โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การตรวจวัดคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) พร้อมกันด้วยตาเปล่าโดยใช้เทคนิคบัลค์ออปโทด

Simultaneous Naked-Eye Detection of Cu(II), Ni(II), Zn(II) and Co(II) Using Bulk Optode Technique

ชื่อนิสิต นายสุวิจักขณ์ สุดไทย

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2558

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การตรวจวัดคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) พร้อมกันด้วยตาเปล่าโดยใช้เทคนิคบัลค์ออปโทด

Simultaneous Naked-Eye Detection of Cu(II), Ni(II), Zn(II) and Co(II) Using Bulk Optode Technique

โดย

นายสุวิจักขณ์ สุดไทย

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

เรื่อง การตรวจวัดคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) พร้อมกันด้วยตาเปล่าโดยใช้เทคนิคบัลค์ออปโทด

โดย นายสุวิจักขณ์ สุดไทย

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทธรักษา วรานุศุภากุล)

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลภา เอื้องไมตรีภิรมย์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัมฤทธิ์ วัชรสินธุ์)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

....

(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ พฤษภาคม พ.ศ. 2559

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ ☑ ดีมาก ☐ ดี ☐ พอใช้

ชื่อโครงการ การตรวจวัดคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) พร้อมกันด้วยตาเปล่าโดยใช้เทคนิคบัลค์ออปโทด

ชื่อนิสิตในโครงการ นายสุวิจักขณ์ สุดไทย เลขประจำตัว 553 31681 23

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลภา เอื้องไมตรีภิรมย์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเซ็นเซอร์ชนิดแสงสำหรับตรวจวัดการปนเปื้อนของไอออนโลหะในน้ำเป็นที่ได้รับความสนใจเนื่องจากใช้งานง่าย และมีความน่าเชื่อถือในการตรวจสอบสำหรับการใช้งานจริงในชีวิตประจำวันโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือในการวิเคราะห์ ในงานนี้พัฒนาวิธีตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ในสารละลายด้วยเทคนิคบัลค์ออปโทดโดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีด้วยตาเปล่า โดยใช้แผ่น เมมเบรนที่เตรียมจาก 1-(2-ไพริดิลเอโซ)-2-แนพทอล หรือ PAN ที่ทำหน้าที่เป็นโครโมไอโอโนฟอร์และไอโอโนฟอร์มี potassium tetrakis(4-chlorophenyl) borate (KT*p*ClPB) เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนบวก และ bis(2-ethylhexyl)sebacate (DOS) เป็นพลาสติไซเซอร์ ในแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) เมมเบรน พบว่าแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 0.7 ถึง 1 มิลลิกรัม ตอบสนองต่อไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) โดยการเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีม่วง สีน้ำตาล สีส้ม และสีเขียว ตามลำดับ ภายใต้ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด โดยความเข้มข้นของไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) เท่ากับ 0.1 มิลลิโมลาร์ และความเข้มข้นของไอออนนิกเกิล(II) เท่ากับ 0.5 มิลลิโมลาร์ ในระบบแอซิติก/ แอซิเทตบัฟเฟอร์ที่พีเอช 5 เวลาในการตรวจวัด 15 นาที นอกจากนี้ยังประสบความสำเร็จในการใช้ไทโอยูเรีย และเอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์สำหรับตรวจวัดสารละลายไอออนผสมระหว่างคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II), คอปเปอร์(II) ซิงค์(II), คอปเปอร์(II) โคบอลต์(II) และคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) โคบอลต์(II) ในสารละลายได้ด้วยตาเปล่า

คำสำคัญ: บัลค์ออปโทด, การตรวจวัดด้วยตาเปล่า, 1-(2-ไพริดิลเอโซ)-2-แนพทอล

Title Simultaneous Naked-Eye Detection of Cu(II), Ni(II), Zn(II) and Co(II) Using Bulk Optode Technique

Student name Mr. Suwijak Sudthai ID 553 31681 23

Advisor name Assistant Professor Wanlapa Aeungmaitrepirom, Ph.D.

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

Abstract

Nowadays, optical sensor for detection of metal ions contamination in water has become a hot research topic because of its convenient and reliable approach to monitor in daily applications without resorting to instrumental analysis. In this work, a proposed method of colorimetric sensor for naked-eye detection of Cu(II), Ni(II), Zn(II) and Co(II) in aqueous solution based on bulk optode technique was developed. The optode membrane was prepared by incorporating of 1-(2-pyridylazo)-2-naphtol (PAN) as an ionophore and a chromoionophore, potassium tetrakis(4-chlorophenyl) borate (KT*p*ClPB) as a cation exchanger and bis(2-ethylhexyl)sebacate (DOS) as a plasticizer in a poly(vinyl chloride) (PVC) membrane. As the result, the membrane containing 0.7 to 1 mg of PAN responded to Cu(II), Ni(II), Zn(II) and Co(II) ions by changing color of membrane from yellow to purple, brown, orange and green, respectively. Under the optimum conditions, the proposed membrane displayed a concentration of Cu(II) Zn(II) and Co(II) ions was 0.1 mM and Ni(II) ion was 0.5 mM with 15 minutes of sensing process at pH 5 buffering by acetic acid/acetate. Notably, the simultaneous naked-eye detection of Cu(II) and Ni(II), Cu(II) and Zn(II), Cu(II) and Co(II), Cu(II) Ni(II) and Co(II) in an aqueous solution by using thiourea and ethylenediamine as masking agents under the optimum conditions was accomplished.

Keywords: bulk optode, naked-eye detection, 1-(2-pyridylazo)-2-naphtol

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลภา เอื้องไมตรีภิรมย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการเป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น คำปรึกษา และความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการดำเนินการทำวิจัยทำให้งานวิจัยและรายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทธรักษา วรานุศุภากุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สัมฤทธิ์ วัชรสินธุ์ ที่ได้กรุณาให้เกียรติเป็นกรรมการสอบโครงงานในครั้งนี้

ขอขอบคุณนางสาวศุภชา วิโรจน์แสงทอง และรุ่นพี่ทุกคนในหน่วยวิจัย Environmental Analysis Research Unit (EARU) คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจตลอดการทำวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ และโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ของฝ่ายวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวทั้งคุณพ่อ คุณแม่ รวมทั้งเพื่อน ๆ ทุกคนทั้งในและนอกคณะที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูปประกอบ	ซ
สารบัญตารางประกอบ	ญ
คำอธิบายคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
1.3.1 1-(2-ไพริดิลเอโซ)-2-แนพทอล	6
1.3.2 การตรวจวัดด้วยตาเปล่า	7
1.3.3 เทคนิคบัลค์ออปโทด	8
1.4 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย	11
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
บทที่ 2 การทดลอง	12
2.1 สารเคมี	12
2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	13
2.3 การเตรียมสารละลาย	13
2.3.1 สารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเทต พีเอช 5	13
2.3.2 สารละลายไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ	13
2.3.3 สารละลายมาสคิงเอเจนต์	14
2.4 การเตรียมแผ่นเมมเบรน	16
2.5 การทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นเมมเบรนในการตรวจวัดไอออนโลหะ	17
2.5.1 การทดสอบการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II)	17

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	หน้า
2.5.2 ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิล(II) ที่เหมาะสมเพื่อตรวจวัดได้ด้วยตาเปล่า	17
2.5.3 การทดสอบการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสม	17
2.5.4 การเตรียมมาสคิงเอเจนต์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II)	18
2.5.5 การตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสมโดยใช้ไทโอยูเรีย และเอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์	21
2.6 การตรวจวัดไอออนโลหะในสารละลายตัวอย่าง	22
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผล	23
3.1 การเตรียมแผ่นเมมเบรน	23
3.2 การทดสอบการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II)	24
3.3 ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิล(II) ที่เหมาะสมเพื่อตรวจวัดได้ด้วยตาเปล่า	26
3.4 การตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสม	27
3.5 การเตรียมแผ่นเมมเบรนที่ผสมด้วยมาสคิงเอเจนต์	2
3.6 มาสคิงเอเจนต์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II)	31
3.7 การตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสมโดยใช้ไทโอยูเรีย และเอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์	33
3.8 การตรวจวัดไอออนโลหะในสารละลายตัวอย่าง	35
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	39
4.1 สรุปผลการทดลอง	39
4.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ประวัติผู้วิจัย	46

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	โครงสร้างสารประกอบเชิงซ้อนของ PAN	6
1.2	สมดุลการแข่งขันระหว่าง M^+ และ H^+ ในสารละลายตัวอย่างเข้าสู่แผ่นเมมเบรน	9
2.1	โครงสร้างขององค์ประกอบต่าง ๆ ในแผ่นเมมเบรน	16
2.2	โครงสร้างของมาสคิงเอเจนต์ชนิดต่าง ๆ	21
3.1	ลักษณะแผ่นเมมเบรนที่ปริมาณ PAN ต่าง ๆ	24
3.2	สีของแผ่นเมมเบรนหลังจากแช่ในสารละลายไอออนนิกเกิล(II) ที่ผสมกับโพแทสเซียมคลอไรด์	32
3.3	โครงสร้างการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของมาสคิงเอเจนต์	33
3.4	แผนภาพวิธีการวิเคราะห์ไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสมโดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนด้วยตาเปล่า	35

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
1.1	ตัวอย่างงานวิจัยของเทคนิคบัลค์ออปโทดที่ใช้ไอโอโนฟอร์ชนิดต่าง ๆ ในการตรวจวัดไอออนโลหะ	4
1.2	สีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ ในตัวทำละลายที่แตกต่างกัน	6
1.3	ค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ PAN กับไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ	7
2.1	สารเคมีและตัวทำละลายที่ใช้ในงานวิจัย	12
2.2	ปริมาตรของสารละลายไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เตรียมสารละลายไอออนโลหะผสม ทั้งหมด 11 แบบ	18
2.3	แผ่นเมมเบรนแบบต่าง ๆ ที่มีปริมาณมาสคิงเอเจนต์แตกต่างกัน	19
2.4	ปริมาณสารที่ใช้เตรียมแผ่นเมมเบรนแบบต่าง ๆ ที่ผสมด้วยมาสคิงเอเจนต์	19
2.5	การผสมไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เตรียมสารละลายตัวอย่าง	22
3.1	สีของแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 0.2 mg หลังแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM พีเอช 5 เป็นเวลา 5 และ 15 นาที	24
3.2	สีของแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 0.7 mg หลังแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM พีเอช 5 เป็นเวลา 5 และ 15 นาที	24
3.3	สีของแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 1 mg หลังแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM พีเอช 5 เป็นเวลา 5 และ 15 นาที	25
3.4	สีของแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 0.7 และ 1 mg หลังแช่แผ่นในสารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 mM พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที	26
3.5	สีของแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 1 mg หลังแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM สารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM ที่ผสมกันแบบต่าง ๆ พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที	28

ตารางที่		หน้า
3.6	สีของแผ่นเมมเบรนที่ผสมมาสคิงเอเจนต์แบบต่าง ๆ หลังแช่ในสารละลายไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ	30
3.7	สีของแผ่นเมมเบรนหลังแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM สารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM ที่ผสมมาสคิงเอเจนต์ชนิดต่าง ๆ ความเข้มข้น 0.1 M พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที	32
3.8	สีของแผ่นเมมเบรน หลังแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM สารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM ที่ผสมกันแบบต่าง ๆ และผสมมาสคิงเอเจนต์ชนิดต่าง ๆ ความเข้มข้น 0.1 M พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที	34
3.9	สีของแผ่นเมมเบรนหลังแช่ในสารละลายตัวอย่าง	36

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายคำย่อ

DBP	dibutyl phthalate
DBzDA18C6	1,10-dibenzyl-1,10-diaza-18-crown-6
DES	diethyl sebacate
DOP	dioctyl phthalate
DOS	bis(2-ethylhexyl)sebacate
ETH5294	3-octadeca noylimino-7-(diethylamino)-1,2-benzo-phenoxazine
FAAS	flame atomic absorption spectroscopy
HSAB	hard-soft acid baselp
HPP	N,N′-bis-(1-hydroxyphenylimine)2,2′-pyridil
ICP-AES	inductively coupled plasma atomic emission spectrometry
ICP-MS	inductively coupled plasma-mass spectrometry
KT*p*ClPB	potassium tetrakis(4-chlorophenyl) borate
NaTPB	sodium tetraphenylborate
NPOE	*ortho*-nitrophenyl octyl ether
OA	oleic acid
PAN	1-(2-pyridylazo)-2-naphthol
PVC	polyvinyl chloride
TBP	tributyl phosphate
THF	tetrahydrofuran
TOPO	tri-n-octyl phosphine oxide
TTBB	2,5-thiophenylbis(5-*tert*-butyl-1,3-benzexazole)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกตระหนักถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาด้านการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำ เพราะถึงแม้ว่าจะพบการปนเปื้อนในระดับต่ำ แต่ก็ยังสามารถก่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อพืช สัตว์ และมนุษย์ได้[1] ดังนั้นการพัฒนาวิธีตรวจวัดทางเคมี เพื่อตรวจการปนเปื้อนของโลหะหนักจึงเป็นที่ได้รับความสนใจ ในธรรมชาติธาตุกว่า 30 ชนิด มีความสำคัญต่อกระบวนการทางชีวเคมีและสรีรวิทยา ซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต โดยไอออนโลหะและกึ่งโลหะที่พบในอาหารและน้ำดื่ม มีบทบาทสำคัญต่อหลายกระบวนการพื้นฐานทางชีวภาพ ที่จะส่งผลกระทบในระดับเซลล์ มีทั้งประโยชน์และโทษที่สามารถทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมได้ โดยไอออนโลหะพี่พบจะมีความเป็นพิษแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับระยะเวลาและปริมาณสารที่สะสมอยู่ในร่างกาย จึงเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น คอปเปอร์[2] (copper) สามารถแทนที่ไอออนโลหะอื่น ซึ่งทำหน้าที่เป็นโคแฟคเตอร์ (cofactor) ในปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง (enzyme-catalyzed reactions) และเป็นพิษต่อระบบชีวภาพ เมื่อปริมาณของไอออนคอปเปอร์เกินความต้องการ นิกเกิล[3] (nickle) เมื่อสะสมในร่างกายปริมาณมาก จะทำให้เกิดโรคปอดอักเสบเรื้อรัง (lung fibrosis) โรคหัวใจ และหลอดเลือด (cardiovascular diseases) และโรคไต (kidney diseases) ซิงค์[4] (zinc) เมื่อสัมผัสในปริมาณมากจะมีอาการภาวะเป็นพิษแบบเฉียบพัน (acute intoxication) นอกจากนี้ซิงค์ยังทำให้เกิดการขาดแคลนคอปเปอร์ จึงทำให้ความเป็นพิษส่วนใหญ่ของซิงค์มาจากการขาดคอปเปอร์ มีหลายงานวิจัยรายงานว่า เมื่อมีการสัมผัสโคบอลต์[5] (cobalt) อาจส่งผลกระทบทำให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคหอบหืด (asthma) ผื่นผิวหนังอักเสบจากการสัมผัส (contact dermatitis) และโรคที่เกี่ยวกับความบกพร่องอย่างรุนแรงของปอด (severely impaired lung function)

