกจากนี้ปริมาณไนเตรทที่ยอมให้รับได้ใน 1 วัน (maximum allowable) สำหรับมนุษย์ไม่เกิน 200 mg

(3) น้ำ

ประเทศสหภาพโซเวียตกำหนดปริมาณไนเตรทในรูปของไนโตรเจนในแหล่งน้ำใช้และการสันหนากวไม่เกิน 10 mg/l ในแหล่งน้ำเพื่อการประมง 9.1 mg/l (ในรูปไนเตรท 40 mg/l) และกำหนดแอมโมเนียมไนเตรทในแหล่งน้ำเพื่อการประมงไม่เกิน 0.5 mg/l (ในรูปแอมโมเนียมไอออน)

สำหรับปริมาณไนเตรทในน้ำเพื่อการอุตสาหกรรม ซึ่งแนะนำโดยสหภาพโซเวียต มีดังนี้

โรงงานสารเคมีไม่ควรมีไนเตรทเกิน 5 mg/l

โรงงานผลิตอาหารไม่ควรมีไนเตรทเลย

2.3.5.2 ประเทศไทย

(1) น้ำ

ประเทศไทยมีการกำหนดปริมาณไนเตรทในน้ำดัง ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การกำหนดปริมาณไนเตรทในน้ำ

ชนิด	ค่ามาตรฐาน(mg/l)	หน่วยงานควบคุม	ที่มา
น้ำดื่ม	ไนเตรท-ไนโตรเจน 4 mg/l	กระทรวงสาธารณสุข	ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 61 พ.ศ. 2524
น้ำบาดาลเพื่อการบริโภค	ไนเตรท 45 mg/l	กระทรวงอุตสาหกรรม	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 4 พ.ศ. 2521
น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	(ไม่มีการกำหนด)	(กระทรวงอุตสาหกรรม)	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 12 พ.ศ. 2525
น้ำทิ้งชุมชน	ไนเตรท - ไนโตรเจน ไม่กำหนดสำหรับชุมชนน้อยกว่า 501 คน และจะกำหนดเมื่อน้ำมีปัญหสำหรับชุมชนมากกว่า 500 คน	สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ	คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งชุมชน
น้ำผิวดิน	ไนเตรท-ไนโตรเจน 5 mg/l	สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ	ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน พ.ศ. 2528

(2) อาหาร

กระทรวงสาธารณสุขประกาศควบคุมปริมาณไนเตรทในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 พ.ศ. 2527 โดยกำหนดให้มีไนเตรทในอาหารได้ไม่เกิน 500 mg/kg

2.3.6 ประโยชน์ไนเตรท

ใช้ในกิจการต่าง ๆ ทั้งทางด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมดังนี้

1. แอมโมเนียมไนเตรทใช้เป็นปุ๋ย ผลิตภัณฑ์ระเบิดและดินปืน ใช้ผลิตไซเตียมไนไตรท์ แก้ว

2. โพลีเอทิลีนไนเตรทใช้เป็นปุ๋ย ใช้ถนอมอาหาร ใช้ในการผลิตโลหะ แก้ว เทียน ไม้ขีด
3. แคลเซียมไนเตรท ใช้เป็นปุ๋ยใช้ผลิตก๊าซไนตรัส ใช้ผลิตโพลีเอทิลีนไนเตรท ตะกั่วไนเตรท และโครเมียมไนเตรทโดยวิธีการย่อยสลาย
4. ไนเตรทของเหล็ก ทองแดง อลูมิเนียม โครเมียม ใช้ในอุตสาหกรรมทอผ้า โดยทำให้สีติดทนทาน
5. ไนเตรทของปรอท เงิน บิสมัท และอื่น ๆ ใช้ในอุตสาหกรรมยารักษาโรค

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Moody G.J. และคณะ (1970) [15] ได้สร้างขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนแคลเซียมชนิดเยื่อพีวีซี โดยใช้ตัวแลกเปลี่ยนของเหลวเป็น didecylphosphoric acid ละลายใน dioctylphenyl phosphonate ซึ่งมีค่าการตอบสนองต่อไอออนแคลเซียมอยู่ในช่วง 10^{-5} – 10^{-1} mol/l ช่วง pH ที่ทำงานได้ดีคือ 5–9.5 ค่าความชันที่ 25°C คือ 30 mV/decade เวลาการตอบสนอง 6 วินาที อายุการใช้งาน 18 เดือน และไอออนที่รบกวนที่สำคัญคือ Zn^{2+} Mg^{2+} Ba^{2+} Na^{+} K^{+} และ H^{+}

Davies J.E.W. และคณะ (1972) [2] ได้สร้างขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะของไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพีวีซี ที่ใช้ตัวแลกเปลี่ยนไอออนชนิดของเหลว 2 ชนิดคือ Corning 477316 และ Orion 92-07-02 ซึ่งผลของการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะชนิดที่ใช้ Corning 477316 มีค่าอยู่ในช่วง 10^{-1} – 10^{-4} mol/l ช่วง pH ที่ทำงานได้ดี 2.5–8 เวลาการตอบสนองเป็นนาที ค่าความชันที่ 25°C เท่ากับ 57 mV/decade อายุการใช้งาน 11 สัปดาห์ และไอออนรบกวนที่สำคัญคือ I^{-} , ClO_3^{-} และ ClO_4^{-} และในกรณีที่ใช้ตัวแลกเปลี่ยนไอออนเป็น Orion 92-07-02 ค่าการตอบสนองต่อไอออน ไนเตรทอยู่ในช่วง 10^{-1} – 2×10^{-4} mol/l ช่วง pH ที่ทำงานได้ดี 2.5–8 เวลาการตอบสนองเป็นนาที ค่าความชันที่ 25°C เท่าเท่ากับ 57 mV/decade อายุการใช้งาน 2-3 สัปดาห์ และไอออนรบกวนที่สำคัญคือ I^{-} , ClO_3^{-} และ ClO_4^{-}

Craggs A.C และคณะ(1974) [16] ได้สร้างขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนชนิดเยื่อ PVC สำหรับตรวจวัดไอออนของแคลเซียมและไนเตรท เนื่องจากการเตรียมที่ไม่ยุ่งยาก และไม่ต้องใช้เทคนิคหรืออุปกรณ์ที่มีราคาแพง โดยใช้ตัวแลกเปลี่ยนไอออนผสมกับ PVC และละลายใน THF แล้วเทลงในท่อแก้ว แล้วปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยออกไปทิ้งไว้ 1 วัน สามารถนำไปใช้ได้ดี

Mitrakas M.G;และ Alexiades C.A. (1991) [17] ได้สร้างขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนของ ไนเตรท quaternary phosphonium salt เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนในเยื่อชนิด PVC ซึ่งผลปรากฏว่ามีค่าการตอบสนองที่ดีต่อไอออนของไนเตรทมากกว่า quaternary ammonium salt ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนของ Orion 93- 07 ซึ่งอาจเกิดจากการที่มีการผสมเข้ากันอย่างดีกับ PVC ของตัวแลกเปลี่ยนไอออนในเยื่อ PVC ซึ่งมีการตอบสนอง ดังนี้คือ ช่วง pH ทำงานได้ 3 – 11 ระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ คือ 10^{-5} mol/l

Hara O. และคณะ (1993) [18] ได้ศึกษาการสร้างขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะต่อไนเตรทแบบเคลือบที่เส้นลวดโดยการจุ่มปลายของแกรไฟต์ลงในของผสมของเบสเสเตียริลแอลกอฮอล์และตัวแลกเปลี่ยนไอออน คือ tetraoctadecylammonium nitrate ion exchanger ใช้ NPOE ผสม ผลการตอบสนองได้ผลดังนี้ค่าความชัน 57.2 mV/decade เวลาการตอบสนอง 1.02 นาที ความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ 1×10^{-1} – 1×10^{-6} mol/l

Knoll M., และคณะ (1994) [19] ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาไนเตรทเซนเซอร์ในด้านเสถียรภาพและอายุการใช้งานที่ดีขึ้นโดยการเคลือบอิเล็กโทรดแบบเส้นลวดแบบฟิล์ม และ ISFETs (ion-selective field-effect transistors) ด้วยเยื่อโพลิเมอร์ PVC ผลที่ได้ทำให้ได้ขนาดที่เล็กลง ราคาถูกในการเตรียมเยื่อเมมเบรนสำหรับไนเตรทประกอบด้วย 32% PVC ; 3.7% tridodecylmethylammonium nitrate; 64.2% 2-nitrophenyloctyl ether นำไปละลายใน 1.8 ml THF และ 1.8 cm^3 cyclohexanone นำไปล้างด้วย อะซีโตน และทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 140°C เยื่อเซนเซอร์ถูกยึดด้วยการซิลเวอร์ เพื่อเชื่อมกับแผงวงจร สำหรับผลการศึกษาหาค่าความชันจะน้อยกว่า 49 mV/decade ขณะจุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นเวลา 320 วัน อายุการใช้งานมีค่านานพอต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานค่า limit of detection เท่ากับ 1.2×10^{-6} mol/l

Zuthier F. และ Cammann K. (1994) [4] ได้สร้างขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทเซนเซอร์ที่มีเสถียรภาพยาวนานโดยใช้ quaternary ammonium salt เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออน 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซออร์มีช่วงการตอบสนองต่อไอออนไนเตรทเท่ากับ 2×10^{-5} – 1×10^{-2} mol/l ค่าความชันเท่ากับ 57.0 ± 1 mV/decade ระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ $1.5 \pm 0.2 \times 10^{-6}$ mol/l อายุการใช้งานถึง 5 เดือน

Zuthier F. และ Cammann K. (1994) [20] ได้ศึกษาการชดเชยอุณหภูมิของไนเตรทเซนเซอร์โดยการเปรียบเทียบธาตุที่ใช้ทำขั้วอ้างอิงภายใน และสารละลายอ้างอิงภายในจากการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบเซนเซอร์ 3 ชนิด คือ Ag/AgCl , Ag/Ag^+ , และ Cu/Cu^{2+} พบว่า Cu/Cu^{2+} เป็นธาตุที่เหมาะสมในการทำเซนเซอร์เนื่องจากไม่มีผลต่อโครงสร้างของสารประกอบและมีการตอบสนองต่อไนเตรทเร็ว

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อพัฒนาตัวไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนในเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์ ผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยดังนี้

- 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์
- 3.2 การเตรียมตัวไฟฟ้าทำงาน
- 3.3 การทำตัวไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์ – ซิลเวอร์คลอไรด์
- 3.4 การทดสอบประสิทธิภาพตัวไฟฟ้าทำงาน
- 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.6 การสรุปผลและรายงาน

3.1 สารเคมี และอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

- พีวีซี เรซิน (Commercial grade) ผลิตโดย siamvic Co.Ltd.(Thailand)
- Tetrahydrofuran (THF) (HPLC grade) ผลิตโดย Fluka(Buchs,Switzerland)
- 2-Nitrophenyloctyl ether (A.R grade) ผลิตโดย Fluka(Buchs,Switzerland)
- Dibutyl phthalate(DBP)(synthesis grade)ผลิตโดย Merck (Germany)
- Tridodecylmethylammonium nitrate(AR grade) ผลิตโดย Fluka (Buchs,Switzerland)
- กรดไนตริก 65%(Pro.analysis) ผลิตโดย Merck (Germany)
- โซเดียมคลอไรด์ (Pro.analysis) ผลิตโดย Carlo Erba.
- โซเดียมไนเตรท(AR grade) ผลิตโดย BDH (England)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (AR grade) ผลิตโดย UNIVAR (Australia)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์(AR grade) ผลิตโดย UNIVAR (Australia)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (AR grade.) ผลิตโดย UNIVAR (Australia)
- ซิลเวอร์ไนเตรท (AR grade) ผลิตโดย BDH(England)
- โพแทสเซียมคลอไรด์(AR grade) ผลิตโดย UNIVAR (Australia)

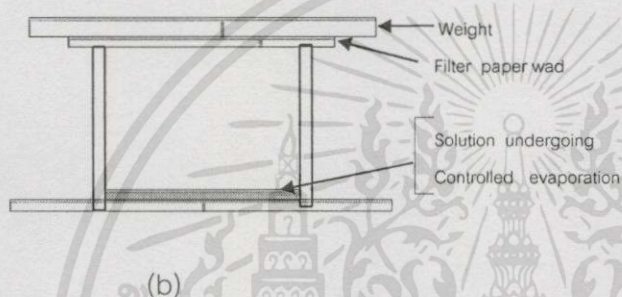
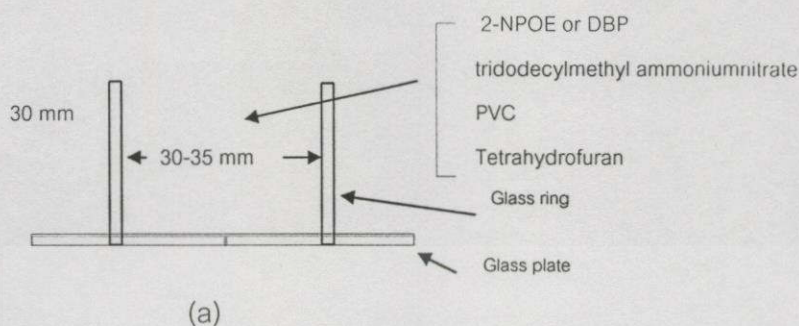
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- หลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm
- ลวดเงิน
- pH/ Ion/ Meter รุ่น 692 ผลิตโดย Metrohm
- Multimeter รุ่น 45 Dual Display ผลิตโดย Fluka
- ขั้วอ้างอิงใช้ Ag / AgCl อิเล็กโทรด
- สายไฟฟ้าพร้อมแจ็ก
- เครื่องกวนแม่เหล็กพร้อมแท่งกวน
- กระดาษกรองเบอร์ 93 ผลิตโดย Whatman
- กระบอกตวง ขนาด 20 , 50 cm³
- ท่อแก้วเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm
- แผ่นแก้วผิวเรียบ
- จานเพาะเชื้อ
- เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงหม้อแปลง AC-DC
- ขั้วโลหะแพลทินัม
- เครื่องชั่งละเอียด

3.2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าทำงาน มีขั้นตอนดังนี้

- 3.2.1 การเตรียมเยื่อ (membrane) [16]
- 3.2.2 การนำเยื่อมาติดหลอดแก้วขั้วไฟฟ้าทำงาน
- 3.2.3 การทำลวดอ้างอิงใช้ทำขั้วไฟฟ้า
- 3.2.4 การเตรียมสารละลายอ้างอิง
- 3.2.5 การประกอบชิ้นส่วนของขั้วไฟฟ้าทำงาน

3.2.1 การเตรียมเยื่อ (membrane) [16]

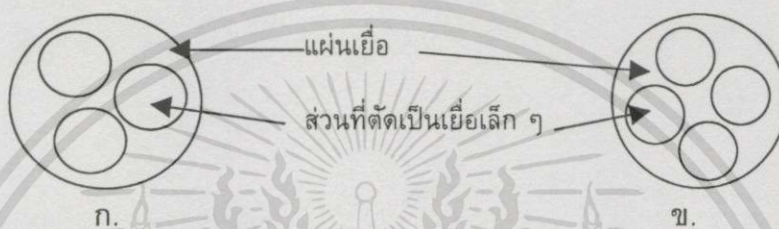


รูปที่ 3.1 แสดงการเตรียมเยื่อเลือกเฉพาะไอออนไนเตรท

1. ชั่ง พลาสติกไซเซออร์ [2- Nitrophenyloctyl ether (2- NPOE)หรือ Dibutyl phthalate (DBP)], PVC, Tridodecylmethylammonium nitrate ตามอัตราส่วนผสมในปิกเกอร์ขนาด 50 cm³ คนด้วยแท่งแก้วจนเข้ากัน แล้วเติม Tetrahydrofuran (THF) คนจนเป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน
2. เทสารละลายลงใน ท่อแก้ว ปิดด้วยกระดาษกรอง
3. ใช้กระจกนาฬิกาวางทับปล่อยให้ตัวทำละลายค่อย ๆ ระเหยจนหมดทิ้งไว้ประมาณ 1 วัน
4. เมื่อแห้งแล้วจะได้เยื่อตามต้องการ (ดังรูป 3.1)
5. เตรียมสารละลายเหมือนข้อ 1. แล้วเทสารละลายลงใน Glass ring ที่มีกระดาษกรอง ตัดให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่า ท่อแก้ว รองอยู่ข้างล่าง ปิดด้วยกระดาษกรอง ดำเนินการตามข้อ 3 และ 4

3.2.2 การนำเยื่อมาติดหลอดแก้วชั่วคราวทำงาน

1. ตัดเยื่อเป็นวงกลมให้มีขนาดเท่าเส้นผ่าศูนย์กลางเท่าหลอดแก้ว (1 cm) ได้ 3-4 อัน ดังรูป 3.2
2. นำหลอดแก้วที่ใช้ทำเป็นชั่วคราวทำงานมาทาด้วยกาวอีพ็อกซีตรงบริเวณปลายหลอดแก้ว
3. นำเยื่อที่ตัดเป็นวงกลมจากข้อ 1 มาติดกับหลอดแก้วบริเวณที่ทาขาวเพื่อเชื่อมให้ติดกับหลอดแก้ว ปล่อยทิ้งไว้ 1 วัน จะได้ชั่วคราวทำงาน 3 หลอด ต่อการเตรียม 1 แผ่นเยื่อ



รูปที่ 3.2 แสดงการตัดแผ่นเยื่อเป็นเยื่อเล็ก ๆ 3-4 อัน ดังรูป ก และ ข

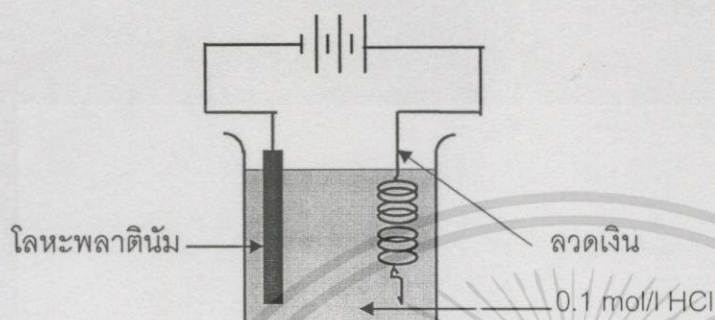


รูปที่ 3.3 แสดงการติดเยื่อในหลอดแก้วชั่วคราวใช้งาน

3.2.3 การทำลวดอ้างอิงใช้ทำขั้วไฟฟ้า [21]

เตรียมโดยการ anodizing ลวดเงินด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง 0.1 mol/l

ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการ anodizing ลวดเงิน

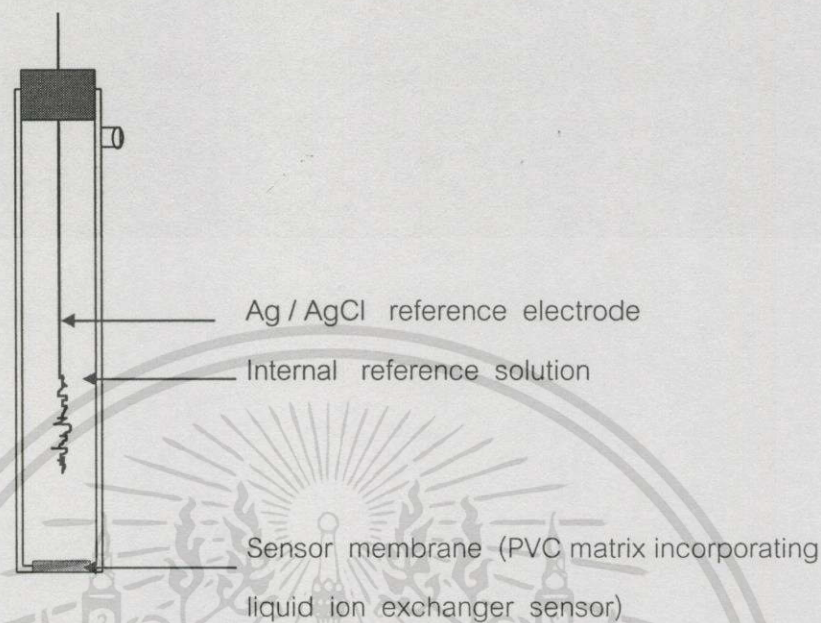
วิธีทำ

1. ทำความสะอาดลวดเงินยาว 15 cm ด้วย NH_4OH ผสมกับ H_2O_2 ด้วยอัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น
2. จัดเตรียมอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.4
3. ปรับอุณหภูมิ $20-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ และความหนาแน่นกระแส 1 mA Vm^{-2}
4. ดำเนินการ anodizing ใช้เวลา 10 ชั่วโมง
5. หลังจากทำคลอไรไดเซชัน (Chlorodization) เสร็จแล้วจุ่มขั้วซิลเวอร์ – ซิลเวอร์คลอไรด์ในสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) เจือจาง 1-2 วัน แล้วนำไปจุ่มในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์อิ่มตัว (Saturated KCl)

3.2.4 การเตรียมสารละลายอ้างอิง

สารละลายอ้างอิงภายในใช้ 0.1 mol/l โซเดียมคลอไรด์ และ 0.1 mol/l โซเดียมไนเตรทผสมกันด้วยอัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร

3.2.5 การประกอบชิ้นส่วนของขั้วไฟฟ้าทำงาน



รูปที่ 3.5 แสดงการประกอบชิ้นส่วนขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรท

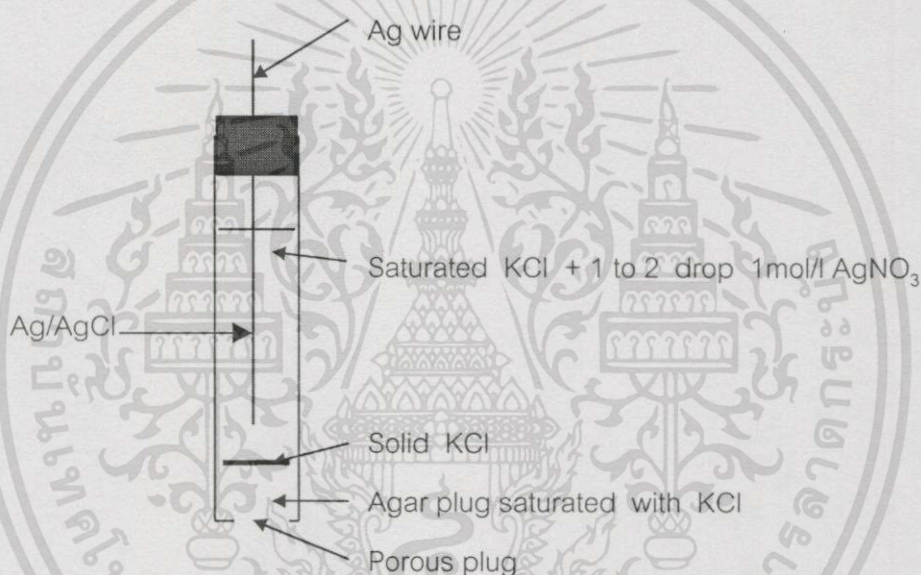
ลำดับขั้นตอน

1. นำหลอดแก้วที่ติดเยื่อแล้ว นำมาประกอบชิ้นส่วนตามรูป
2. สารละลายอ้างอิง (จากหัวข้อ 3.2.4) เติมลงไป 2 ใน 3 ส่วนของหลอดแก้ว
3. เมื่อประกอบชิ้นส่วนเรียบร้อยแล้ว ขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทควรจุ่มอยู่ในสารละลาย 0.1 mol/l ของ NaNO_3 อย่างน้อย 1 วัน
4. ในการเตรียม 1 แผ่นเยื่อจะได้ขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไนเตรท 3 อัน

3.3 การทำขั้วอ้างอิงซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ (Silver-silver chloride electrode)

เตรียม Agar plug saturated (สารละลายวุ้นที่อิ่มตัวด้วย KCl) โดย

1. ใช้วุ้น 5 g ในน้ำ 100 cm³ ที่มี KCl 35 g และต้มให้เดือด ตั้งทิ้งไว้พอสารละลายวุ้นอุ่น ๆ ให้เทลงในหลอดแก้ว ปล่อยให้เย็น
2. เติม KCl ที่เป็นของแข็งลงไปเล็กน้อย แล้วเติมสารละลาย KCl ที่อิ่มตัวลงไป หยด 1 mol/l AgNO₃ ลงไป 1-2 หยด เพื่อให้แน่ใจว่าสารละลายอิ่มตัวด้วย AgCl
3. ใส่ลวด Ag/AgCl ที่เตรียมจากข้อ 3.3.2 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 mm) ลงไปให้สัมผัสกับสารละลายเพื่อเป็นตัวนำไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงขั้วอ้างอิง Ag/AgCl