มีหลายเทคนิคที่สามารถใช้วิเคราะห์ไอออนโลหะได้ เช่น สเปกโทรเมตรีซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจไอออนโลหะในน้ำ เช่น inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) และ inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) เทคนิคเหล่านี้มีขีดจำกัดการตรวจวัดที่ต่ำ (detection limit) และสามารถวิเคราะห์ได้หลายธาตุพร้อมกัน แต่อย่างไรก็ตามเทคนิค

เหล่านี้ยังต้องอาศัยเครื่องมือที่มีราคาแพง ขั้นตอนยุ่งยาก ใช้ระยะเวลาในการตรวจวัดนาน อีกทั้งยังต้องอาศัยความชำนาญในการใช้เครื่องมือของผู้วิเคราะห์

เทคนิคบัลค์ออปโทด (bulk optode technique) เป็นหนึ่งในเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ตรวจวัดไอออนโลหะในสารละลาย เนื่องจากใช้งานง่าย และการตอบสนองค่อนข้างรวดเร็ว มีการตอบสนองในช่วงที่กว้าง มีความจำเพาะ และมีความไวสูง[6-9] เทคนิคบัลค์ออปโทดอาศัยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไอโอโนฟอร์กับไอออนโลหะที่ต้องการวิเคราะห์ แล้วตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีของโครโมไอโอโนฟอร์ในแผ่นเมมเบรน ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี หรือเทคนิคฟลูออเรสเซนส์ สเปกโทรสโกปี[10-13] นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีได้ด้วยตาเปล่าอีกด้วย ดังนั้นเทคนิคบัลค์ออปโทดจึงมีความเหมาะสมเพื่อใช้ในการตรวจวัดไอออนโลหะในสารละลายด้วยตาเปล่า (naked-eye detection)

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากหลายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการใช้เทคนิคบัลค์ออปโทดในการตรวจวัดไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น คอปเปอร์(II)[14-20] นิกเกิล(II)[21] ซิงค์(II)[22-24] โคบอลต์(II)[25-26] ซิลเวอร์(I)[27] เมอร์คิวรี(II)[28-29] แกลเลียม(III)[30] เลด(II)[19,31] แคดเมียม(II)[32] และแมงกานีส(II)[33] ตัวอย่างงานวิจัยแสดงดังตารางที่ 1.1 โดยสามารถแบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 งานวิจัยที่ใช้ไอโอโนฟอร์ และโครโมไอโอโนฟอร์เป็นสารต่างชนิดกัน เช่นตัวอย่างงานวิจัยของ Alizadeh และคณะ[19] ได้ศึกษาการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) และเลด(II) ด้วยเทคนิคบัลค์ออปโทดโดยใช้แผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี 1,10-dibenzyl-1,10-diaza-18-crown-6 (DBzDA18C6) เป็นไอโอโนฟอร์ และ 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol (PAN) เป็นโครโมไอโอโนฟอร์ สามารถตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) และเลด(II) โดยมีขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 3.2×10^{-7} และ 1.0×10^{-8} mol/L ตามลำดับ ในปี 2012 งานวิจัยของ Firooz และคณะ[27] ศึกษาการตรวจวัดไอออนซิลเวอร์(I) ด้วยเทคนิคบัลค์ออปโทดโดยใช้แผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี 7-(1H-imidazol-1-ylmethyl)-5,6,7,8,9,10-hexahydro- 2H-1,13,4,7,10 benzodioxatriaza cyclopentadecine-3,11(4H,12H)-dione เป็นไอโอโนฟอร์ และ 3-octadecanoylimino-7-(diethylamino)-1,2-benzo-phenoxazine (ETH5294) เป็นโครโมไอโอโนฟอร์ สามารถนำไปใช้ตรวจวัดไอออนซิลเวอร์(I) ในตัวอย่างจริงได้ โดยมีขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 2.8×10^{-12} mol/L และในปี 2013 Firooz และคณะ[28] ใช้แผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี 7-(1H-imidazol-1-ylmethyl)-5,6,7,8,9,10-hexahydro-2H-1,13,4,7,10 benzodioxatriaza cyclopentadecine-3,11(4H,12H)-

dione เป็นไอโอโนฟอร์ และ ETH5294 เป็นโครโมไอโอโนฟอร์ สามารถตรวจวัดไอออนเมอร์คิวรี(II) ได้และมีช่วงของการตรวจวัดเท่ากับ 4.7×10^{-14} ถึง 7.2×10^{-13} mol/L

กลุ่มที่ 2 งานวิจัยที่ใช้ไอโอโนฟอร์ และโครโมไอโอโนฟอร์เป็นสารชนิดเดียวกัน เช่น งานวิจัยของ Shamsipur และคณะ[21] ได้ศึกษาการตรวจวัดไอออนนิกเกิล(II) ด้วยเทคนิคบัลค์ออปโทด โดยใช้แผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี 2,5-thiophenylbis(5-*tert*-butyl-1,3-benzexazole) (TTBB) เป็นทั้งโครโมไอโอโนฟอร์ และไอโอโนฟอร์ สามารถใช้ตรวจวัดไอออนนิกเกิล(II) ในน้ำมันและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้ โดยมีเวลาในการตอบสนองน้อยกว่า 40 วินาที และมีช่วงของการตรวจวัดไอออนนิกเกิล(II) เท่ากับ 1.0×10^{-8} ถึง 1.0×10^{-3} mol/L และในปี 2008 Shamsipur และคณะ[26] ได้ศึกษาการตรวจวัดไอออนโคบอลต์(II) โดยใช้แผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มี 7-[(5-chloro-8-hydroxy-7-quinolinyl)methyl]-5,6,7,8,9,10-hexahydro-2*H*-1,13,4,7,10-benzodioxatriazacyclopentadecine-3,11(4*H*,12*H*)-dione (L) เป็นไอโอโนฟอร์ สามารถตรวจวัดไอออนโคบอลต์(II) โดยมีช่วงของการตรวจวัดไอออนโคบอลต์(II) เท่ากับ 5.0×10^{-7} ถึง 2.0×10^{-2} mol/L เวลาการตอบสนองเท่ากับ 5 นาที ในปี 2009 งานวิจัยของ Zare-Sahabadhi และคณะ[34] ใช้ PAN บนแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์เป็นทั้งโครโมไอโอโนฟอร์ และไอโอโนฟอร์ เพื่อใช้ตรวจวัดไอออนยูเรนิล(II) (uranyl) ในตัวอย่างน้ำประปา โดยมีขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 8.20×10^{-7} mol/L และในปี 2013 งานวิจัยของนางสาวศุภชา วิโรจน์แสงทอง[35] ใช้ PAN บนแผ่นพอลิไวนิลคลอไรด์เป็นทั้งโครโมไอโอโนฟอร์ และไอโอโนฟอร์ สามารถใช้ตรวจวัดไอออนโคบอลต์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และเลด(II) ได้ โดยแผ่นเมมเบรนจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเขียว สีแดงปนม่วง สีแดง และสีน้ำตาล ตามลำดับ โดยมีขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.05×10^{-3} mol/L

ในงานวิจัยนี้สนใจพัฒนาวิธีตรวจวัดไอออนโลหะด้วยเทคนิคบัลค์ออปโทดโดยใช้แผ่น เมมเบรนที่เตรียมจาก 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol (PAN) เป็นทั้งโครโมไอโอโนฟอร์ และไอโอโนฟอร์ โดยมี potassium tetrakis(4-chlorophenyl) borate (KT*p*ClPB) เป็นไอออนเอกซ์เชนจ์เจอร์ ผสมใน PVC ที่มี bis(2-ethylhexyl)sebacate (DOS) เป็นพลาสติไซเซอร์ สำหรับตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) พร้อมกันในสารละลายโดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนได้ด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างงานวิจัยของเทคนิคบัลค์ออปโทดที่ใช้ไอโอโนฟอร์ชนิดต่าง ๆ ในการตรวจวัดไอออนโลหะ

ไอออนโลหะ	ไอโอโนฟอร์	ไอออนเอกซ์เชนจ์เจอร์/พลาสติไซเซอร์	ช่วงของการตรวจวัด	ขีดจำกัดการตรวจวัด	เอกสารอ้างอิง
Cu(II)	(N′^{1}E,N′2E)-N′^{1},N′2-bis(pyridine-2-ylmethylene)oxalohydrazide	NaTPB/ DBP	1.6×10^{-6} ถึง 3.17×10^{-5} mol/L	8.1×10^{-7} mol/L	14
Cu(II)	N,N′-(4,4′-ethylene biphenyl) bis(3-methoxy salicylidine imine) (EBSI)	OA/ DOS	0.01 ถึง 32.0 μg/mL	0.008 μg/mL	15
Cu(II)	2-(2-hydroxyphenyl)-3H-anthra[2,1-d]imidazole-6,11-dione	NaTPB/ TBP	6.3×10^{-7} ถึง 1.0×10^{-4} mol/L	3.3×10^{-7} mol/L	16
Cu(II)	1-hydrpxy-2-(prop-2′-enyl)-4-(prop-2′-enyloxy)-9,10-anthraquinone (AQ)	KT*p*ClPB/ NPOE	1.0×10^{-6} ถึง 1.0×10^{-2} mol/L	7.5×10^{-7} mol/L	17
Cu(II)	N,N′-bis (salycilidene)-1,2-phenylenediamine (salophen)	NaTPB/ DOS	5.01×10^{-8} ถึง 6.32×10^{-4} mol/L	4.7×10^{-8} mol/L	18
Cu(II), Pb(II)	1,10-dibenzyl-1,10-diaza-18-crown-6 (DBzDA18C6) (Chromoionophore: PAN)	NaTPB/ NPOE	–	3.2×10^{-7} และ 1.0×10^{-8} mol/L	19
Cu(II)	1-(2-pyridylazo)-2-naphthol (PAN)	NaTPB/ NPOE	5×10^{-5} ถึง 5×10^{-3} mol/L	–	20
Ni(II)	2,5-thiophenylbis(5-*tert*-butyl-1,3-benzexazole) (TTBB) (chromoionophore: TTBB)	KT*p*ClPB/ NPOE	1.0×10^{-8} ถึง 1.0×10^{-3} mol/L	–	21
Zn(II)	N,N′-bis-(1-hydroxyphenylimine)2,2′-pyridil (HPP)	NaTPB/ DBP	1.0×10^{-10} ถึง 1.0×10^{-2} mol/L	6.3×10^{-11} mol/L	22
Zn(II)	N,N’-bis-(1-hydroxypheylimine)2,5-thiophenedicarobxaldehyde (HPTD)	KT*p*ClPB/ DOS	1.0×10^{-12} ถึง 8.6×10^{-14} mol/L	5.3×10^{-13} mol/L	23
Zn(II)	1-(2-pyridylazo)-2-naphthol (PAN)	NaTPB/ NPOE	0.16 ถึง 3.27 μg/mL	0.1 μg/mL	24
Co(II)	N^5-(2, 4-dinitro-phenyl)-N^1,N^1-diethyl-penta-1,3-diene-1,5-diamine (HDDA)	OA/ NPOE	0.028 ถึง 29.68 μg/mL	0.012 μg/mL	25

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างงานวิจัยของเทคนิคบัลค์ออปโทดที่ใช้ไอโอโนฟอร์ชนิดต่าง ๆ ในการตรวจวัดไอออนโลหะ (ต่อ)

ไอออนโลหะ	**ไอโอโนฟอร์**	**ไอออนเอกซ์เชนจ์เจอร์/พลาสติไซเซอร์**	**ช่วงของการตรวจวัด**	**ขีดจำกัดการตรวจวัด**	**เอกสารอ้างอิง**
Co(II)	7-[(5-chloro-8-hydroxy-7-quinolinyl)methyl]-5,6,7,8,9,10-hexahydro-2*H*-1,13,4,7,10-benzodioxatriazacyclopentadecine-3,11(4*H*,12*H*)-dione	NaTPB/ DES	5.0×10^{-7} ถึง 2.0×10^{-2} mol/L	–	26
Ag(I)	7-(1H-benzimidazol-1-ylmethyl)-5,6,7,8,9,10-hexahydro-2H-1,13,4,7,10-benzodioxatriazacyclopentadecine-3,11(4H,12H)-dione (chromoionophore: ETH5294)	NaTPB/ DOP	1.02×10^{-11} ถึง 8.95×10^{-5} mol/L	2.8×10^{-12} mol/L	27
Hg(II)	7-(1H-imidazol-1-ylmethyl)-5,6,7,8,9,10-hexahydro-2H-1,13,4,7,10 benzodioxatriaza cyclopentadecine-3,11(4H,12H)-dione (chromoionophore: ETH5294)	NaTPB/ DES	4.7×10^{-14} ถึง 7.2×10^{-13} mol/L	0.18 pmol/l	28
Hg(II)	1-(2-pyridylazo)-2-naphthol (PAN)	NaTPB/ NPOE	2 ถึง 200 mg/L	0.11 mg/L	29
Ga(II)	4-(*p*-nitrophenyl azo)-pyrocatechol (NAP)	NaTPB/ TBP	5 ถึง 83 μM	4 μM	30
Pb(II)	2-(5-bromo-2-pyridylazo)-5-diethylaminophenol (BrPADAP)	KT*p*ClPB/ TBP	0.1 ถึง 10 mg	–	31
Cd(II)	1-(2-pyridylazo)-2-naphthol (PAN)	NaTPB/ NPOE	–	0.01 mg/l	32
Mn(II)	1-(2-pyridylazo)-2-naphthol (PAN)	NaTPB/ NPOE	0.27 ถึง 27.5 mg/L	0.18 mg/L	33

คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

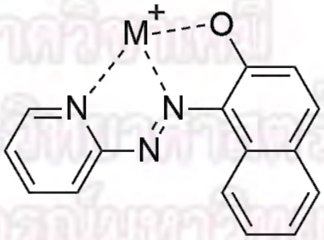
1.3.1 1-(2-ไพริดิลเอโซ)-2-แนพทอล (1-(2-pyridylazo)-2-naphthol หรือ PAN)