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทำงาน

3.4.1 การศึกษาเวลาที่ตอบสนองของขั้วไฟฟ้าทำงาน

ทำได้โดยนำสารละลายมาตรฐานโซเดียมไนเตรท ความเข้มข้นหนึ่งมาวัดศักย์ไฟฟ้า แล้วจับเวลาทุก ๆ 10 วินาที จนกระทั่งค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่ และเขียนกราฟระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับเวลา

3.4.2 การศึกษาการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าไอออนโนเตรทที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายโซเดียมโนเตรทที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-2} , 1.0×10^{-3} , 1.0×10^{-4} , 1.0×10^{-5} , 1.0×10^{-6} , และ 1.0×10^{-7} mol/l ตามลำดับ
2. นำขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนโนเตรทและขั้วอ้างอิง (Ag/AgCl) ประกอบเข้ากับเครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือเครื่อง pH/ Ion meter
3. นำมาวัดศักย์ไฟฟ้าในสารละลายโซเดียมโนเตรท ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในข้อ 1. แล้วบันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า
4. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า กับ $\log a_{NO_3^-}$ เพื่อตรวจสอบว่าสอดคล้องกับสมการของเนิสต์หรือไม่ โดยดูจากค่าความชันของกราฟในกรณีค่าศักย์ไฟฟ้า กับ $\log a$ ของขั้วไฟฟ้านั้นสอดคล้องกับสมการของเนิสต์ เราสามารถหาความเข้มข้นต่ำสุดที่ขั้วไฟฟ้าสามารถวัดได้ จากวิธีที่กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.1.6 ค่าแอกทिवิตีของไอออนโนเตรท คำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอกทिवิตี (f) จากการปรับปรุงสมการของเดบาย-ฮักเกิล (Debye - Huckel) [16]

$$-\log f = 0.511z^2 \left(\frac{\sqrt{\mu}}{(1 + 1.5\sqrt{\mu})} - 0.2\mu \right) \quad (3.1)$$

เมื่อ

μ = ความแรงของไอออน

z = ประจุของไอออนที่วิเคราะห์

f = สัมประสิทธิ์แอกทिवิตี

5. ขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้นี้ใช้ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ทุก ๆ การทดลอง

3.4.3 การศึกษาผลของ pH ต่อขั้วไฟฟ้าทำงาน

ทำได้โดยนำขั้วไฟฟ้าที่สร้างขึ้นไปวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าโดยใช้สารละลายมาตรฐานโซเดียมโนเตรทที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-3} และ 1.0×10^{-5} mol/l ที่ทำการปรับ pH ตั้งแต่ 2-10 ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ละหยดเทียบกับขั้วอ้างอิง (Ag/AgCl) บันทึกค่าศักย์ไฟฟ้าและนำมาพลอตกราฟระหว่างค่า pH กับค่าศักย์ไฟฟ้า

3.4.4. การศึกษาผลของการรบกวนของไอออนอื่น

โดยวิธีการผสมสารละลายของสารที่ต้องการวิเคราะห์ (NaNO_3) และไอออนรบกวน (Cl^- , CN^- , F^- , I^-) โดยให้ความเข้มข้นของไอออนรบกวนคงที่ที่ 1.0×10^{-3} mol/l แต่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ (NaNO_3) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (1.0×10^{-7} – 1.0×10^{-1} mol/l) วัดศักย์ไฟฟ้าของสารละลายที่ผสมแล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้า กับลอการิทึมแอกทิวิตีในกราฟเดียวกันดังในรูป 2.4 ซึ่งคำนวณหาสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะไอออน โดยใช้สมการ 2.12 และ สมการ 2.13 สารที่รบกวนคือ คลอไรด์, ไซยาไนต์, ฟลูออไรด์ และไอโอไดด์

3.4.5 ศึกษาอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้าทำงาน

ทำได้โดยการหาค่าความชัน และค่าเวลาการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าในช่วง 1 – 10 สัปดาห์ โดยทำการวัดทุก ๆ สัปดาห์เป็นเวลา 10 สัปดาห์

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นขั้นตอนที่เมื่อทดลองแล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Office 97 และโปรแกรม Microcal Original 3.5 โดยการ

- เขียนกราฟหาค่าความชัน
- หาระดับความเข้มข้นของสารละลายต่ำที่สุดที่สามารถตรวจวัดได้
- หาค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะ
- หาค่าเวลาการตอบสนองของขั้วไฟฟ้า
- หาค่าผลของ pH ต่อขั้วไฟฟ้า
- เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างขั้วไฟฟ้าที่สร้างขึ้นกับขั้วไฟฟ้าที่มีขายในท้องตลาด

3.6 การสรุป และรายงานผล

ผลการทดลอง

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาข้าวไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์ ผู้วิจัยได้สร้างข้าวไฟฟ้าสำหรับวัดไอออนไนเตรท โดยเยื่อพอลิเมอร์ทำมาจากส่วนผสม พีวีซี, พลาสติไซเซอร์, สารแลกเปลี่ยนไอออน และตัวทำละลายสารอินทรีย์ ทั้งแบบที่ใช้กระดาษกรองและไม่ใช้กระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรง แล้วทดสอบคุณสมบัติซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

4.1 การเตรียมข้าวอ้างอิง

4.2 การศึกษาอัตราส่วนประกอบของเยื่อ

4.3 ข้าวไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพของข้าวไฟฟ้าทำงานที่สร้าง

4.4.1 การศึกษาเวลาที่ตอบสนองของข้าวไฟฟ้า

4.4.2 การศึกษาการตอบสนองของข้าวไฟฟ้าที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

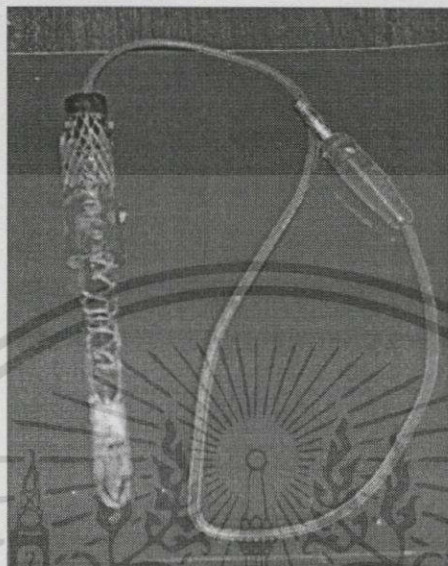
4.4.3 การศึกษาผลของ pH ต่อข้าวไฟฟ้า

4.4.4 การศึกษาผลของการรบกวนของไอออนอื่นต่อข้าวไฟฟ้า

4.4.5 ศึกษาอายุการใช้งานของข้าวไฟฟ้า

4.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl

จากการเตรียมขั้วอ้างอิงในหัวข้อ 3.3 จะได้ขั้วอ้างอิง Ag/AgCl ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl

4.2 การศึกษาอัตราส่วนของส่วนประกอบเยื่อ

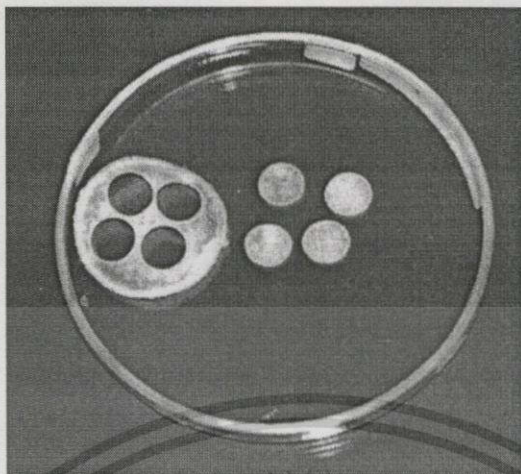
เพื่อให้ได้ลักษณะสมบัติที่ดีที่สุดของเยื่อ เมื่อใช้พลาสติกไซเซอร 2 ชนิด คือ 2-NPOE และ DBP มีสูตรการเตรียมดังตารางที่ 4.1 และเมื่อทำการเตรียมแผ่นเยื่อตามวิธีการที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1 จะได้แผ่นเยื่อดังแสดงในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงสูตรการเตรียมแผ่นเยื่อ

สูตรที่	พีวีซี(mg)	พลาสติกไซเซอร(mg)		ไอออนไนท์ ***TDMANO ₃ (mg)	THF (cm ³)	กระดาษ กรอง	ไม่มี กระดาษ กรอง
		*2-NPOE	**DBP				
1	113	271	-	16	5	✓	-
2	113	271	-	16	5	-	✓
3	113	-	271	16	5	✓	-
4	113	-	271	16	5	-	✓

*2-Nitrophenyloctyl ether **Dibutyl phthalate *** Tridodecylmethylammonium nitrate

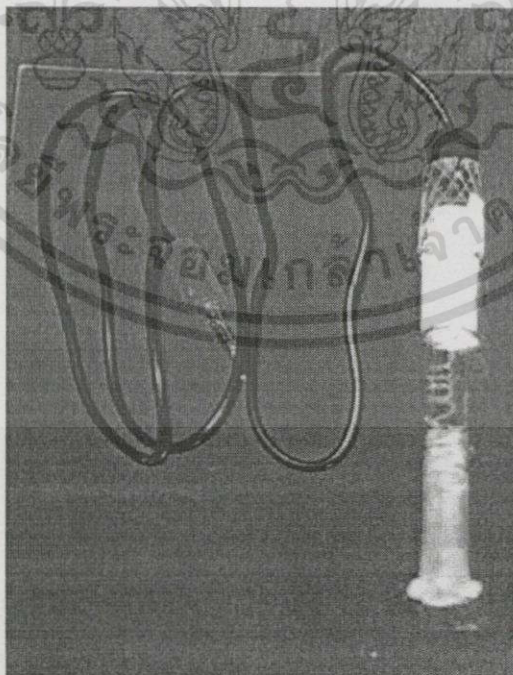
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะแผ่นเยื่อ

4.3 ขั้วไฟฟ้าเยื่อเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์ (NO₃ISE)

เมื่อนำแผ่นเยื่อที่เตรียมไว้มาประกอบเข้ากับลวดอ้างอิงที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.2.3 ตามขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนที่กล่าวไว้ในข้อ 3.2.5 จะได้ขั้วเลือกเฉพาะไอออนของไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์ดังรูปที่ 4.3



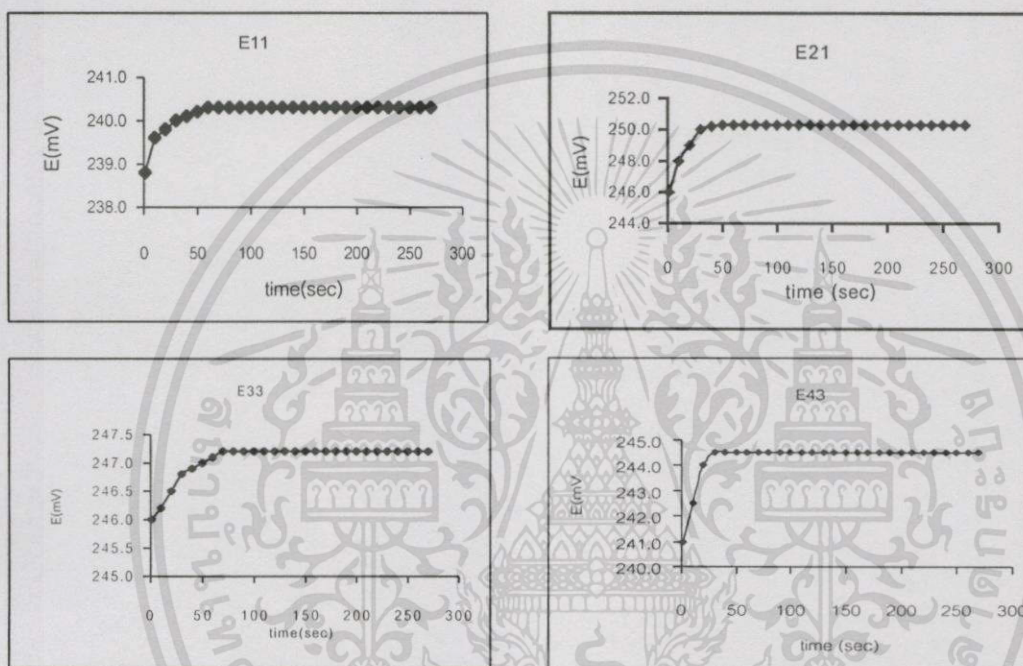
รูปที่ 4.3 ขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทำงานที่สร้าง(NO_3^- ISE)

4.4.1 การศึกษาเวลาที่ตอบสนองของขั้วไฟฟ้า

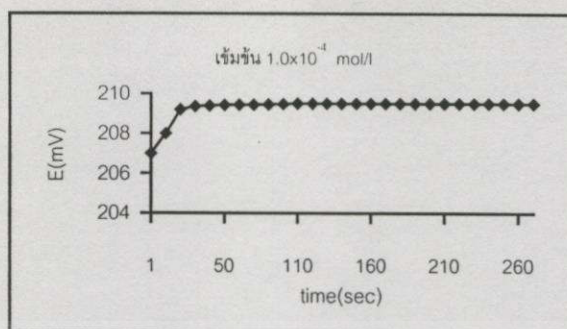
โดยวัดศักย์ไฟฟ้าของแต่ละขั้วเทียบกับเวลาทุก ๆ 10 วินาที จนกระทั่งศักย์ไฟฟ้าเข้าสู่สมดุล แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับเวลา(วินาที) และหาเวลาการตอบสนองโดย ดูจากค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มคงที่ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.4 และเวลาการตอบสนองของขั้วไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.4.ก กราฟแสดงเวลาที่ตอบสนองและค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า E11, E21, E33 และ E43 ที่วัดในสารละลาย NaNO_3 ที่ความเข้มข้น $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ ที่ 25°C

ตารางที่ 4.2 ผลการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าในเตรทสูตรที่ 1 (E11), 2 (E21), 3 (E33) และ 4 (E43) ที่วัดในสารละลาย NaNO_3 ที่ความเข้มข้น $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ ที่ 25°C

ขั้วไฟฟ้าหมายเลข	เวลาการตอบสนอง(วินาที)
E11	75
E21	53
E33	70
E43	40



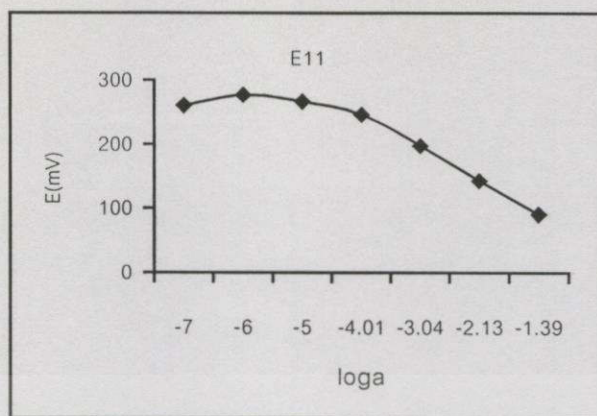
รูปที่ 4.4 ข กราฟแสดงเวลาที่ตอบสนองและค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า Metrohm วัดสารละลาย NaNO_3 ที่ความเข้มข้น $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ ที่ 25°C

4.4.2 การศึกษาการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

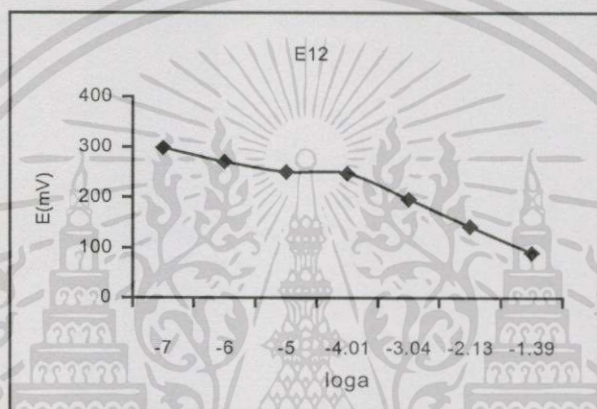
ขั้วไฟฟ้าที่ได้จากการสร้างของแต่ละสูตร ดังหัวข้อ 3.2.5 และขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่สร้างขึ้น มาต่อเข้ากับเครื่อง ion/meter แล้วนำไปวัดศักย์ไฟฟ้าในสารละลายมาตรฐานโซเดียมไนเตรทที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-7} - $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/l}$ นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟ ดังแสดงในรูป 4.5-4.8 และค่าความชันของกราฟและค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้โดยวิธีดังหัวข้อ 2.1.6 แสดงในตารางที่ 4.3-4.6

ตารางที่ 4.3. แสดงค่าความชันและความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้จากการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 1 โดยใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซออร์ แบบที่มีกระดาดากรอง

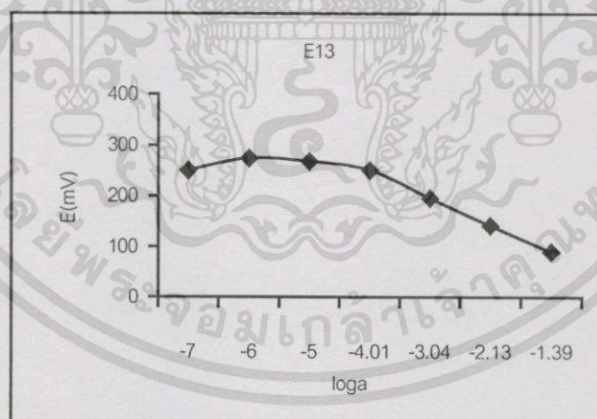
หมายเลขขั้ว	ค่าความชัน(mV/decade)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้(mol/l)
E11	-59.3	4.1×10^{-5}
E12	-59.6	1.5×10^{-5}
E13	-60.8	3.3×10^{-5}
เฉลี่ย	-59.9	2.9×10^{-5}



ก



ข

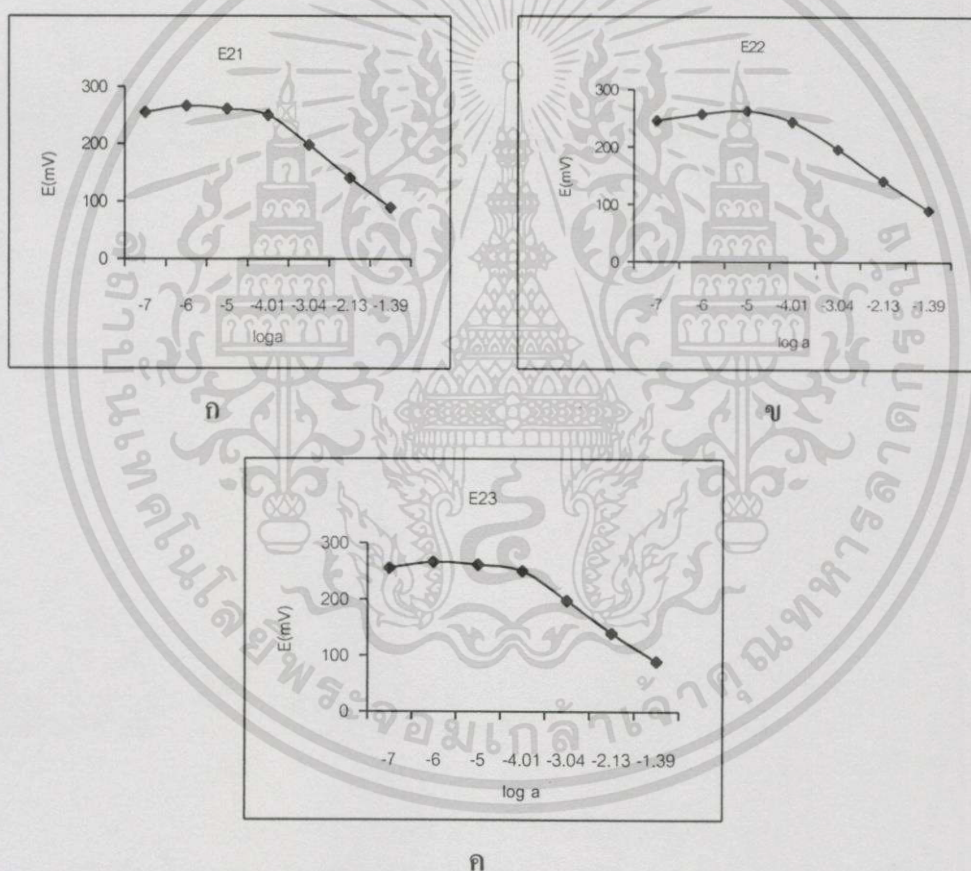


ค

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ จากขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ขั้วที่สร้างขึ้นตามสูตร 1 ใช้ 2- NPOE เป็นพลาสติกไซเซอร์ แบบมีกระดาชกรอง โดย ก - ค แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ ของขั้วไฟฟ้าที่ E11 - E13 ตามลำดับ เมื่อ E11, E12 และ E13 คือขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้จากเยื่อสูตรที่ 1 ชั้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความชันและค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้จากการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 2 โดยใช้ 2- NPOE เป็นพลาสติกไซเซออร์ แบบที่ไม่มีกระดาศกรง

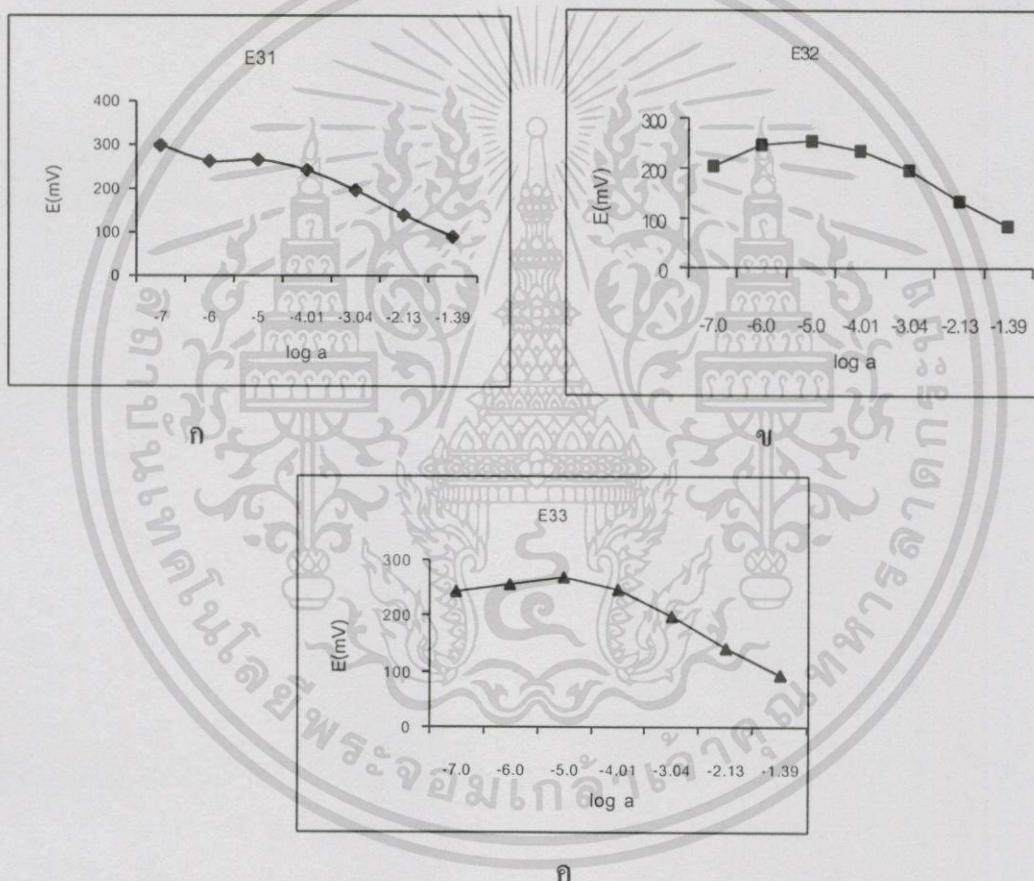
หมายเลขขั้ว	ค่าความชัน(mV/decade)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้(mol/l)
E21	-61.9	4.1×10^{-5}
E22	-57.6	6.5×10^{-5}
E23	-61.7	4.1×10^{-5}
เฉลี่ย	-60.4	4.9×10^{-5}



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ จากขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ที่สักร้าขึ้นตามสูตรที่ 2 ใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซออร์ แบบไม่มีกระดาศกรง โดย ก-ค แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ ของขั้วไฟฟ้าที่ E21-E23 ตามลำดับ เมื่อ E21, E22 และ E23 คือขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้จากเยื่อสูตรที่ 2 ชั้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความชันและค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้จากการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 3 โดยใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซอร แบบที่มีกระดาศกรงที่ 25 °C

หมายเลขขั้ว	ค่าความชัน(mV/decade)	ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้(mol/l)
E31	-58.1	1.1×10^{-4}
E32	-57.7	3.3×10^{-5}
E33	-59.7	3.7×10^{-5}
เฉลี่ย	-58.5	5.7×10^{-5}

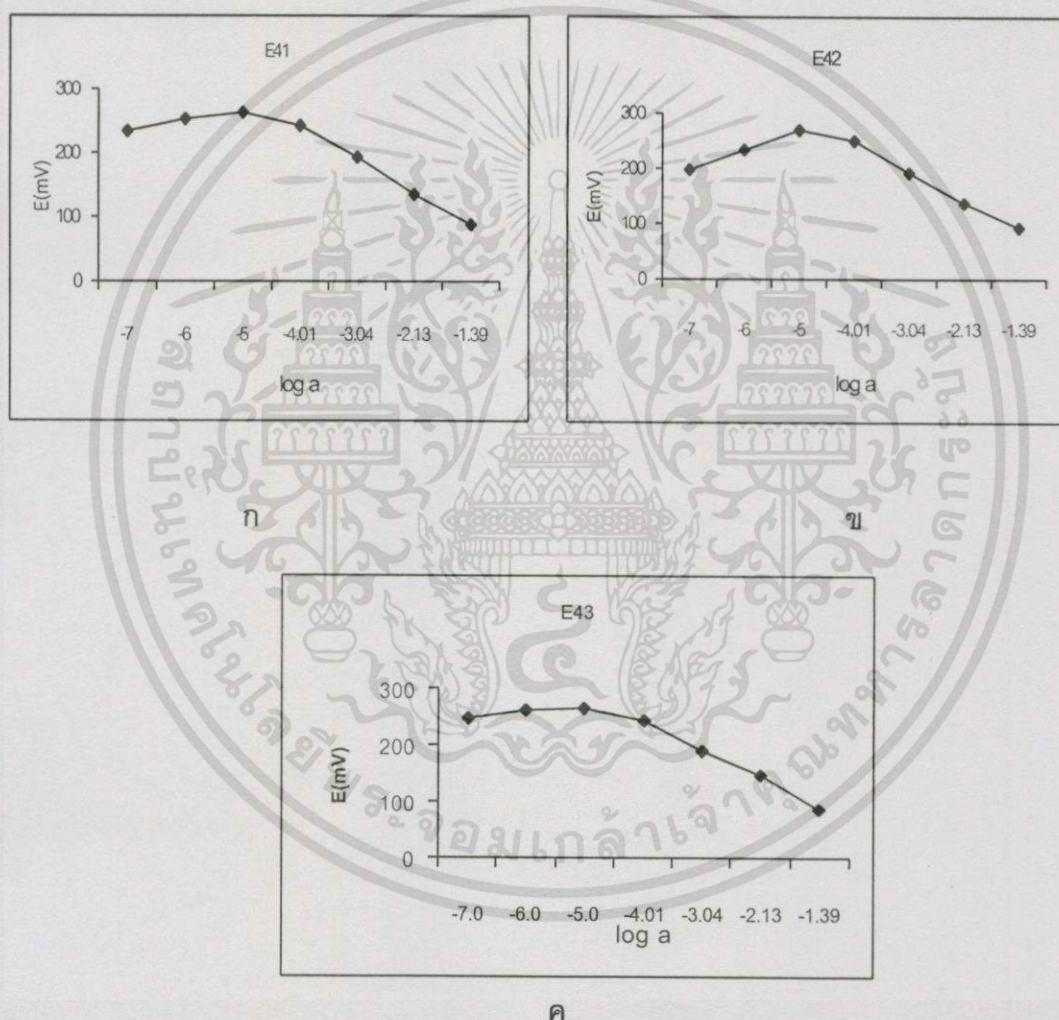


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ จากขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ขั้วที่สร้างขึ้นตามสูตร 3

โดยใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซอร แบบไม่มีกระดาศกรง โดย ก-ค แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ ของขั้วไฟฟ้าที่ E31-E33 ตามลำดับ เมื่อ E31 , E32 และ E33 คือขั้วที่เตรียม ได้จากเยื่อสูตรที่ 3 ชั้นที่ 1 , 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความชันและค่าความเข้มข้นต่ำสุดจากการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าสูตร
ที่ 4 โดยใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซอร แบบที่ไม่มีกระดาศกรง ที่อุณหภูมิ 25 °C

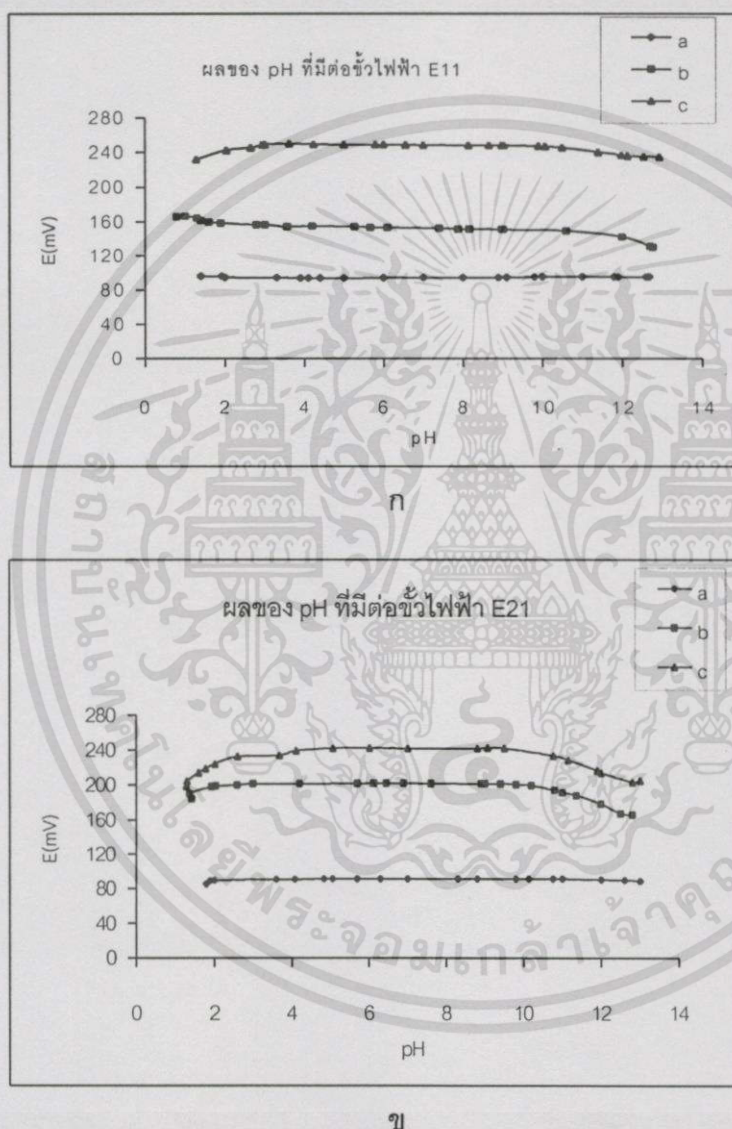
หมายเลขขั้ว	ค่าความชัน(mV/decade)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้(mol/l)
E41	-59.3	1.1×10^{-4}
E42	-59.1	3.4×10^{-5}
E43	-59.5	4.1×10^{-5}
เฉลี่ย	-59.3	3.9×10^{-5}



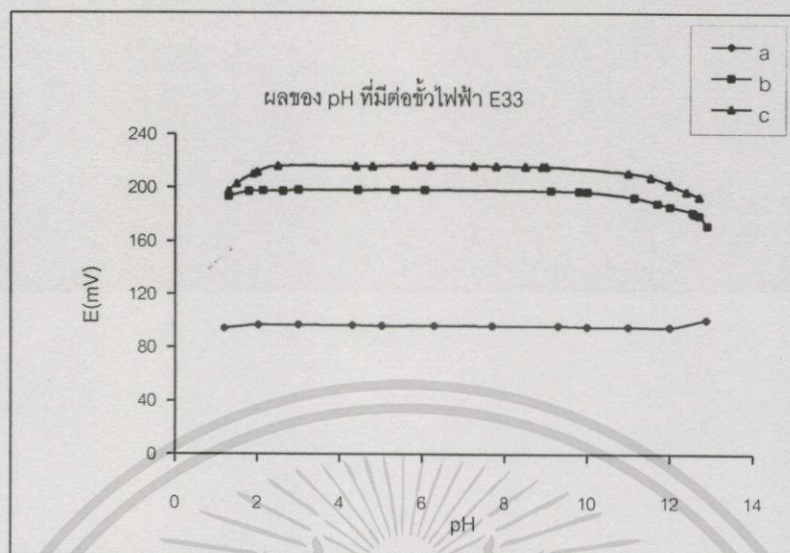
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ $\log a_{\text{NO}_3^-}$ จากขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ขั้ว ที่สร้างขึ้นตามสูตรที่ 4
ใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซอรแบบไม่มีกระดาศกรง โดย ก - ค แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าและ
 $\log a_{\text{NO}_3^-}$ ของขั้วไฟฟ้าที่ E41-E43 ตามลำดับ เมื่อ E41, E42 และ E43 คือขั้วไฟฟ้าที่
เตรียมได้จากเยื่อสูตรที่ 4 ชั้นที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

4.4.3 การศึกษาผลของ pH ต่อศักย์ไฟฟ้าของขั้วทำงาน

ใช้ขั้วไฟฟ้าหมายเลข E11, E21, E33 และ E43 วัดศักย์ไฟฟ้าของสารละลายตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของไอออนของไนเตรท(NaNO_3) 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-3} และ 1.0×10^{-5} mol/l โดยใช้ กรดซัลฟูริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวปรับค่า pH ของสารละลายให้อยู่ในช่วง pH 1 – 14 และความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับค่า pH ดังแสดงผลในกราฟรูปที่ 4.9- 4.10



รูปที่ 4.9 แสดงค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากขั้วไฟฟ้าหมายเลข E11 ดังในรูป ก และขั้วไฟฟ้าหมายเลข E21 ดังในรูป ข ที่ระดับความเข้มข้นสารละลาย NaNO_3 a= 1.0×10^{-1} , b= 1.0×10^{-3} และ c= 1.0×10^{-5} mol/l



ข

รูปที่ 4.10 แสดงค่า pH ที่วัดได้จากขั้วไฟฟ้าหมายเลข E33 ดังในรูป ก และหมายเลข E43 ดัง

ในรูป ข ที่ระดับความเข้มข้นสารละลาย NaNO_3 $a=1.0 \times 10^{-1}$, $b=1.0 \times 10^{-3}$ และ $c=1.0 \times 10^{-5}$ mol/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

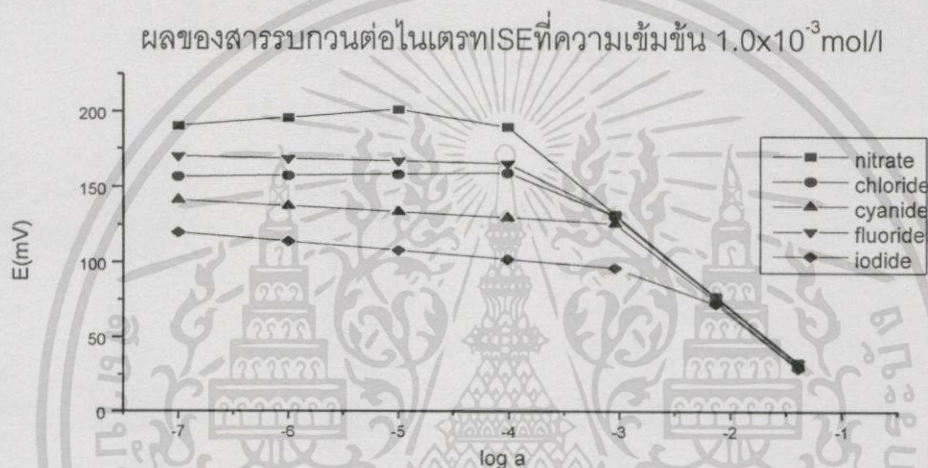
ตารางที่ 4.7 แสดงผลเปรียบเทียบช่วง pH ของขั้วไฟฟ้าที่สร้างจากสูตร 1 – 4

ความเข้มข้นของ ของ $\text{NO}_3^-(\text{mol/l})$	ช่วง pH ที่ใช้งานได้ดี			
	E11	E21	E33	E43
1.0×10^{-1}	1.8 – 12.0	1.8 – 12.6	2.3 – 11.2	2.2 – 11.2
1.0×10^{-3}	3.3 – 10.6	1.9 – 10.2	2.1 – 10.0	2.6 – 10.0
1.0×10^{-5}	2.4 – 9.0	2.5 – 9.0	2.5 – 9.0	2.9 – 9.9

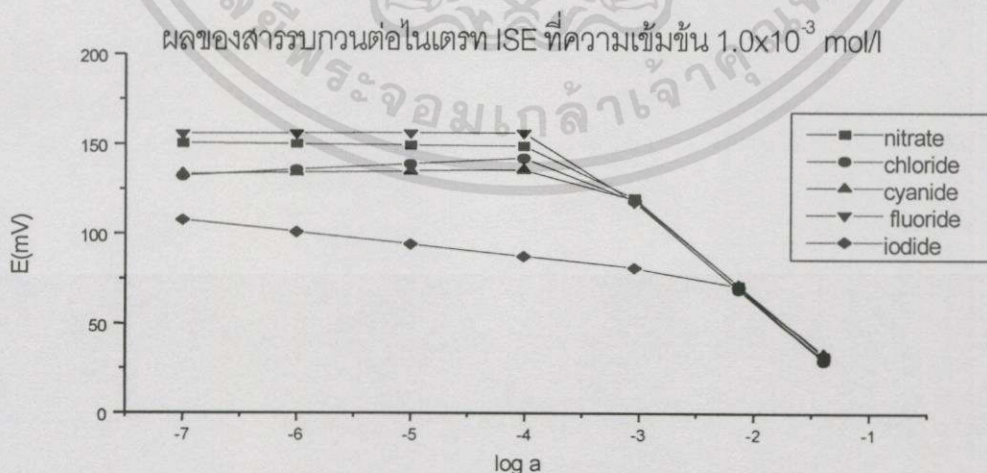


4.4.4 การศึกษาผลของการรบกวนของไอออนอื่น

โดยวิธีการผสมสารละลายของสารที่ต้องการวิเคราะห์ (NaNO_3) และไอออนรบกวน (Cl^- , CN^- , F^- , I^-) โดยให้ความเข้มข้นของไอออนรบกวนคงที่ที่ $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ แต่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ (NaNO_3) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ($1.0 \times 10^{-7} - 1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/l}$) วัดศักย์ไฟฟ้าของสารละลายที่ผสมแล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับลอการิทึมของกิจกรรมไอออน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 - 4.14 สารที่รบกวนคือ คลอไรด์, ไสยาไนต์, ฟลูออไรด์ และไอโอดีน

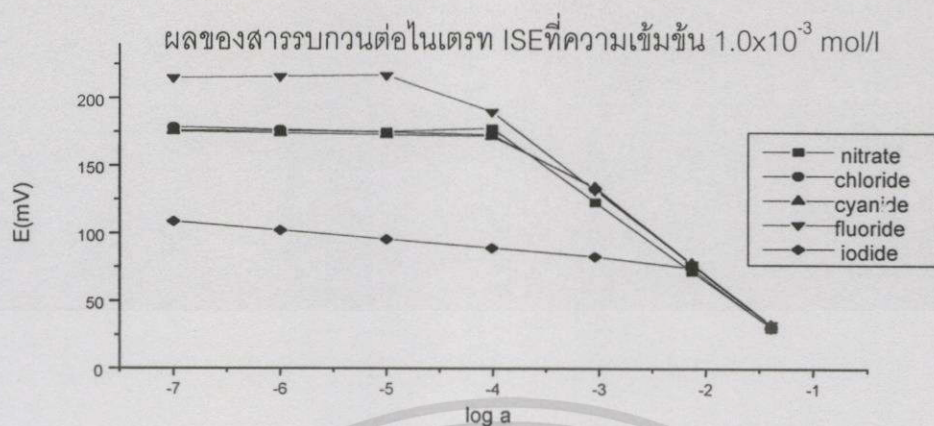


รูปที่ 4.11 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้ากับลอการิทึมของกิจกรรมไอออนที่มี Cl^- , CN^- , F^- และ I^- เป็นสารรบกวนที่ความเข้มข้น $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ ที่วัดได้จากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 1 (E11)



รูปที่ 4.12 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้ากับลอการิทึมของกิจกรรมไอออนที่มี Cl^- , CN^- , F^- และ I^- เป็นสารรบกวนที่ความเข้มข้น $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ ที่วัดได้จากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 2 (E21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้ากับลอการิทึมที่มี Cl^- , CN^- , F^- และ I^- เป็นสารรบกวนที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l ที่วัดได้จากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 3 (E33)



รูปที่ 4.14 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้ากับลอการิทึมที่มี Cl^- , CN^- , F^- และ I^- เป็นสารรบกวนที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l วัดได้จากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 4 (E43)

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการรบกวนของไอออนต่าง ๆ ต่อขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรท

หมายเลขขั้ว	Selectivity Coefficient (K_{ij})			
	Cl^-	CN^-	F^-	I^-
E11	0.38	0.72	0.22	1.41
E21	0.40	0.54	0.54	1.73
E33	0.14	0.27	0.03	2.45
E43	0.55	0.55	0.34	3.47

ผลการรบกวนสรุปได้ว่า

E11 การรบกวน $\text{I}^- > \text{CN}^- > \text{Cl}^- > \text{F}^-$

E21 การรบกวน $\text{I}^- > \text{CN}^-$, $\text{F}^- > \text{Cl}^-$

E33 การรบกวน $\text{I}^- > \text{CN}^- > \text{Cl}^- > \text{F}^-$

E43 การรบกวน $\text{I}^- > \text{Cl}^-$, $\text{CN}^- > \text{F}^-$

4.4.5 การศึกษาอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้าทำงาน

ทำได้โดยการหาค่าความชันและค่าเวลาการตอบสนองในช่วง 1-10 สัปดาห์ โดยทำการวัดค่าต่าง ๆ ทุก ๆ สัปดาห์ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้า

หมายเลข	สัปดาห์ที่ใช้งานได้ดี(สัปดาห์)	ช่วงค่าความชัน(mV/decade)
E11	1-10	-59.3 ถึง -60.8
E21	1-8	-57.6 ถึง -61.9
E33	1-5	-57.7 ถึง -59.6
E43	1-6	-59.4 ถึง -59.4

4.4.6 การศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าทำงานที่มีขายในท้องตลาด

โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทของบริษัท Metrohm เบอร์ 6.1241.050 ผลิตในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ผลการทดลองให้ผลดังนี้

ค่าความชัน $= -60.4 \text{ mV/decade}$

ความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ $= 3.5 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$

ผลของเวลาที่ตอบสนอง $= 35 \text{ วินาที}$

ช่วง pH ที่ใช้งานได้ดี $= 2 - 12$

ค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะไอออน

$\text{Cl}^- = 0.12$

$\text{CN}^- = 3.46$

$\text{F}^- = 0.12$

$\text{I}^- = 21.87$

ผลการรบกวน $\text{I}^- \gg \text{CN}^- > \text{F}^- > \text{Cl}^-$ ไอโอดีนรบกวน มากกว่า
ไซยาไนด์ มากกว่า ฟลูออไรด์ และคลอไรด์ ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาเรื่อง การพัฒนาชีวไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิดเยื่อพอลิเมอร์ โดยการเตรียมเยื่อพอลิเมอร์มีส่วนประกอบ คือ พีวีซี , พลาสติไซเซอร์ และไอโอโนฟอร์ ละลายในตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟูแรน (THF) ชนิดที่มีกระดาษกรองและไม่มีกระดาษกรอง ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ Tridodecylmethylammonium nitrate เป็น ไอโอโนฟอร์ และใช้ 2-NPOE และ DBP เป็นพลาสติไซเซอร์ โดยศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์ทั้ง 2 ชนิดที่มีต่อประสิทธิภาพของชีวไฟฟ้าทั้งชนิดที่ใช้กระดาษกรองและไม่ใช้กระดาษกรอง

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 เวลาที่ตอบสนองของชีวไฟฟ้า

5.1.1.1 สูตรที่ 1 ใช้พลาสติไซเซอร์ 2-NPOE ชั่วที่ใช้กระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรงใช้เวลา 75 วินาที และสำหรับชั่วที่ไม่ใช้กระดาษกรองใช้เวลา 53 วินาที

5.1.1.2 สูตรที่ใช้ DBP เป็นพลาสติไซเซอร์ ชั่วที่ใช้กระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรงใช้เวลา 70 วินาที ส่วนชั่วที่ไม่ใช้กระดาษกรองใช้เวลา 40 วินาที

5.1.1.3 สูตรที่ใช้พลาสติไซเซอร์ DBP แบบมีกระดาษกรองจะใช้เวลาการตอบสนองเร็วกว่า แบบที่ใช้พลาสติไซเซอร์ 2 - NPOE

5.1.2 การศึกษาการตอบสนองของชีวไฟฟ้าที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

5.1.2.1 สูตร 1 ชนิดใช้ 2 - NPOE เป็นพลาสติไซเซอร์ที่ใช้กระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรงวัดค่าความชันเฉลี่ย -59.9 mV/decade ความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้เฉลี่ย $2.9 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$

5.1.2.2 สูตรที่ 2 ชนิดที่ใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติไซเซอร์แบบไม่ใช้กระดาษกรองเสริมแรง วัดค่าความชันเฉลี่ย -60.4 mV/decade และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ เฉลี่ย $4.9 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$

5.1.2.3 สูตรที่ 3 ใช้ DBP เป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดใช้กระดาษกรองเสริมแรง ค่าความชันเฉลี่ย -58.5 mV/decade ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้เฉลี่ย $5.7 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$

5.1.2.4 สูตรที่ 4 ใช้ DBP เป็นพลาสติไซเซอร์แบบไม่ใช้กระดาษกรองวัดค่าความชันเฉลี่ย -59.3 mV/decade ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้เฉลี่ย $3.5 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$

5.1.2.5 สูตรทั้ง 4 มีค่าความชันอยู่ในช่วง -58.5 ถึง -60.4 mV/decade

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.6 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้อยู่ระหว่าง $2.9 \times 10^{-5} - 5.7 \times 10^{-5}$ mol/l

5.1.3 การศึกษาผลของ pH ต่อชีวไฟฟ้า

5.1.3.1 สูตรที่ 1 ใช้ 2-NPOE เป็น พลาสตีไซเซอร์ แบบใช้กระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรง ช่วง pH ที่ใช้งานได้ดี คือ

ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} mol/l ช่วง 1.8 – 12.0

ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l ช่วง 3.3 – 10.6

ความเข้มข้น 1.0×10^{-5} mol/l ช่วง 2.4 – 9.0

ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} mol/l จะมีช่วงใช้งานกว้างกว่า ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l และกว้างกว่า 1.0×10^{-5} mol/l ตามลำดับ

5.1.3.2 สูตรที่ 2 ใช้ 2-NPOE เป็นพลาสตีไซเซอร์แบบไม่มีกระดาษกรอง ช่วง pH ที่ใช้งานได้ดีคือ

ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} mol/l ช่วง 1.8 – 12.6

ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l ช่วง 1.9 – 10.2

ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-5} mol/l ช่วง 2.5 – 9.0

5.1.3.3 สูตรที่ 3 ใช้ DBP เป็นพลาสตีไซเซอร์แบบใช้กระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรง ช่วง pH ที่ใช้งานได้ดีคือ

ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} mol/l ช่วง 2.3 – 11.2

ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l ช่วง 2.1 – 10.0

ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-5} mol/l ช่วง 2.5 – 9.0

5.1.3.4 สูตรที่ 4 ใช้ DBP เป็นพลาสตีไซเซอร์แบบไม่ใช้กระดาษกรอง ช่วง pH ที่ใช้งานได้ดีคือ

ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} mol/l ช่วง 2.2 – 11.2

ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l ช่วง 2.6 – 10.0

ความเข้มข้น 1.0×10^{-5} mol/l ช่วง 2.9 – 9.9

5.1.3.5 ช่วงที่ใช้งานที่ดีที่สุดคือ สูตรที่ 1 เพราะว่ามีช่วงใช้งานที่กว้างกว่าสูตรอื่น

5.1.4 การศึกษาผลของการรบกวนของไอออนอื่น

5.1.4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะไอออนของชีวไฟฟ้าให้ผลดังนี้

5.1.4.1.1 สูตรที่ 1 ไอออนที่รบกวนมากที่สุดคือ ไอโอไดด์ ส่วนไฮยาไนต์ คลอไรด์ และฟลูออไรด์รบกวนน้อยลงตามลำดับ

5.1.4.1.2 สูตรที่ 2 ไอออนที่รบกวนมากที่สุดคือ ไอโอไดต์ ส่วนไฮยาไนต์ฟลูออไรด์ และคลอไรด์ รบกวนน้อยลงตามลำดับ