1-(2-ไพริดิลเอโซ)-2-แนพทอล หรือ PAN ใช้เป็นอินดิเคเตอร์สำหรับการไทเทรตแบบสารประกอบเชิงซ้อนได้ โดยสีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนโลหะขึ้นอยู่กับตัวทำละลาย แสดงดังตารางที่ 1.2 โดย PAN มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ แต่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คลอโรฟอร์ม เอมิลแอลกอฮอล์ เตตระไฮโดรฟูแรน และคาร์บอนเททระคลอไรด์

ตารางที่ 1.2 สีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ ในตัวทำละลายที่แตกต่างกัน[36]

ตัวทำละลาย	Cu(II)	Co(II)	Ni(II)	Zn(II)
น้ำ	แดงเข้ม	น้ำตาลแดง	แดง	ม่วง
Amyl alcohol	แดง	เขียว	แดง	แดง
CCl_4	เหลือง	เขียว	แดง	แดง

นอกจากนี้ยังใช้ PAN อย่างกว้างขวางในการเป็นคีเลติงเอเจนต์ (chelating agent) สำหรับตรวจวัดไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น คอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) โคบอลต์(II) แมงกานีส(II) และแทลเลียม(III) โดยโครงสร้างการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ PAN กับไอออนโลหะ แสดงดังรูปที่ 1.1 และค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน แสดงดังตารางที่ 1.3



รูปที่ 1.1 โครงสร้างสารประกอบเชิงซ้อนของ PAN

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.3 ค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ PAN กับไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ[37]

ไอออนโลหะ	log K_1	log K_2
Co(II)	>12	-
Cu(II)	16	-
Mn(II)	8.5	16.4
Ni(II)	12.7	25.3
Tl(III)	2.29	-
Zn(II)	11.2	21.7

มีหลายงานวิจัยใช้ PAN บนวัสดุรองรับที่แตกต่างกันในการตรวจวัดไอออนโลหะ เช่น ในปี 2010 งานวิจัยของนางสาวรุ่งนภา คงสังข์[38] ใช้ซิลิกาเจลที่เคลือบด้วย PAN ตรวจวัดไอออนเลด(II) ในน้ำดื่ม จากผลการทดลองพบว่าซิลิกาเจลที่เคลือบด้วย PAN สามารถใช้ตรวจวัดไอออนเลด(II) โดยเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีชมพู และมีขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.5×10^{-13} mol/L ในปี 2012 งานวิจัยของนางสาววาเลนไทน์ เจือสกุล[39] ได้ตรวจวัดปริมาณไอออนโลหะ โดยใช้แอมเบอร์ไลต์เอกซ์เอดี-7 ที่เคลือบด้วย PAN จากผลการทดลองพบว่าแอมเบอร์ไลต์เอกซ์เอดี-7 ที่เคลือบด้วย PAN สามารถใช้ในการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) โดยมีการเปลี่ยนสีจากสีเหลือง เป็นสีม่วง สีน้ำตาลแดง สีชมพู และสีเขียว ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้แผ่นเมมเบรนหรือแผ่นฟิล์มบางที่ทำจากพอลิเมอร์เป็นวัสดุรองรับ PAN ในการตรวจวัดไอออนโลหะต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 1.1

1.3.2 การตรวจวัดด้วยตาเปล่า (naked-eye detection)

ปัจจุบันมีหลายงานวิจัยที่พัฒนาเทคนิคสำหรับการตรวจวัดไอออนโลหะที่มีความจำเพาะต่อสารที่วิเคราะห์ ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยและมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดสูง การตรวจวัดด้วยตาเปล่า (naked-eye detection) เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีราคาถูก ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อย และยังสามารถนำไปใช้นอกสถานที่ได้

การตรวจวัดด้วยตาเปล่าเป็นเทคนิคที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงสีของลิแกนด์ เมื่อเกิดปฏิกิริยากับสารที่ต้องการวิเคราะห์ โดยการเลือกจำเพาะของลิแกนด์กับไอออนโลหะนั้นจะขึ้นอยู่กับทฤษฎี hard-soft acid base (HSAB) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ทำนายความเสถียรเชิงเปรียบเทียบของสารเชิงซ้อน (relative stability of complex) โดยมีหลักการว่า *"hard acids-hard bases, and soft acids-soft bases"* โดยที่ "Hard"

คือ อะตอมที่มีขนาดเล็กและโพลาไรซ์ได้ง่าย “Soft” คือ อะตอมที่มีขนาดใหญ่และโพลาไรซ์ได้ยาก “acids” หมายถึง กรดลิวอิส ในที่นี้ คือ ไอออนโลหะ (ทำหน้าที่รับคู่อิเล็กตรอน) “bases” หมายถึง เบสลิวอิส ในที่นี้ คือ ลิแกนด์ (ทำหน้าที่ให้คู่อิเล็กตรอน) ดังนั้น Hard [Lewis] acid คือ กรดลิวอิสที่มีอะตอมที่รับคู่อิเล็กตรอน (acceptor atom) ชนิด hard เช่น Na^+, K^+, Mg^{2+} Hard [Lewis] Base คือ เบสลิวอิสที่มีอะตอมที่ให้คู่อิเล็กตรอน (donor atom) ชนิด hard เช่น H_2O, NH_3, OH Soft [Lewis] Acid คือ กรดลิวอิสที่มีอะตอมที่รับคู่อิเล็กตรอน (acceptor atom) ชนิด soft เช่น Hg^{2+}, Cd^{2+}, Pb^{2+} และ Soft [Lewis] Base คือ เบสลิวอิสที่มีอะตอมที่ให้คู่อิเล็กตรอน (acceptor atom) ชนิด soft เช่น RS^- RSH

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการพัฒนาลิแกนด์ที่นำมาใช้ตรวจไอออนโลหะให้อยู่บนวัสดุรองรับที่เป็นของแข็ง (solid sorbent) โดยรูปแบบของการตรวจวัดโดยใช้วัสดุรองรับที่เป็นของแข็ง เช่น กระดาษกรอง แอมเบอร์ไลต์ ซิลิกาเจล และแผ่นเมมเบรนที่ทำจากพอลิเมอร์ เป็นต้น จะมีความสะดวกสบายสำหรับในการใช้งานมากกว่า

1.3.3 เทคนิคบัลค์ออปโทด[6-13] (bulk optode technique)

ออปโทด หมายถึง อุปกรณ์เซ็นเซอร์ชนิดแสงที่ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีของสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยา โดยเทคนิคบัลค์ออปโทดใช้แผ่นเมมเบรนหรือแผ่นฟิล์มบางที่ทำจากพอลิเมอร์ เป็นวัสดุในการตรวจวัดสารที่ต้องการวิเคราะห์ โดยอาศัยหลักการของการถ่ายโอนมวล (mass transfer) ของไอออนที่ต้องการวิเคราะห์เข้าสู่แผ่นเมมเบรน โดยแผ่นเมมเบรนด์มีองค์ประกอบสำคัญ 5 ส่วน ดังนี้

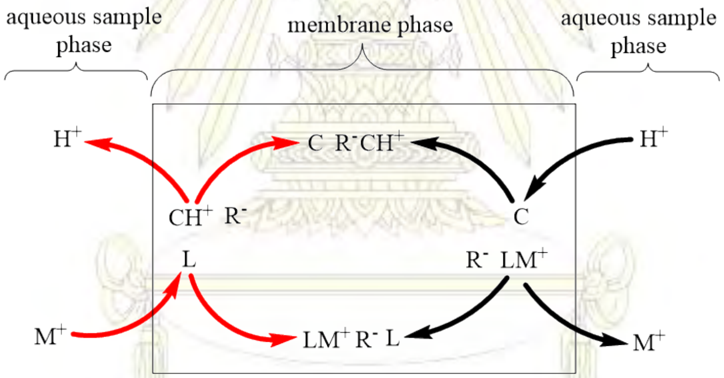
1. พอลิเมอร์ (polymer) เป็นสารที่ทำหน้าที่ในการขึ้นรูปของแผ่นเมมเบรน และเป็นตัวกลางในการยึดองค์ประกอบต่าง ๆ ในแผ่นเมมเบรนไว้ด้วยกัน โดยพอลิเมอร์ส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้ในการเตรียมแผ่นเมมเบรน ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์[14] (PVC)
2. ไอโอโนฟอร์ (ionophore) เป็นสารที่ทำหน้าที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ โดยในปัจจุบันไอโอโนฟอร์ส่วนใหญ่จะเป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ให้มีความเลือกจำเพาะสูงกับไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ เพื่อลดการถูกรบกวนจากไอออนชนิดอื่น ๆ ในสารละลาย เช่น งานวิจัยของ Aziz และคณะ[22] ได้สังเคราะห์ N,N′-bis-(1-hydroxyphenylimine)2,2′-pyridil (HPP) และใช้เป็นไอโอโนฟอร์ที่มีความเลือกจำเพาะสูงในการตรวจวัดซิงค์(II)
3. โครโมไอโอโนฟอร์ (chromoionophore) เป็นสารที่มีการเปลี่ยนแปลงสี เมื่อปริมาณของไฮโดรเจนเปลี่ยนแปลงไป โดยโครโมไอโอโนฟอร์แต่ละชนิดจะให้สัญญาณการเปลี่ยนแปลงสี่ที่แตกต่างกัน โดยสามารถตรวจวัดสัญญาณการเปลี่ยนแปลงสีของโครโมไอโอโนฟอร์ในแผ่นเมมเบรน ด้วยเทคนิค

ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี หรือฟลูออเรสเซนส์สเปกโทรสโกปี และยังสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงสีได้ด้วยตาเปล่า นอกจากนี้ยังพบว่า มีหลายงานวิจัยที่ใช้โครโมไอโอโนฟอร์ และไอโอโนฟอร์เป็นสารชนิดเดียวกัน เช่น งานวิจัยของ Shamsipur และคณะ[21] ใช้ 2,5-thiophenylbis(5-*tert*-butyl-1,3-benzexazole) (TTBB) เป็นทั้งโครโมไอโอโนฟอร์และไอโอโนฟอร์ ในการตรวจวัดไอออนนิกเกิล(II)

4. ไอออนเอกซ์เชนจ์เจอร์ (ion exchanger) เป็นสารที่มีประจุตรงข้ามกับไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ ทำหน้าที่ดุลประจุ เมื่อไอออนที่ถูกถ่ายโอนเข้าสู่แผ่นเมมเบรน เพื่อป้องกันการเกิดไอออนแพร์ (ion pair) ที่จะส่งผลรบกวนต่อไอออนที่ต้องการวิเคราะห์

5. พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) เป็นสารที่ช่วยในการขึ้นรูปของแผ่นเมมเบรน และช่วยให้แผ่นเมมเบรนสามารถถ่ายโอนไอออนได้ดี

การถ่ายโอนมวลที่เกิดขึ้นบนแผ่นเมมเบรนจะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation-exchange) ของไอออนในสารละลายกับแผ่นเมมเบรน โดยการแลกเปลี่ยนจะเกิดสมดุลที่แข่งขันกันระหว่างไอออนที่ต้องการวิเคราะห์กับไฮโดรเจนในสารละลายเพื่อเข้าแผ่นเมมเบรน แสดงดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 สมดุลการแข่งขันระหว่าง M^+ และ H^+ ในสารละลายตัวอย่างเข้าสู่แผ่นเมมเบรน

โดยสามารถแสดงสมการของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

$$M^{+}_{(aq)} + xCH^{+}_{(org)} + yL_{(orq)} \rightleftharpoons LM^{+}_{y(org)} + xC_{(org)} + xH^{+}_{(aq)} \quad (1.1)$$

โดยที่ M^{+} คือ ไอออนที่ต้องการวิเคราะห์

CH^{+} คือ โครโมไอโอโนฟอร์ในรูปโปรโตเนต (protonated form)

L คือ ไอโอโนฟอร์

LM^{+} คือ ไอโอโนฟอร์ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน

C คือ โครโมไอโอโนฟอร์ในรูปดีโปรโตเนต (deprotonated form)

H^{+} คือ ไอออนไฮโดรเจน

R^{-} คือ ไอออนเอกซ์เชนจ์เจอร์

x และ y คือ ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณสัมพันธ์ของปฏิกิริยา (stoichiometric coefficient)

โดยการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนขึ้นอยู่กับสัดส่วนของไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ต่อไอออนไฮโดรเจน (M^{+}/H^{+}) ซึ่งโครโมไอโอโนฟอร์ในรูปโปรโตเนตและดีโปรโตเนตจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน โดยดีกรีของการดีโปรโตเนต (degree of deprotonation) หาได้จากสมการที่ 1.2

$$\alpha = \frac{[C]}{[C]+[CH^{+}]} \quad (1.2)$$

โดยที่ α คือ ดีกรีของการดีโปรโตเนต (degree of deprotonation) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของไอออนในสารละลายตัวอย่าง

[C] คือ ความเข้มข้นของโครโมไอโอโนฟอร์ในรูปดีโปรโตเนต

$[CH^{+}]$ คือ ความเข้มข้นของโครโมไอโอโนฟอร์ในรูปโปรโตเนต

คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

พัฒนาวิธีตรวจวัดไอออนโลหะด้วยเทคนิคบัลค์ออปโทดโดยใช้แผ่นเมมเบรนที่เตรียมจาก 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol (PAN) เป็นทั้งโครโมไอโอโนฟอร์และไอโอโนฟอร์ โดยมี potassium tetrakis(4-chlorophenyl) borate เป็นไอออนเอกซ์เชนจ์เจอร์ ผสมใน PVC ที่มี bis(2-ethylhexyl)sebacate (DOS) เป็นพลาสติไซเซอร์ สำหรับตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) พร้อมกันในสารละลายโดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนด้วยตาเปล่า

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีตรวจวัดคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) พร้อมกันด้วยตาเปล่าโดยใช้เทคนิคบัลค์ออปโทด

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การทดลอง

2.1 สารเคมี

สารเคมีและตัวทำละลายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้เกรดที่มีความบริสุทธิ์สูง (AR grade) ดังรายการที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารเคมีและตัวทำละลายที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมีและตัวทำละลาย	ผู้ผลิต
1-(2-Pyridylazo)-2-naphtol หรือ PAN	Fluka
Acetic acid (glacial)	Merck
Ammonia solution (25%)	Merck
Bis(2-ethylhexyl)sebacate หรือ DOS	Fluka
Cobalt standard solution (1,000 mg/L)	Fluka
Cupper standard solution (1,000 mg/L)	Merck
Ethylenediamine solution	Fluka
Nickle standard solution (1,000 mg/L)	Merck
Polyvinyl chloride หรือ PVC	Fluka
Potassium chloride	Merck
Potassium dihydrogen phosphate	Merck
Potassium nitrate	BDH
Potassium oxalate	Fluka
Potassium tetrakis(4-chlorophenyl) borate หรือ KT*p*ClPB	Fluka
Sodium acetate	Merck
Sodium carbonate	Fluka
Sodium sulfite	Fluka
Tetrahydrofuran หรือ THF	Fluka
Thiourea	BDH
Zinc standard solution (1,000 mg/L)	Merck