5.1.4.1.3 สูตรที่ 3 ไอออนที่รบกวนมากที่สุดคือ ไอโอไดต์ ส่วนไฮยาไนต์ คลอไรด์ และฟลูออไรด์รบกวนน้อยลงตามลำดับ

5.1.4.1.4 สูตรที่ 4 ไอออนที่รบกวนมากที่สุดคือ ไอโอไดต์ ส่วนคลอไรด์ ไฮยาไนต์ และฟลูออไรด์รบกวนน้อยลงตามลำดับ

5.1.4.1.5 ทุกสูตรจะให้ผลเหมือนกันคือ ไอโอไดต์จะรบกวนมากที่สุด และฟลูออไรด์รบกวนน้อยที่สุด

5.1.4.1.6 ไอโอไดต์จะรบกวนซ้ำที่ใช้ 2- NPOE เป็นพลาสติกไซเซอรน้อยกว่าซ้ำที่ใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซอรทั้งที่มีกระดาศกรองและไม่มีกระดาศกรอง

5.1.5 ศึกษาอายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้า

5.1.5.1 ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ 2- NPOE เป็นพลาสติกไซเซอรแบบที่มีกระดาศกรองเป็นตัวเสริมแรงจะมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 สัปดาห์

5.1.5.2 ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซอรแบบที่ไม่มีกระดาศกรองเป็นตัวเสริมแรงจะมีอายุการใช้งาน 8 สัปดาห์

5.1.5.3 ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซอรแบบที่มีกระดาศกรองเป็นตัวเสริมแรงจะมีอายุการใช้งาน 5 สัปดาห์

5.1.5.4 ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซอรแบบที่ไม่มีกระดาศกรองเป็นตัวเสริมแรงจะมีอายุการใช้งาน 6 สัปดาห์

5.1.5.5 ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซอรที่มีอายุการใช้งานยาวกว่าที่ใช้ DBP พลาสติกไซเซอรทั้งที่มีกระดาศกรองและไม่มีกระดาศกรอง

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลอง

ชนิดขั้วไฟฟ้า	เวลาตอบสนอง (วินาที)	ความชัน (mV/decade)	ความเข้มข้น (C)ต่ำสุด (mol/l)	ช่วง pH	Kij			
					Cl ⁻	CN ⁻	F ⁻	I ⁻
สูตร 1	75	-59.9	2.9×10^{-5}	3.3-9.0	0.38	0.72	0.22	1.41
สูตร 2	53	-60.4	4.9×10^{-5}	2.5-9.0	0.40	0.54	0.54	1.73
สูตร 3	70	-58.5	5.7×10^{-5}	2.5-9.0	0.14	0.27	0.03	2.45
สูตร 4	40	-59.3	3.9×10^{-5}	2.9-9.9	0.55	0.55	0.34	3.47
Metrohm	35	-60.4	3.5×10^{-5}	2-12	0.12	3.46	0.12	21.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้คือ ขั้วไฟฟ้าทุกสูตรมีสมบัติอื่นๆ คือ ค่าความชัน เวลาการตอบสนอง ช่วง pH และความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้มีค่าใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับขั้วไฟฟ้าที่มีจำหน่ายในตลาด แต่ขั้วไฟฟ้าที่มีส่วนผสม 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซอร แบบมี กระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรง จะมีประสิทธิภาพดีกว่าขั้วไฟฟ้าสูตรอื่นเนื่องจากมีอายุการใช้งาน ที่นานกว่า

5.2 อภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยการสร้างขั้วไฟฟ้าจาก เยื่อพอลิเมอร์ในอัตราส่วน พีวีซี : พลาสติกไซเซอร : ไอออนโพลี เทากับ 113:271:16 โดยน้ำหนัก ละลายใน THF 5 cm³ ปรากฏว่า

การวิจัยนี้ได้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ

1. ได้พลาสติกไซเซอรและอัตราส่วนที่ดีและเหมาะสมในการเตรียมเยื่อพอลิเมอร์ ที่มีอายุการใช้งานนาน คือ 2-NPOE
2. สร้างขั้วอ้างอิงและขั้วใช้งานในการตรวจวัดไอออนไนเตรทที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับขั้วไฟฟ้าใช้งานที่จำหน่ายในท้องตลาดซึ่งให้การตอบสนองต่อสมการเนิร์นสต์

5.2.1 การศึกษาเวลาตอบสนองของขั้วไฟฟ้า

5.2.1.1 ขั้วไฟฟ้าที่ใช้กระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรงจะใช้เวลาในการตอบสนอง นานกว่า แบบไม่มีกระดาษกรองทั้งแบบที่ใช้ 2-NPOE และ DBP เป็นพลาสติกไซเซอรเนื่องจาก เยื่อมีความหนาของกระดาษกรองเพิ่มขึ้นทำให้เพิ่มความเกะกะของการแลกเปลี่ยนไอออนจึงมี ผลต่อเวลาการเข้าสู่สมดุลของศักย์ไฟฟ้ามากขึ้น

5.2.1.2 ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซอรทั้งที่มีกระดาษกรองและไม่มี กระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรงจะใช้เวลาในการเข้าสู่สมดุลเร็วกว่าแบบที่ใช้ 2-NPOE เป็น พลาสติกไซเซอร

5.2.2 การศึกษาการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ค่าความชันที่วัดได้ทั้งสูตรที่ใช้ 2 - NPOE และ DBP เป็นพลาสติกไซเซอร ทั้งกระดาษกรองเป็นสารเสริมแรงและไม่ใช้กระดาษกรองจะให้ค่าความชันอยู่ระหว่าง -58.5 ถึง -60.4 mV/decade ซึ่งสอดคล้องกับสมการของเนิร์นสต์คือ ค่าความชัน -59.16 mV/decade

5.2.3 การศึกษาผลของ pH ต่อศักยภาพไฟฟ้าของขั้วทำงาน

5.2.3.1 ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซอรทั้งที่ใช้กระดาษกรองและไม่ใช้กระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรงมีช่วงการทำงานได้ดีที่ pH 1.8 – 12.6 ซึ่งช่วงจะกว้างกว่าใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซอร

5.2.3.2 ขั้วไฟฟ้าที่วัดในสารละลายที่มีความเข้มข้นมากจะมีช่วง pH ที่ใช้งานได้ซึ่งกว้างกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ

5.2.4 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้

ความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ของขั้วไฟฟ้าที่สร้างขึ้น อยู่ในช่วง 5.7×10^{-5} mol/l ถึง 2.9×10^{-5} mol/l ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับขั้วไฟฟ้าที่ผลิตโดยบริษัท Metrohm ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.5×10^{-5} mol/l

5.2.5 ค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะของไอออน

ค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะของไอออน คือไอโอไดต์มีค่าการรบกวนมากที่สุดส่วนไฮยาไนต์ คลอไรด์ และฟลูออไรด์ มีค่าการรบกวนน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง Davies J.E.W และคณะ [2] ที่ว่า ไอโอไดต์รบกวนมากกว่า ไฮยาไนต์ คลอไรด์ และฟลูออไรด์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าในเตรทของ Beckman No.39618

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.2.5 ขั้วที่ใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซอรแบบที่ใช้กระดาษกรองเป็นตัวเสริมแรง จะให้อายุการใช้งานนานกว่าแบบอื่น ค่าการวัดต่าง ๆ ใกล้เคียงกับที่ขายในท้องตลาด จึงเหมาะในเอาไปใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ เพื่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์

5.3.2 ควรศึกษาการพัฒนาขั้วใช้งานในเตรทแบบใช้แล้วทิ้ง จาก DBP เนื่องจากอายุการใช้งานไม่นาน ราคาถูกกว่าพลาสติกไซเซอรชนิด 2-NPOE แต่ให้การตอบสนองต่อค่าอื่นๆ ดีเหมือนสูตรอื่น

5.3.3 ควรศึกษาวิธีการผสมสารในการเตรียมแผ่นเยื่อพอลิเมอร์เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของสารให้สีสม่ำเสมอเนื่องจากเยื่อที่แบ่งไปทำขั้ว จะมีประสิทธิภาพต่างกันควรได้ศึกษาวิธีการผสมสาร และวิธีการติดแผ่นเยื่อกับขั้ว

เอกสารอ้างอิง

- [1] รัชนี เก่าเจริญและสมคิด บุญซื่อน. ไนเตรทและสารประกอบเอ็นไนโตรโซ. งานสารพืษ
กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2535.
- [2] Davies J.E.W., Moody G.J. Thomas J.D.R. "Nitrate Ion Selective Electrodes
Based on Poly (vinyl chloride) Matrix Membrane." Analyst, vol.97, February,1972,
pp. 87- 94.
- [3] Nielsen H.J.I. "Nitrate Ion Selective Electrode." U.S. patent no.4,059,499. Nov. 1977.
P. 22,
- [4] Zuther F., Cammann K. "A selective and long term stable nitrate sensors."
Sensors and Actuators, B, 18-19, 1994. pp.356-358.
- [5] Knoll M., Cammann K., Dumschat C., Borchardt M. and Hogg G. "Microfibre matrix-
supported ion-selective PVC membranes." Sensors and Actuators B,20, 1994.
pp.1-5.
- [6] ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์. พจนานุกรมเคมี. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์. 2524. หน้า282-285.
- [7] Wang J. Analytical Electrochemistry. New York : VCH.Publicshers.Inc. 1994.
- [8] เพ็ญศรี ทองนพเนื้อ. เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย. 2539.
- [9] ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์. เคมีวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย. 2537.
- [10] Yu T.R., Ji G.L. "Electrochemical Methods in Soil and Water." research,
New York : Pergamon Press. 1993.
- [11] สุวรรณ ไชยสิทธิ์. ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 2, แก้ไขปรับปรุง. กรุงเทพฯ :
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาด
กระบัง. 2541.
- [12] Hartemink A. E., Buresh R.J., Bashir T.M. and Janssen B.H. "Soil Nitrate and
Water Dynamics in Sesbania Follows Weed Fallow and Maize." Soil Science
Society American Journal, vol.60, 1996. pp. 568-574.

- [13] Bauder J.W., Sinclair K.N. and Lund R.E. "Physiographic and Land Use Characteristics Associated with Nitrate Nitrogen in Montana ground water." J. Environ. Qual., vol. 22, 1993. pp. 255 – 262.
- [14] Robertson G.P. **Nitrogen Cycling in Ecosystems of Latin America and the Caribbean.** Netherlands: Martinus Nijhoff/ Dr. W. Junk.. 1982.
- [15] Moody G.J., Oke R.B. and Thomas J.D. "Calcium – sensitive Electrodes Based on a Liquid Ion- Exchanger in a Poly (vinyl chloride) Matrix." Analyst, vol. 95. November, 1970. pp. 910-918.
- [16] Craggs A. et.al. "PVC Matrix Membrane Ion- Selective Electrodes." Journal of chemical education, vol. 51, August, 1974. pp. 541-544.
- [17] Mitrakas M.G. and Alexiades C.A. "Nitrate Ion-Selective Electrodes Based on Quaternary Phosphonium Salts in Plasticized Poly (vinyl chloride) and Influence of Membrane Homogeneity on Their Performance." Analyst, vol. 116, April, 1991. pp. 361-367.
- [18] Hara O., Ohkuno H. and Sawai K. "Nitrate Ion-Selective Coated-wire Electrode Based on tetraoctadecylammonium Nitrate in Solid solvents and the Effect of Additive on Its selectivity." Analyst, vol. 118, May, 1993.
- [19] Knoll M. et.al. "Micromachined ion – selective electrode with polymer matrix membrane." Sensors and Actuators. B21, 1994. pp. 71-76.
- [20] Zuther F., Cammann K. "Temperature compensation for a nitrate sensor." Sensors and Actuators, B.18 -19, 1994. pp. 353-355.
- [21] Robert D. Braun. **Introduction to Instrumental Analysis.** McGraw-Hill Book. 1987.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

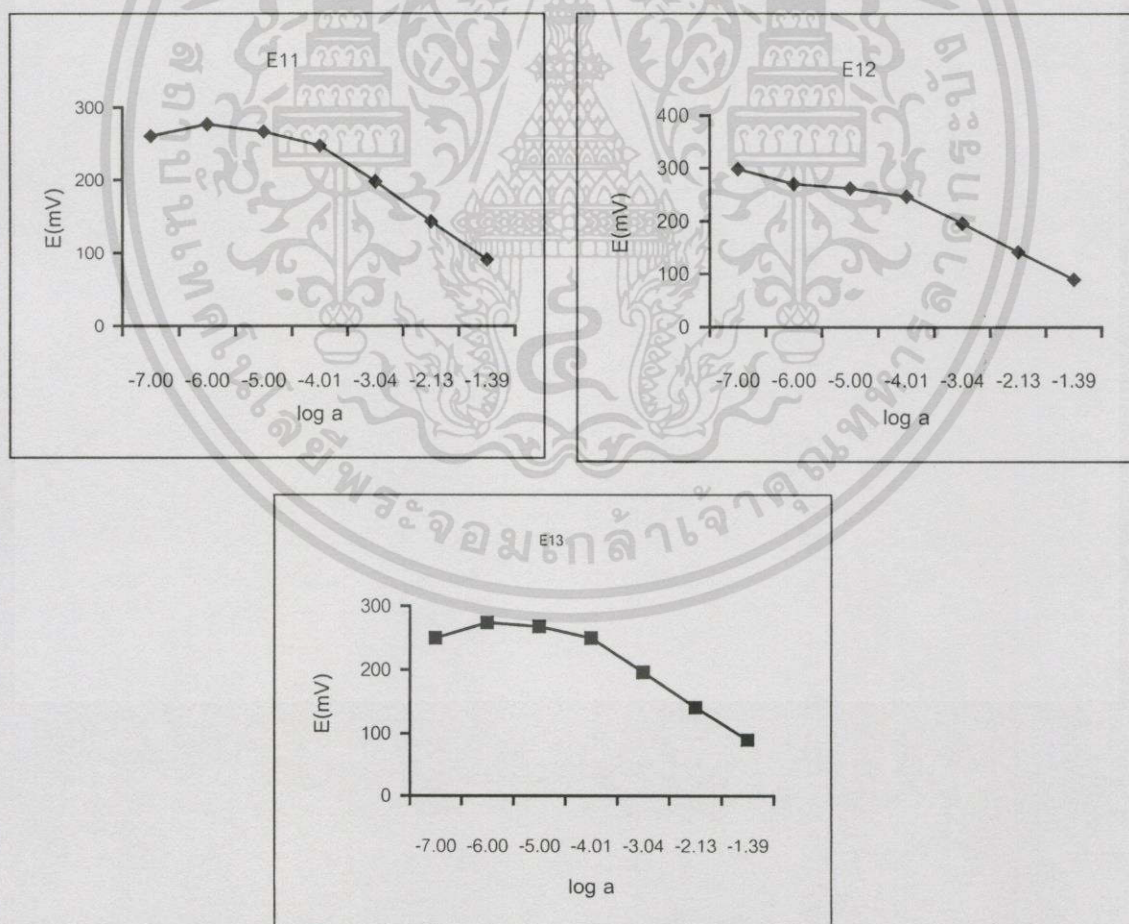
ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรทชนิด
เยื่อพอลิเมอร์

ภาคผนวก ก.

ตาราง ก.1 ข้อมูลการวัดศักย์ไฟฟ้า และค่า LINEST ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE สูตรที่ 1

log a(mol/l)	E(mV)			E(mV) LINEST		
	E11	E12	E13	E11	E12	E13
-7.00	261	298	250	265	295	255
-6.00	277	270	274	268	277	264
-5.00	267	262	268	271	259	273
-4.01	247	247	250	251	250	252
-3.04	198	196	196	193	192	193
-2.13	143	142	141	139	138	138
-1.39	91	90	90	95	94	93
Slope (mV/decade)	-59.39	-59.64	-60.84			

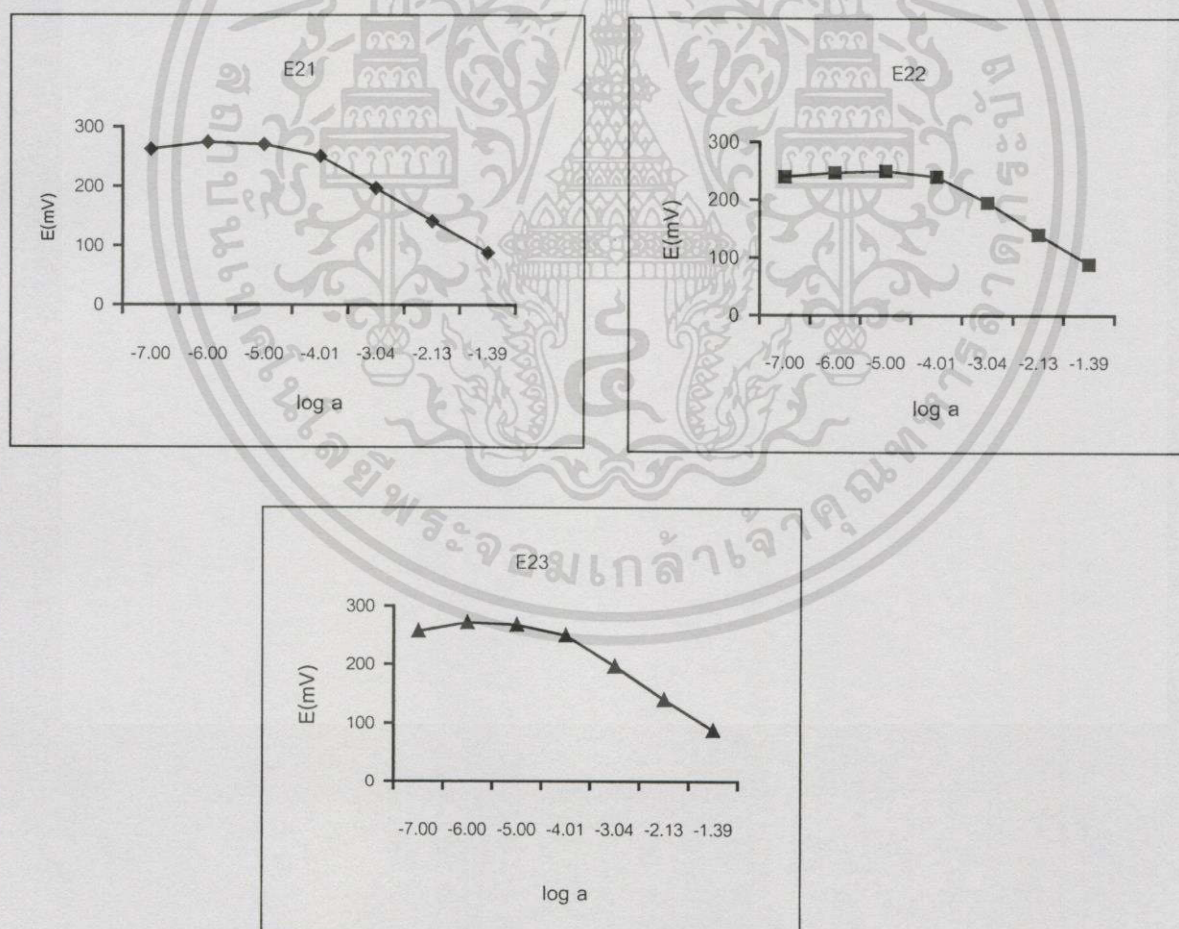


รูปที่ ก.1 กราฟแสดง ค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า สูตรที่ 1 ขั้วหมายเลข E11, E12 และ E13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 ข้อมูลการวัดศักย์ไฟฟ้าและค่า LINEST ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE สูตรที่ 2

log a(mol/l)	E(mV)			E(mV) LINEST		
	E21	E22	E23	E21	E22	E23
-7.00	263	240	257	266	241	260
-6.00	275	247	272	270	246	266
-5.00	271	250	268	274	251	271
-4.01	251	240	250	254	245	253
-3.04	197	195	197	194	189	193
-2.13	141	140	140	137	136	137
-1.39	88	89	88	92	94	91
Slope (mV/decade)	-61.94	-57.65	-61.72			

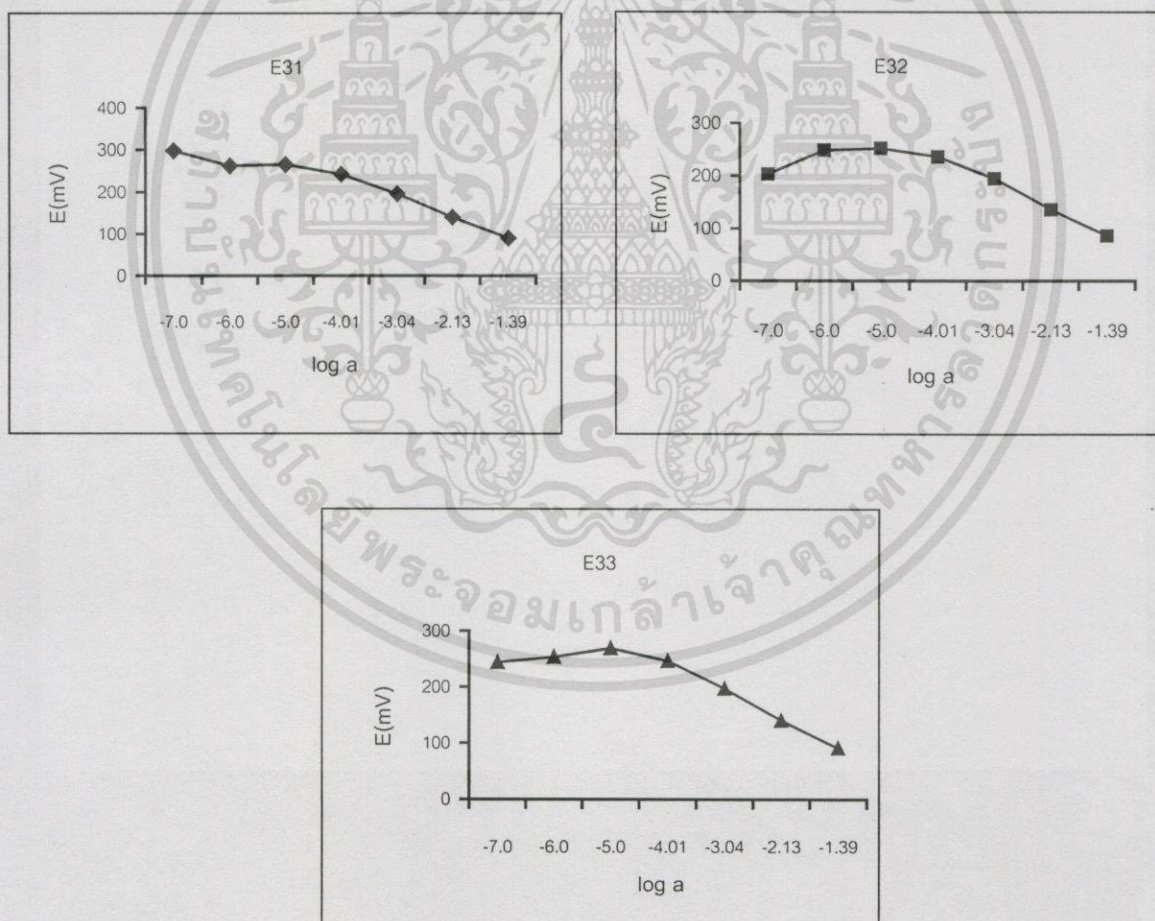


รูปที่ ก.2 กราฟแสดง ค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า สูตรที่ 2 ขั้วหมายเลข E21, E22 และ E23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 ข้อมูลการวัดศักย์ไฟฟ้าและค่า LINEST ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE สูตรที่ 3

log a(mol/l)	E(mV)			E(mV) LINEST		
	E31	E32	E33	E31	E32	E33
-7.0	298	203	244	292	210	243
-6.0	262	248	254	275	234	256
-5.0	265	252	269	259	259	268
-4.01	242	236	247	246	242	250
-3.04	196	195	197	190	186	192
-2.13	140	136	140	137	134	138
-1.39	90	86	91	94	91	94
Slope (mV/decade)	-58.13	-57.74	-59.68			