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียดความคลาดเคลื่อน 0.01 mg และ 0.0001 g (Mettler-Toledo)
2. ไมโครปิเปตขนาด 10 – 100 µL, 100 – 1,000 µL และ 0.5 – 5.0 mL (Brand, Rainin)
3. กระจกสไลด์สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 22×22 mm
4. เครื่องแก้วพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ
5. ถ้วยพลาสติกขนาด 30 mL
6. กระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์

2.3 การเตรียมสารละลาย

2.3.1 สารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเทต พีเอช 5

— สารละลายกรดแอซิติกความเข้มข้น 0.1 M

เจือจางสารละลายกรดแอซิติกปริมาตรแน่นอนและใกล้เคียง 3.0 mL ด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 250 mL

— สารละลายโซเดียมแอซิเทตความเข้มข้น 0.1 M

ชั่งโซเดียมแอซิเทตน้ำหนักแน่นอนและใกล้เคียง 4.1 g แล้วละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 500 mL

จากนั้นผสมสารละลายกรดแอซิติกความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 180 mL กับสารละลายโซเดียมแอซิเทตความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 320 mL จะได้สารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเทต พีเอช 5

ภาควิชาเคมี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2 สารละลายไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ

— สารละลายมาตรฐานไอออนคอปเปอร์(II) ความเข้มข้น 1.0 mM

เจือจางสารละลายมาตรฐานไอออนคอปเปอร์(II) ความเข้มข้น 1,000 mg/L แบบแน่นอนด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 50 mL

— สารละลายมาตรฐานไอออนคอปเปอร์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM พีเอช 5

เจือจางสารละลายมาตรฐานไอออนคอปเปอร์(II) ความเข้มข้น 1.0 mM แบบแน่นอนด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเทต พีเอช 5 ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 mL

— สารละลายมาตรฐานไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 5.0 mM

เจือจางสารละลายมาตรฐานไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 1,000 ppm แบบแน่นอนด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 50 mL

— สารละลายมาตรฐานไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.1 mM พีเอช 5

เจือจางสารละลายมาตรฐานไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 5.0 mM แบบแน่นอนด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเทต พีเอช 5 ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 mL

— สารละลายมาตรฐานไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM พีเอช 5

เจือจางสารละลายมาตรฐานไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 5.0 mM แบบแน่นอนด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเทต พีเอช 5 ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 mL

— สารละลายมาตรฐานไอออนซิงค์(II) ความเข้มข้น 1.0 mM

เจือจางสารละลายมาตรฐานไอออนซิงค์(II) ความเข้มข้น 1,000 mg/L แบบแน่นอนด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 50 mL

— สารละลายมาตรฐานไอออนซิงค์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM พีเอช 5

เจือจางสารละลายมาตรฐานไอออนซิงค์(II) ความเข้มข้น 1.0 mM แบบแน่นอนด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเทต พีเอช 5 ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 mL

— สารละลายมาตรฐานไอออนโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 1.0 mM

เจือจางสารละลายมาตรฐานไอออนโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 1,000 mg/L แบบแน่นอนด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 50 mL

— สารละลายมาตรฐานไอออนโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM พีเอช 5

เจือจางสารละลายมาตรฐานไอออนโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 1.0 mM แบบแน่นอนด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเทต พีเอช 5 ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 mL

2.3.3 สารละลายมาสคิงเอเจนต์ (masking agents)

— สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 1.0 M

เจือจางสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นปริมาตรแน่นอนและใกล้เคียง 4.0 mL ด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 25 mL

— สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 1.0 M

ชั่งโซเดียมคาร์บอเนตน้ำหนักแน่นอนและใกล้เคียง 2.6 g แล้วละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 mL

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

— **สารละลายโพแทสเซียมไนเตรตความเข้มข้น 1.0 M**

ชั่งโพแทสเซียมไนเตรตน้ำหนักแน่นอนและใกล้เคียง 2.5 g แล้วละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 mL

— **สารละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 1.0 M**

ชั่งโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตน้ำหนักแน่นอนและใกล้เคียง 3.4 g แล้วละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 mL

— **สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ความเข้มข้น 1.0 M**

ชั่งโซเดียมซัลไฟต์น้ำหนักแน่นอนและใกล้เคียง 3.2 g แล้วละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 mL

— **สารละลายเอทิลีนไดเอมีนความเข้มข้น 1.0 M**

เจือจางสารละลายเอทิลีนไดเอมีนปริมาตรแน่นอนและใกล้เคียง 2.0 mL ด้วยน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตรเป็น 50 mL

— **สารละลายไทโอยูเรียความเข้มข้น 1.0 M**

ชั่งไทโอยูเรียน้ำหนักแน่นอนและใกล้เคียง 2.0 g แล้วละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 mL

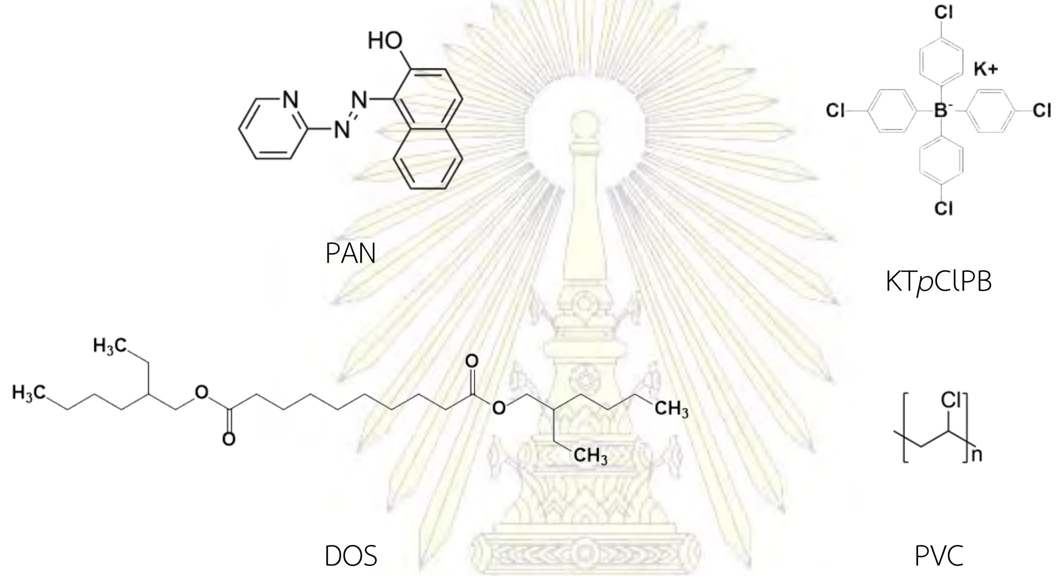
— **สารละลายโพแทสเซียมออกซาเลตความเข้มข้น 1.0 M**

ชั่งโพแทสเซียมออกซาเลตน้ำหนักแน่นอนและใกล้เคียง 4.6 g แล้วละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 25 mL

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 การเตรียมแผ่นเมมเบรน

ในงานวิจัยนี้ใช้ 1-(2-pyridylazo)-2-naphtol (PAN) เป็นทั้งไอโอโนฟอร์ และโครโมไอโอโนฟอร์ ใช้ potassium tetrakis(4-chlorophenyl) borate (KT*p*ClPB) เป็นไอออนเอกซ์เชนจ์เจอร์ ใช้ bis(2-ethylhexyl)sebacate (DOS) เป็นพลาสติไซเซอร์ และใช้ polyvinyl chloride (PVC) เป็นพอลิเมอร์ โครงสร้างขององค์ประกอบต่าง ๆ ในแผ่นเมมเบรน แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างขององค์ประกอบต่าง ๆ ในแผ่นเมมเบรน

การเตรียมแผ่นเมมเบรนอ้างอิงจากงานวิจัยของนางสาวศุภชา วิโรจน์แสงทอง[35] มีวิธีเตรียมดังนี้ เตรียมสารละลายผสมของ KT*p*ClPB ปริมาณ 0.22 mg PVC ปริมาณ 30 mg DOS ปริมาณ 60 mg และ PAN ที่ปริมาณต่างกัน ได้แก่ 0.2, 0.7 และ 1 mg ละลายใน THF 2 mL ในขวดแก้วขนาดเล็ก เรียกสารละลายนี้ว่า คอกเทล (cocktail)

จากนั้นปิเปตสารละลายคอกเทลปริมาตร 40 µL แล้วเกลี่ย (spread) เพื่อขึ้นรูปให้เป็นแผ่นบาง ๆ ลงบนกระจกสไลด์สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 22×22 mm แล้วเก็บแผ่นเมมเบรนไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยจนแห้งเป็นเวลาประมาณ 2 วัน จึงสามารถนำแผ่นเมมเบรนมาใช้ทดสอบได้

2.5 การทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นเมมเบรนในการตรวจวัดไอออนโลหะ

2.5.1 การทดสอบการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II)

นำแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 0.2, 0.7 และ 1 mg มาแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM เป็นเวลา 5 และ 15 นาที เลือกสภาวะทดสอบพีเอช 5 โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Zare-Shahabadi และคณะ[34] รวมทั้งงานวิจัยของนางสาววาเลนไทน์ เจือสกุล[39] ที่รายงานว่าการตรวจวัดไอออนโลหะในสารละลายด้วย PAN ทั้งที่เป็นองค์ประกอบในแผ่นเมมเบรนและเคลือบบนแอมเบอร์ไลต์เอกซ์เอดี-7 สามารถตรวจวัดได้ดีที่สุดในสารละลายพีเอช 5

2.5.2 ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิล(II) ที่เหมาะสมเพื่อตรวจวัดได้ด้วยตาเปล่า

หาความเข้มข้นของไอออนนิกเกิล(II) ที่เหมาะสมเพื่อตรวจวัดได้ด้วยตาเปล่า โดยนำแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 0.7 และ 1 mg มาแช่ในสารละลายนิกเกิล(II) ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 mM พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรน

2.5.3 การทดสอบการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสม

นำแผ่นเมมเบรนมาแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM สารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM ที่ผสมกันแบบต่าง ๆ ที่พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที โดยผสมไอออนโลหะของคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ทั้งหมด 11 แบบ โดยปิเปตของสารละลายไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ ตามปริมาตรที่แสดงดังตารางที่ 2.2 ใส่ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 mL แล้วปรับปริมาตรจนถึงขีดกำหนดปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเตท พีเอช 5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ปริมาตรของสารละลายไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เตรียมสารละลายไอออนโลหะผสมทั้งหมด 11 แบบ

แบบ	ปริมาตรของสารละลายไอออนโลหะต่าง ๆ (mL)			
	Cu(II) (1.0 mM)	Ni(II) (5.0 mM)	Zn(II) (1.0 mM)	Co(II) (1.0 mM)
1	1.00	1.00	-	-
2	1.00	-	1.00	-
3	1.00	-	-	1.00
4	-	1.00	1.00	
5	-	1.00	-	1.00
6	-	-	1.00	1.00
7	1.00	1.00	1.00	-
8	1.00	1.00	-	1.00
9	1.00	-	1.00	1.00
10	-	1.00	1.00	1.00
11	1.00	1.00	1.00	1.00

2.5.4 การเตรียมมาสคิงเอเจนต์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II)

2.5.4.1 การเตรียมแผ่นเมมเบรนที่ผสมด้วยมาสคิงเอเจนต์ชนิดต่าง ๆ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไทโอยูเรีย โพแทสเซียมคลอไรด์ และไทโอยูเรียผสมโพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นมาสคิงเอเจนต์สำหรับทดสอบกับสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) และคอปเปอร์(II) ผสมนิกเกิล(II) ตามลำดับ โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของนางสาววาเลนไทน์ เจือสกุล[39] ที่สามารถใช้ไทโอยูเรีย และโพแทสเซียมคลอไรด์เป็นมาสคิงเอเจนต์ สำหรับไอออนคอปเปอร์(II) และนิกเกิล(II) ตามลำดับ ในการตรวจวัดไอออนโลหะโดยใช้แอมเบอร์ไลต์เอกซ์เอดี-7 ที่เคลือบด้วย PAN ที่พีเอช 5 ได้

การเตรียมแผ่นเมมเบรนที่ผสมมาสคิงเอเจนต์มีวิธีการเตรียมในทำนองเดียวกับหัวข้อที่ 2.4 คือเตรียมสารละลายคอกเทลของ KT*p*ClPB, PVC, DOS และ PAN ละลายใน THF 2 mL แต่จะเติม

มาสคิงเอเจนต์ที่ต้องการลงในสารละลายคอกเทลด้วย โดยจะเติมให้มีน้ำหนักเป็น 5 เท่า และ 10 เท่าของปริมาณ PAN แบ่งแผ่นเมมเบรนออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ A, B และ C ซึ่งมีไทโอยูเรีย โพแทสเซียมคลอไรด์ และไทโอยูเรียผสมโพแทสเซียมคลอไรด์เป็นมาสคิงเอเจนต์ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2.3 และนำแผ่นเมมเบรนแต่ละชนิดไปแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) และคอปเปอร์(II) ผสมนิกเกิล(II) ตามลำดับ โดยปริมาณสารที่ใช้การเตรียมแผ่นเมมเบรนแบบต่าง ๆ ที่ผสมด้วยมาสคิงเอเจนต์ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 แผ่นเมมเบรนแบบต่าง ๆ ที่มีปริมาณมาสคิงเอเจนต์แตกต่างกัน

ชนิด	**มาสคิงเอเจนต์**	**ปริมาณ (น้ำหนัก)**	**ไอออนโลหะ**
A	Thiourea	5 เท่า และ 10 เท่าของ PAN	Cu^{2+}
B	KCl	5 เท่า และ 10 เท่าของ PAN	Ni^{2+}
C	Thiourea + KCl	5 เท่า และ 10 เท่าของ PAN	Cu^{2+} + Ni^{2+}

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสารที่ใช้เตรียมแผ่นเมมเบรนแบบต่าง ๆ ที่ผสมด้วยมาสคิงเอเจนต์

			น้ำหนัก (mg)	
ชนิดแผ่นเมมเบรน		A	B	C
PAN		0.22	0.22	0.22
KT*p*ClPB		0.22	0.22	0.22
Thiourea	5 เท่า	0.34	-	0.34
	10 เท่า	0.68	-	0.68
KCl	5 เท่า	-	0.34	0.34
	10 เท่า	-	0.67	0.67
DOS	5 เท่า	30	30	30
	10 เท่า	30	30	30
PVC	5 เท่า	60	60	60
	10 เท่า	60	60	60

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.4.2 การเตรียมสารละลายไอออนโลหะที่ผสมด้วยมาสคิงเอเจนต์ชนิดต่าง ๆ

ตอนที่ 1 ทดสอบการใช้โพแทสเซียมคลอไรด์เป็นมาสคิงเอเจนต์สำหรับไอออนนิกเกิล(II)

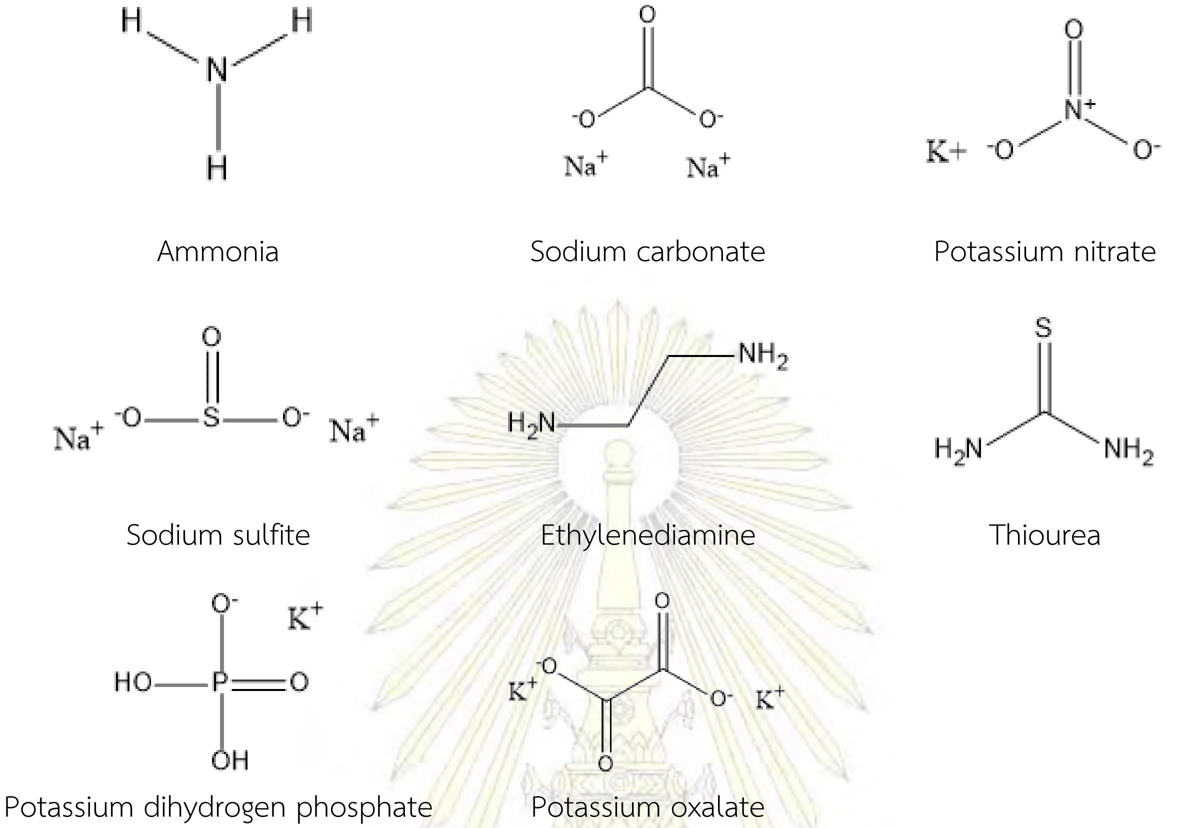
ผสมสารละลายอิ่มตัวของโพแทสเซียมคลอไรด์ปริมาตร 1 mL กับสารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 5.0 mM ปริมาตร 1 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเทต พีเอช 5 จนมีปริมาตร 10 mL จากนั้นนำสารละลายไปทดสอบกับแผ่นเมมเบรน แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรน

ตอนที่ 2 ศึกษาชนิดของมาสคิงเอเจนต์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II)

เตรียมสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM และสารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM ผสมกับมาสคิงเอเจนต์ชนิดต่าง ๆ ความเข้มข้น 0.1 M พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรน

ในงานวิจัยนี้ใช้มาสคิงเอเจนต์สำหรับทดสอบกับสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ทั้งหมด 8 ชนิด ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมคาร์บอเนต โพแทสเซียมไนเตรต โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต โซเดียมซัลไฟต์ เอทิลีนไดเอมีน ไทโอยูเรีย และโพแทสเซียมออกซาเลต โดยโครงสร้างของมาสคิงเอเจนต์ชนิดต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.2

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของมาสคิงเอเจนต์ชนิดต่าง ๆ

นำแผ่นเมมเบรนมาแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM สารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM ที่ผสมกับมาสคิงเอเจนต์ต่าง ๆ ความเข้มข้น 0.1 M พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรน

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.5 การตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสมโดยใช้ไทโอยูเรียและเอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์

เตรียมสารละลายไทโอยูเรีย และสารละลายเอทิลีนไดเอมีนที่ความเข้มข้น 0.1 M ผสมลงในสารละลายไอออนโลหะแบบผสม 3 แบบ ได้แก่

1. สารละลายผสมระหว่างไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) โคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM และสารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM

2. สารละลายผสมระหว่างไอออนคอปเปอร์(II) โคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM และสารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM
3. สารละลายผสมระหว่างไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM

จากนั้นนำสารละลายไอออนโลหะในข้อ 1-3 ไปทดสอบกับแผ่นเมมเบรน แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรน

2.6 การตรวจวัดไอออนโลหะในสารละลายตัวอย่าง

เตรียมสารละลายตัวอย่างให้มีไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 1.0 mM สารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 5.0 mM ที่ผสมกันแบบต่าง ๆ ตามที่แสดงดังตารางที่ 2.5 จำนวน 20 ตัวอย่าง (ผู้ทดสอบไม่ทราบทั้งชนิดและปริมาณไอออนโลหะ) จากนั้นวิเคราะห์หาชนิดของไอออนโลหะ โดยแบ่งสารละลายตัวอย่างออกเป็น 3 ขวด ปริมาตรขวดละ 1 ml โดยขวดที่ 1 เจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเทต พีเอช 5 จนมีปริมาตร 10 mL ขวดที่ 2 ผสมไทโอยูเรียความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 1 mL แล้วเจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเทต พีเอช 5 จนมีปริมาตร 10 mL ขวดที่ 3 ผสมเอทิลีนไดเอมีนความเข้มข้น 1 M ปริมาตร 1 mL แล้วเจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเทต พีเอช 5 จนมีปริมาตร 10 mL

ตารางที่ 2.5 การผสมไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เตรียมสารละลายตัวอย่าง

แบบ	สารละลายไอออนโลหะ			
	Cu(II) (1.0 mM)	Ni(II) (5.0 mM)	Zn(II) (1.0 mM)	Co(II) (1.0 mM)
1	✓	-	-	-
2	-	✓	-	-
3	-	-	✓	-
4	-	-	-	✓
5	✓	✓	-	-
6	✓	-	✓	-
7	✓	-	-	✓
8	✓	✓	-	✓

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การเตรียมแผ่นเมมเบรน

จากงานวิจัยของนางสาวศุภชา วิโรจน์แสงทอง[35] พบว่าความแตกต่างระหว่างปริมาณ PAN ในแผ่นเมมเบรนจะส่งผลต่อความเข้มสีบนแผ่นเมมเบรน ซึ่งความเข้มสีจะแปรผันตรงกับปริมาณ PAN ในแผ่นเมมเบรน เมื่อปริมาณ PAN ในแผ่นเมมเบรนมากขึ้นจะได้สีเหลืองที่เข้มมากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปริมาณ PAN ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมแผ่นเมมเบรนเพื่อใช้ในการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนด้วยตาเปล่าบนแผ่นเมมเบรนที่มีปริมาณ PAN ต่างกัน ได้แก่ 0.2, 0.7 และ 1 mg โดยลักษณะแผ่นเมมเบรนที่ได้ แสดงดังรูปที่ 3.1

0.2 mg 0.7 mg 1 mg

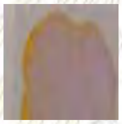
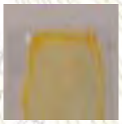
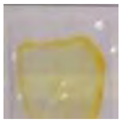
รูปที่ 3.1 ลักษณะแผ่นเมมเบรนที่ปริมาณ PAN ต่าง ๆ

จากการเตรียมแผ่นเมมเบรนตามวิธีในหัวข้อที่ 2.4 พบว่าทุกปริมาณ PAN ที่ศึกษา ได้แก่ 0.2, 0.7 และ 1 mg จะได้แผ่นเมมเบรนที่มีสีเหลือง ลักษณะเป็นแผ่นบางใสและเรียบ สามารถนำไปใช้ทดสอบการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ได้ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบในการเตรียมแผ่นเมมเบรน คือ อุณหภูมิ และความชื้น ถ้าเตรียมแผ่นเมมเบรนในสภาวะที่ไม่เหมาะสมจะได้แผ่นเมมเบรนที่มีลักษณะไม่เรียบและเป็นฝ้า โดยงานวิจัยของ Bualom และคณะ[10] รายงานว่าอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมแผ่นเมมเบรนจะอยู่ในช่วง 22-24 $^{\circ}$C และ 44-46% ตามลำดับ

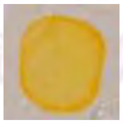
3.2 การทดสอบการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II)

ศึกษาการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนด้วยตาเปล่าบนแผ่นเมมเบรนที่มีปริมาณ PAN ต่างกัน ได้แก่ 0.2, 0.7 และ 1 mg โดยแช่แผ่นเมมเบรนในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM พีเอช 5 เป็นเวลา 5 และ 15 นาที โดยการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนหลังจากแช่ในสารละลายไอออนโลหะ แสดงดังตารางที่ 3.1, 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.1 สีของแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 0.2 mg หลังแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM พีเอช 5 เป็นเวลา 5 และ 15 นาที

เวลา	ไม่มีไอออนโลหะ	Cu(II)	Ni(II)	Zn(II)	Co(II)
5 นาที					
15 นาที					

ตารางที่ 3.2 สีของแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 0.7 mg หลังแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM พีเอช 5 เป็นเวลา 5 และ 15 นาที

เวลา	ไม่มีไอออนโลหะ	Cu(II)	Ni(II)	Zn(II)	Co(II)
5 นาที					
15 นาที					

ตารางที่ 3.3 สีของแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 1 mg หลังแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM พีเอช 5 เป็นเวลา 5 และ 15 นาที

เวลา	ไม่มีไอออนโลหะ	Cu(II)	Ni(II)	Zn(II)	Co(II)
5 นาที					
15 นาที					

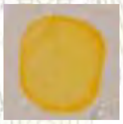
จากการทดลองพบว่าสีของแผ่นเมมเบรน PAN ที่แช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) จะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีม่วง สีส้ม และสีเขียว ตามลำดับ ส่วนแผ่นเมมเบรน PAN ที่แช่ในสารละลายไอออนนิกเกิล(II) ไม่เปลี่ยนแปลงสีทั้งแผ่นเมมเบรนที่แช่เป็นเวลา 5 และ 15 นาที การเปลี่ยนแปลงสีของเมมเบรนเกิดจาก PAN ในแผ่นเมมเบรนเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนโลหะในสารละลาย และดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิล จึงทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรน โดย PAN ให้อิเล็กตรอน (electron donor) ไปยังออร์บิทัลของไอออนโลหะ และไอออนโลหะเป็นอะตอมผู้รับอิเล็กตรอน (electron acceptor) เกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ ซึ่งโลหะแต่ละชนิดจะมีการจัดเรียงชั้นออร์บิทัลที่เฉพาะ ทำให้เห็นสีที่แตกต่างกันออกไป

จากผลการทดลองพบว่าแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 0.7 และ 1 mg มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการตรวจวัดไอออนโลหะมากที่สุด เนื่องจากสามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนหลังแช่ในสารละลายไอออนโลหะได้ชัดเจนที่สุด ส่วนเวลาที่ใช้ในการแช่แผ่นเมมเบรนพบว่าที่เวลา 15 นาที มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการตรวจวัดไอออนโลหะมากกว่า 5 นาที เนื่องจากจะได้สีที่เข้มกว่าและสามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนด้วยตาเปล่าได้ชัดเจนที่สุด เนื่องจากสารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.1 mM ไม่สามารถตรวจวัดด้วยตาเปล่าได้ จึงทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของนิกเกิล(II) ที่เหมาะสมเพื่อตรวจวัดได้ด้วยตาเปล่า โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไอออนนิกเกิล(II) ตามวิธีในหัวข้อที่ 2.5.2

3.3 ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิล(II) ที่เหมาะสมเพื่อตรวจวัดได้ด้วยตาเปล่า

ศึกษาหาความเข้มข้นของไอออนนิกเกิล(II) ที่เหมาะสมเพื่อตรวจวัดได้ด้วยตาเปล่า โดยนำแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 0.7 และ 1 mg มาแช่ในสารละลายนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 mM พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที การเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนหลังจากแช่ในสารละลายไอออนนิกเกิล(II) แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สีของแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 0.7 และ 1 mg หลังแช่แผ่นในสารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 mM พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที

ไม่มีไอออนโลหะ	**ความเข้มข้น**			
	0.1 mM		**0.5 mM**	
	PAN 0.7 mg	PAN 1 mg	PAN 0.7 mg	PAN 1 mg
				

จากการทดลองพบว่าแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 0.7 และ 1 mg ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีหลังแช่ในสารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.1 mM แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไอออนนิกเกิล(II) เป็น 0.5 mM พบว่าสีของแผ่นเมมเบรน PAN จะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีน้ำตาล แสดงว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของไอออนนิกเกิล(II) ที่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนสีของแผ่นเมมเบรนด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน คือ 0.5 mM

ความเข้มข้นของไอออนนิกเกิล(II) ในสารละลาย และปริมาณ PAN ในแผ่นเมมเบรนจะส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสงตามกฎของเบียร์ (Beer’s law) โดยค่าการดูดกลืนแสง เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความเข้มข้นของสาร เมื่อความเข้มข้นของไอออนนิกเกิล(II) ในสารละลาย และปริมาณ PAN ในแผ่นเมมเบรนมีมากขึ้นทำให้สมดุลเลื่อนไปทางขวา (เกิดสารประกอบเชิงซ้อนมากขึ้น) ค่าการดูดกลืนแสงจึงมีค่ามากขึ้น ดังนั้นจึงสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนได้ชัดเจนมากขึ้น