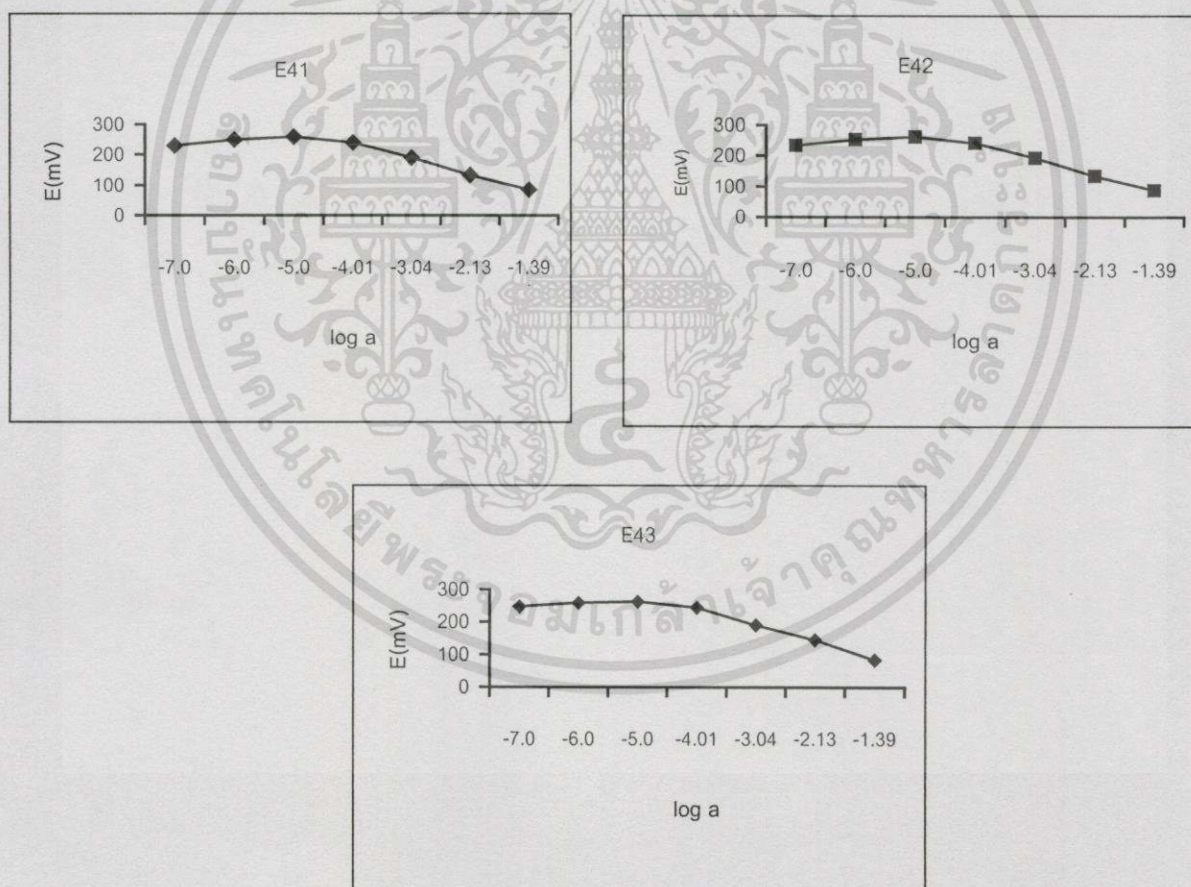


รูปที่ ก.3 กราฟแสดง ค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า สูตรที่3 ขั้วหมายเลข E31,E32 และ E33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.4 ข้อมูลการวัดศักย์ไฟฟ้าและค่า LINEST ของขั้วไฟฟ้าในเตรท ISE สูตรที่ 4

log a(mol/l)	E(mV)			E(mV) LINEST		
	E41	E42	E43	E41	E42	E43
-7.0	230	234	247	232	236	248
-6.0	250	253	259	246	250	256
-5.0	259	263	263	261	265	264
-4.01	240	242	244	243	245	248
-3.04	190	193	191	186	188	190
-2.13	133	135	146	132	134	136
-1.39	85	88	84	88	90	92
Slope (mV/decade)	-59.36	-59.14	-59.48			



รูปที่ ก.4 กราฟแสดง ค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า สูตรที่ 4 ขั้วหมายเลข E41, E42 และ E43

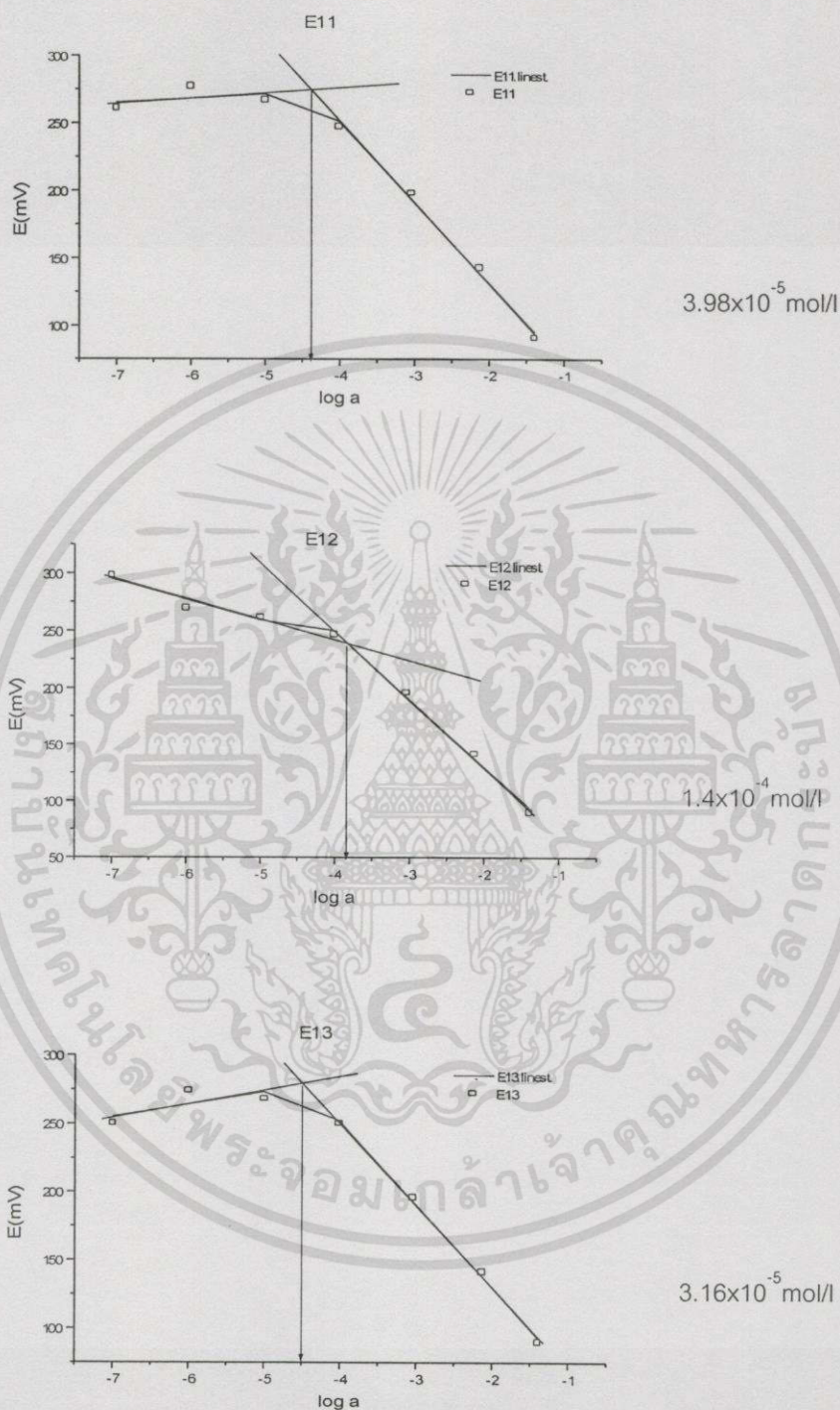
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้

สูตรที่ 1

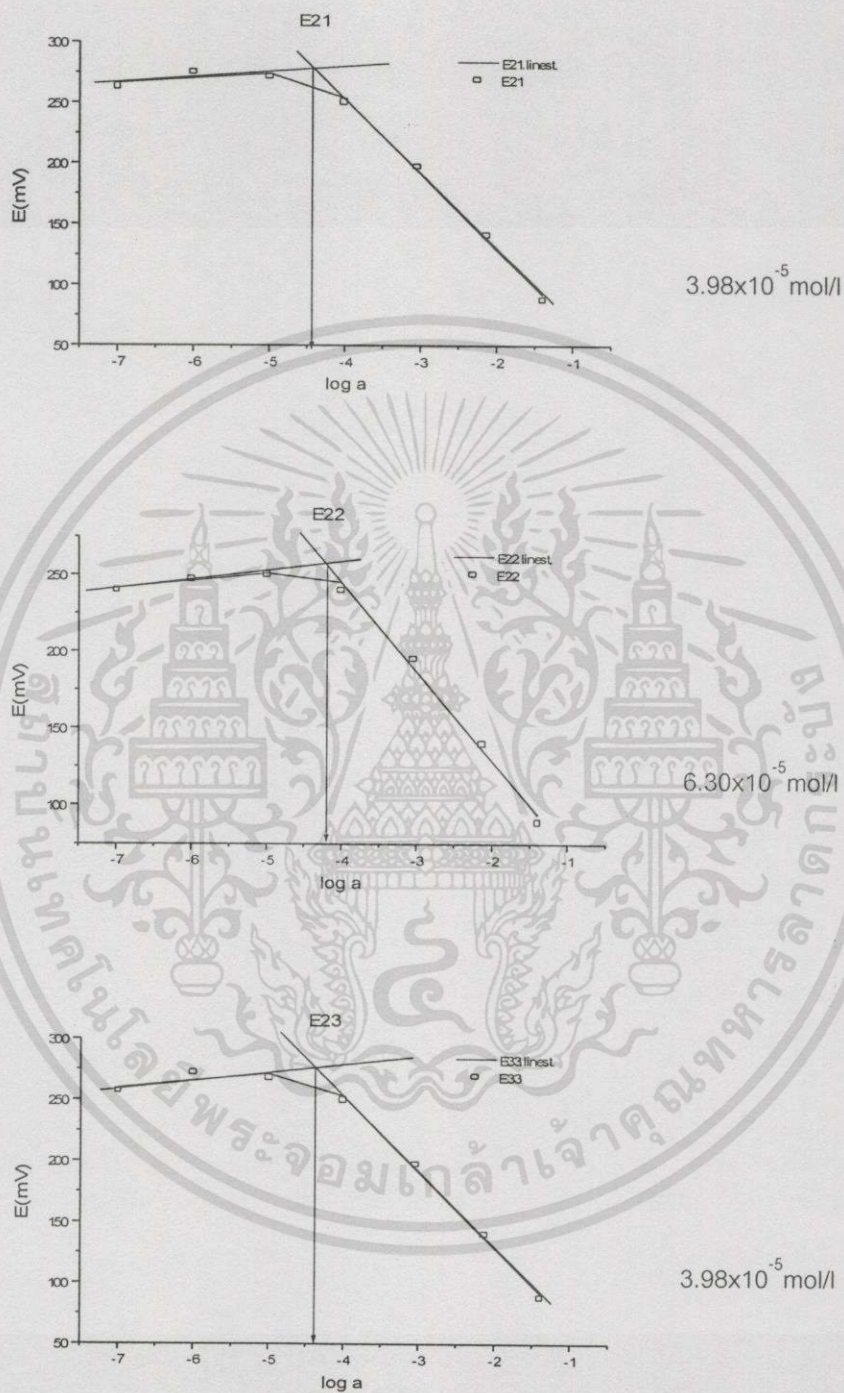


รูปที่ ข.1 กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 1
ของขั้วหมายเลข E11, E12 และ E13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้

สูตรที่ 2

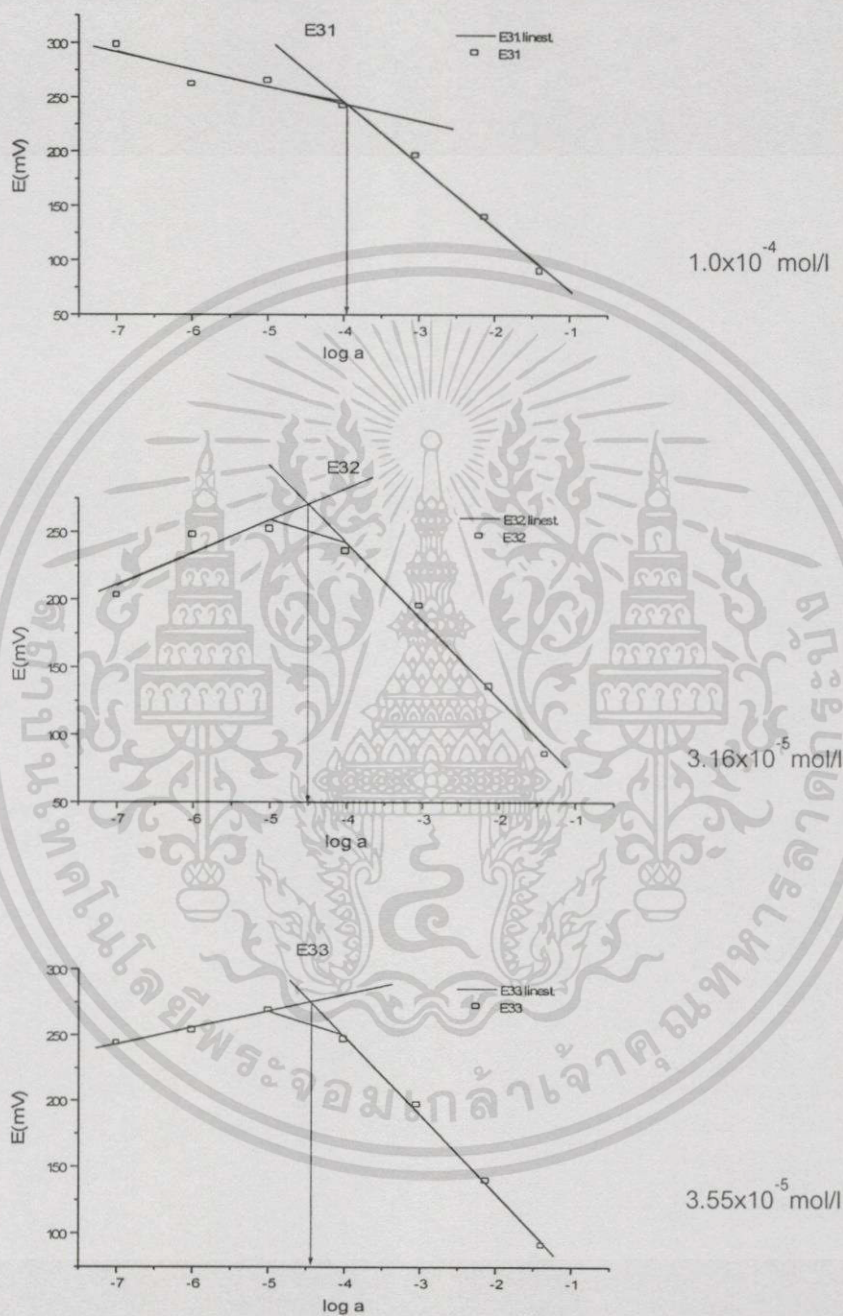


รูปที่ ข.2 กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ของขั้วในเตรท ISE สูตรที่ 2
ของขั้วหมายเลข E21, E22 และ E23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด-ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้

สูตรที่ 3

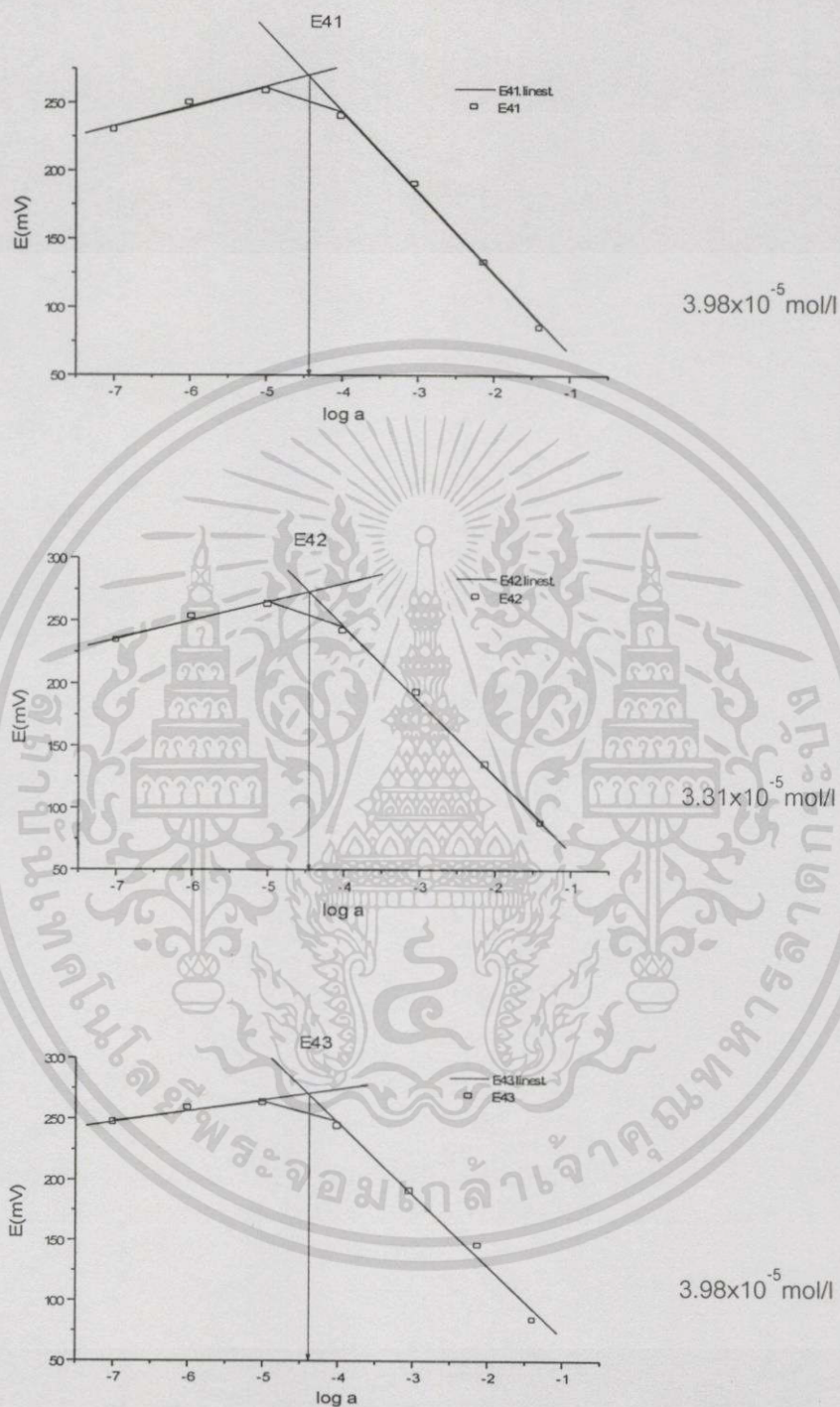


รูปที่ ข.3 กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ของขั้วโนเตรท ISE สูตรที่ 3
ของขั้วหมายเลข E31,E32 และ E33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

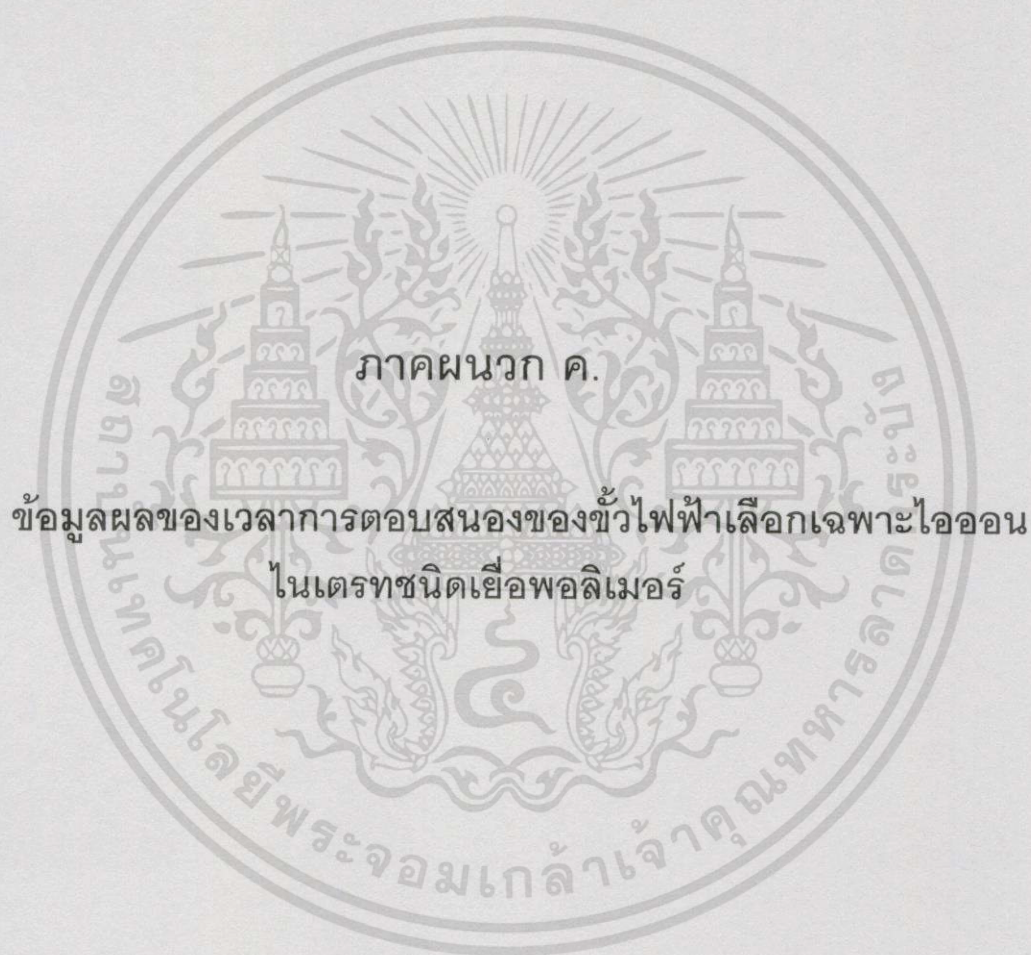
กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้

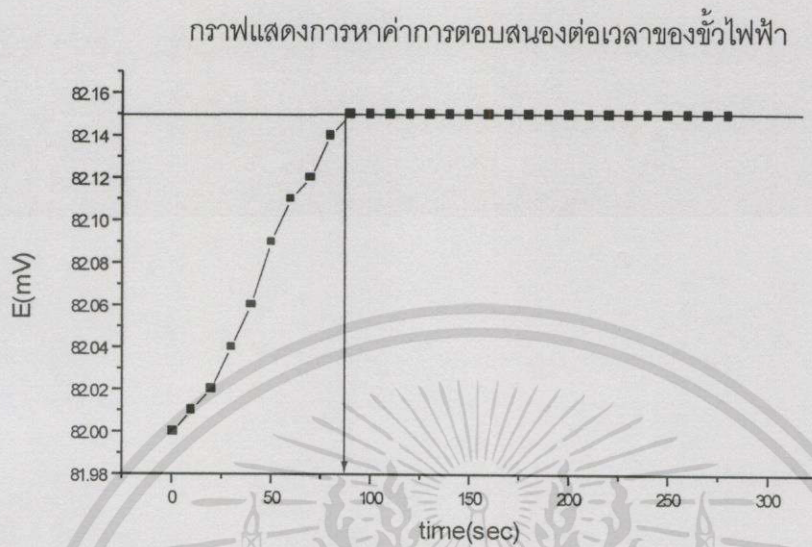
สูตรที่ 4



รูปที่ ข.4 กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ของขั้วโนเตรท ISE สูตรที่ 4
ของขั้วหมายเลข E41,E42 และ E43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





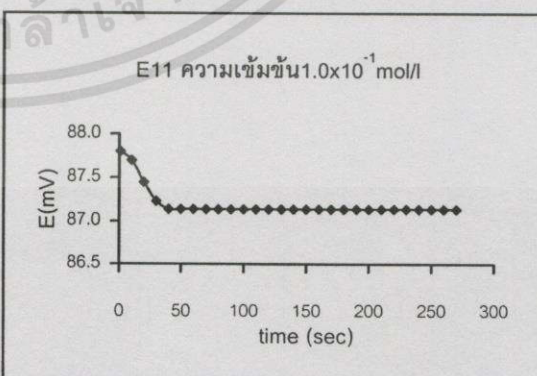
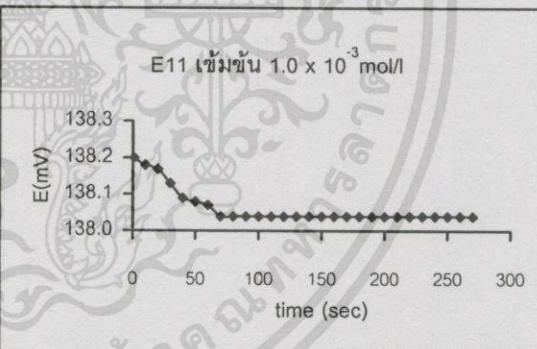
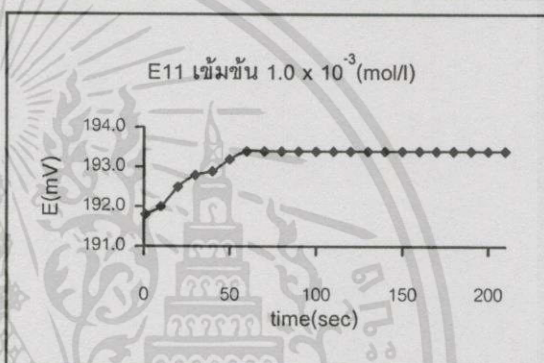
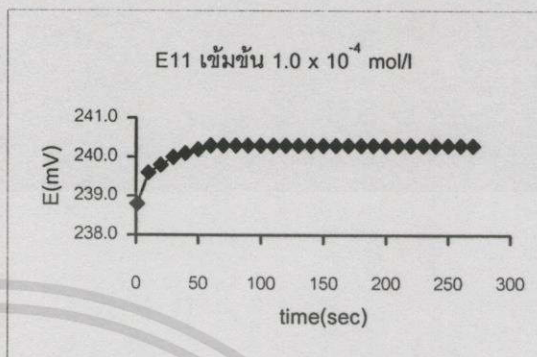
รูปที่ ค.1 กราฟแสดงการหาค่าเวลาที่ตอบสนองของขั้วไฟฟ้าในเดรท จุดที่หัวลูกศรคือค่าเวลาที่ตอบสนอง

ตารางที่ ค.1 แสดงผลของการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าในเตรท ISE

ที่ความเข้มข้น $1.0 \times 10^{-4} - 1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/l}$

สูตรที่ 1 ชนิดใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซออร์ แบบใช้กระดาษกรอง

เวลา (sec)	E(mV)			
	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}
1	238.8	191.8	138.2	87.8
10	239.6	192.0	138.2	87.7
20	239.8	192.5	138.2	87.5
30	240.0	192.8	138.1	87.2
40	240.1	192.9	138.1	87.1
50	240.2	193.2	138.1	87.1
60	240.3	193.4	138.1	87.1
70	240.3	193.4	138.0	87.1
80	240.3	193.4	138.0	87.1
90	240.3	193.4	138.0	87.1
100	240.3	193.4	138.0	87.1
110	240.3	193.4	138.0	87.1
120	240.3	193.4	138.0	87.1
130	240.3	193.4	138.0	87.1
140	240.3	193.4	138.0	87.1
150	240.3	193.4	138.0	87.1
160	240.3	193.4	138.0	87.1
170	240.3	193.4	138.0	87.1
180	240.3	193.4	138.0	87.1
190	240.3	193.4	138.0	87.1
200	240.3	193.4	138.0	87.1
210	240.3	193.4	138.0	87.1
220	240.3	193.4	138.0	87.1
230	240.3	193.4	138.0	87.1
240	240.3	193.4	138.0	87.1
250	240.3	193.4	138.0	87.1
260	240.3	193.4	138.0	87.1
270	240.3	193.4	138.0	87.1



*ความเข้มข้นหน่วยเป็น mol/l

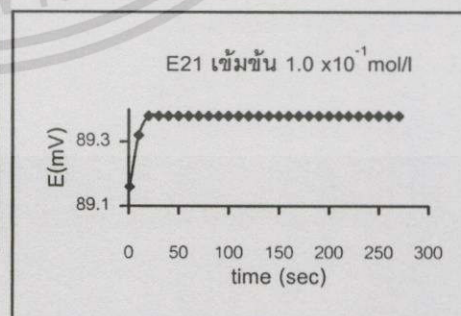
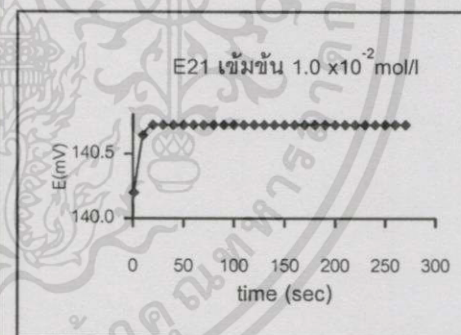
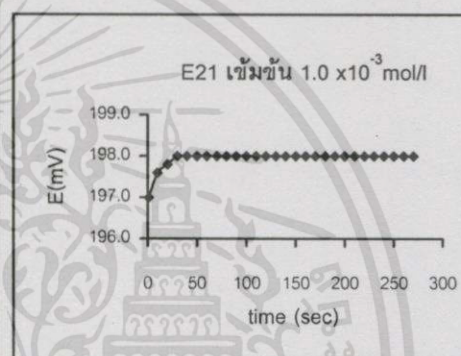
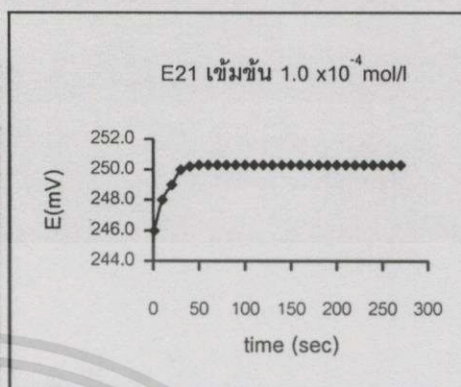
รูปที่ ค.2 กราฟแสดงผลการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าในเตรท ISE สูตรที่ 1 ที่ความเข้มข้น $1.0 \times 10^{-4} - 1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/l}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 แสดงผลของการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1} mol/l
สูตรที่ 2 ชนิดใช้ 2-NPOE เป็นพลาสติกไซเซออร์ แบบไม่มีกระดาษกรอง

เวลา (sec)	E(mV)			
	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}
1	246.0	197.0	140.2	89.2
10	248.0	197.6	140.6	89.3
20	249.0	197.8	140.7	89.4
30	250.0	198.0	140.7	89.4
40	250.2	198.0	140.7	89.4
50	250.3	198.0	140.7	89.4
60	250.3	198.0	140.7	89.4
70	250.3	198.0	140.7	89.4
80	250.3	198.0	140.7	89.4
90	250.3	198.0	140.7	89.4
100	250.3	198.0	140.7	89.4
110	250.3	198.0	140.7	89.4
120	250.3	198.0	140.7	89.4
130	250.3	198.0	140.7	89.4
140	250.3	198.0	140.7	89.4
150	250.3	198.0	140.7	89.4
160	250.3	198.0	140.7	89.4
170	250.3	198.0	140.7	89.4
180	250.3	198.0	140.7	89.4
190	250.3	198.0	140.7	89.4
200	250.3	198.0	140.7	89.4
210	250.3	198.0	140.7	89.4
220	250.3	198.0	140.7	89.4
230	250.3	198.0	140.7	89.4
240	250.3	198.0	140.7	89.4
250	250.3	198.0	140.7	89.4
260	250.3	198.0	140.7	89.4
270	250.3	198.0	140.7	89.4

*ความเข้มข้นเป็น mol/l



รูปที่ ค.3 กราฟแสดงผลการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไนเตรท ISE สูตร 2 ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1} mol/l

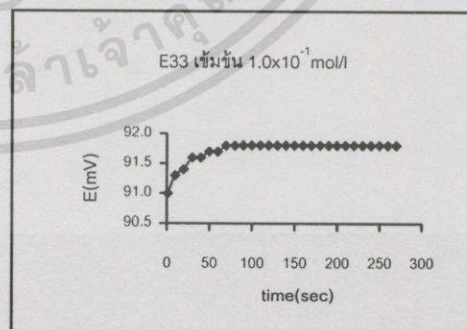
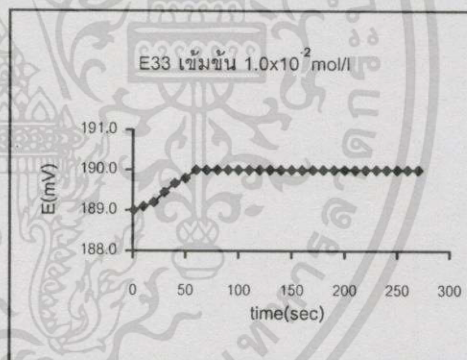
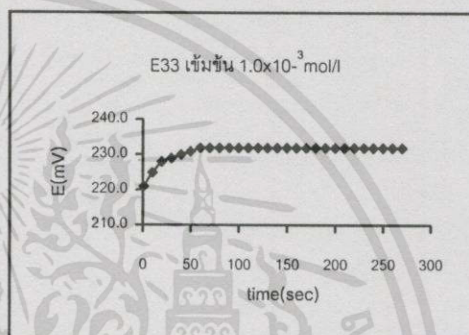
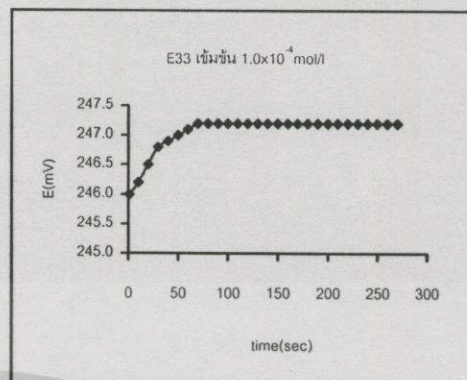
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 แสดงผลของการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าในเตรท ISE ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1} mol/l

สูตรที่ 3 ชนิดใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซออร์ แบบมีกระดาดวง

เวลา (sec)	E(mV)			
	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}
1	246.0	221.0	189.0	91.0
10	246.2	225.0	189.1	91.3
20	246.5	228.0	189.2	91.4
30	246.8	229.0	189.5	91.6
40	246.9	230.0	189.7	91.6
50	247.0	231.0	189.8	91.7
60	247.1	232.0	190.0	91.7
70	247.2	232.0	190.0	91.8
80	247.2	232.0	190.0	91.8
90	247.2	232.0	190.0	91.8
100	247.2	232.0	190.0	91.8
110	247.2	232.0	190.0	91.8
120	247.2	232.0	190.0	91.8
130	247.2	232.0	190.0	91.8
140	247.2	232.0	190.0	91.8
150	247.2	232.0	190.0	91.8
160	247.2	232.0	190.0	91.8
170	247.2	232.0	190.0	91.8
180	247.2	232.0	190.0	91.8
190	247.2	232.0	190.0	91.8
200	247.2	232.0	190.0	91.8
210	247.2	232.0	190.0	91.8
220	247.2	232.0	190.0	91.8
230	247.2	232.0	190.0	91.8
240	247.2	232.0	190.0	91.8
250	247.2	232.0	190.0	91.8
260	247.2	232.0	190.0	91.8
270	247.2	232.0	190.0	91.8

*ความเข้มข้นเป็น mol/l



รูปที่ ค.4 กราฟแสดงผลการตอบสนองต่อเวลาของขั้วในเตรท ISE สูตร 3 ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1} mol/l

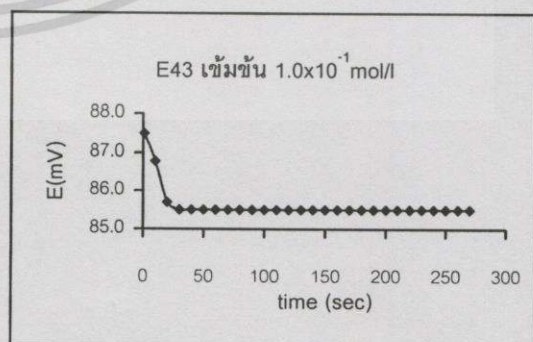
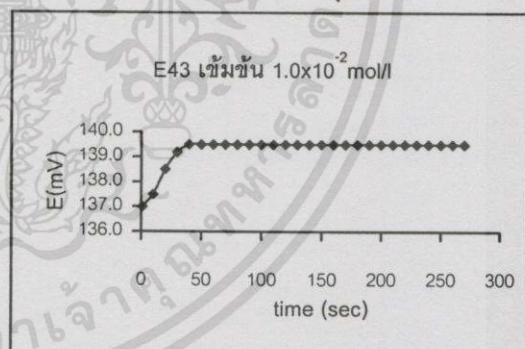
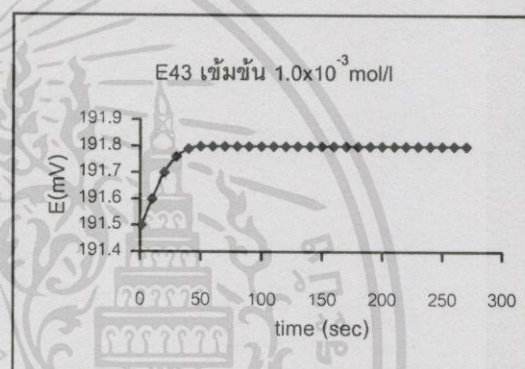
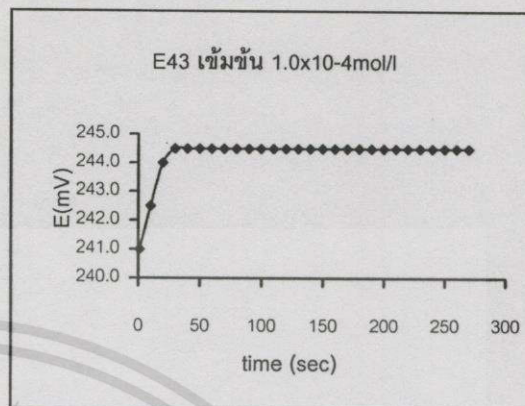
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 แสดงผลของการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1} mol/l

สูตรที่ 4 ชนิดใช้ DBP เป็นพลาสติกไซเซอร แบบไม่มีกระดาดากรอง

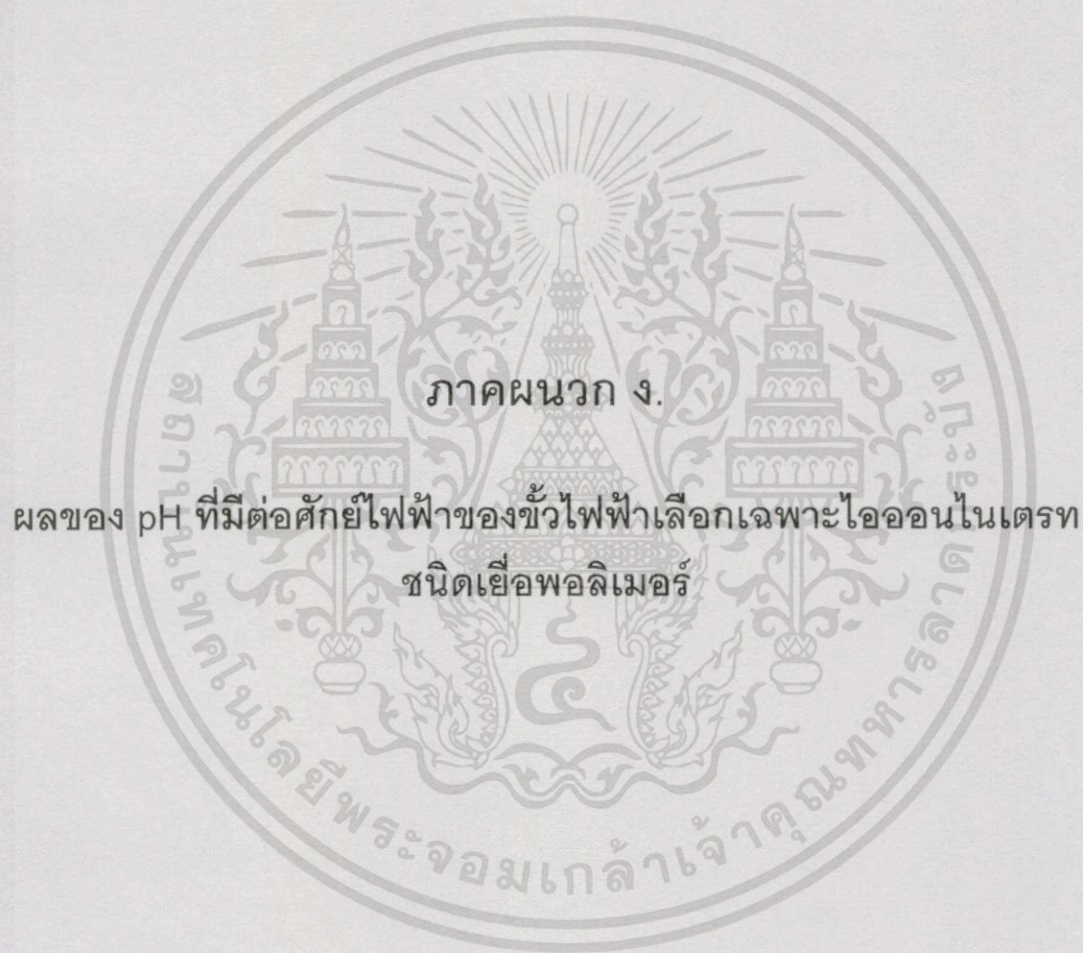
เวลา (sec)	E(mV)			
	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-1}
1	241.0	191.5	137.0	87.5
10	242.5	191.6	137.5	86.8
20	244.0	191.7	138.5	85.7
30	244.5	191.8	139.2	85.5
40	244.5	191.8	139.5	85.5
50	244.5	191.8	139.5	85.5
60	244.5	191.8	139.5	85.5
70	244.5	191.8	139.5	85.5
80	244.5	191.8	139.5	85.5
90	244.5	191.8	139.5	85.5
100	244.5	191.8	139.5	85.5
110	244.5	191.8	139.5	85.5
120	244.5	191.8	139.5	85.5
130	244.5	191.8	139.5	85.5
140	244.5	191.8	139.5	85.5
150	244.5	191.8	139.5	85.5
160	244.5	191.8	139.5	85.5
170	244.5	191.8	139.5	85.5
180	244.5	191.8	139.5	85.5
190	244.5	191.8	139.5	85.5
200	244.5	191.8	139.5	85.5
210	244.5	191.8	139.5	85.5
220	244.5	191.8	139.5	85.5
230	244.5	191.8	139.5	85.5
240	244.5	191.8	139.5	85.5
250	244.5	191.8	139.5	85.5
260	244.5	191.8	139.5	85.5
270	244.5	191.8	139.5	85.5

*ความเข้มข้น mol/l



รูปที่ ค.5 กราฟแสดงผลของการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไนเตรท ISE สูตรที่ 4 ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} - 1.0×10^{-1} mol/l

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ควรแก้ไขทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

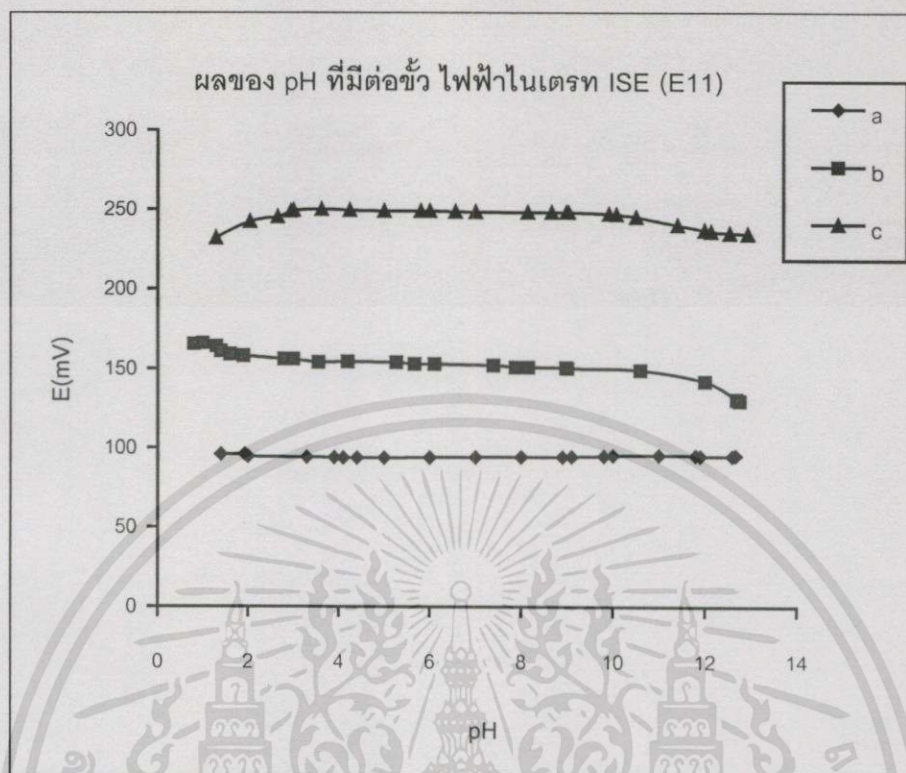


ตารางที่ ง.1 แสดงค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไนเตรท ISE สูตรที่ 1 วัดในสารละลาย

โซเดียมไนเตรทที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-3} และ 1.0×10^{-5} mol/l

สูตรที่ 1 (E11)					
ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} mol/l		ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l		ความเข้มข้น 1.0×10^{-5} mol/l	
pH	E(mV)	pH	E(mV)	pH	E(mV)
1.4	96.0	0.8	165.4	1.3	231.8
1.9	95.9	1.0	166.0	2.0	242.0
2.0	94.6	1.3	164.0	2.7	245.0
3.3	94.2	1.4	161.0	2.9	248.6
3.9	93.9	1.6	159.0	3.0	249.2
4.1	93.8	1.9	158.0	3.6	249.9
4.4	93.7	2.8	156.0	4.2	249.2
5.0	93.8	3.0	156.0	5.0	248.9
6.0	94.0	3.6	154.0	5.8	248.8
7.0	94.2	4.2	154.4	6.0	248.9
8.0	94.4	5.3	154.0	6.6	248.5
8.9	94.4	5.7	153.0	7.0	248.2
9.1	94.5	6.1	153.0	8.1	248.1
9.8	95.0	7.4	152.2	8.7	248.1
10.0	95.3	7.9	151.0	9.0	248.0
11.0	95.5	8.2	151.0	9.0	248.1
11.8	95.3	9.0	150.8	9.9	247.0
11.9	95.0	9.0	150.4	10.1	246.8
12.6	95.0	10.6	149.0	10.5	245.0
12.7	95.3	12.0	142.0	11.4	239.9
		12.7	131.0	12.0	236.7
		12.8	130.0	12.1	236.1
				12.5	235.1
				12.9	234.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

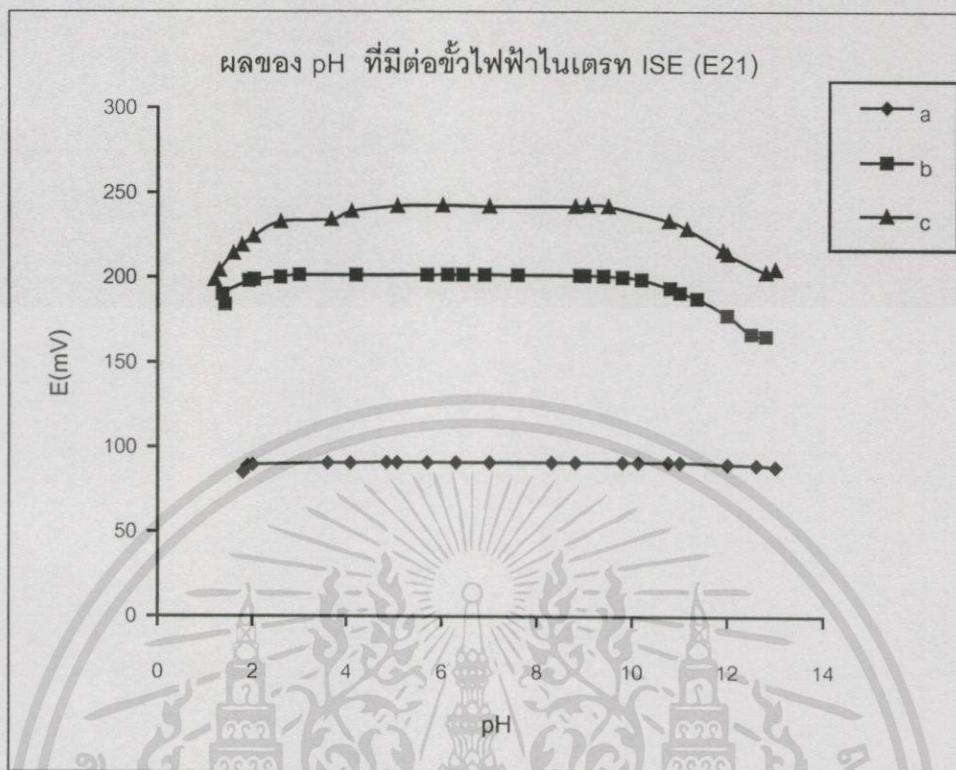


รูปที่ ๑.1 กราฟแสดงช่วงของ pH ที่วัดได้ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE(E11) ในสารละลาย โซเดียมไนเตรท ที่ความเข้มข้น $a = 1.0 \times 10^{-1}$, $b = 1.0 \times 10^{-3}$ และ $c = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/l

ตารางที่ ง.2 แสดงค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไนเตรท ISE สูตรที่ 2 วัดในสารละลาย

โซเดียมไนเตรทที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-3} และ 1.0×10^{-5} mol/l

สูตรที่ 2 (E21)					
ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} mol/l		ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l		ความเข้มข้น 1.0×10^{-5} mol/l	
pH	E(mV)	pH	E(mV)	pH	E(mV)
1.80	85.00	1.42	184.00	1.20	198.50
1.90	89.00	1.37	190.00	1.30	204.00
2.00	89.50	1.93	198.00	1.60	214.00
3.60	90.70	2.04	198.70	1.78	218.70
4.08	90.65	2.59	200.00	2.02	224.00
4.84	91.00	3.00	201.30	2.60	232.50
5.06	91.10	4.20	201.40	3.68	234.00
5.70	91.10	5.70	201.60	4.11	239.00
6.30	91.10	6.13	201.80	5.07	242.00
7.00	91.10	6.45	201.80	6.02	242.50
8.30	91.05	6.90	201.80	7.00	242.00
8.80	91.04	7.60	201.50	8.80	242.00
9.80	91.04	8.90	201.30	9.07	242.50
10.13	91.04	9.00	201.20	9.50	242.00
10.76	91.04	9.40	201.00	10.77	233.30
11.00	91.09	9.80	200.20	11.15	228.50
12.00	89.90	10.20	199.00	11.90	216.10
12.60	89.40	10.80	193.80	12.00	213.80
13.00	88.40	11.00	191.20	12.80	203.00
		11.36	187.80	13.00	205.00
		11.99	178.00		
		12.50	167.00		
		12.80	165.70		

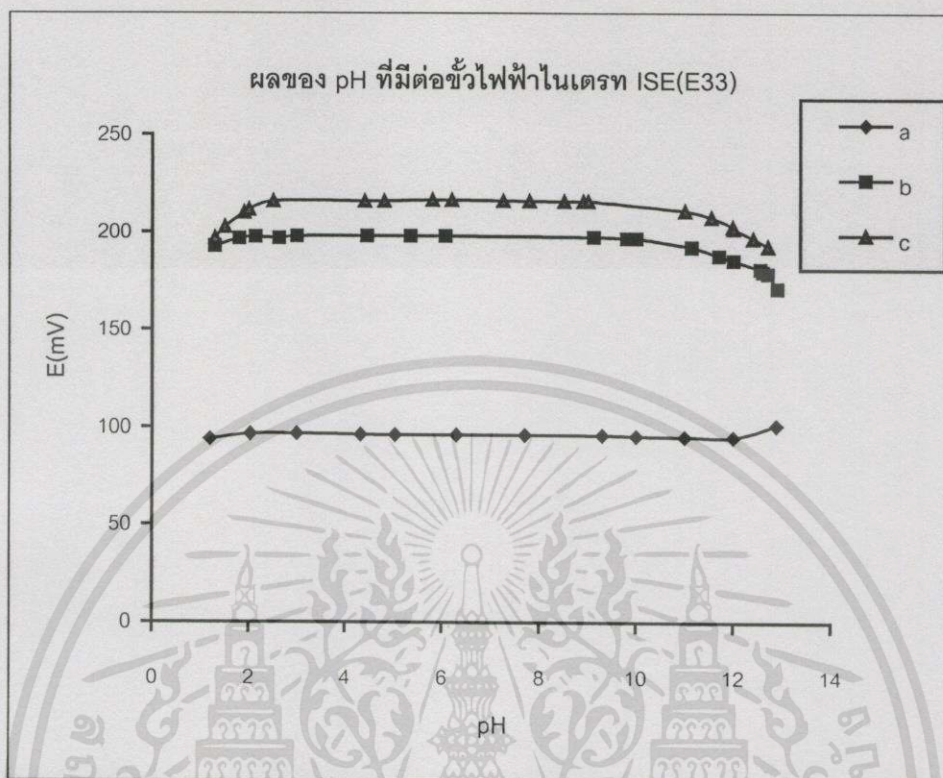


รูปที่ ๒.2 กราฟแสดงช่วงของ pH ที่วัดได้ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE(E21) ในสารละลาย โซเดียมไนเตรท ที่ความเข้มข้น $a = 1.0 \times 10^{-1}$, $b = 1.0 \times 10^{-3}$, และ $c = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/l

ตารางที่ ง.3 แสดงค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไนเตรท ISE สูตรที่ 3 วัดในสารละลาย

โซเดียมไนเตรทที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-3} และ 1.0×10^{-5} mol/l

สูตรที่ 3 (E33)					
ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} mol/l		ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l		ความเข้มข้น 1.0×10^{-5} mol/l	
pH	E(mV)	pH	E(mV)	pH	E(mV)
1.20	94.00	1.30	192.90	1.30	197.00
2.03	96.70	1.80	196.80	1.50	202.70
3.00	96.80	2.14	197.50	1.90	210.00
4.32	96.40	2.14	197.50	2.00	211.50
5.03	96.10	2.63	197.00	2.50	216.00
6.30	96.20	3.00	197.90	4.40	216.00
7.70	96.10	4.45	198.00	4.80	216.00
9.30	96.00	5.35	198.10	5.80	216.50
10.00	95.50	6.07	198.10	6.20	216.50
11.00	95.20	9.12	197.60	7.25	216.30
12.00	95.10	9.80	197.00	7.79	216.10
12.88	101.00	9.99	196.90	8.50	216.00
		10.00	196.90	8.90	216.00
		11.14	192.50	9.00	216.00
		11.70	188.10	11.00	211.00
		12.00	185.70	11.54	207.80
		12.55	181.40	11.98	203.00
		12.60	180.00	12.00	202.00
		12.70	179.00	12.40	197.00
		12.90	171.50	12.70	193.00

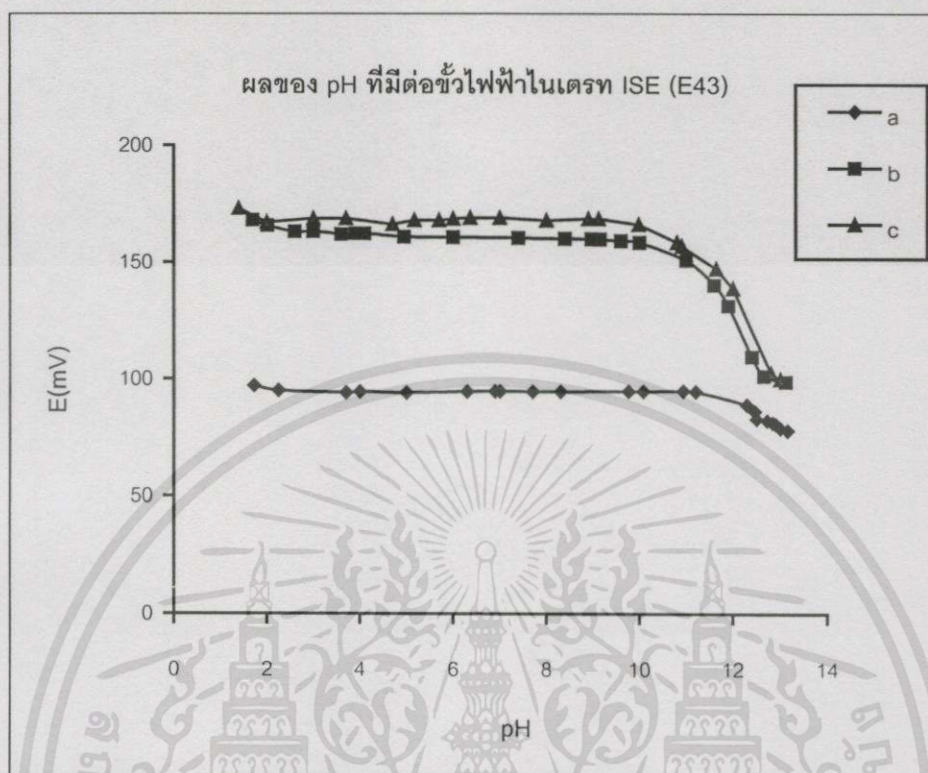


รูปที่ 3.3 กราฟแสดงช่วงของ pH ที่วัดได้ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE(E33) ในสารละลาย โซเดียมไนเตรท ที่ความเข้มข้น $a = 1.0 \times 10^{-1}$, $b = 1.0 \times 10^{-3}$, และ $c = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/l

ตารางที่ ง.4 แสดงค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วโนเตรท ISE สูตรที่ 4 วัดในสารละลาย

โซเดียมโนเตรทที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-3} และ 1.0×10^{-5} mol/l

สูตรที่ 4					
ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} mol/l		ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l		ความเข้มข้น 1.0×10^{-5} mol/l	
pH	E(mV)	pH	E(mV)	pH	E(mV)
1.73	97.00	1.70	168.00	1.40	173.00
2.25	95.00	2.02	165.70	2.00	167.00
3.70	94.00	2.60	163.00	3.00	168.60
4.00	94.47	3.00	163.00	3.70	168.70
5.00	94.00	3.60	162.00	4.70	166.20
6.30	94.60	3.90	162.20	5.17	168.00
6.90	94.70	4.10	162.20	5.70	168.00
7.00	94.73	4.95	160.80	6.00	168.60
7.70	94.66	6.00	160.70	6.37	169.00
8.30	94.64	7.40	160.40	7.00	169.00
9.76	94.68	8.40	160.20	8.00	168.00
10.08	94.78	8.97	160.00	8.90	168.70
10.93	94.80	9.15	159.90	9.12	168.60
11.20	94.66	9.60	159.20	9.98	166.20
12.29	89.00	10.00	158.50	10.80	158.50
12.46	86.20	11.00	150.80	10.90	157.00
12.50	83.00	11.60	140.50	11.64	147.30
12.72	82.30	11.90	131.50	12.00	139.00
12.84	81.27	12.40	109.50	12.80	102.60
12.90	80.70	12.66	101.30	13.00	100.00
13.00	79.00	13.12	98.80		
13.15	78.00				

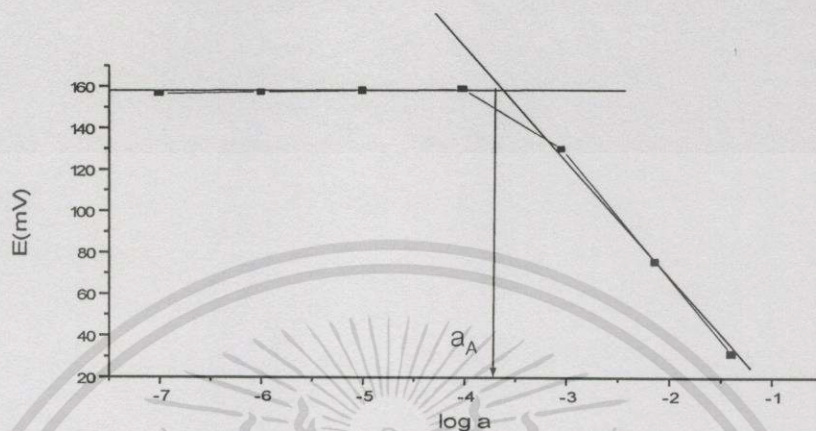


รูปที่ ๔.๔ กราฟแสดงช่วงของ pH ที่วัดได้ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE(E43) ในสารละลาย โซเดียมไนเตรท ที่ความเข้มข้น $a = 1.0 \times 10^{-1}$, $b = 1.0 \times 10^{-3}$, และ $c = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/l

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลของสารบบกวนอื่นๆต่อหัวไฟฟ้าเลือกเฉพาะไอออนไนเตรท
ชนิดเยื่อพอลิเมอร์

วิธีการคำนวณหาค่าการรบกวนของไอออนรบกวน



รูปที่ ๑.1 กราฟแสดงวิธีการหาค่า a_A เพื่อนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเลือกเฉพาะไอออน

การคำนวณค่า $K_{A,B}^{pot} = \frac{a_A}{(a_B)^{z_A/z_B}}$

เมื่อ $z_A = z_B$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$K_{A,B}^{pot} = \frac{a_A}{a_B}$$

a_A = แอกทิวิตีของสารละลาย NaNO_3

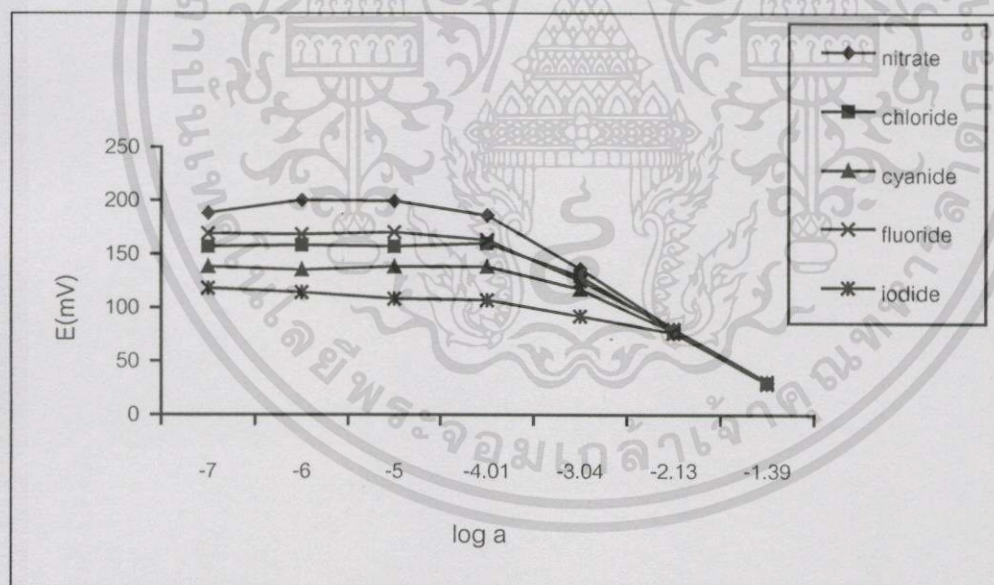
a_B = แอกทิวิตีของสารรบกวน

ข้อมูลการศึกษาผลของสารรบกวนคลอไรด์, ไซยาไนต์, ฟลูออไรด์และไอโอไดด์

ต่อในเตรท ISE ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l

ตารางที่ จ.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดในสารละลายที่มีไอออนรบกวนจากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 1

$\log a_{\text{NO}_3^-}$	E(mV)				
	NO_3^-	Cl ⁻	CN ⁻	F ⁻	I ⁻
-7	188	157	138	169	118
-6	200	158	135	168	114
-5	199	157	138	170	108
-4.01	186	160	138	163	107
-3.04	136	129	117	125	92
-2.13	80	78	77	80	76
-1.39	30	30	30	31	29
slope	-59.5	-59.8	-63.1	-56.6	-63.5

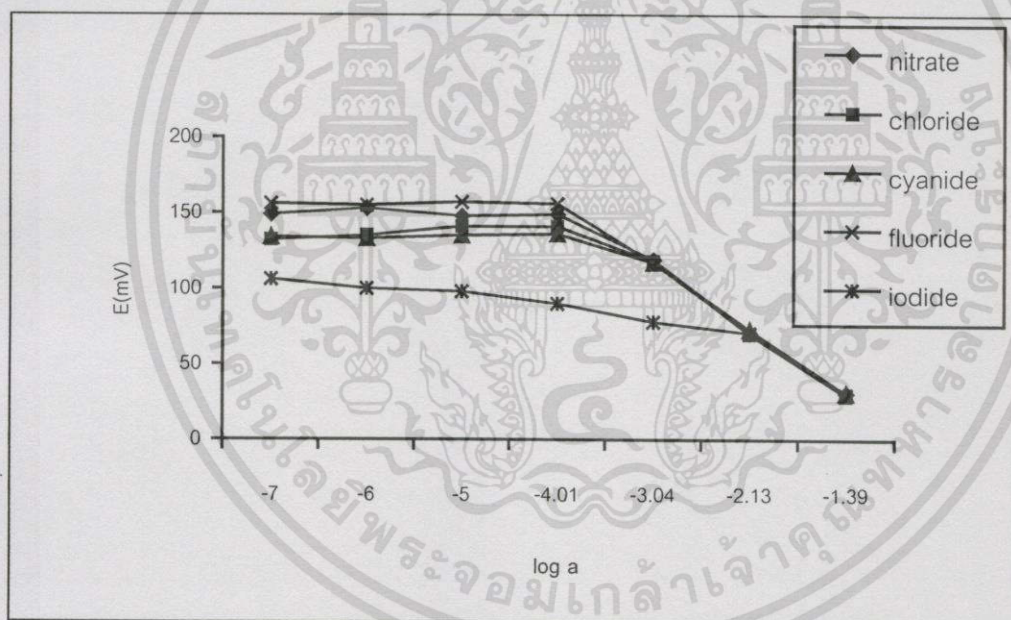


รูปที่ จ.2 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารรบกวน คลอไรด์, ไซยาไนต์, ฟลูออไรด์ และไอโอไดด์

ในสารละลายโซเดียมไนเตรทโดยใช้ขั้วไนเตรท ISE สูตรที่ 1

ตารางที่ จ.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดในสารละลายที่มีไอออนรบกวนจากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 2

$\log a_{\text{NO}_3^-}$	E(mV)				
	NO_3^-	Cl^-	CN^-	F^-	I^-
-7	149	132	134	156	106
-6	153	135	133	155	100
-5	148	141	135	157	98
-4.01	149	141	136	156	90
-3.04	119	118	117	117	78
-2.13	71	70	73	71	71
-1.39	31	29	31	30	30
slope	-45.5	-43.4	-40.4	-48.1	-55.4

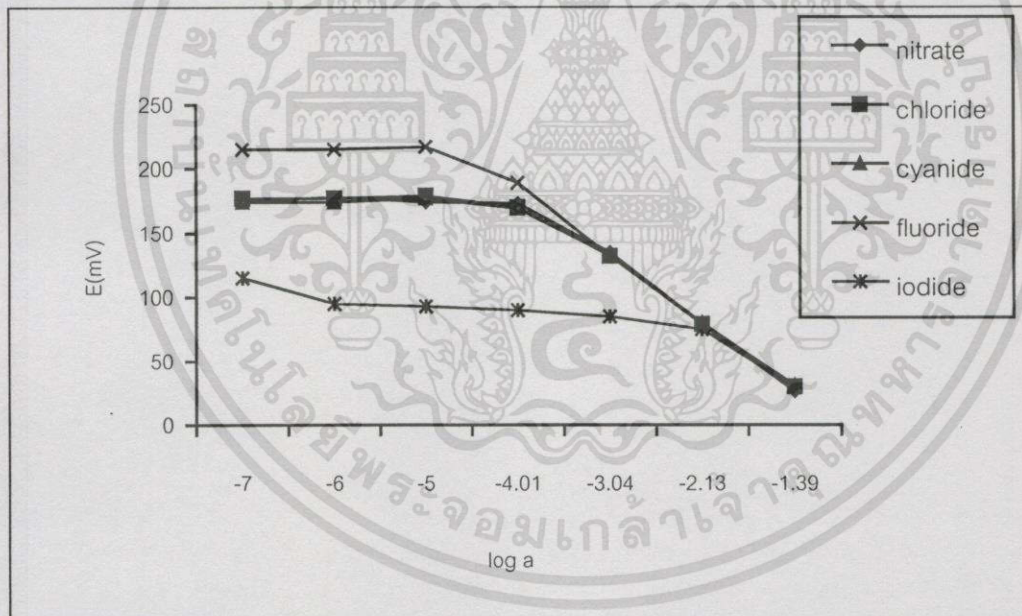


รูปที่ จ.3 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารรบกวน คลอไรด์, ไนไตรต์, ฟลูออไรด์ และไอโอดีน

ในสารละลายโซเดียมไนเตรทโดยใช้ขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE สูตรที่ 2

ตารางที่ ๑.3 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดในสารละลายที่มีไอออนรบกวนจากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 3

$\log a_{\text{NO}_3^-}$	E(mV)				
	NO_3^-	Cl^-	CN^-	F^-	I^-
-7	175	177	174	215	115
-6	178	177	174	215	95
-5	174	179	177	217	93
-4.01	173	170	169	189	90
-3.04	135	132	133	132	85
-2.13	79	79	80	80	75
-1.39	26	30	31	31	29
slope	-56.2	-53.6	-52.8	-59.8	-62.2

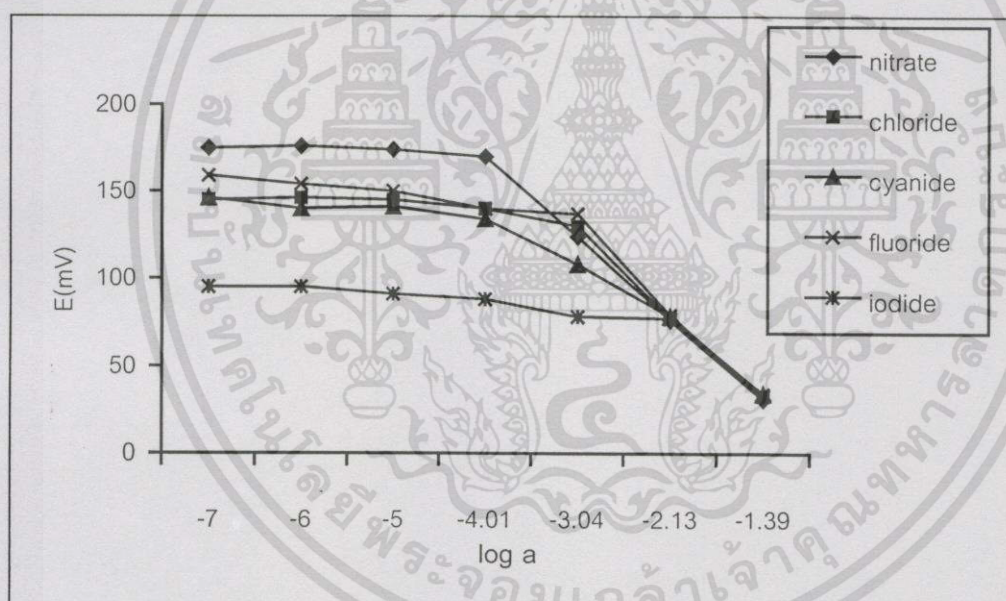


รูปที่ ๑.4 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารรบกวน คลอไรด์, ไนไตรต์, ฟลูออไรด์ และไอโอดีน

ในสารละลายโซเดียมไนเตรตโดยใช้ขั้วไฟฟ้าไนเตรต ISE สูตรที่ 3

ตารางที่ ๑.๔ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดในสารละลายที่มีไอออนรบกวนจากขั้วไฟฟ้าสูตรที่ 4

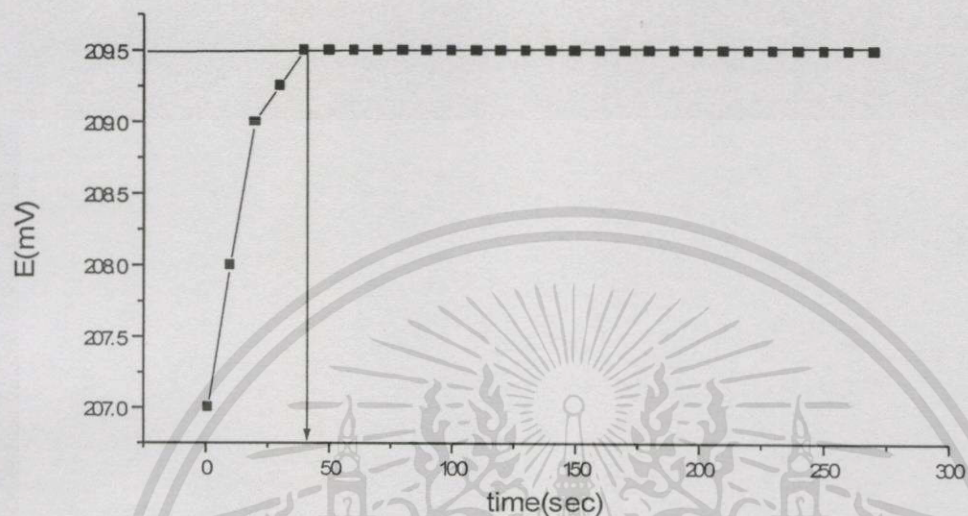
$\log a_{\text{NO}_3^-}$	E(mV)				
	NO_3^-	Cl ⁻	CN ⁻	F ⁻	I ⁻
-7	175	145	146	159	95
-6	176	146	140	154	95
-5	174	145	141	150	91
-4.01	170	140	134	140	88
-3.04	124	130	108	137	78
-2.13	76	77	78	79	77
-1.39	31	33	34	33	34
slope	-52.8	-58.7	-59.4	-63	-58.4



รูปที่ ๑.๕ กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของสารรบกวน คลอไรด์, ไนไตรต์, ฟลูออไรด์ และไอโอดีน
ในสารละลายโซเดียมไนเตรทโดยใช้ขั้วไฟฟ้าในเตรท ISE สูตรที่ 4



ผลการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไนเตรท ISE (Metrohm)

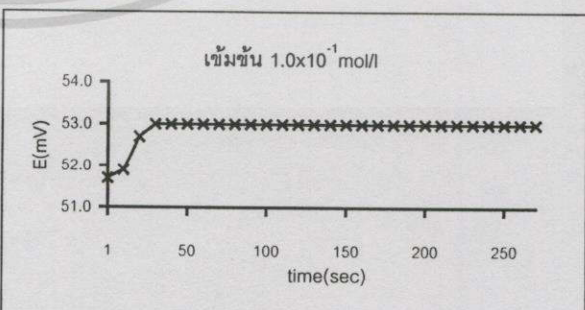
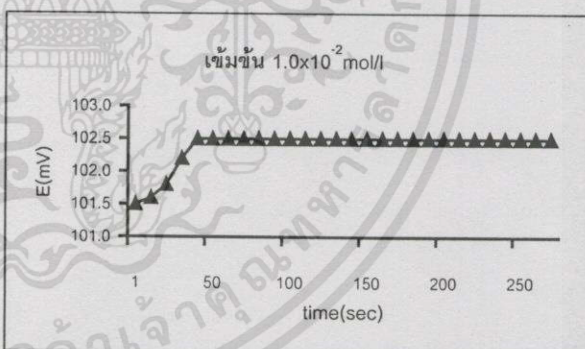
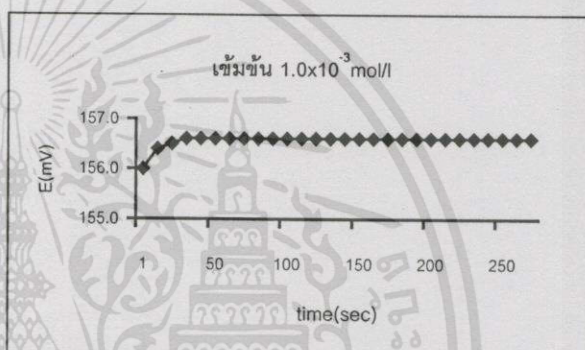
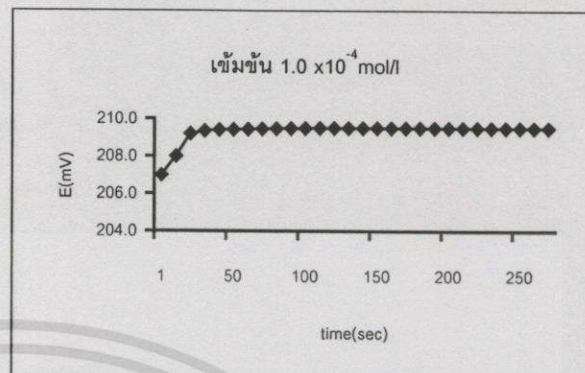


รูปที่ จ.1 กราฟแสดงการตอบสนองต่อเวลาที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} mol/l มีค่าเท่ากับ 35 วินาที

ตารางที่ จ.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าและเวลาของการตอบสนองของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE(Metrohm) ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} mol/l ถึง 1.0×10^{-1} mol/l

time(sec)	E(mV)			
	$*1.0 \times 10^{-4}$	$*1.0 \times 10^{-3}$	$*1.0 \times 10^{-2}$	$*1.0 \times 10^{-1}$
1	207.0	156.0	101.5	51.7
10	208.0	156.4	101.6	51.9
20	209.2	156.5	101.8	52.7
30	209.4	156.6	102.2	53.0
40	209.4	156.6	102.5	53.0
50	209.4	156.6	102.5	53.0
60	209.4	156.6	102.5	53.0
70	209.5	156.6	102.5	53.0
80	209.5	156.6	102.5	53.0
90	209.5	156.6	102.5	53.0
100	209.5	156.6	102.5	53.0
110	209.5	156.6	102.5	53.0
120	209.5	156.6	102.5	53.0
130	209.5	156.6	102.5	53.0
140	209.5	156.6	102.5	53.0
150	209.5	156.6	102.5	53.0
160	209.5	156.6	102.5	53.0
170	209.5	156.6	102.5	53.0
180	209.5	156.6	102.5	53.0
190	209.5	156.6	102.5	53.0
200	209.5	156.6	102.5	53.0
210	209.5	156.6	102.5	53.0
220	209.5	156.6	102.5	53.0
230	209.5	156.6	102.5	53.0
240	209.5	156.6	102.5	53.0
250	209.5	156.6	102.5	53.0
260	209.5	156.6	102.5	53.0
270	209.5	156.6	102.5	53.0

* ความเข้มข้นเป็น mol/l

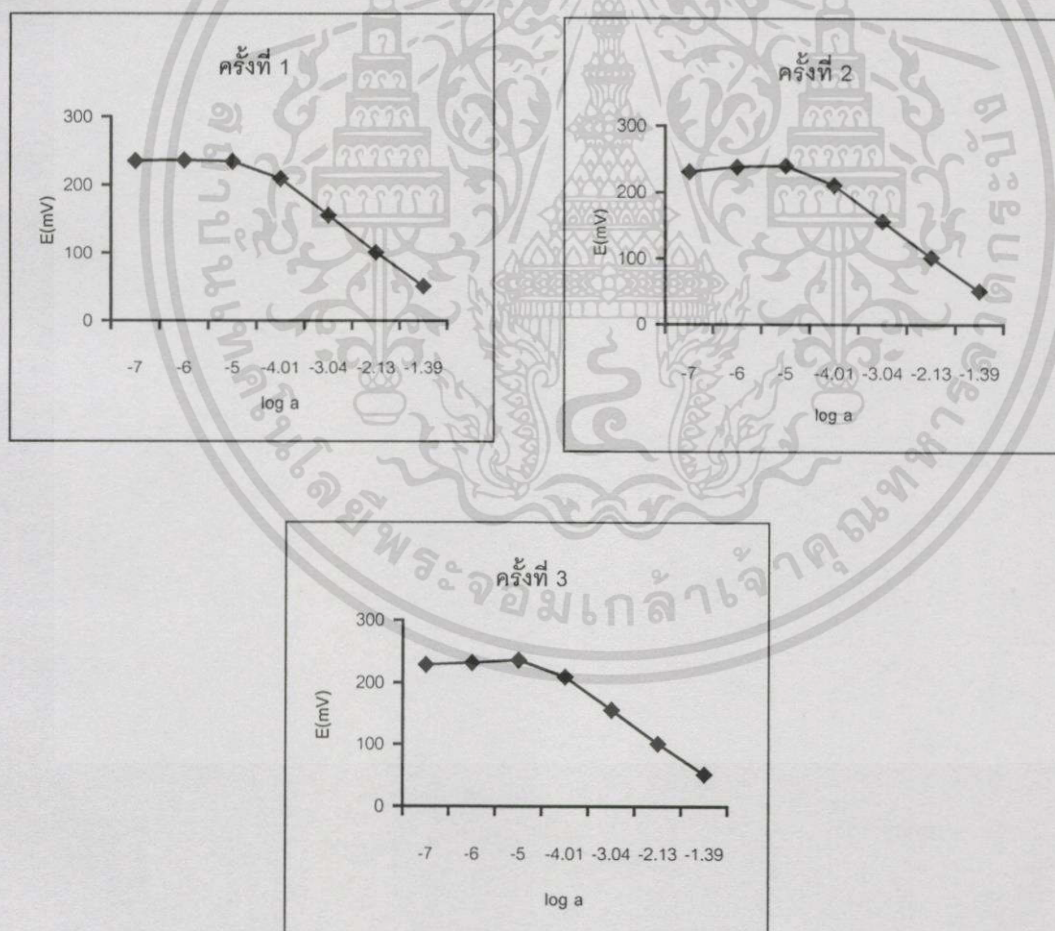


รูปที่ จ.2 กราฟแสดงการตอบสนองต่อเวลาของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE(Metrohm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2 ค่าศักย์ไฟฟ้า ค่าความชัน ของขั้วไนเตรท ISE Metrohm

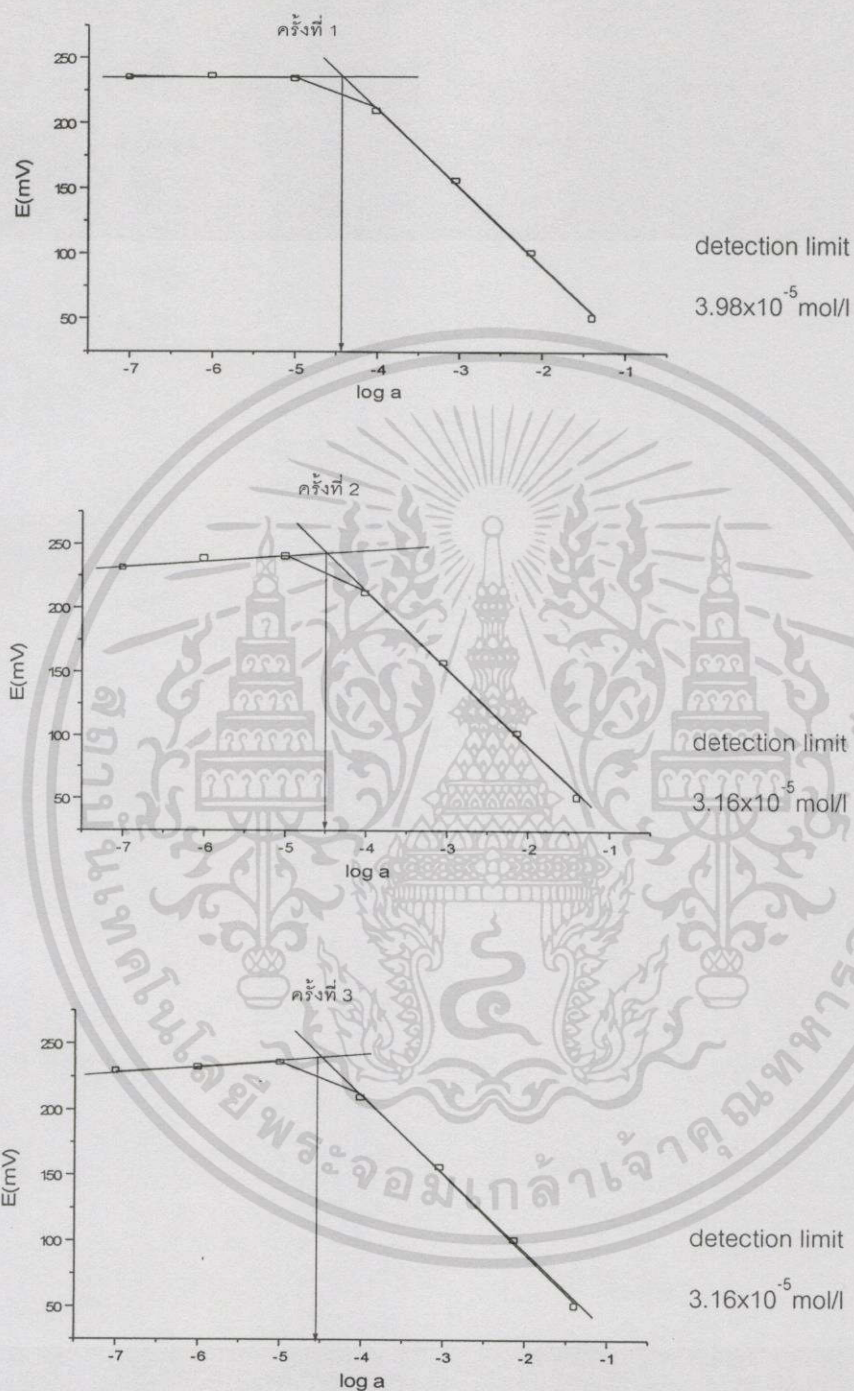
log a	E(mV)					
	ครั้งที่1	1(linest)	ครั้งที่2	2(linest)	ครั้งที่3	3(linest)
-7	235	236	231	232	229	229
-6	236	235	238	236	232	232
-5	234	235	240	241	236	236
-4.01	209	212	211	213	209	212
-3.04	156	153	157	154	156	153
-2.13	101	98	102	99	101	98
-1.39	51	54	51	54	51	54
slope	-60.2		-60.8		-60.2	



รูปที่ จ.3 กราฟแสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไนเตรท ISE Metrohm ที่วัดสารละลายโซเดียมไนเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ของข้าวไนเตรท Metrohm



รูปที่ จ.4 กราฟแสดงการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ของข้าวไนเตรทISE Metrohm ครั้งที่ 1 - 3

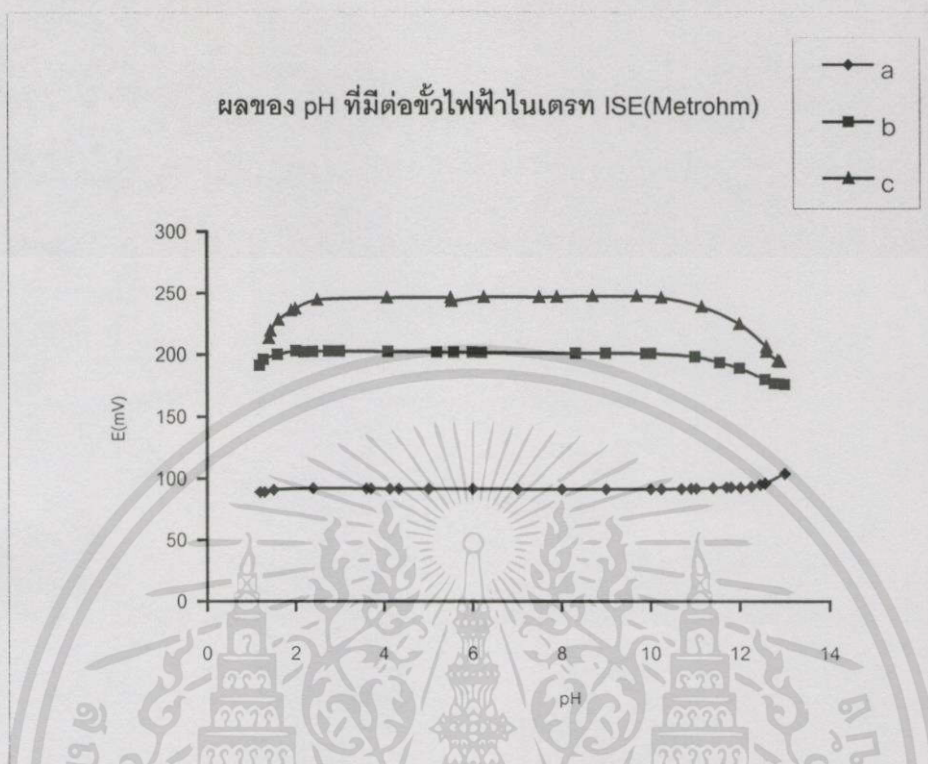
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 แสดงค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วไนเตรท ISE ของ Metrohm วัดในสารละลาย

โซเดียมไนเตรทที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} , 1.0×10^{-3} และ 1.0×10^{-5} mol/l

ความเข้มข้น 1.0×10^{-1} mol/l		ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l		ความเข้มข้น 1.0×10^{-5} mol/l	
pH	E(mV)	pH	E(mV)	pH	E(mV)
1.2	89.0	1.2	191.3	1.4	213.0
1.3	89.0	1.3	196.0	1.4	219.0
1.5	91.0	1.6	200.0	1.6	227.8
2.4	92.2	2.0	202.8	1.9	235.3
3.6	92.0	2.2	202.0	2.0	236.8
3.7	91.8	2.4	202.4	2.5	244.2
4.1	91.8	2.8	202.6	4.1	246.0
4.3	91.7	3.0	202.6	5.5	245.9
5.0	91.6	4.1	202.2	5.5	243.0
6.0	91.6	5.2	201.9	6.3	246.6
7.0	91.5	5.6	201.7	7.5	246.4
8.0	91.5	6.0	201.7	7.9	246.7
9.0	91.5	6.2	201.6	8.7	247.4
10.0	91.5	8.3	201.1	9.7	247.4
10.2	91.5	9.0	201.2	10.3	246.0
10.7	91.7	9.9	200.9	11.2	238.5
10.9	91.9	10.0	200.8	12.0	224.5
11.0	92.0	11.0	198.3	12.6	206.0
11.4	92.4	11.6	193.6	12.6	202.3
11.7	92.9	12.0	189.0	12.9	195.0
11.8	92.9	12.6	180.0	12.9	194.3
12.0	92.7	12.8	177.0		
12.3	93.4	12.9	176.5		
12.5	95.0	13.0	176.2		
12.6	96.0				
13.0	104.0				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

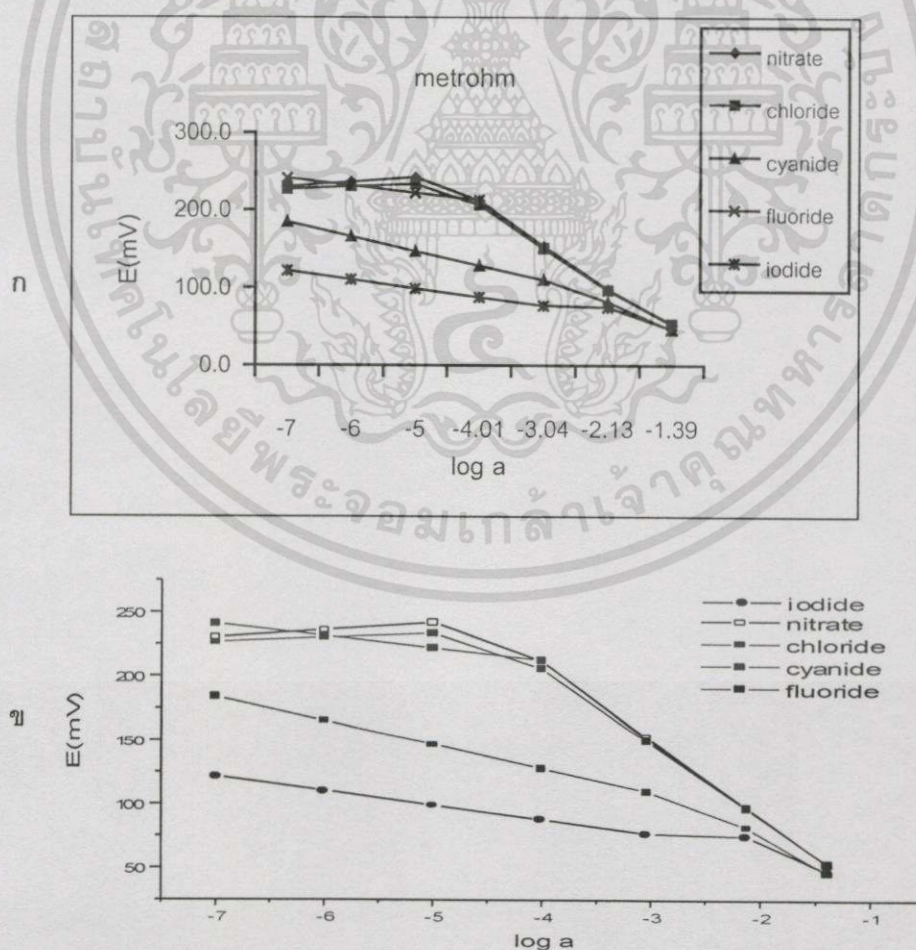


รูปที่ ๕.๕ กราฟแสดงช่วงของ pH ที่วัดได้ของขั้วไฟฟ้าไนเตรท ISE Metrohm ในสารละลายโซเดียมไนเตรทที่ความเข้มข้น $a = 1.0 \times 10^{-1}$, $b = 1.0 \times 10^{-3}$ และ $c = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/l

ข้อมูลการศึกษาผลของการรบกวนของไอออนอื่นต่อศักย์ไฟฟ้าขั้ว metrohm ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} mol/l

ตารางที่ จ.4 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ในสารละลายที่มีไอออนรบกวนของขั้วในเตรท ISE Metrohm

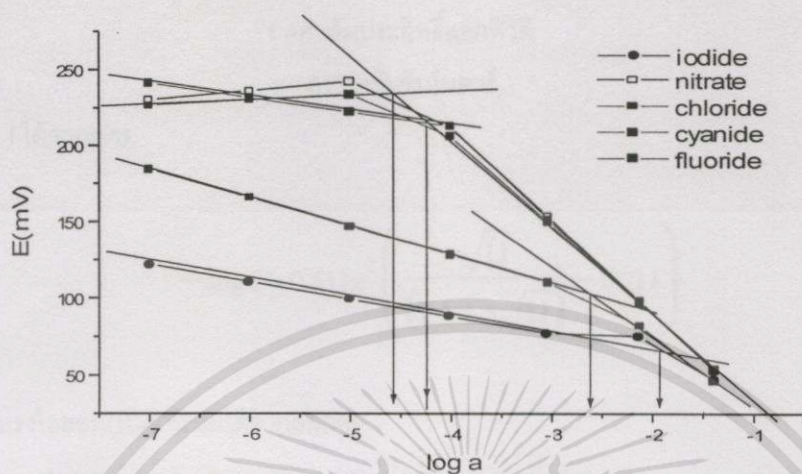
log a	E(mV)					E(mV) linest				
	nitrate	chloride	cyanide	fluoride	iodide	nitrate	chloride	cyanide	fluoride	iodide
-7	228	223	197	229	120	230.0	226.5	184.0	240.9	121.6
-6	241	237	153	243	119	236.0	230.0	165.3	231.4	110.3
-5	240	230	141	235	92	242.0	233.5	146.7	221.9	99.0
-4.01	209	205	126	200	83	211.8	205.9	128.1	212.5	87.8
-3.04	156	152	118	150	82	153.0	149.6	110.0	151.4	76.9
-2.13	100	100	82	100	75	97.9	96.8	81.9	97.0	74.9
-1.39	50	52	46	51	47	53.0	53.9	46.0	52.7	47.0
slope (mV/decade)	-60.6	-58.1	-48.6	-59.8	-37.8					



รูปที่ จ.6 ก. แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของไอออนรบกวนต่างๆ ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

ข. แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าของไอออนรบกวนต่างๆ ด้วยโปรแกรม Microcal Original 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗.๗ แสดงวิธีการหาค่าเอกทิตซ์ของไนเตรท (a_A) ที่มีไอออนอื่นรบกวนผสมอยู่
โดยใช้โปรแกรม Microcal Original 3.5

การคำนวณค่าแอกทิวิตี

คำนวณแอกทิวิตี(a) ได้จาก $a = f \cdot c$

เมื่อ

a = แอกทิวิตี

f = ค่าสัมประสิทธิ์แอกทิวิตี

c = ความเข้มข้นโมลาร์

คำนวณหา f ได้จากสูตร

$$-\log f = 0.511z^2 \left(\frac{\sqrt{\mu}}{(1 + 1.5\sqrt{\mu})} - 0.2\mu \right)$$

ซึ่งค่าความแรงไอออน(μ)คำนวณได้จากสมการ

$$\mu = 0.5 \sum z_i^2 c_i$$

เมื่อ

z_i = ประจุของไอออน

c_i = ความเข้มข้นของไอออน

ตารางที่ ข.5 แสดงค่าความเข้มข้น (โมล/ลิตร) ค่าไอออนิกสเตรงท์, สัมประสิทธิ์แอกทิวิตี และค่าแอกทิวิตีของโซเดียมไนเตรท

c	μ	$\mu^{1/2}$	log f	f	a	-log a	log a
ความเข้มข้น (mol/l)	ไอออนิกสเตรงท์			สัมประสิทธิ์ แอกทิวิตี	แอกทิวิตี		
1.00E-07	1.00E-07	3.16E-04	-4.04E-04	9.99E-01	9.99E-08	7.00	-7
1.00E-06	1.00E-06	1.00E-03	-1.28E-03	9.97E-01	9.97E-07	6.00	-6
1.00E-05	1.00E-05	3.16E-03	-4.04E-03	9.91E-01	9.91E-06	5.00	-5
1.00E-04	1.00E-04	1.00E-02	-1.28E-02	9.71E-01	9.71E-05	4.01	-4.01
1.00E-03	1.00E-03	3.16E-02	-4.03E-02	9.11E-01	9.11E-04	3.04	-3.04
1.00E-02	1.00E-02	1.00E-01	-1.27E-01	7.47E-01	7.47E-03	2.13	-2.13
1.00E-01	1.00E-01	3.16E-01	-3.94E-01	4.04E-01	4.04E-02	1.39	-1.39

ประวัติผู้เขียน

นายหัสดี จินดา เกิดวันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2491 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาปริญญาการศึกษามัธยมศึกษา (เคมี) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒสงขลา จังหวัดสงขลา เมื่อปีการศึกษา 2513

ปี พ.ศ. 2514 ได้รับราชการตำแหน่งครูตรี โรงเรียนสะเดา"พรรคชัยกัมพลานนท์อนุสรณ์" อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา ปี พ.ศ. 2519 ตำแหน่งครูโทโรงเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ปี พ.ศ. 2523 ตำแหน่งอาจารย์ 2 ระดับ 6 โรงเรียนเศรษฐบุตธำเพ็ญ เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2538 เข้าศึกษาในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