3.4 การตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสม

จากงานวิจัยของนางสาววาเลนไทน์ เจือสกุล[39] พบว่าการตรวจวัดสารละลายที่ผสมระหว่างไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) จะส่งผลต่อการตรวจวัดด้วยตาเปล่า เนื่องจากเกิดการรบกวนกันของสีจากสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ ในสารละลาย โดยสีที่สังเกตเห็นบนแผ่นเมมเบรนจะเป็นสีของสารประกอบเชิงซ้อนของ PAN กับไอออนชนิดต่าง ๆ ในสารละลายผสมกันอยู่ จึงไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าในสารละลายมีไอออนชนิดใดอยู่บ้าง ดังนั้นจึงทดลองตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสม โดยแช่แผ่นเมมเบรนในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM สารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM ที่ผสมกันแบบต่าง ๆ ที่พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที การเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนหลังจากแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แสดงดังตารางที่ 3.5

จากการทดลองพบว่าสีของแผ่นเมมเบรนทุกแผ่นที่แช่ในสารละลายไอออนโลหะที่มีไอออนคอปเปอร์(II) ผสมอยู่จะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีม่วง ส่วนสีของแผ่นเมมเบรนที่แช่ในสารละลายไอออนโลหะที่ผสมระหว่างไอออนนิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) จะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีน้ำตาลส้ม สำหรับสีของแผ่นเมมเบรนที่แช่ในสารละลายไอออนโลหะที่ผสมระหว่างไอออนนิกเกิล(II) และซิงค์(II) จะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีส้ม และสีของแผ่นเมมเบรนที่แช่ในสารละลายไอออนโลหะที่ผสมระหว่างไอออนนิกเกิล(II) และโคบอลต์(II) จะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีน้ำตาลปนเขียว สีของแผ่นเมมเบรนที่แช่ในสารละลายไอออนโลหะที่ผสมระหว่างไอออนซิงค์(II) และโคบอลต์(II) จะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นส้ม แสดงดังตารางที่ 3.5 จะเห็นว่าในตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสม ถ้าสารละลายไอออนโลหะผสมที่ตรวจวัดนั้นมีไอออนคอปเปอร์(II) ผสมอยู่ สีที่เห็นของแผ่นเมมเบรนจะถูกรบกวนด้วยสีม่วงของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนคอปเปอร์(II) ทำให้เห็นแผ่นเมมเบรนเป็นสีม่วง และไม่สามารถระบุได้ว่ามีไอออนนิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ผสมอยู่ในสารละลายไอออนโลหะที่ตรวจวัด ส่วนสารละลายไอออนโลหะผสมแบบอื่น ๆ นั้น (ไม่มีไอออนคอปเปอร์(II) ผสมอยู่) สีที่เห็นบนแผ่นเมมเบรนจะเป็นสีผสมระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนโลหะที่มีอยู่ในสารละลาย ทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่ามีไอออนโลหะชนิดใดผสมอยู่ในสารละลายที่ทำการตรวจวัดได้เช่นกัน

ตารางที่ 3.5 สีของแผ่นเมมเบรนที่มี PAN ปริมาณ 1 mg หลังแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM สารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM ที่ผสมกันแบบต่าง ๆ พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที

ไม่มีไอออนโลหะ	Cu^{2+}	Ni^{2+}	Zn^{2+}	Co^{2+}		
ไม่มีไอออนโลหะ	$Cu^{2+} + Ni^{2+}$	$Cu^{2+} + Zn^{2+}$	$Cu^{2+} + Co^{2+}$	$Ni^{2+} + Zn^{2+}$	$Ni^{2+} + Co^{2+}$	$Zn^{2+} + Co^{2+}$
ไม่มีไอออนโลหะ	$Cu^{2+} + Ni^{2+} + Zn^{2+}$	$Cu^{2+} + Ni^{2+} + Co^{2+}$	$Cu^{2+} + Zn^{2+} + Co^{2+}$	$Ni^{2+} + Zn^{2+} + Co^{2+}$		
ไม่มีไอออนโลหะ	$Cu^{2+} + Ni^{2+} + Zn^{2+} + Co^{2+}$					

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองที่กล่าวมาพบว่ายังไม่สามารถตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสมโดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนด้วยตาเปล่า เนื่องจากเกิดการรบกวนกันของสีจากสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ โดยสีที่สังเกตเห็นบนแผ่นเมมเบรนจะเป็นสีของสารประกอบเชิงซ้อนของ PAN กับไอออนชนิดต่าง ๆ ในสารละลายผสมกันอยู่ ดังนั้นการใช้มาสคิงเอเจนต์ที่เหมาะสมมาช่วยในการวิเคราะห์ชนิดของไอออนในสารละลายจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ การใช้มาสคิงเอเจนต์ที่มีความจำเพาะกับไอออนในการสารประกอบกับไอออนนั้น ๆ จะทำให้สามารถวิเคราะห์ไอออนที่เหลือในสารละลายได้ หากมีมาสคิงเอเจนต์ที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนและมีความจำเพาะกับไอออออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) จะสามารถวิเคราะห์ชนิดไอออนโลหะได้ โดยเติมมาสคิงเอเจนต์ทีละ 3 ชนิด เช่น ต้องการวิเคราะห์ว่าในสารละลายมีไอออนโคบอลต์(II) อยู่หรือไม่ โดยที่มาสคิงเอเจนต์ A สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนและมีความจำเพาะกับไอออนคอปเปอร์(II) มาสคิงเอเจนต์ B สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนและมีความจำเพาะกับไอออนนิกเกิล(II) และมาสคิงเอเจนต์ C สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนและมีความจำเพาะกับไอออนซิงค์(II) ดังนั้นเมื่อเติมมาสคิงเอเจนต์ A, B และ C ลงในสารละลายที่ผสมระหว่างไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ถ้าในสารละลายมีไอออนโคบอลต์(II) ผสมอยู่จะเห็นสีของแผ่นเมมเบรนเป็นสีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนโคบอลต์(II) (สีเขียว) ถ้าในสารละลายไม่มีไอออนโคบอลต์(II) ผสมอยู่จะเห็นสีของแผ่นเมมเบรนเป็นสีเหลือง ดังนั้นจึงทดลองเพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของมาสคิงเอเจนต์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการตรวจวัดไอออนโลหะตามวิธีในหัวข้อที่ 2.5.4.1

3.5 การเตรียมแผ่นเมมเบรนที่ผสมด้วยมาสคิงเอเจนต์

จากงานวิจัยของนางสาววาเลนไทน์ เจือสกุล[39] ได้ใช้ไทโอยูเรีย และโพแทสเซียมคลอไรด์เป็นมาสคิงเอเจนต์ สำหรับไอออนคอปเปอร์(II) และนิกเกิล(II) ตามลำดับ ในการตรวจวัดไอออนโลหะโดยใช้แอมเบอร์ไลต์เอกซ์เอดี-7 ที่เคลือบด้วย PAN ที่พีเอช 5 ได้ โดยสารที่สามารถใช้เป็นมาสคิงเอเจนต์ได้นั้นจะต้องเป็นสารที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนโลหะได้ และต้องมีปริมาณที่มากกว่าไอออนโลหะ ในงานวิจัยนี้เลือกผสมมาสคิงเอเจนต์ลงในแผ่นเมมเบรนเพื่อความสะดวกในการใช้งานจริงที่สามารถนำแผ่นเมมเบรนไปวิเคราะห์ได้เลยโดยไม่ต้องเตรียมสารละลายมาสคิงเอเจนต์ไปด้วย งานวิจัยนี้เติมมาสคิงเอเจนต์ที่มีน้ำหนักเป็น 5 เท่า และ 10 เท่าของปริมาณ PAN ที่เลือกเตรียมปริมาณมาสคิงเอเจนต์มากกว่าปริมาณ PAN นั้น เนื่องจากเมื่อคำนวณปริมาณของมาสคิงเอเจนต์ให้มากกว่าไอออนโลหะในสารละลาย จะไม่สามารถเตรียมแผ่นเมมเบรนได้ เพราะสารไม่สามารถละลายได้หมดในสารละลายคอกเทล โดยงานวิจัยนี้จะแบ่งแผ่นเมมเบรน ออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ A, B และ C ที่มีไทโอยูเรีย โพแทสเซียมคลอไรด์ และไทโอยูเรีย

ผสมโพแทสเซียมคลอไรด์เป็นมาสคิงเอเจนต์ ตามลำดับ โดยการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนหลังจากแช่ในสารละลายไอออนโลหะ แสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สีของแผ่นเมมเบรนที่ผสมมาสคิงเอเจนต์แบบต่าง ๆ หลังแช่ในสารละลายไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ

ปริมาณมาสคิงเอเจนต์	**ชนิด A**	**ชนิด B**	**ชนิด C**
	สารละลายไอออนโลหะ		
	Cu(II)	Ni(II)	Cu(II)+ Ni(II)
ไม่มีมาสคิงเอเจนต์			
5 เท่าของน้ำหนัก PAN			
10 เท่าของน้ำหนัก PAN			

จากการผลทดลองพบว่าแผ่นเมมเบรนชนิด A ที่มีไทโอยูเรียเป็นมาสคิงเอเจนต์ปริมาณ 5 เท่าและ 10 เท่าของปริมาณ PAN จะได้แผ่นเมมเบรนที่มีสีเหลือง ลักษณะเป็นแผ่นบางใสและเรียบ เมื่อนำไปทดสอบกับสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) แผ่นเมมเบรนไม่เปลี่ยนแปลงสี เนื่องจากไอออนคอปเปอร์(II) สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไทโอยูเรียได้ดีกว่า PAN โดยสามารถยืนยันได้จากค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ PAN กับไอออนคอปเปอร์(II)[38] และค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไทโอยูเรียกับไอออนคอปเปอร์(II)[40] และเป็นไปตามหลักการของทฤษฎี hard-soft acid base (HSAB) จึงทำให้ไอออนคอปเปอร์(II) เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไทโอยูเรียก่อน และไม่เหลือไอออนคอปเปอร์(II) ที่จะไปเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ PAN ในแผ่นเมมเบรน จึงไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรน โดยจะเห็นแผ่นเมมเบรนเป็นสีเหลือง ส่วนแผ่นเมมเบรนชนิด B และขนิด C ที่มีโพแทสเซียมคลอไรด์ และไทโอยูเรียผสมโพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นมาสคิงเอเจนต์ตามลำดับ ทั้งปริมาณ 5 เท่าและ 10 เท่าของปริมาณ PAN จะได้แผ่นเมมเบรนที่มีสีเหลือง ลักษณะเป็นแผ่นบางใสและเรียบ เมื่อนำแผ่นเมมเบรนชนิด B ไปทดสอบกับสารละลายไอออนนิกเกิล(II) และชนิด C ไปทดสอบกับสารละลายผสมระหว่างไอออนคอปเปอร์(II) และนิกเกิล(II) พบว่าแผ่นเมมเบรนเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลทั้งชนิด B และชนิด C

จากผลการทดลองพบว่าโพแทสเซียมคอไรด์ที่ปริมาณ 5 เท่าและ 10 เท่าของปริมาณ PAN ไม่สามารถใช้เป็นมาสคิงเอเจนต์สำหรับไอออนนิกเกิล(II) ได้ ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของนางสาววาเลนไทน์ เจือสกุล[39] ที่สามารถใช้โพแทสเซียมคลอไรด์เป็นมาสคิงเอเจนต์สำหรับไอออนนิกเกิล(II) จึงเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมคลอไรด์เป็น 20 เท่าของปริมาณ PAN เนื่องจากปริมาณมาสคิงเอเจนต์ในแผ่นเมมเบรนอาจน้อยไปทำให้มีไอออนนิกเกิล(II) เหลือไปเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ PAN แต่พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของโพแทสเซียมคอไรด์เป็น 20 เท่าของปริมาณ PAN สารไม่สามารถละลายได้หมดในสารละลายคอกเทล จึงเปลี่ยนวิธีศึกษาโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ใช้เป็นมาสคิงเอเจนต์ โดยผสมสารละลายอิ่มตัวของโพแทสเซียมคอไรด์กับสารละลายไอออนโลหะนิกเกิล(II) ตามวิธีการทดลองในหัวข้อที่ 2.5.4.2 ตอนที่ 1

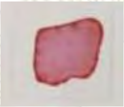
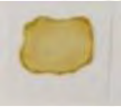
3.6 มาสคิงเอเจนต์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II)

เพื่อทดสอบว่าโพแทสเซียมคลอไรด์สามารถใช้เป็นมาสคิงเอเจนต์สำหรับไอออนนิกเกิล(II) ได้ จึงทดลองผสมสารละลายอิ่มตัวของโพแทสเซียมคลอไรด์กับสารละลายไอออนโลหะนิกเกิล(II) แล้วแช่แผ่นเมมเบรนเป็นเวลา 15 นาที การเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนหลังจากแช่ในสารละลายแสดงในรูปที่ 3.2

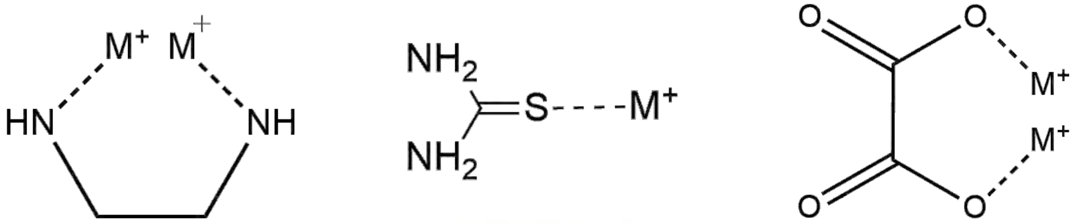
รูปที่ 3.2 สีของแผ่นเมมเบรนหลังจากแช่ในสารละลายไอออนนิกเกิล(II) ที่ผสมกับโพแทสเซียมคลอไรด์

จากผลการทดลองพบว่าโพแทสเซียมคลอไรด์ไม่สามารถใช้เป็นมาสคิงเอเจนต์สำหรับไอออนนิกเกิล(II) ได้ จึงศึกษามาสคิงเอเจนต์ชนิดอื่นที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) โดยผสมสารละลายมาสคิงเอเจนต์ชนิดต่าง ๆ ความเข้มข้น 0.1 M กับสารละลายไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ การเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนหลังจากแช่ในสารละลายไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ ที่ผสมมาสคิงเอเจนต์จะแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สีของแผ่นเมมเบรนหลังแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM สารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM ที่ผสมมาสคิงเอเจนต์ชนิดต่าง ๆ ความเข้มข้น 0.1 M พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที

ไอออนโลหะ	มาสคิงเอเจนต์								
	ไม่มีมาสคิงเอเจนต์	NH_3	CO_3^{2-}	NO_3^{-}	PO_4^{3-}	SO_3^{2-}	Ethylene-diamine	Thiourea	$C_2O_4^{2-}$
Cu(II)									
Ni(II)									
Zn(II)									
Co(II)									

จากผลทดลองพบว่าสีของแผ่นเมมเบรนทุกแผ่นที่แช่ในสารละลายไอออนโลหะที่มีไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ผสมอยู่จะเปลี่ยนสี ยกเว้นแผ่นเมมเบรนที่แช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ที่มีไทโอยูเรียเป็นมาสคิงเอเจนต์ และแผ่นเมมเบรนที่แช่ในสารละลายไอออนโคบอลต์(II) ที่มีเอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์จะไม่เปลี่ยนแปลงสี ส่วนแผ่นเมมเบรนทุกแผ่นที่แช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ที่มีออกซาเลตเป็นมาสคิงเอเจนต์จะไม่เปลี่ยนแปลงสีเช่นกัน แสดงดังตารางที่ 3.7 เนื่องจากไอออนโลหะสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับมาสคิงเอเจนต์ได้ดีกว่า PAN โดยดูจากค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ PAN กับไอออนโลหะและค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไอออนโลหะกับมาสคิงเอเจนต์[40] และเป็นไปตามหลักการของทฤษฎี hard-soft acid base (HSAB) ทำสามารถใช้ไทโอยูเรีย เอทิลีนไดเอมีน และออกซาเลตเป็นมาสคิงเอเจนต์ได้ โดยโครงสร้างการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของมาสคิงเอเจนต์กับไอออนโลหะ แสดงดังรูปที่ 3.3



Ethylenediamine　　　Thiourea　　　Oxalate

รูปที่ 3.3 โครงสร้างการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของมาสคิงเอเจนต์

นอกจากนี้ยังพบว่ามีมาสคิงเอเจนต์หลายชนิดที่ทำให้การตอบสนอง (สีของแผ่นเมมเบรน) หลังแช่ในสารละลายไอออนโลหะบางชนิดแตกต่างจากตอนไม่ใช้มาสคิงเอเจนต์ เนื่องจากมาสคิงเอเจนต์หลายชนิดที่นำมาทดสอบมีความเป็นเบสจึงอาจทำให้พีเอชของสารละลายไอออนโลหะเปลี่ยนแปลงไป สีที่สังเกตเห็นจึงมีความแตกต่างกันตามพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไป

3.7 การตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสมโดยใช้ไทโอยูเรียและเอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์

ศึกษาการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสมโดยใช้ไทโอยูเรีย และเอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์ โดยอาศัยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนด้วยตาเปล่า โดยแช่แผ่นเมมเบรนในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM สารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM ที่ผสมกันแบบต่างๆ ที่พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที การเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนหลังจากแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แสดงดังตารางที่ 3.8

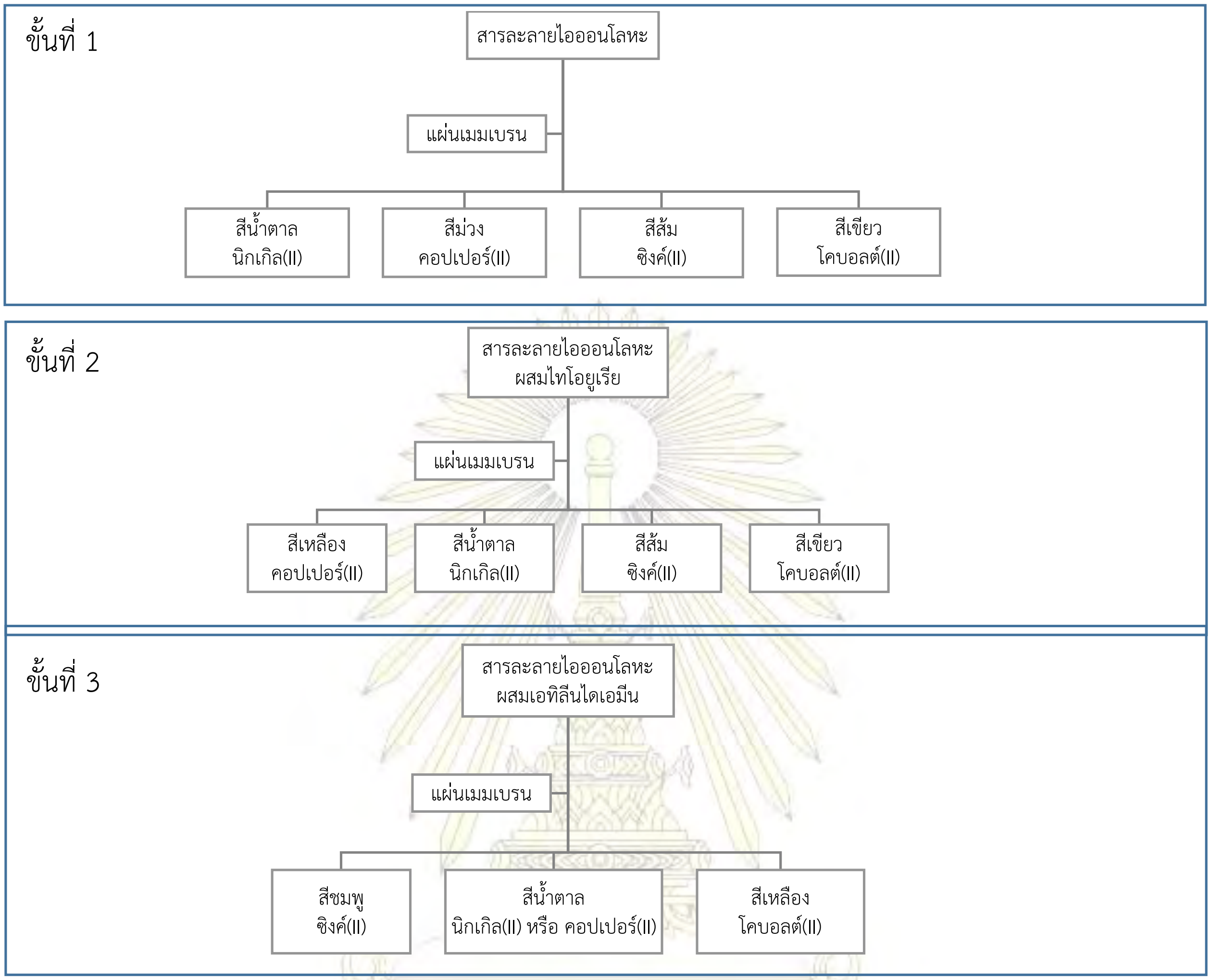
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.8 สีของแผ่นเมมเบรน หลังแช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ความเข้มข้น 0.1 mM สารละลายไอออนนิกเกิล(II) ความเข้มข้น 0.5 mM ที่ผสมกันแบบต่าง ๆ และผสมมาสคิงเอเจนต์ชนิดต่าง ๆ ความเข้มข้น 0.1 M พีเอช 5 เป็นเวลา 15 นาที

มาสคิงเอเจนต์	**ไอออนโลหะ**		
	Cu(II) + Ni(II) + Zn(II) + Co(II)	Cu(II) + Ni(II) + Co(II)	Cu(II) + Zn(II) + Co(II)
Thiourea			
Ethylenediamine			

จากผลการทดลองพบว่าสีของแผ่นเมมเบรนทุกแผ่นที่แช่ในสารละลายไอออนโลหะที่มีไทโอยูเรียเป็นมาสคิงเอเจนต์ ผสมอยู่จะไม่เห็นสีม่วงของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนคอปเปอร์(II) โดยสีที่เห็นบนแผ่นเมมเบรนจะเป็นสีผสมระหว่างสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสารละลายทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่ามีไอออนนิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ผสมอยู่ในสารละลายไอออนโลหะที่ตรวจวัด ส่วนสีของแผ่นเมมเบรนที่แช่ในสารละลายไอออนโลหะชนิดที่มีเอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์พบว่าถ้าสารละลายไอออนโลหะผสมที่ตรวจวัดนั้นมีไอออนซิงค์(II) ผสมอยู่ แผ่นเมมเบรนจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีชมพู เนื่องจากเอทิลีนไดเอมีนมีความเป็นเบสจึงอาจทำให้พีเอชของสารละลายไอออนโลหะเปลี่ยนแปลงไป ทำให้การตอบสนอง (สีที่ปรากฏบนแผ่นเมมเบรน) เปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้สามารถระบุได้ว่ามีไอออนซิงค์(II) ผสมอยู่ในสารละลายไอออนโลหะที่ตรวจวัด แต่ถ้าสารละลายไอออนโลหะผสมที่ตรวจวัดนั้นมีไอออนนิกเกิล(II) ผสมอยู่โดยไม่มีไอออนซิงค์(II) สีของแผ่นเมมเบรนเป็นสีน้ำตาล ทำให้สามารถระบุได้ว่ามีไอออนนิกเกิล(II) ผสมอยู่ในสารละลายไอออนโลหะที่ตรวจวัด

จากผลการทดลองพบว่าสามารถตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสมได้ โดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนด้วยตาเปล่า ที่มีไทโอยูเรีย และเอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์ ตามแผนภาพที่แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพวิธีการวิเคราะห์ไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) แบบผสมโดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนด้วยตาเปล่า

3.8 การตรวจวัดไอออนโลหะในสารละลายตัวอย่าง

จากผลการทดลองพบว่า สามารถตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) และสารละลายไอออนผสมระหว่างคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II), คอปเปอร์(II) ซิงค์(II), คอปเปอร์(II) โคบอลต์(II) และคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) โคบอลต์(II) ในสารละลาย ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ตามวิธีการตรวจวัดในหัวข้อ 2.6 และวิเคราะห์ชนิดของไอออนในสารละลายโดยใช้แผนภาพในผลการทดลองข้อที่ 3.7 สีของแผ่นเมมเบรน หลังแช่ในสารละลายตัวอย่างแสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.9 สีของแผ่นเมมเบรนหลังแช่ในสารละลายตัวอย่าง

หมายเลขสารตัวอย่าง	ชนิดไอออนโลหะในสารละลายตัวอย่าง	ไม่มีมาสคิงเอเจนต์	ใช้ไทโอยูเรียเป็นมาสคิงเอเจนต์	ใช้เอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์	ผลการระบุชนิดไอออนโลหะ
control	-				-
1	Cu(II) + Co(II)				Cu(II) + Co(II)
2	Co(II)				Co(II)
3	Cu(II) + Zn(II)				Cu(II) + Zn(II)
4	Cu(II)				Cu(II)
5	Cu(II) + Ni(II)				Cu(II) + Ni(II)
6	Co(II)				Co(II)
7	Cu(II) + Ni(II) + Co(II)				Cu(II) + Ni(II) + Co(II)
8	Zn(II)				Zn(II)
9	Ni(II)				Ni(II)
10	Cu(II) + Ni(II) + Co(II)				Cu(II) + Ni(II) + Co(II)

ตารางที่ 3.8 สีของแผ่นเมมเบรนหลังแช่ในสารละลายตัวอย่าง (ต่อ)

หมายเลขสารตัวอย่าง	ชนิดไอออนโลหะในสารละลายตัวอย่าง	ไม่มีมาสคิงเอเจนต์	ใช้ไทโอยูเรียเป็นมาสคิงเอเจนต์	ใช้เอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์	ผลการระบุชนิดไอออนโลหะ
11	Cu(II) + Co(II)				Cu(II) + Co(II)
12	Cu(II)				Cu(II)
13	Ni(II)				Ni(II)
14	Zn(II)				Zn(II)
15	Ni(II)				Ni(II)
16	Cu(II) + Zn(II)				Cu(II) + Zn(II)
17	Cu(II)				Cu(II)
18	Co(II)				Co(II)
19	Cu(II) + Co(II)				Cu(II) + Co(II)
20	Cu(II) + Ni(II)				Cu(II) + Ni(II)

จากผลการทดลองพบว่าสามารถใช้แผนภาพที่แสดงดังรูปที่ 3.3 ระบุชนิดของไอออนโลหะในสารละลายตัวอย่างได้ โดยจะยกตัวอย่างการวิเคราะห์ชนิดของไอออนโลหะของสารตัวอย่างหมายเลข 3 และ 18 พบว่าแผ่นเมมเบรนที่แช่ลงในสารละลายตัวอย่างหมายเลข 3 เปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีม่วง ทำให้สามารถระบุได้ว่าในสารละลายมีไอออนคอปเปอร์(II) ผสมอยู่แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่ามีไอออนโลหะชนิดอื่นอยู่ เมื่อสังเกตสีของแผ่นเมมเบรนที่แช่ในสารละลายตัวอย่างที่มีไทโอยูเรียเป็นมาสคิงเอเจนต์ พบว่าแผ่นเมมเบรนเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีส้ม เนื่องจากไทโอยูเรียเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกันไอออนคอปเปอร์(II) ในสารละลาย จึงไม่เห็นสีม่วงของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนคอปเปอร์(II) มาบดบังสีส้มของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนซิงค์(II) จึงเห็นแผ่นเมมเบรนเป็นสีส้ม และเมื่อแผ่นเมมเบรนที่แช่ในสารละลายที่มีเอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์ แผ่นเมมเบรนจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีชมพู โดยจากผลการวิเคราะห์ตามแผนภาพที่แสดงดังรูปที่ 3.3 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าในสารละลายตัวอย่างหมายเลข 3 มีไอออนคอปเปอร์(II) และไอออนซิงค์(II) ผสมอยู่

ส่วนสารตัวอย่างหมายเลข 18 เมื่อนำแผ่นเมมเบรนแช่ลงในสารละลาย พบว่าแผ่นเมมเบรนเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีเขียว ทำให้สามารถระบุได้ว่าในสารละลายมีไอออนโคบอลต์(II) ผสมอยู่เพียงชนิดเดียว เนื่องจากไม่เห็นการรบกวนสีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนโลหะชนิดอื่น เมื่อสังเกตแผ่นเมมเบรนที่ใช่ในสารละลายตัวอย่างที่มีไทโอยูเรียเป็นมาสคิงเอเจนต์ พบว่าแผ่นเมมเบรนเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีเขียว ซึ่งเป็นสีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนโคบอลต์(II) เป็นการยืนยันว่าในสารละลายตัวอย่างหมายเลข 18 นั้น มีไอออนโคบอลต์(II) อยู่เพียงชนิดเดียว ส่วนแผ่นเมมเบรนที่แช่ในสารละลายตัวอย่างที่มีเอทิลีนไดเอมีนเป็นมาสคิงเอเจนต์ พบว่าแผ่นเมมเบรนไม่เปลี่ยนแปลงสี เนื่องจากเอทิลีนไดเอมีนเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกันไอออนโคบอลต์(II) ในสารละลาย จึงไม่สังเกตเห็นสีเขียวของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง PAN กับไอออนโคบอลต์(II) บนแผ่นเมมเบรน โดยจากผลการวิเคราะห์ตามแผนภาพที่แสดงดังรูปที่ 3.3 สามารถสรุปได้ว่าในสารละลายตัวอย่างหมายเลข 18 มีไอออนโคบอลต์(II) ผสมอยู่เพียงชนิดเดียว นอกจากนี้ยังสามารถระบุชนิดของไอออนโลหะในสารละลายตัวอย่างหมายเลขอื่น ๆ ได้ถูกต้องทั้งหมด 20 ตัวอย่าง จากสารละลายตัวอย่างทั้งหมด 20 ตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

4.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) ในสารละลายตัวอย่างด้วยตาเปล่าโดยใช้เทคนิคบัลค์ออปโทด โดยใช้แผ่นเมมเบรนที่เตรียมจาก -2)-1ไพริดิลเอโซ แนพทอล หรือ-2-(PAN เป็นทั้งโครโมไอโอโนฟอร์ และไอโอโนฟอร์ มี potassium tetrakis(-4 chlorophenyl) borate (KT*p*ClPB) เป็นไอออนเอกซ์เชนจ์เจอร์, bis(-2ethylhexyl)sebacate (DOS) เป็นพลาสติไซเซอร์ พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เป็นพอลิเมอร์ แผ่นเมมเบรนที่ได้มีสีเหลือง ลักษณะเป็นแผ่นบางใสและเรียบ โดยปริมาณ PAN ที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมแผ่นเมมเบรนเพื่อใช้ในการตรวจวัดคือ 0.7 และ 1 mg เนื่องจากสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นเมมเบรนได้ชัดเจนมากที่สุด โดยแผ่นเมมเบรนที่แช่ในสารละลายไอออนคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) เปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีม่วง สีน้ำตาล สีส้ม และสีเขียว ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ไทโอยูเรีย และโพแทสเซียมคลอไรด์เป็นมาสคิงเอเจนต์สำหรับตรวจวัดสารละลายไอออนผสมระหว่างคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II), คอปเปอร์(II) ซิงค์(II), คอปเปอร์(II) โคบอลต์(II) และคอปเปอร์(II) นิกเกิล(II) โคบอลต์(II) ในสารละลายได้ด้วยตาเปล่า โดยความเข้มข้นของการตรวจวัดไอออนคอปเปอร์(II) ซิงค์(II) และโคบอลต์(II) เท่ากับ 0.1 mM และความเข้มข้นของการตรวจวัดนิกเกิล(II) เท่ากับ 0.5 mM ในระบบแอซิติก/แอซิเทตบัฟเฟอร์ที่พีเอช 5 เวลาในตรวจวัด 15 นาที

จากผลการทดลองตรวจวัดชนิดไอออนโลหะในสารละลายตัวอย่างทั้งหมด 20 ตัวอย่าง สามารถระบุชนิดของไอออนโลหะในสารตัวอย่างได้ถูกต้อง 20 ตัวอย่าง

4.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถตรวจวัดไอออนโลหะที่ผสมได้อย่างครอบคลุม เนื่องจากไม่สามารถหามาสคิงเอเจนต์ที่เหมาะสมกับไอออนโลหะที่ต้องการวิเคราะห์ได้ครบ ดังนั้น ถ้าในอนาคตสามารถหามาสคิงเอเจนต์ได้ครบกับไอออนโลหะที่ต้องการวิเคราะห์ ก็จะสามารถตรวจวัดไอออนโลหะแบบผสมได้อย่างครอบคลุม นอกจากนี้ ยังสามารถพัฒนาต่อยอดงานวิจัยเพื่อเพิ่มความสะดวกในการนำแผ่นเมมเบรนไปใช้งานจริง โดยการผสมมาสคิงเอเจนต์ลงในแผ่นเมมเบรน และแบ่งแผ่นเมมเบรนหนึ่งแผ่นออกเป็นส่วน ๆ เท่ากับไอออนโลหะที่ต้องการวิเคราะห์ จะทำให้สามารถวิเคราะห์ไอออนโลหะชนิดต่าง ๆ ได้ภายในครั้งเดียว

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. Manahan S.E., Environmental Chemistry, Missouri University Willard grant Press, Boston, **1984**, 154-155
2. Wang, Z.; Fan, X.; Li, D.; Feng, L., A highly selective and colorimetric naked-eye chemosensor for Cu^{2+}. *Spectrochimica Acta. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy* **2008,** *71*, 1224-1227.
3. Denkhaus, E.; Salnikow, K., Nickel essentiality, toxicity, and carcinogenicity. *Critical Reviews in Oncology/Hematology* **2002**, *42*, 35-56.
4. Plum, L. M.; Rink, L.; Haase, H., The essential toxin: impact of zinc on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2010,** *7*, 1342-1365.
5. Christensen, J.M., Human Exposure to Toxic Metals: Factors Influencing Interpretation of Biomonitoring Results. *The Science of the Total Environment* **1995**, *166*, 89-135.
6. Zhu, J.; Zhai, J.; Li, X.; Qin, Y., Applications of hydrophobic room temperature ionic liquids in ion-selective optodes. *Sensors and Actuators B: Chemical* **2011,** *159*, 256-260.
7. Sooksawat, D.; Aeungmaitrepirom, W.; Ngeontae, W.; Tuntulani, T., Logic gates from ion-selective bulk optodes. *New Journal of Chemistry* **2011,** *35*, 345-352.
8. Fernandez-Ramos, M. D.; Cuadros-Rodriguez, L.; Arroyo-Guerrero, E.; Capitan-Vallvey, L. F., An IUPAC-based approach to estimate the detection limit in co-extraction-based optical sensors for anions with sigmoidal response calibration curves. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **2011,** *401*, 2881-2889.
9. วิทยา เงินแท้ “การตรวจวัดไอออนด้วย Bulk Optode” วารสารศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2550 หน้า 36-41.
10. Bualom, C.; Ngeontae, W.; Nitiyanontakit, S.; Ngamukot, P.; Imyim, A.; Tuntulani, T.; Aeungmaitrepirom, W., Bulk optode sensors for batch and flow-through determinations of lead ion in water samples. *Talanta* **2010,** *82*, 660-667.
11. Xie, X.; Li, X.; Ge, Y.; Qin, Y.; Chen, H.-Y., Rhodamine-based ratiometric fluorescent ion-selective bulk optodes. *Sensors and Actuators B: Chemical* **2010,** *151*, 71-76.

12. Albero, M. I.; Ortuño, J. A.; García, M. S.; Cuartero, M.; Alcaraz, M. C., Novel flow-through bulk optode for spectrophotometric determination of lithium in pharmaceuticals and saliva. *Sensors and Actuators B: Chemical* **2010,** *145*, 133-138.
13. Garcia, S.; Albero, I.; Ortuio, J. n. A.; Sanchez-Pedreno, C. n.; Exposito, R., Flow-Through Bulk Optode for the Spectrophotometric Determination of Perchlorate. *Microchimica Acta* **2003,** *143*, 59-63.
14. Ghaedi, M.; Shahamiri, A.; Mirtamizdoust, B.; Hajati, S.; Taghizadeh, F., A novel polyvinyl chloride-membrane optical sensor for the determination of Cu^{2+} ion based on synthesized (N'(1)E,N'(2)E)-N'(1),N'(2)-bis(pyridine-2-ylmethylene)oxalohydrazide: experimental design and optimization. *Spectrochimica Acta. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy* **2015,** *138*, 878-884.
15. Arvand, M.; Lashkari, Z., Sensitive and selective detection of trace copper in standard alloys, food and biological samples using a bulk optode based on *N,N'*-(4,4'-ethylene biphenyl) bis(3-methoxy salicylidine imine) as neutral carrier. *Spectrochimica Acta. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy* **2013,** *107*, 280-288.
16. Rezaei, B.; Hadadzadeh, H.; Azimi, A., Fabrication of an optical sensor based on the immobilization of Qsal on the plasticized PVC membrane for the determination of copper(II). *Journal of Analytical Chemistry* **2012,** *67* (8), 687-693.
17. Shamsipur, M.; Poursaberi, T.; Avanes, A.; Sharghi. H., Copper(II)-selective fluorimetric bulk optode membrane based on a 1-hydroxy-9,10-anthraquinone derivative having two propenyl arms as a neutral fluorogenic ionophore. *Spectrochimica Acta. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy* **2006,** *63* (1), 9-14.
18. Gholivand, B. M.; Niroomandi, P.; Yari, A.; Joshagani, M., Characterization of an optical copper sensor based on *N,N'*-bis(salycilidene)-1,2-phenylenediamine. *Analytica Chimica Acta* **2005**, *538*, 225-231.
19. Alizadeh, N.; Moemeni, A.; Shamsipur, M., Poly(vinyl chloride)-membrane ion-selective bulk optode based on 1,10-dibenzyl-1,10-diaza-18-crown-6 and 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol for Cu^{2+} and Pb^{2+} ions. *Analytica Chimica Acta* **2002**, *464*, 187-196.

20. Sanchez P. C.; Ortuño, A. J.; Albero I. M.; Garcia S. M.; Bayonas C. J., A new procedure for the construction of flow-through optodes. Application to determination of copper(II). *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry* **2000,** *366,* 811-815.
21. Shamsipur, M.; Poursaberi, T.; Karami, A. R.; Hosseini, M.; Momeni, A.; Alizadeh, N.; Yousefi, M.; Ganjali, M. R., Development of a new fluorimetric bulk optode membrane based on 2,5-thiophenylbis(5-tert-butyl-1,3-benzexazole) for nickel(II) ions. *Analytica Chimica Acta* **2004,** *501*, 55-60.
22. Aziz, A. A.; Seda S. H.; Mohammed S. F., Design of a highly sensitive and selective bulk optode based on fluorescence enhancement of N,N′-bis-(1-hydroxyphenylimine)2,2′-pyridil Schiffbase:Monitoring of zinc(II) ion in real samples and DFT calculation. *Sensors and Actuators B: Chemical* **2016,** *223,* 566-575.
23. Aziz, A. A.; Seda S. H., A Novel Fluorescent Optode for Recognition of Zn2+ ion Based on N,N′-bis-(1-Hydroxypheylimine)2,5-Thiophenedicarobxaldehyde (HPTD) Schiff Base. *Journal of Fluorescence* **2015,** *25* (6), 1711-1719.
24. Albero, I. M.; Ortuño, A. J.; Garcia S. M.; Sanchez P. C.; Exposito R., Determination of zinc (II) in pharmaceuticals based on a flow-through bulk optode. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* **2002,** *29,* 779-786.
25. Arvand, M.; Gholizadeh T. M.; Mahmoodi N., Development of a cobalt (II) optical sensing film based on N 5-(2, 4-dinitro-phenyl)-N 1,N 1-diethylpenta-1,3-diene-1,5-diamine. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* **2009,** *89,* 153-166.
26. Shamsipur, M.; Sadeghi, M.; Alizadeh, K.; Sharghi, H.; Khalifeh, R., An efficient and selective flourescent optode membrane based on 7-[(5-chloro-8-hydroxy-7-quinolinyl) methyl]-5,6,7,8,9,10-hexahydro-2H-1,13,4,7,10 –benzodioxatriazacyclopenta decine-3,11(4H,12H)-dione as a novel fluoroionophore for determination of cobalt(II) ions. *Analytica Chimica Acta* **2008,** *630*, 57-66.
27. Firooz, A. R.; Ensafi, A. A.; Kazemifard, N.; Sharghi, H., A highly sensitive and selective bulk optode based on benzimidazol derivative as an ionophore and ETH5294 for the determination of ultra trace amount of silver ions. *Talanta* **2012,** *101*, 171-176.

28. Firooz A. R.; Ensafi, A. A.; Karimi, K.; Sharghi, H., Development of a specific and highly sensitive optical chemical sensor for determination of Hg(II) based on a new synthesized ionophore. *Materials Science and Engineering C* **2013**, *33*, 4167–4172.
29. Sanchez P. C.; Ortuño, A. J.; Albero I. M.; Garcia S. M.; Valero M. V., Development of a new bulk optode membrane for the determination of mercury(II). *Analytica Chimica Acta* **2000,** *414*, 195–203.
30. Safavi, A.; Sadeghi, M., A PVC-membrane bulk optode for gallium(III) ion determination. *Talanta* **2007,** *71,* 339-343.
31. Leamy, D.; Regan, F., A robust spin-coated optical sensing device for rapid determination of predominant metal ions in wastewater streams. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* **2003,** *83,* 867-877.
32. Sanchez P. C.; Garcia S. M.; Ortuño, A. J.; Albero, I. M.; Exposito R., Kinetic methods for the determination of cadmium(II) based on a flow-through bulk optode. *Talanta* **2002,** *56,* 481–489.
33. Sanchez P. C.; Garcia S. M.; Ortuño, A. J.; Albero, I. M.; Ballester, E., Development of a new flow-through bulk optode for the determination of manganese(II), *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry* **2001,** *369,* 680-683.
34. Zare-Sahabadhi, V.; Akhond, M.; Tashkhourian, J.; Abbasitabar, F., Characterization of a new uranyl selective bulk optode; utilizing synergistic effect in optical sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical* **2009,** *141*, 34-39.
35. Wirojsaengthong, S., Naked-eye detection of some metal ions in aqueous solution using bulk optode technique. B.Sc. Thesis, Chulalongkorn University, **2013.**
36. Cheng, K. L.; 1bray, R. H., 1-(2-pyridylazo)-2-napthol as a possible analytical reagent. *Analytical Chemistry* **1995,** *27,* 782-789.
37. Dean, J. A. Lange's Handbook of Chemistry. 13th ed. Singaproe: McGraw-Hill, **1987.**
38. Kongsung, R., Naked-eye detection of lead(II) in aqueous solution by silica gel coated with 1-(2-pyridylazo)-2-napthol. M.Sc. Thesis, Chulalongkorn University, **2010.**
39. Juasakul, V., Naked-eye detection of some metal ions using amberlite XAD-7 coated with 1-(2-pyridylazo)-2-napthol. M.Sc. Thesis, Chulalongkorn University, **2012.**

40. Martell, A. E.; Smith, R. M. Critical Stability Constants, Vols. 1–4. Plenum Press: New York, **1976.**

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นายสุวิจักขณ์ สุดไทย เกิดเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ภูมิลำนำจังหวัดระยอง สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายสายสามัญ แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนวัดป่าประดู่ จังหวัดระยอง เมื่อปีการศึกษา 2554 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2555

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้หลังจบการศึกษา 2/33 หมู่ 2 ตำบลเชิงเนิน อำเภอเมือง จังหวัดระยอง 21000

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย