

การออกแบบและพัฒนาขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน
ในการตรวจวัดไอออนโลหะหนัก

DESIGN AND DEVELOPMENT OF HEAVY METAL
ION-SELECTIVE ELECTRODE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุนาโน

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF HEAVY METAL
ION-SELECTIVE ELECTRODE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT OF THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING
IN NANOMATERIAL ENGINEERING
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT' S INSTITUDE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบและพัฒนาขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนในการตรวจวัด
ไอออนโลหะหนัก
Special Project Title Design and Development of Heavy metal Ion-Selective
Electrode
นักศึกษา ปิยวรรณ ลีเพ็ง
รหัสประจำตัว 55110030
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุนาโน
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ดารินี พรหมโยธิน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. สุพล มนะเกษตรธำ

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ดารินี พรหมโยธิน	
ผศ.ดร.สุธี ชูดีไพโรจิตร	
ดร.นงลักษณ์ หวงกำแหง	

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธี ชูดีไพโรจิตร)
หัวหน้าภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วันที่..... เดือน..... พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การออกแบบและพัฒนาขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนใน การตรวจวัดไอออนโลหะหนัก
นักศึกษา	นางสาวปิยวรรณ ลีเฟ่ง
รหัสนักศึกษา	55110030
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ	ผศ.ดร.ดารินี พรหมโยธิน
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษร่วม	ดร.สุพล มนะเกษตรธาร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบ และพัฒนาขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนเพื่อทำการตรวจวัดไอออนของโลหะหนัก โดยทำการออกแบบและสังเคราะห์โครงสร้างของชิฟเบสลิแกนด์ เพื่อสร้างเป็นเมมเบรนของขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน ชิฟเบสลิแกนด์ที่สร้างขึ้นมีสมบัติเป็นไอโอโนฟอร์ กล่าวคือเมื่อนุภาค หรือไอออนของสารสามารถจับกับโครงสร้างโมเลกุลของชิฟเบสลิแกนด์ได้ จะทำให้เกิดกลไกการแลกเปลี่ยนโปรตอนขึ้นในโครงสร้าง เป็นผลให้ระดับพลังงานของชิฟเบสเปลี่ยนไป เรียกกลไกการทำงานนี้ว่า Excited State Intramolecular Proton transfer (ESIPT) และเนื่องจากชิฟเบสลิแกนด์สามารถจับกับไอออนที่มีความจำเพาะเจาะจงได้ จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ดีในการทำเป็นเมมเบรนสำหรับขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน โดยชิฟเบสลิแกนด์ทำการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการรีฟลักซ์ ระหว่าง 2,5-Thiophenedicarboxaldehyde และ 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine ด้วยอัตราส่วน 1:1 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (FTIR), นิวเคลียร์แมกเนติก เรโซแนนซ์ (NMR), สมบัติทางแสง และสมบัติทางไฟฟ้าด้วยฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี และ โทแทนซิโอ เมทรี ชิฟเบสลิแกนด์ที่สังเคราะห์ได้มี ความจำเพาะเจาะจงกับไอออนของโลหะเงิน (Ag^+)

คำสำคัญ ชิฟเบสลิแกนด์, โลหะหนัก, ขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน

Special Project Title	Design and Development of Heavy Metal Ion-Selective Electrode
Student	Miss Piyawan Leepheng
Student ID	55110030
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterial Engineering
Year	2015
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Darinee Phromyothin
Special Project Co-Advisor	Dr.Supone Manakasettharn

ABSTRACT

In this work, Schiff base as ionophore was designed and developed for the construction of heavy metal Ion-Selective Electrode (ISE). The mechanism of Schiff's base ionophore presents a proton transfer within a molecular structure when the particles or ions were added. These lead to change level of energy in ionophore structure that called the Excited State Intramolecular Proton Transfer (ESIPT) as a result of significantly sensitive and specificity for detected heavy metal. Schiff's base was synthesized using condensation reaction of 2,5-Thiophenedicarboxaldehyde and 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine as the mole ratio of 1:1. The complexes were characterized by Fourier Transform Infrared Spectroscopy, Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, Fluorescence spectroscopy and Potentiometry, respectively. Potentiometric responses were examined the potential change which can determine amount of Ag^+ .

Keywords Schiff base ligand, Heavy metal, Ion-Selective Electrode (ISE)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องการออกแบบและพัฒนาข้าวไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนในการตรวจวัดไอออนโลหะหนัก สำเร็จได้ด้วยความสำเร็จจาก ผศ.ดร.ดารินี พรหมโยธิน ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ให้ความช่วยเหลือทุกด้าน ตั้งแต่การให้คำแนะนำ และช่วยเหลือแก้ไขปัญหาเกี่ยวเนื่องกับงานวิจัย ตรวจทาน และแก้ไขรูปเล่มของโครงการพิเศษ อำนวยความสะดวกในเรื่องของสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย รวมถึงการจัดหาทุนในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สุพล มนะเกษตรธาร นักวิจัย ห้องปฏิบัติการระบบอุปกรณ์นาโน ศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงการพิเศษร่วม ที่ช่วยให้คำปรึกษา และช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องของสถานที่ และเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ทรงวุฒิ สุรมิตร อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่ช่วยให้คำปรึกษา และวิธีการในการทำวิจัย รวมถึงช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องของสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุธี ชูดีไพโรจตร คุณกัลยกร เจริญกุล และ ว่าที่ร.ต.ดิเรกฤทธิ์ จันทรวงศ์ รวมถึง คณาจารย์วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังหลายๆ ท่าน ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย ขอขอบพระคุณ คุณยศวิศ رایณะสุข และคุณธนากร เจริญสกุล ที่ช่วยให้คำปรึกษา และช่วยแนะนำในเรื่องการวางแผนการตลาด และการรวบรวมข้อมูล และการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัย สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณมารดา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจในการศึกษาได้เป็นอย่างดี คุณประโยชน์ของโครงการพิเศษฉบับนี้ ขออุทิศแด่ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปิยวรรณ ลีเพ่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐานงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 โลหะหนัก (Heavy metal).....	4
2.2 ขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน (Ion-Selective Electrode, ISE).....	9
2.3 ชิฟเบส (Schiff base).....	10
2.4 สารและคุณสมบัติของสาร.....	11
2.5 กระบวนการและเครื่องมือการสังเคราะห์.....	14
2.5.1 กระบวนการรีฟลักซ์ (Reflux).....	14
2.5.2 กระบวนการระเหย (Evaporation).....	14
2.5.3 เครื่องควบแน่นชนิดรีฟลักซ์ (Reflux Condenser).....	15
2.5.4 เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary Evaporator).....	16
2.5.5 ทินแลร์โครมาโตกราฟี (Thin Layer Chromatography, TLC).....	16
2.6 หลักการวิเคราะห์คุณสมบัติของสาร.....	17
2.6.1 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี (Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy).....	17
2.6.2 อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (FTIR).....	24
2.6.3 ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรสโคปี (UV-Visible spectroscopy).....	26
2.6.4 ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี (Fluorescence spectroscopy).....	28
2.6.5 โปเทนชิโอเมทรี (Potentiometry).....	28
2.7 ทบทวนวรรณกรรม.....	30
2.7.1 ตัวอย่างการสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดโลหะหนัก.....	30
2.7.2 ขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน (Ion-Selective Electrode, ISE).....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.3 การออกแบบชิฟเบส.....	32
2.7.4 การสังเคราะห์ชิฟเบส.....	36
2.7.5 การวิเคราะห์ผลด้วยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	38
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	40
3.1 กระบวนการสังเคราะห์ชิฟเบสลิแกนด์.....	40
3.2 กระบวนการทดสอบคุณสมบัติของสาร.....	44
3.2.1 อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (FTIR).....	44
3.2.2 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี (NMR).....	44
3.3 การวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของชิฟเบสลิแกนด์เมื่อจับกับไอออน ของโลหะหนัก.....	44
3.3.1 ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี (Fluorescence spectroscopy).....	44
3.3.2 โปเทนชิโอเมทรี (Potentiometry).....	45
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	47
4.1 การวัดคุณสมบัติของชิฟเบสลิแกนด์ และสารประกอบของชิฟเบสลิแกนด์ที่ เกิดจากการรวมตัวกับไอออนของโลหะหนัก.....	47
4.1.1 การวัดคุณสมบัติด้วยอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (FTIR).....	47
4.1.2 การวัดคุณสมบัติด้วยนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี (NMR).....	48
4.2 การทดสอบการตรวจวัดปริมาณไอออนของโลหะหนักของชิฟเบสลิแกนด์.....	
4.2.1 การตรวจวัดไอออนของโลหะหนักด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี.....	48
4.2.2 การตรวจวัดไอออนของโลหะหนักด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	56
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	
บรรณานุกรม.....	58
ประวัติผู้เขียน.....	63

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาทำการวิจัย.....	3
2.1 ตารางแสดงค่าความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในอากาศ ดิน และน้ำขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมอเมริกา (United State Environment Protection Agency, USEP).....	5
2.2 สมบัติของ 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine และ 2,5 Thiophenedicarboxaldehyde.....	12
2.3 โลหะหนักที่ใช้ในงานวิจัย.....	12
2.4 สมบัติของโลหะหนักที่ใช้ในงานวิจัย.....	13
2.5 ค่าสปีนของนิวเคลียสแต่ละชนิด.....	17
2.6 Chemical Shift สำหรับโปรตอนประเภทต่างๆ.....	19
2.7 รูปแบบของกลุ่มพีคที่เกิดจากโปรตอนที่อยู่ข้างเคียง.....	22
2.8 Coupling Constants.....	23
2.9 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดหมู่ฟังก์ชันต่างๆ.....	25
2.10 โครงสร้างของซิฟเบสที่สังเคราะห์เพื่อนำมาใช้ในการตรวจวัดวิเคราะห์แคตไอออน (cation) และแอนไอออน (anion).....	33
4.1 ตำแหน่งเลขคลื่นของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของซิฟเบสลิแกนด์.....	48
4.2 ตำแหน่ง λ_{max} (นาโนเมตร) ของซิฟเบสลิแกนด์ และสารประกอบซิฟเบสลิแกนด์ กับไอออนของเหล็กเมื่อสารละลายไอออนของเหล็กอยู่ในรูปของสารประกอบที่แตกต่างกัน.....	49
4.3 ตำแหน่ง λ_{max} (นาโนเมตร) ของซิฟเบสลิแกนด์ และสารประกอบซิฟเบสลิแกนด์ กับไอออนของโลหะต่างๆในกลุ่มของสารประกอบอะซิเตต, ไนเตรต และ ออกไซด์.....	51

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน; a) conventional ISE with an internal reference electrode and internal filling solution, (b) coated wire or graphite coated ISE, c) ISE with a hydrogel contact.....	9
2.2 แผนผังแสดงปฏิกิริยาซิปเบส (Schiff base reaction).....	10
2.3 Excited State Intramolecular Proton Transfer (ESIPT).....	10
2.4 โครงสร้างของ 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine.....	11
2.5 โครงสร้างของ 2,5-Thiophenedicarboxaldehyde.....	11
2.6 กระบวนการรีฟลักซ์.....	14
2.7 เครื่องควบแน่นชนิดรีฟลักซ์.....	15
2.8 เทคนิคทินแลร์โครมาโตกราฟี.....	16
2.9 การจัดวางตัวของสปิน ^1H เมื่อรับสนามแม่เหล็กภายนอก.....	18
2.10 การเกิดปรากฏการณ์นิวเคลียร์แมกเนติก เรโซแนนซ์.....	19
2.11 ช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum).....	27
2.12 ระดับพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลถูกกระตุ้นเมื่อได้รับพลังงานคลื่นแสงช่วงยูวี-วิสิเบิล.....	27
2.13 การดูดกลืนแสง และการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในโมเลกุล.....	27
2.14 กระบวนการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ภายในโมเลกุล.....	28
2.15 ไซคลิกโวลแทมโมแกรม (Cyclic Voltammogram).....	29
2.16 ระบบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดโลหะหนักในน้ำทะเล.....	31
2.17 ตัวอย่างโครงสร้างซิปเบสไอโอโนฟอร์.....	32
2.18 ตัวอย่างการสังเคราะห์ลิแกนด์ที่เป็นซิปเบส.....	36
2.19 ตัวอย่างการสังเคราะห์ลิแกนด์ที่เป็นซิปเบส.....	37
2.20 ภาพลักษณะกราฟไซคลิกโวลแทมเมทรี.....	39
2.21 ภาพลักษณะกราฟไซคลิกโวลแทมเมทรี.....	39
3.1 แผนผังการแดงการเตรียมสารละลายของ 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine.....	40
3.2 แผนผังการแดงการเตรียมสารละลายของ 2,5-Thiophenedicarboxaldehyde.....	41
3.3 การสังเคราะห์สารด้วยกระบวนการรีฟลักซ์แบบควบแน่น.....	41
3.4 การทดสอบการดำเนินไปของปฏิกิริยาด้วย TLC.....	42
3.5 ผลิตภัณฑ์หลังจากการระเหย.....	42
3.6 ซิปเบสลีแกนด์ (Schiff base ligand).....	43
3.7 กระบวนการสังเคราะห์ซิปเบสลีแกนด์.....	43
3.8 ขั้นตอนการวัดฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี.....	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.9 ขั้นตอนการวัดไซคลิก โวลแทมเมตรี.....	46
4.1 IR spectrum ของซีฟเบสลิแกนด์.....	47
4.2 Emission spectra ของซีฟเบสลิแกนด์ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และซีฟเบสลิแกนด์ จับกับไอออนของเหล็ก ที่อยู่ในรูปสารประกอบที่แตกต่างกันคือ Fe(III) nitrate complex, Fe(III) oxide complex, Fe(II) acetate complex และ Fe(II) sulfate complex ที่ความเข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ โดยใช้เงื่อนไขการวัดผลที่ $\lambda_{exc} = 350$ นาโนเมตร และมีสถานะอยู่ในอุณหภูมิห้อง.....	49
4.3 Emission spectra ของซีฟเบสลิแกนด์ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และซีฟเบสลิแกนด์กับสารประกอบอะซิเตตไอออนของโลหะ ซึ่งประกอบไปด้วย Cd(II) complex, Hg(II) complex, Mn(II) complex และ Pb(II) complex ที่มีความเข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ โดยใช้เงื่อนไขการวัดผลที่ $\lambda_{exc} = 350$ นาโนเมตร และมีสถานะอยู่ในอุณหภูมิห้อง.....	50
4.4 Emission spectra ของซีฟเบสลิแกนด์ ที่ความเข้มข้น 1 μ M และซีฟเบสลิแกนด์กับสารประกอบไนเตรตไอออนของโลหะ ซึ่งประกอบไปด้วย Ag(I) complex, Al(III) complex, Co(II) complex และ Ni(II) complex ที่มีความเข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ โดยใช้เงื่อนไขการวัดผลที่ $\lambda_{exc} = 350$ นาโนเมตร และมีสถานะอยู่ในอุณหภูมิห้อง.....	50
4.5 Emission spectra ของซีฟเบสลิแกนด์ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และซีฟเบสลิแกนด์กับสารประกอบออกไซด์ของ Cr(VI) complex ที่มีความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ โดยใช้เงื่อนไขการวัดผลที่ $\lambda_{exc} = 350$ นาโนเมตร และมีสถานะอยู่ในอุณหภูมิห้อง.....	51
4.6 Cyclic Voltammetric curves ของซีฟเบสลิแกนด์ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ และซีฟเบสลิแกนด์จับกับไอออนของเหล็ก ที่อยู่ในรูปสารประกอบที่แตกต่างกันคือ Fe(III) nitrate complex, Fe(III) oxide complex, Fe(II) acetate complex และ Fe(II) sulfate complex ที่มีความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ภายใต้สถานะอุณหภูมิห้อง.....	52
4.7 Cyclic Voltammetric curves ของซีฟเบสลิแกนด์ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ และซีฟเบสลิแกนด์จับกับไอออนของโลหะต่างชนิดกัน ที่อยู่ในรูปสารประกอบอะซิเตต คือ Pb(II) complex, Hg(II) complex, Mn(II) complex และ Cd(II) complex ที่มีความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ภายใต้สถานะอุณหภูมิห้อง.....	53
4.8 Cyclic Voltammetric curves ของซีฟเบสลิแกนด์ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ และซีฟเบสลิแกนด์จับกับไอออนของโลหะ ที่อยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์คือ Cr(VI) complex ที่มีความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในสถานะอุณหภูมิห้อง.....	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- 4.9 Cyclic Voltammetric curves ของซีฟเบสลิแกนด์ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ และซีฟเบสลิแกนด์จับกับไอออนของโลหะต่างชนิดกัน ที่อยู่ในรูปสารประกอบโคออร์ดิเนตคือ Al(III) complex, Co(II) complex, Ag(I) complex, Ni(II) complex และ Fe(III) complex ที่มีความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง..... 54



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

โลหะหนักถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในหลายภาคส่วน อาทิเช่น ด้านอุตสาหกรรม โลหะหนักถูกใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ อุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ และอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ด้านการเกษตร โลหะหนักถูกใช้เป็นส่วนผสมของปุ๋ย และยาฆ่าแมลง และด้านการแพทย์ โลหะหนักถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ และเครื่องสำอาง เป็นต้น ซึ่งในกระบวนการผลิต วัตถุดิบ หรือสารเคมีที่ใช้แล้วจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของเสียสู่สิ่งแวดล้อม เมื่อของเสียเหล่านี้ถูกปลดปล่อยในปริมาณมากเกินไปทำให้เกิดการปนเปื้อน และก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โลหะหนักเป็นธาตุที่มีความเสถียรมาก ไม่สามารถสลายตัวในกระบวนการทางธรรมชาติได้ ทำให้สามารถสะสมอยู่ในอากาศ ดิน และน้ำ รวมทั้งสามารถสะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้อีกด้วย โลหะเหล่านี้สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ทั้งทางตรง และทางอ้อม ไม่ว่าจะได้รับจากสิ่งแวดล้อม การปนเปื้อนในอาหาร ส่วนผสมในเครื่องสำอาง หรือเครื่องใช้ในครัวเรือน เมื่อโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายจะเข้าไปรบกวนการทำงานของแร่ธาตุต่างๆ ในร่างกาย ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของระบบการทำงานในร่างกาย ส่งผลให้ระบบการทำงานในร่างกายสิ่งมีชีวิต และมนุษย์ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ หรือหยุดการทำงานไป ในที่สุดหากเมื่อได้รับสารเหล่านี้เข้าไปในปริมาณมาก นอกจากนี้แล้วพิษของโลหะหนักยังส่งผลในระดับเซลล์ โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์ เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม และทำให้เกิดความเสียหายของโครโมโซมซึ่งเป็นปัจจัยทางพันธุกรรม อีกทั้งยังเป็นตัวการก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้อีกด้วย จากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วจะเห็นได้ว่าโลหะหนักมีอันตราย และเป็นพิษมาก เมื่อเกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม แม้ว่าจะมีปริมาณการปนเปื้อนเพียงเล็กน้อย

ดังนั้นจึงมีการพัฒนาชีวไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนในการตรวจวัดโลหะหนักขึ้น โดยมีการสร้างเมมเบรนที่มีคุณสมบัติคือ มีความจำเพาะเจาะจงกับไอออนของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์ มีค่าการละลายต่ำ ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายที่สัมผัส อีกทั้งยังนำไฟฟ้าได้ดี โดยสารที่นำมาสร้างเมมเบรนเป็นสารไอโอโนฟอรัลพวกซิฟเบส ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ในกลุ่มอิมิน สามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาการควบแน่นของสารอินทรีย์กลุ่มเอมีน กับอัลดีไฮด์ หรือคีโตน ซิฟเบสสามารถออกแบบและสังเคราะห์โครงสร้างให้มีความจำเพาะเจาะจงกับไอออนของสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ได้ ดังนั้นจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดโมเลกุลทางไฟฟ้าได้ดี หลักการวิเคราะห์คือ ไอออนของสารละลายผ่านเข้าไปยังชั้นเมมเบรนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลทางไฟฟ้าเคมี เกิดความต่างศักย์ขึ้นบริเวณทั้งสองด้านของเมมเบรน ค่าความต่างศักย์ที่ได้นี้จะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของไอออนในสารละลายตัวอย่างที่ทำกรวิเคราะห์ ชั่วไฟฟ้าแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจาะจงไอออนนี้ เป็นเทคนิคในการใช้งานง่าย มีความจำเพาะเจาะจงกับไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ และมีความไวในการตรวจวัดสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ออกแบบ และสังเคราะห์โครงสร้างของชิฟเบสซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นไอโอโนฟอร์ที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อไอออนของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์

1.2.2 ทดสอบ และวิเคราะห์ความจำเพาะเจาะจงของสารอินทรีย์ไอโอโนฟอร์ต่อการจับกับไอออนของโลหะหนัก

1.3 แผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการสังเคราะห์ชิฟเบสที่มีคุณสมบัติเป็นไอโอโนฟอร์ เพื่อใช้ในการทำเป็นเมมเบรนในการสร้างขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนในการตรวจวัดไอออนของโลหะหนัก โดยจะแบ่งขั้นตอนเป็นดังนี้

1.3.1 ศึกษาสมบัติของสารชิฟเบส ออกแบบโครงสร้าง และสังเคราะห์โครงสร้างชิฟเบสลิแกนด์ด้วยกระบวนการการควบแน่นแบบรีฟลักซ์

1.3.2 ตรวจสอบสัณฐานวิทยา และสมบัติของชิฟเบสลิแกนด์ด้วย นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี (NMR), อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (FTIR), ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรสโคปี (UV-Visible spectroscopy), ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี (Fluorescence spectroscopy) และโพเทนชิโอเมทรี (Potentiometry)

1.3.3 ทำการหาความจำเพาะของชิฟเบสลิแกนด์กับไอออนของโลหะหนัก ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าทางเคมี

1.3.4 วิเคราะห์ และประเมินผลการวิจัย

1.4 สมมติฐานงานวิจัย

1.4.1 ชิฟเบสลิแกนด์ของขั้วไฟฟ้าที่สังเคราะห์ขึ้นมีความจำเพาะเจาะจงต่อไอออนของโลหะหนักในสารละลายตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

1.4.2 สารชิฟเบส และขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนที่สร้างขึ้นมีความไวต่อการตอบสนองสูง

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1.5.1 สร้างเคราะห้โครงสร้างซีฟเบสลิแกนด์

1.5.2 ตรวจสอบโครงสร้าง และสมบัติของซีฟเบสลิแกนด์ที่สังเคราะห์ขึ้น

1.5.3 สร้างขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนที่สังเคราะห์ขึ้นจากซีฟเบสลิแกนด์ และทดสอบความจำเพาะเจาะจงกับไอออนของโลหะหนักที่อยู่ในสารละลาย

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาทำการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาทำการวิจัย									
	ปี 2558					ปี 2559				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	
1. ศึกษาทฤษฎี และหลักการ ทำงานของขั้วไฟฟ้าแบบ เจาะจงไอออน	←————→									
2. ศึกษาทฤษฎี สังเคราะห์ และออกแบบโครงสร้าง ซีฟเบสลิแกนด์	←————→									
3. ทำการวัดคุณสมบัติของ ซีฟเบสลิแกนด์ และหา ความจำเพาะเจาะจงต่อ ไอออนของซีฟเบสลิแกนด์ที่ สังเคราะห์ขึ้น						←————→				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โลหะหนัก (Heavy metal) [1-3]

โลหะหนักเป็นธาตุที่มีความหนาแน่นของอะตอมมากกว่า 4 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนใหญ่เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน ธาตุโลหะเหล่านี้มีทั้งหมด 22 ชนิด ได้แก่ ทองแดง, เงิน, ทองคำ, ทองคำขาว, สังกะสี, ตะกั่ว, ดีบุก, โครเมียม, ทังสแตน, พลวง, แคลเดียม, พรอท, บิสมัท, ไททาเนียม, แทนทาลัม, โคบอลต์, ยูเรเนียม, นิกเกิล, แมงกานีส, โมลิบดีนัม และเบอรัมัสเนียม เมื่อธาตุเหล่านี้ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมสามารถเข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิตได้ ไม่ว่าจะเป็นการกิน สัมผัส หรือการสูดดม ธาตุเหล่านี้สามารถรวมตัวกับเซลล์ หรือเนื้อเยื่อภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต และมนุษย์ได้ ส่งผลทำให้เป็นอันตรายกับเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้น แม้ว่าสิ่งมีชีวิตได้รับเข้าไปในปริมาณน้อยก็เป็นพิษได้

เนื่องมาจากการเติบโตทางเศรษฐกิจ และการพัฒนาด้านเทคโนโลยี ทำให้เกิดการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมนี้ ส่งผลให้มีการสร้างโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคนั้นจะต้องผ่านกระบวนการผลิต ซึ่งในกระบวนการผลิตเกือบทุกประเภทจะมีการปลดปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ของเสียเหล่านั้นก็คือโลหะหนัก และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตนั่นเอง เมื่อมีปริมาณมากเกินไปความสามารถที่สิ่งแวดล้อมจะรองรับได้ ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม และการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ดิน หรืออากาศ และเนื่องมาจากการที่โลหะหนักเป็นสารเคมีที่มีความเสถียรสูง ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการทางธรรมชาติ จึงทำให้สามารถตกตะกอน และสะสมอยู่ในแหล่งน้ำ และดินได้ เมื่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ในดิน หรือมนุษย์ได้รับเข้าไปในปริมาณมาก จะเป็นผลทำให้เซลล์ หรือระบบการทำงานของร่างกายทำงานผิดปกติ และถูกทำลายลง หรืออาจจะทำให้เสียชีวิตลงได้ในที่สุด โลหะหนักถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายภาคส่วน ไม่ว่าจะเป็นด้านการเกษตร โลหะหนักถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของปุ๋ย และยาฆ่าแมลง ทางด้านการแพทย์ โลหะหนักถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องมือทางการแพทย์ อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ เป็นส่วนผสมของยา และเครื่องสำอาง ในส่วนของภาคครัวเรือน โลหะหนักถูกนำมาใช้ในการผลิตเครื่องใช้ในครัวเรือน ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกพีวีซี อุตสาหกรรมการผลิตถ่านไฟฉาย หรือแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น ล้วนใช้โลหะหนักในกระบวนการผลิตทั้งสิ้น ซึ่งถ้าหากขาดการจัดการที่ถูกต้อง และมีคุณภาพ ก็จะทำให้เกิดปัญหาที่ร้ายแรงจากความเป็นพิษของโลหะหนักเหล่านี้ได้อีกด้วย หลายประเทศทั่วโลกได้ตระหนักถึงความเป็นพิษ และการปนเปื้อนของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อม จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานการปนเปื้อนของโลหะหนักขึ้น องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมอเมริกา (United State Environment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Protection Agency, USEPA) ได้กำหนดมาตรฐานโลหะหนักในการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในอากาศ ดิน และน้ำขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมอเมริกา (United State Environment Protection Agency, USEPA)

โลหะหนัก	ค่าความเข้มข้นสูงสุดในอากาศ (mg/m ³)	ค่าความเข้มข้น สูงสุดในดิน (mg/Kg, ppm)	ค่าความเข้มข้น สูงสุดในน้ำดื่ม (mg/L)	ค่าความเข้มข้นสูงสุดใน น้ำที่สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ได้ (mg/L, ppm)
Cd	0.1-0.2	85	0.005	0.008 ^Δ
Pb	--	420	0.01 ^{TT} (0.0)	0.0058 ^Δ
Zn ²	1, 5*	7500	5.00	0.0766 ^Δ
Hg	--	<1	0.002	0.05
Ca	5	ค่อนข้างมาก	50	ค่อนข้างมากกว่า 50
Ag	0.01	--	0.0	0.1
As	--	--	0.01	--

(หมายเหตุ; ^{TT} WHO ; ¹ adapted from U.S.- OSHA; ² EPA, July 1992; ^Δ USEPA, 1987; Georgia Code, 1993; Florida Code, 1993; Washington Code, 1992; Texas Code, 1991; North Carolina, 1991; * 1 for chloride fume, 5 for oxide fume; -- no guideline available)
ที่มา : Journal of Physical Sciences, Vol. 2(5), 112-118(2007)

อย่างไรก็ตามโลหะหนักบางชนิดมีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต เช่น ในการดำรงชีวิตของแบคทีเรียต้องการโคบอลต์ ทองแดง แมงกานีส โมลิบดีนัม และสังกะสีในปริมาณที่มากพอเหมาะเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต แต่ถ้าหากปริมาณธาตุเหล่านั้นมีมากเกินไปก็ก่อให้เกิดโทษได้เช่นเดียวกัน แต่โลหะบางชนิด เช่นปรอท และแคดเมียม ถือเป็นโลหะหนักที่มีพิษร้ายแรงต่อมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นอย่างมาก ในประเทศไทยเคยประสบปัญหามลพิษจากโลหะหนักเนื่องจากอุตสาหกรรม และการทำเหมืองแร่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรที่อยู่บริเวณใกล้เคียง โดยอาการของโรคที่เกิดขึ้นจากการรับพิษของโลหะหนักแต่ละชนิด รวมถึงปริมาณการได้รับ และเส้นทางที่ได้รับเข้าไป เช่น ระบบทางเดินหายใจ ระบบทางเดินอาหาร และทางผิวหนัง เป็นต้น ซึ่งเมื่อสารพิษเหล่านี้สะสมอยู่ในร่างกายในระดับหนึ่งก็จะแสดงออกให้เห็นความเป็นพิษของโลหะหนักต่อกลไกระดับเซลล์คือ ทำให้เซลล์ตาย เปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และการทำงานของเซลล์ เป็นตัวการทำให้เกิดโรคมะเร็ง หรือการทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม และทำลายความเสียหายต่อโครโมโซมซึ่งเป็นปัจจัยทางพันธุกรรม (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, พศจิกายน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2555) เมื่อก้าวถึงความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดนั้น จะมีลักษณะอาการและระดับความรุนแรงของอาการเมื่อได้รับพิษที่แตกต่างกันดังนี้

ปรอท ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ สีทาบ้าน ใช้เป็นสารประกอบหลักของอะมัลกัมในการอุดฟัน เป็นต้น มนุษย์ได้รับพิษของปรอทได้จากสิ่งแวดล้อม และการปนเปื้อนในอาหาร ปรอทสามารถเข้าไปสะสมในปลาทะเล เช่น ปลาทูน่า ปลาฉลาม เป็นต้น เมื่อปรอทปนเปื้อนในแหล่งน้ำจืด การปนเปื้อนอาจจะมาจากแหล่งน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม หรือจากครัวเรือน น้ำเหล่านั้นก็จะไหลลงไปสู่ทะเล ทำให้สิ่งมีชีวิตในทะเลมีการสะสมของปรอท เมื่อมนุษย์จับปลาเหล่านั้นมาทานเป็นอาหาร สารพิษเหล่านั้นก็จะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร อาการเนื่องจากพิษของปรอทมีทั้งอาการแบบได้รับพิษแบบเฉียบพลัน มักเกิดจากการสูดดมไอของปรอท ทำให้เกิดอาการเหนื่อยหอบ แน่นหน้าอก หนาวสั่น อ่อนเพลีย การหลั่งน้ำลายเพิ่ม ปวดท้อง ท้องเสีย ลิ้นได้รับรสรโลหะ บางรายเกิดอาการปอดอักเสบ อาจมีอาการปวดศีรษะ และการมองเห็นผิดปกติ และเมื่อได้รับโดยการรับประทาน จะเกิดอาการปวดแสบปวดร้อนในช่องปาก คลื่นไส้ อาเจียนเป็นเลือด เนื้อเยื่อกระพุ้งแก้มกลายเป็นสีเทา บางครั้งอาจจะทำให้ไตวายได้ ส่วนอาการพิษแบบเรื้อรัง เนื่องจากการได้รับพิษเป็นเวลานานทำให้เกิดการสะสมของปรอทในร่างกาย โดยสามารถจำแนกได้ตามชนิดของปรอท และวิธีการได้รับปรอทเข้าสู่ร่างกาย ได้แก่ การสูดดม ทำให้มีอาการสั่น นอนไม่หลับ ความจำเสื่อม อารมณ์แปรปรวน หงุดหงิด เบื่ออาหาร และเหงื่ออึกอึกเสบ ทางการรับประทาน หากเป็นปรอทที่เป็นสารอนินทรีย์ เมื่อได้รับเข้าไปจะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน การมองเห็นผิดปกติ การได้ยินเสื่อม ขาดสมาธิ และเท้า อารมณ์เศร้าหมอง หลงลืม ซึม อาจเป็นอัมพาต และเสียชีวิตได้

ตะกั่ว ถูกนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ การบัดกรีในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ โรงพิมพ์ อู่ซ่อมรถ และเป็นสารเคลือบในเซรามิกที่มีคุณภาพต่ำ เป็นต้น การได้รับพิษจากตะกั่ว เนื่องจากการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ดิน หรืออากาศจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ทำให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนมีโอกาสที่จะได้รับพิษของตะกั่ว ในเด็กถ้าหากได้รับตะกั่วในปริมาณมากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลาหลายๆ จะทำให้มีพัฒนาการทางสมองที่ผิดปกติได้ โดยอาการพิษของตะกั่วแบบเฉียบพลันนั้น เกิดจากการได้รับสารตะกั่วปริมาณมากในระยะเวลานานสั้น ทำให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน มีอาการปวดท้องรุนแรงเป็นระยะๆ ปวดศีรษะ ภาวะวกระวาย ปวดตามข้อ และกล้ามเนื้ออ่อนเพลีย ชัก หมดสติ และอาจจะเสียชีวิตได้ในที่สุด และเมื่อได้รับปริมาณน้อยๆ ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดการสะสม และแสดงอาการเป็นพิษแบบเรื้อรัง มีผลกระทบต่อระบบการทำงานต่างๆ ของร่างกายดังนี้ ระบบประสาทส่วนกลางซึ่งได้แก่ สมอง และไขสันหลัง มีการทำงานผิดปกติ ส่งผลให้มีอาการเซื่องซึม งุนงง ปวดศีรษะ หงุดหงิด การเคลื่อนไหวช้า เสียการทรงตัว อาเจียน มีอาการความจำเสื่อม ชัก และหมดสติได้ในที่สุด ระบบกล้ามเนื้อ ทำให้แขนขาอ่อนแรง และถ้าหากได้รับในปริมาณมากจะทำให้ข้อมือตกรุนแรง ปวดชาตามกล้ามเนื้อ ระบบเลือด ทำให้เกิดอาการซีดและความดันโลหิตสูง ระบบทางเดินอาหาร ทำให้มีอาการเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องรุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นระยะๆ ท้องผูก พบเส้นสีน้ำตาลเงินปนเทาที่เหงือก ระบบการขับถ่ายปัสสาวะมีอาการผิดปกติ พบอาการไตอักเสบ และโรคเกาต์ได้

แคดเมียม ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ย การถลุงแร่ การผลิตสังกะสี การผลิตสารกึ่งตัวนำ โลหะผสม (อัลลอย) การหล่อพระ และกระบวนการผลิตพลาสติก เป็นต้น โดยอาการพิษของแคดเมียมแบบเฉียบพลันนั้น ส่วนใหญ่มักเกิดจากการสูดดมไอของแคดเมียมที่มีความเข้มข้นสูงเข้าสู่ร่างกายทันที ผลคือทำให้เกิดอาการไข้ไอโลหะ ซึ่งมักแสดงอาการในระยะเวลา 1-8 ชั่วโมง หลังจากการสัมผัส โดยจะแสดงลักษณะอาการคือ จมูก และคอแห้ง มีอาการไอ ปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ หงุดหงิดง่าย อ่อนเพลีย มีไข้หนาวสั่น แน่นหน้าอก หายใจไม่สะดวก มีอาการคลื่นไส้อาเจียน ในรายที่มีอาการรุนแรงอาจเกิดอาการปอดอักเสบ และปอดบวมน้ำท่วมด้วย แต่อย่างไรก็ตาม อาการเหล่านี้จะหายเองได้ใน 2-3 วัน และหากได้รับแคดเมียมไปจากการรับประทาน จะทำให้เกิดอาการเป็นพิษจนเสียชีวิตจากการสูญเสียน้ำ และเกลือแร่ เป็นผลให้เกิดภาวะไตวายได้ ส่วนอาการพิษแบบเรื้อรัง ทำให้เกิดอาการถุงลมโป่งพอง และพังผืดในปอด เนื้อเยื่อหอบง่าย หายใจไม่สะดวก อาจทำให้ปวดกระดูก ตัวอ้อ เดินลำบาก และกระดูกแตกหักได้ง่าย เนื่องจากกระดูกพรุน เกิดภาวะไตวาย นิ่วในทางเดินปัสสาวะ และมีอาการเลือดจาง เนื่องจากเม็ดเลือดแดงถูกทำลาย และขาดธาตุเหล็ก เป็นต้น เรียกอาการของโรคที่ได้รับพิษของแคดเมียมเป็นระยะเวลานานนี้ได้ว่า โรคอิไตอิไต

สารหนู ถูกนำมาใช้งานทั้งด้านอุตสาหกรรม และการเกษตร โดยทางด้านอุตสาหกรรมได้นำสารหนูมาใช้ในการผลิตโลหะผสม (อัลลอย) สารกึ่งตัวนำ การผลิตชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ เม็ดสี และสีย้อม ใช้ในการชุบโลหะ และการถลุงแร่ เป็นต้น ทางด้านการเกษตร สารหนูถูกนำมาใช้เป็นสารป้องกัน และกำจัดศัตรูพืช และสัตว์ ดังนั้นเกษตรกรที่ใช้สารหนูในการกำจัดแมลง และศัตรูพืชจึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับสารหนูเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งอาจจะเกิดจากการใช้น้ำที่มีสารหนูปนเปื้อนในการอุปโภค บริโภค อาการพิษของสารหนูมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบคือ พิษแบบเฉียบพลัน พิษแบบกึ่งเฉียบพลัน และพิษแบบเรื้อรัง โดยจะแสดงอาการดังนี้ พิษแบบเฉียบพลัน เกิดจากการได้รับสารหนูในปริมาณมากในคราวเดียว ทำให้มีอาการคลื่นไส้อาเจียน ปวดท้องรุนแรง ท้องเสีย และอาจจะมีอาการขาดน้ำ และสูญเสียเกลือแร่จนหมดสติได้ หรือบางรายอาจจะเสียชีวิตในที่สุด อีกทั้งอาจมีอาการความดันโลหิตต่ำ หัวใจเต้นผิดจังหวะ ปวดศีรษะ สับสน การเคลื่อนไหวช้าลงร่วมด้วย ในส่วนของอาการพิษแบบกึ่งเฉียบพลัน ทำให้ผู้ป่วยมีการเคลื่อนไหวช้าลง และมีผื่นทั่วตัวเนื่องจากเกิดการอักเสบของผิวหนัง และอาการพิษแบบเรื้อรังคือ ผิวหนังมีลักษณะกระดำกระด้างเป็นหย่อมๆ ทั่วตัว เกิดตุ่มแข็งที่ฝ่ามือ ฝ่าเท้า มีอาการชาปลายนิ้วมือ นิ้วเท้า กล้ามเนื้ออ่อนแรง เลือดจาง ตับโต หรือตัวแข็ง และเกิดมะเร็งผิวหนัง หรืออวัยวะภายในได้

โครเมียม ถูกนำมาใช้ในการผลิตโลหะผสม อุตสาหกรรม การเชื่อมโลหะผสมเหล็กกล้า อุตสาหกรรมยานยนต์ การชุบโลหะสังกะสี และสแตนเลส อุตสาหกรรมสิ่งทอ การฟอกหนัง การล้างฟิล์มถ่ายภาพ เป็นต้น โอกาสในการสัมผัสโครเมียมของประชาชนโดยทั่วไปมีน้อยมากเมื่อเทียบกับคนงาน อาการของพิษแบบเฉียบพลันเมื่อได้รับโครเมียมเข้าสู่ร่างกายจากการสูดดม ทำให้เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระคายเคืองทางเดินหายใจ ภายในจมูกมีรอยแผลเป็นหย่อมๆ หายใจติดขัด บางครั้งอาจทำให้เกิด หอบหืดทันที หรือมีภาวะปอดบวมได้ หากได้รับเข้าไปจากการรับประทาน ทำให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง เป็นอันตรายต่อกระเพาะอาหาร และลำไส้ ไตวาย และอาจเสียชีวิตได้ในที่สุด และเมื่อสัมผัสทางผิวหนัง จะทำให้เกิดแผลเปื่อย เกิดผื่นคันได้ ส่วนอาการของพิษเรื้อรังคือ ทำให้ผิวหนัง อักเสบ มีผื่นคัน เกิดแผลเปื่อยที่เยื่อจมูก ผื่นงันโพรงจมูกทะเล ไซ้ น้ำมูกไหล ไตวาย ในบางรายอาจ เป็นมะเร็งปอดได้

แมงกานีส ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมผลิตถ่านไฟฉาย อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ทาง อิเล็กทรอนิกส์ การผลิตน้ำมันชักเงา การผลิตเครื่องปั้นดินเผา และเซรามิก เป็นต้น แมงกานีสมักไม่ ค่อยพบการสัมผัสในประชาชนทั่วไป โดยพิษอาการของพิษเมื่อได้รับแมงกานีสจะแบ่งเป็นอาการพิษ แบบเฉียบพลัน และแบบเรื้อรัง ในส่วนของอาการพิษแบบเฉียบพลันนั้น เกิดจากการหายใจนำฝุ่น หรือไอของแมงกานีสเข้าไป ทำให้เกิดภาวะระคายเคืองของระบบทางเดินหายใจ ปวดศีรษะ รู้สึกรส โลหะในปาก แน่นหน้าอก หายใจลำบาก หลอดลมอักเสบ ปอดอักเสบ และความจุปอดลดลง หาก สัมผัสทางผิวหนัง ทำให้เกิดการอักเสบ และระคายเคือง ในอาการพิษแบบเรื้อรัง เกิดจากการสัมผัส เป็นระยะเวลานานตั้งแต่ 1 เดือนถึง 10 ปี ผลคือทำให้สมรรถภาพทางเพศเสื่อม ทำลายระบบ ประสาทส่วนกลาง โดยในระยะแรกจะมีอาการปวดศีรษะ อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร เฉื่อยชา ฉุนเฉียว มี อาการทางจิต ประสาทหลอน หากสัมผัสเป็นระยะเวลานานจะเป็นผลทำให้มีอาการกล้ามเนื้ออ่อน แรง มือสั่น เคลื่อนไหวช้า พูดไม่มีเสียงสูงเสียงต่ำ เกิดภาวะพาร์กินสันได้

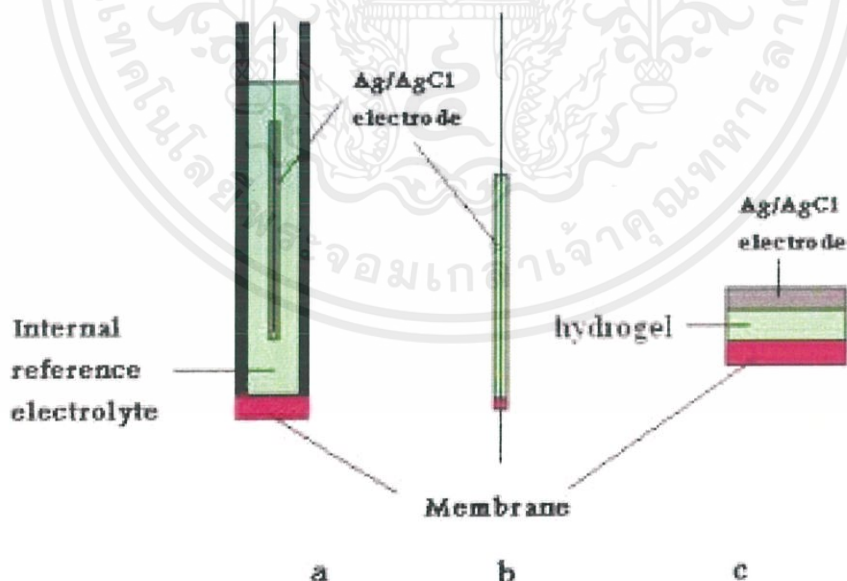
เงินเป็นหนึ่งในธาตุที่มีอยู่บนพื้นโลก แต่ในธรรมชาติมีปริมาณน้อยมาก มีลักษณะโดยทั่วไป คือเป็นผงสีขาว หากอยู่ในรูปสารประกอบซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) หรือ ซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) และจะมีลักษณะเป็นสารประกอบสีดำ หรือเทา หากอยู่ในรูปของสารประกอบซิลเวอร์ซัลไฟด์ (Ag_2S) และซิลเวอร์ออกไซด์ (Ag_2O) ซึ่งสารประกอบของโลหะเงินเหล่านี้ส่วนใหญ่จะปะปนอยู่ใน ธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นดิน หรือ แหล่งน้ำ โลหะเงินถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นเครื่องประดับ เครื่องเงิน เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ และนำไปใช้งานทางด้านทันตกรรม เป็น ต้น ในการใช้งานเหล่านี้อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะเงินในรูปของเสียสู่สิ่งแวดล้อม แต่ไอออน เหล่านี้ไม่สามารถสลายได้เองตามธรรมชาติ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของสารประกอบต่างๆ ตามสภาวะแวดล้อมเหล่านั้น ในชีวิตประจำวันของผู้คนส่วนใหญ่จะได้รับปริมาณไอออนของโลหะเงิน เข้าสู่ร่างกายในปริมาณไม่มาก ไม่ว่าจะเป็นทางการรับประทานอาหาร การดื่มน้ำ และการสูดดมทาง อากาศ แต่ถ้าหากได้รับเข้า ไอออนของโลหะเงินเหล่านี้ก็จะไปรวมตัวกันเป็นสารประกอบในร่างกาย ของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้น ซึ่งจะเป็นผลต่อการทำงานของเซลล์ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้น หากสัมผัส กับโลหะเงิน จะทำให้เกิดอาการบวมแดง เป็นเป็นผื่นคัน หรือมีลักษณะของผิวหนังไหม้ได้ หรือถ้า รับเข้าไปในปริมาณมากๆ จะเป็นผลทำให้เกิดโรค Argyria ได้ซึ่งลักษณะของโรคคือเนื้อเยื่อหรือ ผิวหนังจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า เนื่องจากโลหะเงินสะสมอยู่ที่ผิวหนัง และไม่สามารถขับออกมาได้ และถ้า หากรับเข้าทางหายใจ จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ ปอดอักเสบ และถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากับประทานเข้าไปจะทำให้มีอาการปวดท้องได้ ซึ่งปริมาณการปนเปื้อนของโลหะเงินได้ถูกกำหนดไว้คือ ในอากาศไม่ควรเกิน 0.000001 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (mg/cm^3) ในน้ำไม่ควรเกิน 0.2-2.0 ppb (parts per billion) และในดินมีปริมาณไม่ควรเกิน 0.20-0.30 ppm (parts per million)

2.2 ขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน (Ion-Selective Electrode, ISE) [4]

ขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแบบเมมเบรนโดยใช้หลักการทํางานโพเทนชิโอเมทรี โดยกลไกการตอบสนองของอุปกรณ์นี้ขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะเป็นศูนย์ต่อเมื่อระบบไม่สามารถตรวจวัดสารที่มาวิเคราะห์ได้ ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านเมมเบรน แต่เมื่อมีไอออนที่ต้องการจะวัดไหลผ่านเมมเบรนที่ประกอบกับขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนแล้ว ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างทั้ง 2 ข้างของเมมเบรน เป็นผลให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตามสมการของเนิร์นสต์ (Nernst equation) โดยสามารถนำค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้มาคำนวณกลับเป็นความเข้มข้นของไอออนได้ โดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน ส่วนประกอบของระบบการทํางานในการตรวจวัดวิเคราะห์ปริมาณไอออนในสารละลายตัวอย่างคือ ขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน (ISE), ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode) และเมมเบรน (membrane) ที่เหมาะสมตามชนิดของไอออนที่ต้องการตรวจวัด ดังแสดงในภาพที่ 2.1

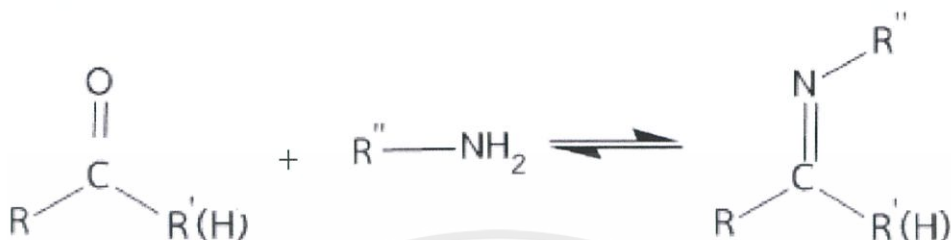


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน; a) conventional ISE with an internal reference electrode and internal filling solution, (b) coated wire or graphite coated ISE, c) ISE with a hydrogel contact. (ที่มา : Sensors, 8(4), 2331-2412 (2008))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

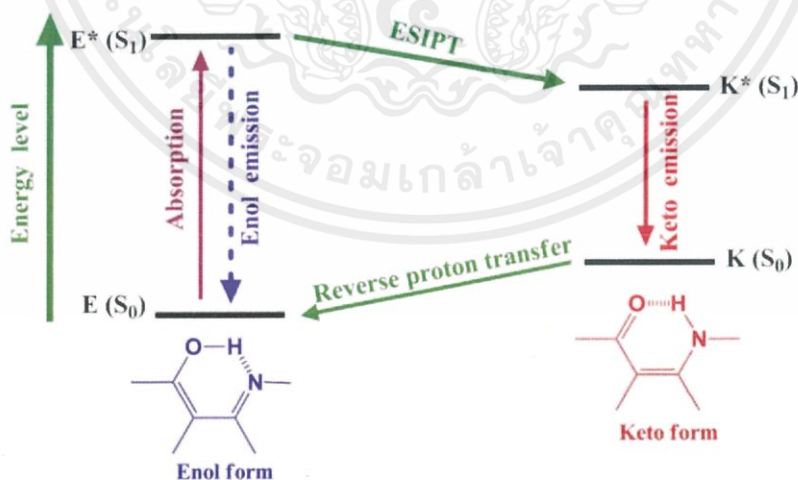
2.3 ชิฟเบส (Schiff base) [4, 5]

ชิฟเบสเป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มอิมีน (Imines, $RCH=NR'$) เป็นสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาการควบแน่นของเอมีน (Amines, $R-NH_2$) กับ อัลดีไฮด์ (Aldehydes, $RCHO$) หรือ คีโตน (Ketone, $RCOR'$) ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แผนผังแสดงปฏิกิริยาชิฟเบส (Schiff base reaction)

หลักการการทำงานที่เป็นคุณสมบัติเด่นของชิฟเบสคือ Excited State intramolecular proton transfer (ESIPT) โปรตอนภายในโครงสร้างโมเลกุลสามารถเกิดการแลกเปลี่ยน หรือเคลื่อนย้ายได้ ก็ต่อเมื่อเมื่อมีไอออน หรือโมเลกุลที่เหมาะสม เข้ามาจับกับโครงสร้างโมเลกุลของชิฟเบส ผลจากการแลกเปลี่ยน หรือเคลื่อนย้ายของโปรตอนนี้ ทำให้โครงสร้างของชิฟเบสเปลี่ยนไป และด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระดับพลังงานภายในโมเลกุลเปลี่ยนไปด้วย ทำให้เมื่อมีโมเลกุล หรืออนุภาคอื่น เข้ามาจับกับโครงสร้างชิฟเบส เป็นผลให้คุณสมบัติของสีที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเนื่องจากระดับพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปนั่นเอง ดังแสดงในภาพที่ 2.3



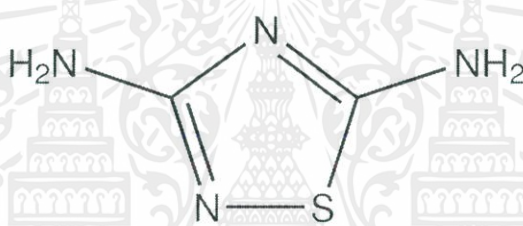
ภาพที่ 2.3 Excited State Intramolecular Proton Transfer (ESIPT) (ที่มา : Analyst, 139, 643-648(2014))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

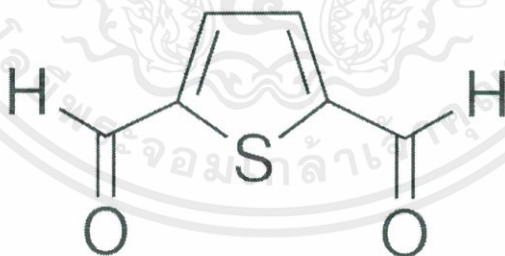
จากคุณสมบัติข้างต้นทำให้ซิฟเบสสามารถเป็นสารไอโอโนฟอร์ได้ ซิฟเบสสามารถถูก ออกแบบ และสังเคราะห์ให้มีความจำเพาะเจาะจงกับไอออน หรือโมเลกุลที่เราต้องการตรวจวัดได้ จึง มีการประยุกต์ใช้ซิฟเบสมาเป็นแมมเบรนในขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน ทั้งแคตไอออน (cation) หรือ แอนไอออน (anion) และสามารถสังเคราะห์โครงสร้างได้หลากหลายทั้งรูปวงแหวน ทรงกระบอก หรือสายโซ่ยาว เป็นต้น ทำให้ซิฟเบสสามารถนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดโมเลกุลทางไฟฟ้า ได้ดี เนื่องจากสามารถออกแบบให้จำเพาะเจาะจงกับโมเลกุล หรือไอออนที่ต้องการตรวจวัด

2.4 สารและคุณสมบัติของสาร [6,7]

ซิฟเบสสังเคราะห์เกิดจากการสังเคราะห์ระหว่าง 2,5-Thiophenedicarboxaldehyde ซึ่งเป็น อนุพันธ์หมู่แอลดีไฮด์ และ 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine ซึ่งเป็นอนุพันธ์ในหมู่เอมีน ใช้ กระบวนการรีฟลักซ์แบบควบแน่นในการสังเคราะห์ โดยมีเอทานอลเป็นตัวทำละลาย



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของ 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของ 2,5-Thiophenedicarboxaldehyde

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สมบัติของ 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine และสมบัติของ 2,5-Thiophenedicarboxaldehyde

ชื่อทางเคมี	1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine	2,5-Thiophenedicarboxaldehyde
สูตรโมเลกุล	$C_{11}H_{17}N_3$	$C_6H_4O_2S$
น้ำหนักโมเลกุล	191.27 กรัมต่อโมล	140.16 กรัมต่อโมล
สถานะ	ของแข็ง เป็นผงสีขาว	ของแข็ง เป็นผงสีเหลือง

ตารางที่ 2.3 โลหะหนักที่ใช้ในงานวิจัย

กลุ่มของสารประกอบ	สูตรโมเลกุล	ชื่อเรียก
Acetate	$C_4H_6CdO_4$	Cadmium acetate
	$C_4H_6FeO_4$	Iron (II) acetate
	$C_4H_6HgO_4$	Mercury (II) acetate
	$C_4H_6MnO_4$	Manganese (II) acetate
	$C_4H_6PbO_4$	Lead (II) acetate
	Nitrate	$AgNO_3$
$Al(NO_3)_3$		Aluminium (III) nitrate
$Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$		Cobalt (II) nitrate hexahydrate
$Fe(NO_3)_3$		Iron (III) nitrate
$Ni(NO_3)_2$		Nickel (II) nitrate
Oxide		CrO_3
	Fe_2O_3	Iron (III) oxide
Sulfate	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Iron (II) sulfate heptahydrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 สมบัติของโลหะที่ใช้ในงานวิจัย [8-20]

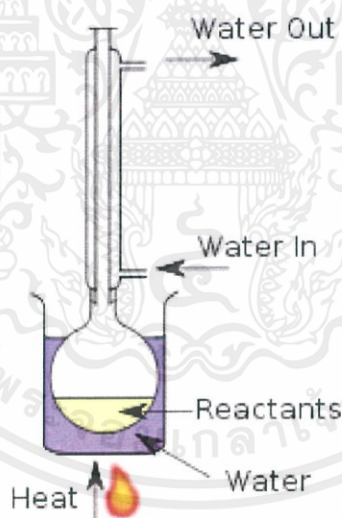
ชื่อทางเคมี	Cadmium acetate	Iron (II) acetate	Mercury (II) acetate	Manganese (II) acetate	Lead (II) acetate	Silver (I) nitrate	Aluminium (III) nitrate
ชื่อพ้องอื่นๆ							
สูตรโมเลกุล	Cadmium diacetate $C_4H_6CdO_4$	Ferrous acetate $C_4H_6FeO_4$	Mercuric acetate $C_4H_6HgO_4$	Manganese diacetate $C_4H_6MnO_4$	Salt of Saturn $C_4H_6PbO_4$	Silver (I) salt $AgNO_3$	Aluminium salt $Al(NO_3)_3$
น้ำหนักโมเลกุล	230.50 กรัม/โมล	175.93 กรัม/โมล		175.03 กรัม/โมล	325.29 กรัม/โมล	169.87 กรัม/โมล	213 กรัม/โมล
สถานะ	ของแข็ง ผลึกสีขาว	ของแข็ง ผลึกสีขาว	ของแข็ง ผลึกสีขาวหรือของแข็ง ผลึกสีม่วงเหลือง	ของแข็ง ผลึกสีขาวอมชมพู	ของแข็ง ผลึกสีขาว	ของแข็ง ผลึกสีขาว	ของแข็ง ผลึกสีขาว
จุดหลอมเหลว	255 °C	190-200 °C	179 °C	210 °C	280 °C	209.7 °C	66 °C
คุณสมบัติการละลาย	ละลายในน้ำ, เอทานอล, เมทานอล	ละลายในน้ำ	ละลายในน้ำ, แอลกอฮอล์, ไดเอทิลอีเทอร์	ละลายในน้ำ, เอทานอล, กรดอะซิติก	ละลายในน้ำ, เมทานอล, กัลซีเซอรอล	ละลายในน้ำ, อะซิโตน, แอมโมเนีย, เอทิลอีเทอร์, กัลซีเซอรอล	ละลายในน้ำ, เมทานอล, เอทานอล, เอทิลีนไกลคอล
ชื่อทางเคมี	Cobalt (II) nitrate hexahydrate	Iron (II) nitrate	Nickel (II) nitrate	Chromium trioxide	Iron (III) oxide	Iron (II) sulfate heptahydrate	
ชื่อพ้องอื่นๆ							
สูตรโมเลกุล	Cobalt (II) salt $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	Ferric nitrate $Fe(NO_3)_3$	Nickel (II) salt $Ni(NO_3)_2$	Chromic acid CrO_3	Ferric oxide Fe_2O_3	Ferrous sulfate $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	
น้ำหนักโมเลกุล	291.03 กรัม/โมล	241.86 กรัม/โมล	182.70 กรัม/โมล	99.99 กรัม/โมล	159.69 กรัม/โมล	278.02 กรัม/โมล	
สถานะ	ของแข็ง ผลึกสีแดงอ่อน	ของแข็ง ผลึกสีม่วงอ่อน	ของแข็ง ผลึกสีเขียว	ของแข็ง ผลึกสีแดงเลือดนก	ของแข็ง ผลึกสีน้ำตาลแดง	ของแข็ง ผลึกสีเขียวอมฟ้า	
จุดหลอมเหลว	100 °C	125 °C	56.7 °C	197 °C	1,539-1,565 °C	60-64 °C	
คุณสมบัติการละลาย	ละลายในน้ำ, เอทานอล, อะซิโตน, แอมโมเนีย	ละลายในน้ำ, แอลกอฮอล์, อะซิโตน	ละลายในน้ำ, เอทานอล	ละลายในน้ำ, กรดซัลฟูริก, กรดไนตริก, กรดอะซิติก, อะซิโตน, ไดเอทิลอีเทอร์	ละลายในกรด	ละลายในน้ำ, เอทิลีนไกลคอล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กระบวนการและเครื่องมือการสังเคราะห์สาร

2.5.1 กระบวนการรีฟลักซ์ (Reflux) [21]

กระบวนการรีฟลักซ์ เป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ เป็นการทำให้สารละลายที่อยู่ภายในขวดก้นกลม (round bottom flask) หรือขวดปริมาตรทรงกรวย (conical vial) กลายเป็นไอจากการให้ความร้อน จากนั้นไอของสารละลายเกิดการระเหยไปยังคอลัมน์แก้ว (glass column) ที่ภายในมีน้ำหล่อเย็นไหลเวียนตลอดเวลา เป็นผลทำให้ไอของสารละลายเกิดการควบแน่น และย้อนกลับตกลงมาในขวดของสารละลายที่กำลังให้ความร้อน และเกิดการระเหยอยู่แสดงดังภาพที่ 2.6 โดยส่วนใหญ่การรีฟลักซ์จะใช้ในกระบวนการทางปฏิกิริยาเคมีที่ต้องใช้ความร้อนเป็นเวลานาน โดยสารตั้งต้นต้องอยู่ในรูปของสารละลาย ปฏิกิริยาจะสามารถสิ้นสุดลงได้เมื่อสารตั้งต้นทำปฏิกิริยาจนมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น แต่ถ้ายังไม่มีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นต้องทำปฏิกิริยาต่อไปเรื่อยๆ และเนื่องจากกระบวนการรีฟลักซ์สารละลายบรรจุอยู่ในขวดก้นกลม หรือขวดปริมาตรทรงกรวย ทำให้ง่ายต่อการสังเกตการเดือดของสารละลายที่อยู่ในภาชนะ และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่ายจากการดูจุดเดือดของตัวทำละลายในการทำปฏิกิริยา



ภาพที่ 2.6 กระบวนการรีฟลักซ์ (ที่มา : <http://en.wikipedia.org/wiki/Reflux>)

2.5.2 กระบวนการระเหย (Evaporation) [22]

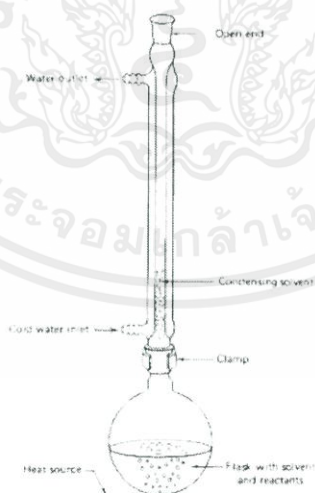
กระบวนการระเหย คือกระบวนการที่ทำให้สารละลาย หรือของเหลวกลายเป็นไออย่างช้าๆ ด้วความร้อน โดยกลไกการระเหยจะเกิดเฉพาะผิวหน้าของของเหลวเท่านั้น ในการระเหยสาร ต้องศึกษาคุณสมบัติของสารที่ทำการระเหย เช่น จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของสารละลายด้วย จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีจลน์สามารถอธิบายการระเหยได้โดย ในสภาวะปกติแล้วโมเลกุลของของเหลวจะเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา และเกิดการชนกันเองระหว่างโมเลกุล ในการชนกันของโมเลกุลของเหลวจะมีการถ่ายเทพลังงานให้แก่กัน ในภายหลังการชน บางโมเลกุลบางโมเลกุลจะมีพลังงานจลน์ที่เพิ่มขึ้น อยู่ที่ผิวหน้าของของเหลว หรือสามารถเคลื่อนมาyingผิวหน้าของของเหลวได้ หากค่าพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าพลังงานมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล โมเลกุลของเหลวนั้นก็จะหลุดออกจากผิวหน้าของโมเลกุลของเหลวกลายเป็นไอ ทำให้เกิดการระเหยขึ้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อการระเหยของสารนั้นได้แก่ อุณหภูมิ, ชนิดของของเหลว, พื้นที่ผิวของของเหลว, ความดันบรรยากาศ, และหากการคนหรือกวนจะทำให้เกิดการระเหยได้เร็วขึ้น

2.5.3 เครื่องควบแน่นชนิดรีฟลักซ์ (Reflux condenser) [23]

เครื่องควบแน่นชนิดรีฟลักซ์ ใช้ในการสังเคราะห์สารโดยใช้กระบวนการควบแน่น โดยระบบจะประกอบด้วย ระบบให้ความร้อน ระบบควบแน่น และระบบน้ำหล่อเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิ การทำงานคือ ผสมสารที่ต้องการสังเคราะห์ลงในตัวทำละลาย แล้วใส่ลงในขวดก้นกลมที่ต่อกับเครื่องควบแน่น (condenser) โดยมีน้ำหล่อเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้เกิดการควบแน่น การทำงานคือ ให้ความร้อนแก่ระบบ โดยอุณหภูมิของความร้อนที่ให้จะขึ้นอยู่กับตัวทำละลายในระบบ เมื่อสารละลายระเหยกลายเป็นไอ ไอของสารละลายจะเข้าสู่เครื่องควบแน่นซึ่งมีน้ำหล่อเย็นไหลเวียนอยู่ ทำให้ไอของสารละลายควบแน่นมาyingขวดอีกครั้ง ปฏิกิริยาจะสิ้นสุดลงเมื่อเกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือสารตั้งต้นตัวใดตัวหนึ่งอาจจะหมด



ภาพที่ 2.7 เครื่องควบแน่นชนิดรีฟลักซ์ (ที่มา : <http://what-when-how.com/organic-chemistry-laboratory-survival-manual/reflux-laboratory-manual/>)

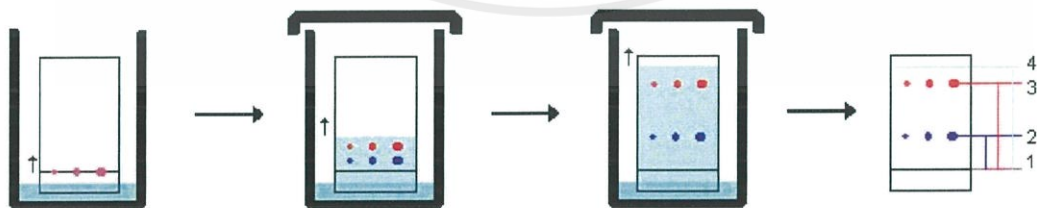
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary Evaporator) [24]

เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการระเหยสารตัวอย่างที่เป็นของเหลว โดยทำการแยกตัวทำละลายที่ผสมอยู่ออกจากสารที่ต้องการศึกษา โดยอาศัยการทำงานของระบบ 3 ระบบด้วยกัน คือ ระบบให้ความร้อน และกลั่นแยก, ระบบปั๊มสุญญากาศ และระบบควบคุมอุณหภูมิ หลักการทำงานคือ ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างเพื่อให้กลายเป็นไอ หลังจากนั้นไอของสารละลายจะเคลื่อนที่ผ่านเครื่องกลั่นแยกสารที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิโดยการหล่อเย็นให้สารควบแน่นเป็นของเหลวไหลลงสู่ขวดแก้วที่รองรับสาร (receiving flask) โดยการทำงานทั้งหมดนี้ต้องอยู่ในสภาวะสุญญากาศ

2.5.5 ทินแลร์โครมาโตกราฟี (Thin Layer Chromatography, TLC) [25, 26]

ทินแลร์โครมาโตกราฟี (TLC) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของสาร และหาองค์ประกอบของสารในสารผสม นิยมใช้ในการตรวจการดำเนินการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเคมี ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารระหว่างกระบวนการแยกสาร และยังสามารถใช้ยืนยันชนิดของสารได้อีกด้วย โดยในการแยกสารอาศัยการทำงานคือ สารต่างชนิดกันจะกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคนิ่ง (stationary phase) หรือตัวดูดซับ และวัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase) หรือตัวทำละลายได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นสารต่างชนิดกันจึงเดินทางผ่านวัฏภาคนิ่งออกมาที่วัฏภาคเคลื่อนที่ได้ใหม่พร้อมกันจึงเกิดการแยกชั้น ซึ่งในส่วนของ TLC นั้นวัฏภาคนิ่งจะถูกเคลือบติดไว้ที่แผ่นกระดาษ แผ่นอลูมิเนียม หรือแผ่นพลาสติกบางๆ ทำการแต้มสารที่ต้องการจะแยกด้วยหลอดแคปิลลารีไว้ที่ใกล้ๆ ปลายด้านหนึ่งของแผ่น จากนั้นนำแผ่นดังกล่าวไปวางไว้ในภาชนะใส่วัฏภาคเคลื่อนที่ไว้ตื้นๆ เมื่อตัวทำละลายถูกดูดซึมขึ้นไปตามตัวดูดซับด้วย capillary action ก็จะทำให้สารตัวอย่างขึ้นไปด้วย จึงเกิดการแยกของสารเกิดขึ้น TLC มีข้อดีคือใช้ระยะเวลาในการแยกสารที่รวดเร็ว สะดวก และราคาไม่แพง อีกทั้งยังใช้ปริมาณสารน้อยมากในการแยกอีกด้วย เทคนิค TLC เหมาะสมกับการเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ แต่ไม่เหมาะที่จะเป็นเครื่องมือในการแยกสารเพื่อเก็บแต่ละองค์ประกอบ



ภาพที่ 2.8 เทคนิคทินแลร์โครมาโตกราฟี (ที่มา : <http://www.bio-rad.com/en-th/applications-technologies/introduction-chromatography>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 หลักการวิเคราะห์คุณสมบัติของสาร

2.6.1 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี (Nuclear magnetic resonance spectroscopy, NMR) [27]

นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี หรือ เอ็นเอ็มอาร์ (NMR) เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นวิทยุ ซึ่งเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสปิน ซึ่งจะเป็ นสมบัติเฉพาะของนิวเคลียสแต่ละชนิด โดยนิวเคลียสที่สามารถแสดงคุณสมบัตินี้ได้นั้น ต้องเป็นนิวเคลียสที่มีค่าสปิน (spin quantum number, I) มากกว่าศูนย์ ค่าของสปินนี้จะขึ้นกับเลขอะตอม (atomic number) และเลขมวล (mass number) อะตอมที่มีทั้งเลขอะตอม และเลขมวลเป็นเลขคู่ จะทำให้ค่าสปินเป็นศูนย์ ($I=0$) จะไม่เกิดปรากฏการณ์ NMR ตัวอย่างเช่น ^{12}C , ^{32}S เป็นต้น ส่วนอะตอมที่มีเลขอะตอม และ/หรือเลขมวลเป็นเลขคี่ จะทำให้ค่าสปินมากกว่าศูนย์ ($I>0$) จะสามารถเกิดปรากฏการณ์ NMR ได้ ตัวอย่างเช่น ^1H , ^2H , ^{13}C , ^{14}N , ^{17}O , ^{19}F และ ^{31}P เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.5 โดยสัญญาณที่ได้สามารถบอกสภาพแวดล้อมของนิวเคลียสเหล่านั้นในโมเลกุลได้ อีกทั้งยังสามารถบอกจำนวนนิวเคลียสที่สัมพันธ์กันแต่ละตำแหน่งได้อีกด้วย

ตารางที่ 2.5 ค่าสปินของนิวเคลียสแต่ละชนิด

Isotope	Spin (I)
^1H	$1/2$
^2H	1
^{11}B	$3/2$
^{13}C	$1/2$
^{17}O	$5/2$
^{19}F	$1/2$
^{29}Si	$1/2$
^{31}P	$1/2$

ที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-11.pdf>

หลักการของ NMR นั้นคือ ปกตินิวเคลียสของธาตุนั้นมีประจุ และประจุของนิวเคลียสของธาตุนั้นสามารถหมุนรอบตัวเองได้ เรียกการหมุนรอบตัวเองได้นี้ว่า “สปิน” จากการสปินนี้เองทำให้เกิดเป็นขั้วแม่เหล็ก (magnetic dipole) ไปตามแนวแกนของนิวเคลียส และเกิดโมเมนต์แม่เหล็ก (magnetic moment, μ) บริเวณแกนของการหมุน โดยในปกติแล้วเมื่อโปรตอนอยู่ในสนามแม่เหล็กภายนอก (external หรือ applied magnetic field, B_0) สนามแม่เหล็กภายนอกจะมีอิทธิพลต่อการวางตัวของโปรตอน คือ โปรตอนสามารถวางตัวได้เป็นสองแบบ แบบแรกคือ สปินไปในทิศเดียวกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กภายนอก และ แบบที่สองคือ สปินไปในทิศตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กภายนอก ในการวางตัวของทั้งสองแบบนี้จะใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งการวางตัวในทิศตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กภายนอกจะใช้ค่าพลังงานที่สูงกว่า ในส่วนของปรากฏการณ์ NMR นั้นเกิดขึ้นเมื่อโปรตอนที่มีการสปินไปในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กภายนอกถูกเหนี่ยวนำให้ดูดกลืนพลังงานและเปลี่ยนทิศสปินไปในทิศตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กภายนอก ในที่นี้จะยกตัวอย่างการเกิดปรากฏการณ์ NMR ของ ^1H ที่ใช้ในงานวิจัยชั้นนี้ ^1H มีเลขสปินเป็น $1/2$ และมีค่าเป็นไปได้ 2 ค่าจากสมการที่ (2.1) คือ $+1/2$ และ $-1/2$

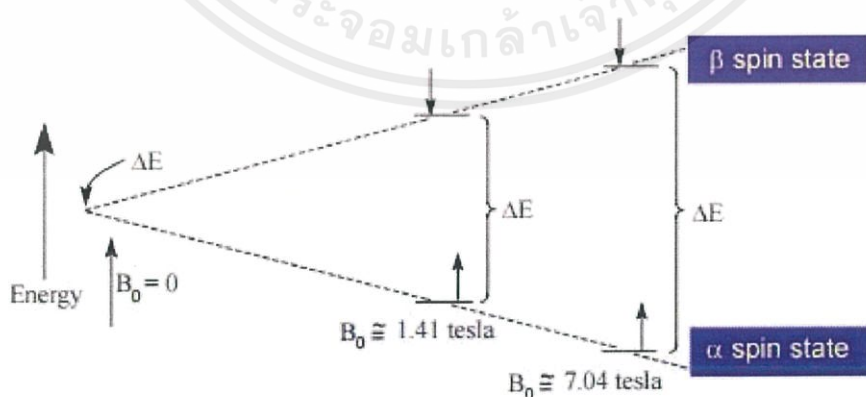
$$\text{จำนวนสภาวะสปิน} = 2I + 1 \quad (2.1)$$

เมื่อยังไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอกสปินจะวางตัวในทิศทางแบบสุ่มทุกทิศทาง แต่เมื่อให้สนามแม่เหล็กภายนอกเข้าไป สปินจะมีการจัดเรียงตัวใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 2.9 นิวเคลียสที่มีสปิน $+1/2$ จะวางตัวไปในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กภายนอก ซึ่งจะให้ค่าพลังงานที่ต่ำกว่า เรียกว่า α หรือสภาวะพื้น และนิวเคลียสที่มีสปิน $-1/2$ จะวางตัวในทิศตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กภายนอก จะมีค่าพลังงานที่สูงกว่า เรียกว่า β หรือสภาวะเร้า ค่าความแตกต่างของพลังงานทั้ง 2 สภาวะหาได้จากสมการที่ (2.2)

$$\Delta E = \gamma \left(\frac{h}{2\pi} \right) B_0 = h\nu \quad (2.2)$$

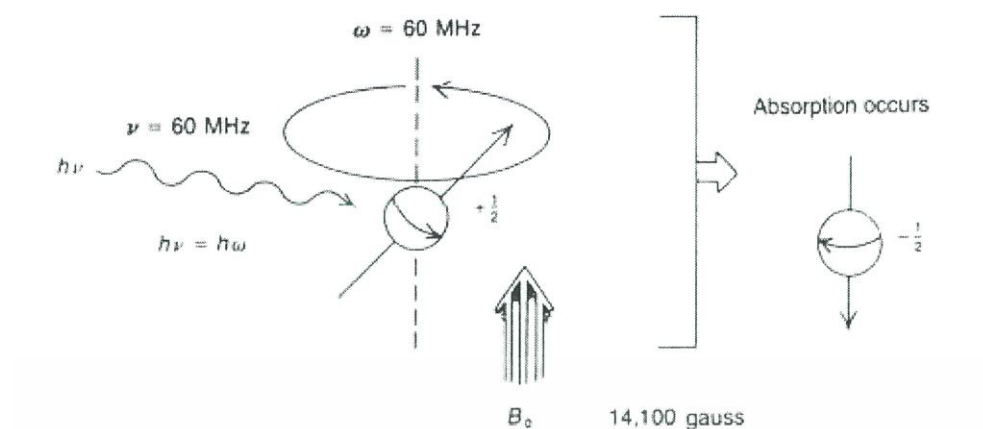
ความถี่ของพลังงานที่ถูกดูดกลืนเพื่อเปลี่ยนจากสภาวะพื้นไปสู่สภาวะเร้า แสดงดังสมการที่ (2.3)

$$\nu = \left(\frac{\gamma}{2\pi} \right) B_0 \quad (2.3)$$



ภาพที่ 2.9 การจัดวางตัวของสปินของ ^1H เมื่อได้รับสนามแม่เหล็กภายนอก (ที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-11.pdf>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 การเกิดปรากฏการณ์ NMR (ที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-11.pdf>)

เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กภายนอก โปรตอนจะสปินด้วยความถี่เชิงมุม (angular frequency, ω) ความถี่ที่โปรตอนสปินจะแปรผันตรงกับความเร็วของสนามแม่เหล็ก คือ ถ้าความเร็วของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ความถี่ของการหมุน (precession) ก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยในสนามแม่เหล็กที่มีความเข้ม 1.41 เทสลา (14.100 เกาส์) ความถี่ของการหมุนจะมีค่าประมาณ 60 ไมโครเฮิร์ตซ์

ข้อมูลที่ได้จาก $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม จะมีอยู่ด้วยกัน 4 ประเภท คือ

1. Chemical shift (δ , ppm) บอกตำแหน่งสัญญาณของโปรตอนที่วัดห่างจากตำแหน่งสัญญาณของ TMS (tetramethylsilane) TMS เป็นสารอ้างอิงที่กำหนดให้มีค่า $\delta = 0$ ช่วง chemical shifts ของโปรตอนในสารประกอบอินทรีย์ทั่วไปมีค่าระหว่าง δ 0-10 การที่โปรตอนเกิดเรโซแนนซ์ที่ตำแหน่งต่างกันเนื่องจากโปรตอนอยู่ในสภาวะแวดล้อมทางเคมีที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 Chemical Shift สำหรับโปรตอนประเภทต่างๆ

สารประกอบ	ประเภทของโปรตอน	δ (ppm)
Primary aliphatic	$\text{R} - \text{CH}_2$	0.8 - 1.0
Secondary aliphatic'	$\text{R} - \text{CH}_2 - \text{R}$	1.2 - 1.5
Tertiary aliphatic	$\text{R}_3\text{C} - \text{H}$	1.4 - 1.7
Vinylic	$\text{C} = \text{C} - \text{H}$	4.6 - 5.9
Allylic	$\text{C} = \text{C} - \text{CH}_2$	1.6 - 1.9
Aliphatic acetylenic	$\text{R} - \text{C} \equiv \text{C} - \text{H}$	2.3 - 2.5
Aromatic acetylenic	$\text{Ar} - \text{C} \equiv \text{C} - \text{H}$	2.8 - 3.1
Aromatic	$\text{Ar} - \text{H}$	6.0 - 8.5
Primary benzylic	$\text{Ar} - \text{CH}_2$	2.2 - 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 Chemical Shift สำหรับโปรตอนประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารประกอบ	ประเภทของโปรตอน	δ (ppm)
Secondary benzylic	Ar - CH ₂ - R	2.5 - 2.9
Tertiary benzylic	Ar - CHR ₂	2.8 - 3.2
Alcohols	HO - CH ₂ - CH	1.2 - 1.6
Phenol	Ar - OH	4.0 - 12
Aliphatic amines	R - NH ₂	0.6 - 2.5
Aliphatic amines	R' ₂ N - CH ₂	2.2 - 2.6
Aliphatic amines	R' ₂ N - CH ₂ CH ₃	2.5 - 2.8
Aliphatic amines	R' ₂ N - CH ₂ CH ₃	1.0 - 1.3
Aromatic amines	Ar - NH ₂	3.0 - 4.5
Aromatic amines	Ar - NH - CH ₃	2.8 - 3.1
Aromatic amines	Ar - NH - CH ₂ CH ₃	3.0 - 3.3
Aliphatic ethers	R'O - CH ₃	3.2 - 3.5
Aliphatic ethers	R' ₂ O - CH ₂ - R	3.4 - 3.8
Aliphatic ethers	R' ₂ O - CH ₂ CH ₂ CH ₃	0.9 - 1.0
Aromatic ethers	ArO - CH ₃	3.7 - 4.0
Aromatic ethers	ArO - CH ₂ - R	3.9 - 4.3
Aliphatic ketones	R' - (C = O) - CH ₃	2.1 - 2.4
Aliphatic ketones	R' - (C = O) - CH ₂ - R	2.3 - 2.7
Aliphatic ketones	R' - (C = O) - CH ₂ - CH ₂ - R	1.1 - 1.4
Aromatic ketones	Ar - (C = O) - CH ₃	2.4 - 2.6
Aromatic Ketones	Ar - (C = O) - CH ₂ - R	2.5 - 2.8
Aliphatic aldehydes	R' - (C = O) - H	9.4 - 9.9
Aliphatic aldehydes	H - (C = O) - CH ₂ - R	2.1 - 2.4
Aliphatic aldehydes	H - (C = O) - CH ₂ CH ₂ - R	1.1 - 1.4
Aromatic aldehydes	Ar - (C = O) - H	9.7 - 10.3
Aliphatic esters	R'O - (C = O) - CH ₃	1.9 - 2.2
Aliphatic esters	R'O - (C = O) - CH ₂ CH ₃	2.1 - 2.4
Aliphatic esters	R'O - (C = O) - CH ₂ CH ₂ - R	1.2 - 1.4
Aliphatic esters	R' - (C = O) - O - CH ₃	3.6 - 4.0
Aliphatic esters	R' - (C = O) - O - CH ₂ CH ₃	3.7 - 4.1
Aliphatic esters	R'O - (C = O) - H	8.0 - 8.2
Aromatic esters	ArO - (C = O) - CH ₃	2.0 - 2.5
Aromatic esters	Ar - (C = O) - O - CH ₃	4.0 - 4.2
Aromatic esters	Ar - (C = O) - O - CH ₂ CH ₃	4.2 - 4.5
Aliphatic carboxylic acids	R - (C = O) - O - H	10.4 - 12
Aliphatic carboxylic acids	R - CH ₂ - (C = O) - O - H	2.2 - 2.4
Aliphatic carboxylic acids	R - CH ₂ CH ₂ - (C = O) - O - H	1.0 - 1.4
Aromatic carboxylic acids	Ar - (C = O) - O - H	10.4 - 12
Aliphatic amides	R - (C = O) - NH ₂	5.5 - 7.5
Aliphatic amides	R ₂ N - (C = O) - NH - CH ₃	1.8 - 2.2
Aliphatic amides	R' - (C = O) - NH - CH ₃	2.8 - 3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 Chemical Shift สำหรับโปรตอนประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารประกอบ	ประเภทของโปรตอน	δ (ppm)
Alkyl chlorides	$R - CH_2 - Cl$	3.5 - 3.7
Alkyl chlorides	$R - CH_2CH_2 - Cl$	1.6 - 1.8
Chloroform	$CHCl_3$	7.27
Alkyl bromides	$R - CH_2 - Br$	3.2 - 3.4
Alkyl bromides	$R - CH_2CH_2 - Br$	1.6 - 1.8
Alkyl bromides	$R - CH_2CH_2CH_2 - Br$	1.2 - 1.3
Alkyl iodides	$R - CH_2 - I$	3.0 - 3.3
Alkyl iodides	$R - CH_2CH_2 - I$	1.7 - 1.9
Alkyl iodides	$R - CH_2 - F$	4.2 - 4.5
Alkyl bromides	$R - CH_2CH_2 - F$	1.4 - 1.6
Enols	$C = C - OH$	15 - 17
Aliphatic thiols	$R - SH$	1.0 - 2.0
Aromatic thiols	$Ar - SH$	3.0 - 4.0
Nitriles	$R - CH_2 - CN$	2.0 - 2.3
Nitro compounds	$R - CH_2 - NO_2$	4.2 - 4.6
Alkyl iodides	$R - CH_2 - F$	4.2 - 4.5
Alkyl bromides	$R - CH_2CH_2 - F$	1.4 - 1.6
Enols	$C = C - OH$	15 - 17
Aliphatic thiols	$R - SH$	1.0 - 2.0
Aromatic thiols	$Ar - SH$	3.0 - 4.0
Nitriles	$R - CH_2 - CN$	2.0 - 2.3
Nitro compounds	$R - CH_2 - NO_2$	4.2 - 4.6

ที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-11.pdf>

2. Intergration สัญญาณซึ่งประกอบด้วยพีค (1 พีค 2 พีค 3 พีค...) NMR สเปกโตรมิเตอร์ที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถอินทิเกรต (Integrate) พื้นที่ใต้พีคเหล่านี้ออกมาเป็นเส้นที่มีความสูงที่สามารถวัดได้เท่ากับที่แต่ละสัญญาณ สัญญาณที่มีความเข้มสูง (มีจำนวนโปรตอนมาก) จะมีเส้นอินทิเกรตที่มีความสูงมาก ดังนั้น เราจึงสามารถวัดความสูงของเส้นอินทิเกรตของแต่ละสัญญาณ และนำมาเทียบเป็นอัตราส่วน ถ้าทราบจำนวนโปรตอนทั้งหมด (จากสูตรโมเลกุล) ก็สามารถหาจำนวนโปรตอนของแต่ละสัญญาณได้ ข้อมูลนี้จึงมีประโยชน์มากต่อการหาสูตรโครงสร้างของสาร

3. Spin-spin splitting เป็นการแยกของสัญญาณออกเป็นหลายพีคเนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างสปินของโปรตอนที่อยู่ข้างเคียง อันตรกิริยานี้เรียกว่า coupling โดยจำนวนพีคของสัญญาณที่ได้ จะเป็นข้อมูลสำคัญนำไปสู่การหาสูตรโครงสร้างของสารได้ และจากการวิเคราะห์กลุ่มพีคที่เกิดจากโปรตอนที่อยู่ข้างเคียง ทำให้ทราบว่า เมื่อโปรตอน 2 กลุ่มจับกับคาร์บอนอะตอมที่อยู่ข้างเคียง และมี chemical shifts ที่แตกต่างกัน สัญญาณของโปรตอนแต่ละกลุ่มจะถูกแยกเป็นกลุ่มพีคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนเท่ากัน $N+1$ เมื่อ N เป็นจำนวนโปรตอนที่ยึดกับคาร์บอนข้างเคียง โดยรูปแบบกลุ่มของพีคที่แยกออกเมื่อมีโปรตอนอยู่ข้างเคียงจะแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 รูปแบบของกลุ่มพีคที่เกิดจากโปรตอนที่อยู่ข้างเคียง

*N	กลุ่มพีคที่ปรากฏ	อัตราส่วนความเข้มสัมพัทธ์
0	singlet	1
2	doublet	1 : 1
3	triplet	1 : 2 : 1
4	quartet	1 : 3 : 3 : 1
5	quintet	1 : 4 : 6 : 4 : 1
6	sextet	1 : 5 : 10 : 10 : 5 : 1
7	septet	1 : 6 : 15 : 20 : 15 : 6 : 1

เมื่อ *N คือ จำนวนของโปรตอนที่ยึดกับคาร์บอนข้างเคียง

ที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-11.pdf>

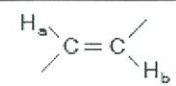
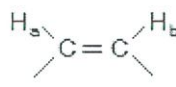
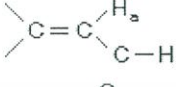
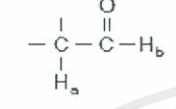
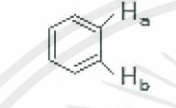
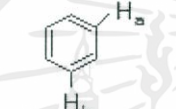
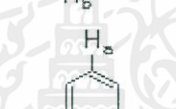
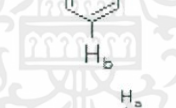
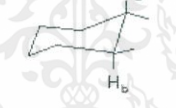
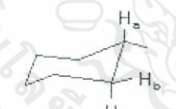
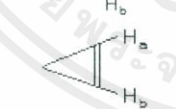
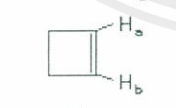
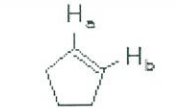
4. Coupling constant (J) ช่วงห่างระหว่างพีคของแต่ละสัญญาณ วัดค่าเป็นความถี่ (Hz) สามารถอ่านค่าได้จากสเปกตรัมโดยตรง ค่าตัวเลขนี้เรียกว่า coupling constant โปรตอนสองกลุ่มที่ couple กันจะมีช่วงห่างระหว่างพีค หรือ coupling constants เท่ากัน J เป็นการวัดความแข็งแกร่งของอันตรกิริยาเชิงแม่เหล็กระหว่างโปรตอนที่อยู่ข้างเคียง หรือระหว่างอะตอมคอนจูเกต ถ้าอันตรกิริยานั้นแข็งแรง ค่าของ J ก็จะมีค่ามาก และระยะห่างระหว่างพีคก็จะกว้างขึ้นด้วย และเนื่องจากแรงกระทำนี้ไม่ขึ้นกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก ค่าของ J จึงไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะวัดด้วย NMR สเปกโตรมิเตอร์ที่มีความถี่เท่าใดค่า J ของโปรตอนทั่วไปแสดงดังตารางที่ 2.21 ค่า J นี้มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ไอโซเมอร์ของอัลคีน และสารประกอบอะโรมาติก ระบบวงที่มีขนาดต่างๆ รวมถึงสเตอริโอเคมีของระบบวงด้วย

ตารางที่ 2.8 Coupling constants

โครงสร้างบางส่วน	Coupling constant, J_{ab} (Hz)
$\begin{array}{c} \text{H}_a \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{H}_b \end{array}$	12-15
$\begin{array}{cc} & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{H}_a & \text{H}_b \end{array}$	6-8
$\begin{array}{c} \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} = \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}_a \quad \text{H}_b \end{array}$	0-3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 Coupling constants (ต่อ)

โครงสร้างบางส่วน	Coupling constant, J_{ab} (Hz)
	11-18
	6-14
	4-10
	1-3
	7-10
	1-4
	0-2
	10-13
	a,a : 3-5 a,b : 3-5
	0-2
	2-4
	5-7
	8-11

ที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-11.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (FTIR) [28]

Fourier Transform Infrared Spectroscopy หรือ FTIR เป็นเทคนิคหนึ่งในอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (Infrared Spectroscopy) เทคนิคในการหาหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ที่ให้ข้อมูลที่รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ โดยย่านของอินฟราเรดที่มีประโยชน์มากที่สุดในเคมีอินทรีย์คือ ย่านความถี่ระหว่าง 4000-650 cm^{-1} (cm^{-1} เป็นหน่วยของจำนวนคลื่นต่อวินาที หรือเรียกว่า เลขคลื่น หรือ wavenumber) และความยาวคลื่นระหว่าง 2.5-15 ไมโครเมตร โดยมีสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น และเลขคลื่นดังสมการ (2.4)

$$\text{ความยาวคลื่น } (\mu\text{m}) = \frac{10,000}{\text{เลขคลื่น } (\text{cm}^{-1})} \quad (2.4)$$

FTIR สเปกตรัม เป็นการพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (wavenumber, cm^{-1}) และ Transmittance (T) โดย Transmittance เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มของรังสีที่ผ่านสารตัวอย่าง (Transmitted radiation, I) และ ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบสารตัวอย่างดังสมการ (2.5)

$$\text{Transmittance} = \frac{I}{I_0} \quad (2.5)$$

เมื่อ I = ความเข้มของรังสีที่ผ่านตัวกลาง และ I_0 = ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบตัวกลาง และ %Transmittance ดังสมการ (2.6)

$$\% \text{Transmittance} = 100 T \quad (2.6)$$

การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดตรงกับพลังงานในช่วง 2-10 กิโลแคลอรีต่อโมล พลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าย่านนี้จะก่อให้เกิดการสั่นแบบยืด (stretching) และแบบงอ (bending) ของพันธะในโมเลกุลของสาร ซึ่งความถี่ของรังสีที่ถูกดูดกลืนจะตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะนั้นั้น เรียกว่า ขบวนการควันไทส์ (quantized) แต่การสั่นของพันธะทุกประเภทในโมเลกุลไม่ได้ก่อให้เกิดฟิสิกอินฟราเรดสเปกตรัมเสมอไป การสั่นของพันธะที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไดโพลโมเมนต์ (dipole moment) เท่านั้นที่จะก่อให้เกิดฟิสิกอินฟราเรดขึ้น

โดยทั่วไปแถบที่เกิดในอินฟราเรดสเปกตรัม เกิดจากการสั่นแบบพื้นฐาน ได้แก่ การยืดและการงอ ยังมีแถบที่มีความเข้มต่ำเกิดที่ความถี่ 2 เท่า 3 เท่า หรือ 4 เท่าของความถี่แบบ พื้นฐาน แถบเหล่านี้ เรียกว่า overtone ซึ่งเกิดเมื่อความถี่พื้นฐานมีความเข้มสูง บางครั้ง อาจมีแถบเกิดที่ความถี่ที่เป็นผลบวกหรือผลต่างของความถี่แบบพื้นฐาน แถบ เหล่านี้เรียกว่า combination bands ถ้า overtone หรือ combination bands เกิดใกล้กับแถบ พื้นฐาน ผลก็คือ ทำให้ความเข้มของแถบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นฐานลดลง แต่ไปเพิ่มความเข้มของ overtone และ combination bands ปรากฏการณ์นี้ คือเกิด Fermi resonance และพีคทั้งคู่บางครั้งเรียกว่า Fermi doublet การวิเคราะห์อินฟราเรดสเปคตรัม แสดงดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ

cm ⁻¹	หมู่ฟังก์ชัน	รายละเอียด
3600-3400	O-H stretching	3650-3590 cm ⁻¹ (sh, w) แอลกอฮอล์อิสระ 3400-3200 cm ⁻¹ (b) แอลกอฮอล์ที่เกิดพันธะไฮโดรเจน 3400-2400 cm ⁻¹ (vs, vb) กรดคาร์บอกซิลิก
3500-3200	N-H stretching	3200-3400 cm ⁻¹ (m) 1° เอมีน และเอไมด์มี 2 แถบ 3200-3400 cm ⁻¹ (w) 2° เอมีน และเอไมด์มี 1 แถบ
3300 (vs)	=C-H stretching	3300 cm ⁻¹ อัลไคน์ที่มี =C-H ที่ปลายโซ่
3100-3000 (w, sh)	=C-H stretching	อัลคีน และเบนซีน (อาจมีหลายพีค)
3000-2800	C-H stretching	หมู่ CH ₃ , CH ₂ และ CH ของอัลเคน
2850-2780	C-H stretching	แอลดีไฮด์
2250-2225	C=N stretching	ไนทริล (m)
2260-2100	C=C stretching	อัลไคน์ (w) โมเลกุลที่สมมาตรจะไม่มีแถบนี้ปรากฏ
1820-1760 (9s)	C=O stretching	แอนไฮไดรด์ (s) มี 2 แถบ
1800 (s)	C=O stretching	กรดคลอไรด์
1770 (s)	C=O stretching	แกมมา-แลกโตน
1735 (s)	C=O stretching	เอสเทอร์
1725 (s)	C=O stretching	แอลดีไฮด์
1715 (s)	C=O stretching	คีโตน
1710 (s)	C=O stretching	กรดคาร์บอกซิลิก
1690-1650 (s)	C=O stretching	เอไมน์
1650-1600 (w)	C=C stretching	อัลคีน
1650-1590 (s-m)	N-H bending	1° เอมีน
1650-1550 (w)	N-H bending	2° เอมีน
1620-1590 (s)	N-H bending	1° เอไมด์
1550-1510 (s)	N-H bending	2° เอไมด์
1600, 1580, 1500 และ 1450	C=C stretching	เบนซีน และเบนซีนที่มีหมู่แทนที่ ความเข้มข้นไม่แน่นอน อาจมี 2, 3 หรือมีทั้ง 4 แถบ
1520 (s) และ 1350 (s)	NO ₂ bending	สารประกอบไนโตร
1465-1450	C-H bending	หมู่ CH ₂
1450-1375	C-H bending	หมู่ CH ₃
1400-1000	C-F stretching	สารประกอบฟลูออไรด์
1300-1150	CH ₂ -X	สารประกอบเฮโลเจน
1300-1000	C-O stretching	อีเธอร์ และเอสเทอร์
1200	C-O stretching	ฟีนอล
1150	C-O stretching	3° แอลกอฮอล์
1100	C-O stretching	2° แอลกอฮอล์
1050	C-O stretching	1° แอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ (ต่อ)

cm ⁻¹	หมู่ฟังก์ชัน	รายละเอียด
990 และ 910	C-H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 1 หมู่, RCH=CH ₂)
970	C-H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่, trans)
890	C-H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่, R ₂ C=CH ₂)
815	C-H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 3 หมู่, R ₂ C=CHR)
700-690	C-H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่, cis)
750 และ 690	C-H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 1 หมู่)
750	C-H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ แบบ ออโท)
780 และ 700	C-H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ แบบ เมตา)
825-800	C-H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ แบบ พารา)
800-600	C-Cl	สารประกอบคลอไรด์
600-500	C-Br	สารประกอบโบรมൈด์
≈500	C-I	สารประกอบไอโอดีน

เมื่อ s = ความเข้มสูง, vs = ความเข้มสูงมาก, m = ความเข้มปานกลาง, w = ความเข้มต่ำ, vw = ความเข้มต่ำมาก, sh = แหลมคม, b = กว้าง, vb = กว้างมาก, OOP = out-of-plane (การสั่นออกนอกระบบ)

ที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-10.pdf>

2.6.3 ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรสโคปี (UV-visible spectroscopy) [29]

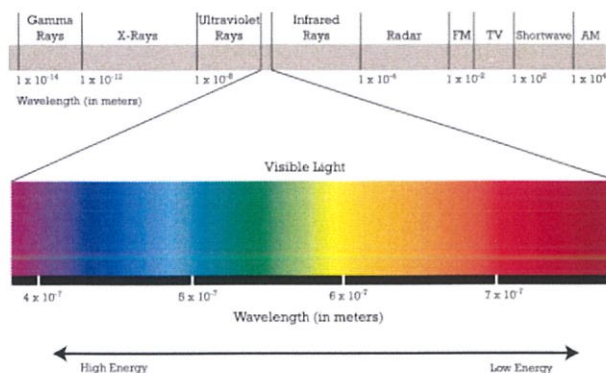
ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรสโคปีเป็นเทคนิคหนึ่งในการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสาร การทำงานจะอาศัยหลักการพื้นฐานคือ เมื่อโมเลกุลของสารได้รับพลังงานคลื่นแสงในช่วง ยูวี-วิสิเบิล ดังแสดงในภาพที่ 2.11 อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลจะถูกกระตุ้นให้มีระดับพลังงานที่สูงขึ้นเมื่อระดับพลังงานในช่วงคลื่นแสง match กับ electron transition ของอิเล็กตรอนภายในโมเลกุล ดังแสดงในภาพที่ 2.12 พลังงานจะถูกดูดกลืน และอิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลจะมี high energy orbital ดังแสดงในภาพที่ 2.13

ในการวิเคราะห์โดยใช้ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรสโคปีสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณได้ ในการหาปริมาณจะอาศัย Beer's law (2.7)

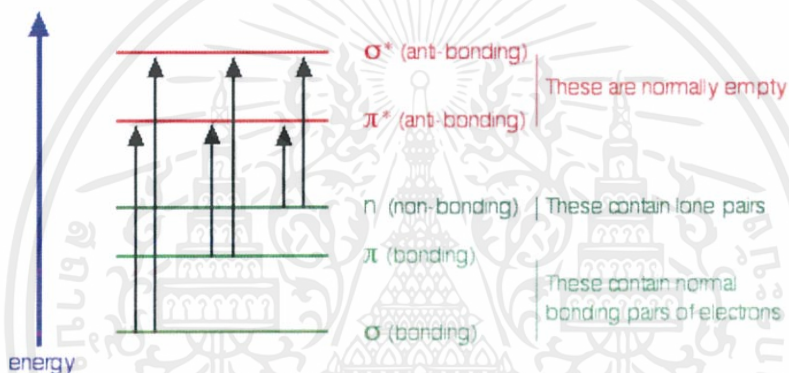
$$A = \epsilon bc \quad (2.7)$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืน, ϵ = molar absorptivity (L mol⁻¹ cm⁻¹), b = path length และ c = ความเข้มข้นของสารที่นำมาวิเคราะห์ (mol L⁻¹)

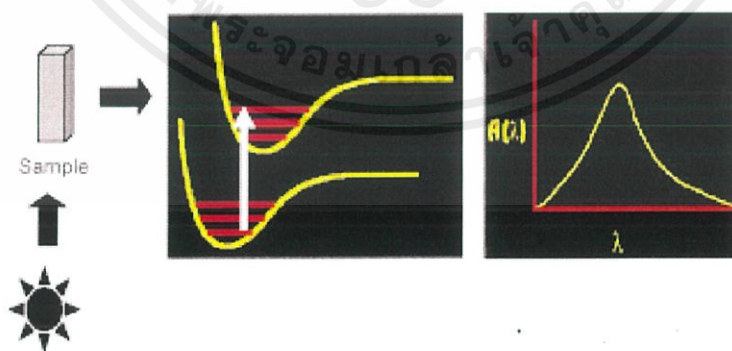
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 ช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมแม่เหล็ก (electromagnetic spectrum) (ที่มา : <http://www.pion.cz/en/article/electromagnetic-spectrum>)



ภาพที่ 2.12 ระดับพลังงานเมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลถูกกระตุ้นเมื่อได้รับพลังงานคลื่นแสงช่วงยูวี-วิสิเบิล (ที่มา : <http://www.chemguide.co.uk/analysis/uvvisible/theory.html>)

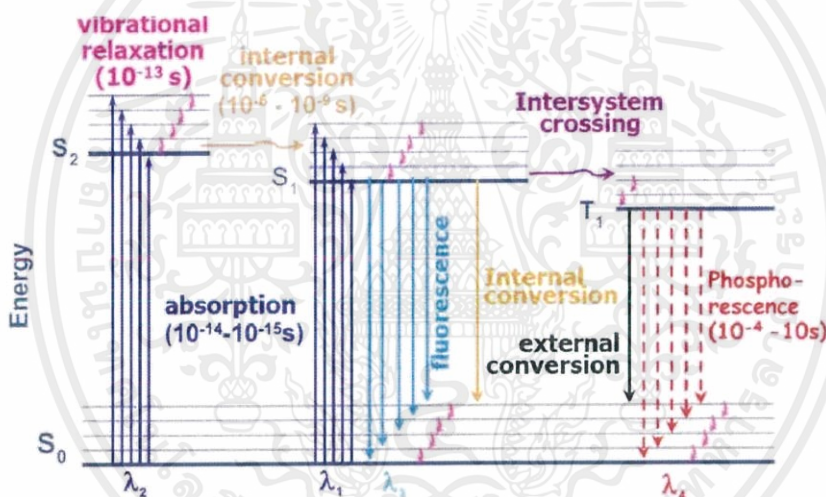


ภาพที่ 2.13 การดูดกลืนแสง และการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในโมเลกุล (ที่มา : [http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY473\(51\)/FY473-8.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY473(51)/FY473-8.pdf))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี (Fluorescence spectroscopy) [30]

ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติของสารโดยอาศัยการดูดกลืนรังสียูวีที่ส่งผลให้โมเลกุลถูกกระตุ้น และมีการสั่นภายในโมเลกุลจากระดับชั้นพลังงานสถานะพื้น (ground state) ไปสู่ระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้น (excited state) เรียกกระบวนการนี้ว่าการดูดพลังงาน (excite energy) โมเลกุลที่มีการเคลื่อนที่ไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงจะไม่มีเสถียร จึงมีการปลดปล่อยพลังงาน และตกลงมาในชั้นพลังงานที่ต่ำกว่า พลังงานที่โมเลกุลปลดปล่อยออกมานี้จะทำให้เกิดการคายโฟตอน (emission of photon) ทำให้เกิดสเปกตรัมในช่วงฟลูออเรสเซนซ์ ผนค่าพลังงานที่กระตุ้นจะเพาะของสารแต่ละชนิด ข้อดีของการใช้เทคนิคนี้คือ ให้ขีดต่ำสุดในการวัด (detection limit) และมีความจำเพาะเจาะจง (selectivity) ต่อโมเลกุลที่จะวิเคราะห์มากกว่า เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโคปี แต่มีข้อเสียคือโมเลกุลของสารบางชนิดไม่สามารถแสดงสมบัติทางฟลูออเรสเซนซ์ได้ จึงทำให้ไม่เหมาะที่จะใช้เทคนิคนี้ในการวิเคราะห์



ภาพที่ 2.14 กระบวนการเกิดฟลูออเรสเซนซ์ภายในโมเลกุล (ที่มา : <http://share.psu.ac.th/blog/sec-discussion/26364>)

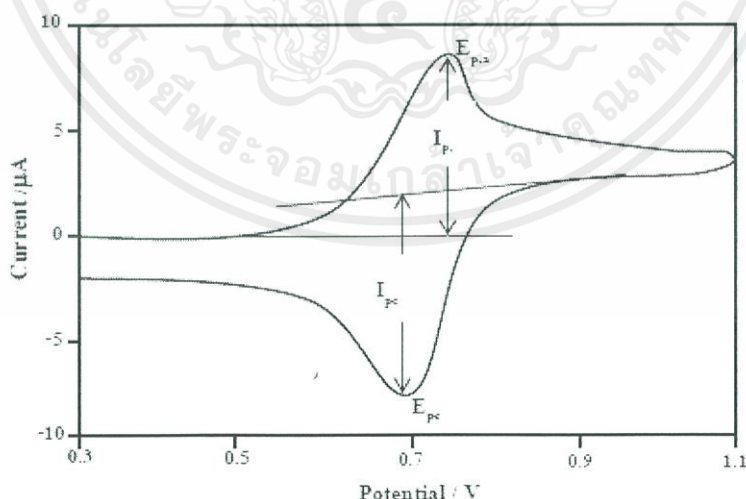
2.6.5 โปเทนชิโอเมตรี (Potentiometry) [31]

โปเทนชิโอเมตรี เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ โดยเปรียบเทียบกับศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง โดยจะเป็นตัวบอกปริมาณสารที่ต้องการวิเคราะห์ โวลติกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammetry, CV) เป็นการใช้งานฟังก์ชันหนึ่งในโปเทนชิโอเมตรี ก่อนอื่นของกล่าวถึงเทคนิคโวลแทมเมตรี ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมีที่เกี่ยวข้องกับศักย์ไฟฟ้าที่ควบคุมได้จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายนอกแก่ขั้วไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมี ศักย์ไฟฟ้านี้ทำให้ขั้วทำงาน (Working electrode, WE) มีค่าศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป มีการให้ และรับอิเล็กตรอนที่ผิวของขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานซึ่งเกิดจากการที่สารบางชนิดที่อยู่ในสารละลายสามารถเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาการถ่ายเทอิเล็กตรอน (Electron transfer reaction) ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านขั้วทำงาน กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะตรวจวัดโดยวงจรวัดอิเล็กทรอนิกส์ภายนอก ขนาดของกระแสที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารที่เกิดปฏิกิริยา ไชคลิกโวลแทมเมตรี หรือไชคลิกโวลแทมเมตรี เป็นเทคนิคหนึ่งที่น่ามาใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) และนำมาศึกษาในด้านที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรีดอกซ์ (redox process) การเกิดสารตัวกลาง (intermediates) และความคงตัวของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังสามารถนำเทคนิคนี้มาหาผลของลิแกนด์ต่อค่าศักย์ของโลหะไอออนตรงกลางในสารประกอบเชิงซ้อนได้อีกด้วย

รูปแบบของศักย์ไฟฟ้าของเทคนิคไชคลิกโวลแทมเมตรี จะเป็นไซเคิลที่มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมไปยังขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ในสารละลายที่อยู่นิ่ง แล้ววัดกระแสที่เกิดขึ้น ศักย์ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานจะถูกควบคุมเมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้แก่ ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์ ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) ไชคลิกโวลแทมโมแกรม (Cyclic Voltammogram) ที่วัดได้จากกระแสที่ขั้วทำงาน ในระหว่างสแกนศักย์ไฟฟ้า เมื่อนำมาพลอตกราฟระหว่างกระแส (แกนตั้ง) กับศักย์ไฟฟ้า (แกนนอน) จะได้ดังภาพที่ 2.15 เมื่อพิจารณาพิกัดด้านบนจากจุดยอดของพีคลากเส้นตัดแกนศักย์จะได้ตำแหน่งศักย์ของพีคทางด้านพีคแอโนดิก E_{pa} (anodic peak potential) ซึ่งมีค่าเป็นบวก ความสูงของพีคคือกระแสของพีคแอโนดิก I_{pa} (anodic peak current) และพีคด้านล่างเป็นพีคแคโทดิก E_{pc} (cathodic peak potential) และมีความสูงเป็นกระแสของพีคแคโทดิก I_{pc} (cathodic peak current) ซึ่งตำแหน่งของพีคที่เกิดขึ้นจะเป็นค่าเฉพาะของสารแต่ละตัว และกระแสของพีคจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสาร



ภาพที่ 2.15 ไชคลิกโวลแทมโมแกรม (Cyclic Voltammogram) (ที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM333/cm333-4-1.pdf>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ที่สำคัญในไซคลิกโวลแทมโมแกรมคือ ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุด และกระแสสูงสุดของสัญญาณแบบแคโทดิก และแอโนดิก หากปฏิกิริยาที่สารออกซิเดนต์ที่รับอิเล็กตรอน หรือเกิดปฏิกิริยารีดักชัน มีอัตราเร็วเท่ากับสารรีดิวซ์ให้อิเล็กตรอนหรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะเรียกปฏิกิริยาแบบนี้ว่าเป็นปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าย้อนกลับได้ (electrochemically reversible) พบว่าระยะห่างระหว่างพีค (peak separation) จะมีค่าเท่ากับ ΔE_p ดังสมการ (2.8)

$$\Delta E_p = [E_{pa} - E_{pc}] = 2.303 \frac{RT}{nF} \quad (2.8)$$

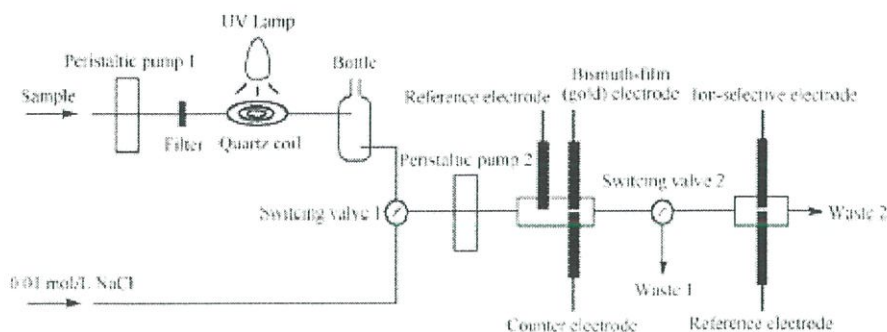
ในปฏิกิริยาแบบสามารถย้อนกลับได้ ถ้าหากการศึกษาที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่า E_p จะมีค่าเท่ากับ 0.0592 โวลต์ต่อหนึ่งอิเล็กตรอน หรือประมาณ 60 มิลลิโวลต์ต่อหนึ่งอิเล็กตรอนสำหรับในกรณีที่ปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ (irreversibility) ซึ่งมีอัตราการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่ค่อนข้างช้าจะพบว่า $\Delta E_p > 0.0592$ โวลต์ต่อหนึ่งอิเล็กตรอน หรือโดยประมาณเท่ากับ 70 มิลลิโวลต์ ต่อหนึ่งหน่วยอิเล็กตรอน

2.7 ทบทวนวรรณกรรม

2.7.1 ตัวอย่างการสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดโลหะหนัก [32]

ในปี 2012 Song Wen-Jing และคณะได้ทำงานวิจัยเรื่อง Electrochemical Sensing System for Determination of Heavy Metals in Seawater ซึ่งเป็นการสร้างอุปกรณ์ในการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของโลหะหนักในทะเลโดยใช้หลักการทำงานด้วยไฟฟ้าเคมี โดยในอุปกรณ์จะประกอบไปด้วย on-line filtration ทำหน้าที่ในการกรองตะกอนต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำทะเลก่อนจะเข้าสู่ระบบการตรวจวัด หลังจากนั้นสารละลายเคลื่อนที่ไปยัง UV digestion ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้ไอออนของโลหะหนักในน้ำเกิดการแตกตัว แล้วทำการตรวจวัดปริมาณของไอออนของโลหะหนักในสารละลายโดยใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมีด้วยขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน (Ion-Selective Electrode) โดยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นนี้มีค่าการตอบสนองที่สูง มีความจำเพาะเจาะจงและรวดเร็วในการวัดวิเคราะห์ ผลจากการทดสอบพบว่าอุปกรณ์สามารถตรวจวัดไอออนของแคดเมียม (Cd^{2+}) ที่ช่วงความเข้มข้น 1.0×10^{-9} - 1.0×10^{-7} โมลาร์, ไอออนของตะกั่ว (Pb^{2+}) ที่ช่วงความเข้มข้น 3.0×10^{-9} - 1.0×10^{-7} โมลาร์ และ ไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) ที่ช่วงความเข้มข้น 1.0×10^{-9} - 1.0×10^{-7} โมลาร์ และระบบอุปกรณ์สามารถวัดค่าความเข้มข้นต่ำสุด (detection limits) ของ Cd^{2+} , Pb^{2+} และ Cu^{2+} ได้เท่ากับ 2.8×10^{-10} , 6.6×10^{-10} และ 5.1×10^{-10} โมลาร์ ตามลำดับ โดยกระบวนการวัดวิเคราะห์ทั้งหมดเสร็จสิ้นภายใน 25 นาที ระบบการทำงานแสดงดังภาพที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.16 แผนภาพระบบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดโลหะหนักในน้ำทะเล (ที่มา : Chinese Journal of Analytical Chemistry, 40, 670-674(2012))

2.7.2 ขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน (Ion-Selective Electrode, ISE) [33]

ขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแบบเมมเบรนโดยใช้หลักการโพเทนซิโอเมทรี ได้รับความสนใจอย่างมากในปี 1930 เนื่องจากความสามารถในการใช้งานที่หลากหลาย กลไกการตอบสนองของอุปกรณ์ประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า โดยค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าจะเป็นศูนย์ก็ต่อเมื่อในระบบไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน หรือกระแสไฟฟ้าไหลผ่านต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่เมมเบรนไม่สามารถตรวจจับสารที่ต้องการได้ อุปกรณ์ตรวจวัดแบบเมมเบรนนี้จึงได้ถูกพัฒนา และออกแบบให้รู้จักกับโมเลกุลของสารที่ตรวจวัด โดยเมมเบรนสามารถจับเฉพาะกับโมเลกุลของสาร หรือไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ ทำให้อุปกรณ์ประเภทนี้เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางขึ้น ต่อมาได้มีการพัฒนามาเป็นขั้วไฟฟ้าแบบโพเทนซิโอเมทรี ซึ่งทำให้ขั้วไฟฟ้าประเภทนี้มีความสามารถในการตรวจวัดไอออนของสารได้โดยตรง และมีข้อดีคือ ง่ายต่อการใช้งาน สะดวกรวดเร็ว ราคาไม่แพง และสามารถเจาะจงกับไอออน หรือสารที่ต้องการวัดได้ เนื่องมาจากการเลือกใช้เมมเบรนที่มีความจำเพาะ ตัวอย่างของอุปกรณ์ตรวจวัดแบบเมมเบรนโดยใช้หลักการโพเทนซิโอเมทรี ได้แก่ ขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน (Ion-Selective Electrode, ISE) โดยเมมเบรนที่ใช้เป็นเมมเบรนที่เฉพาะเจาะจงกับสารเป้าหมายที่ต้องการวิเคราะห์ ทันทึที่ไอออนในสารละลายผ่านเข้ามายังชั้นสารอินทรีย์ของเมมเบรนจะทำให้สมดุลทางไฟฟ้าเคมีมีการเปลี่ยนแปลงทางศักย์ไฟฟ้า เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส ความต่างศักย์นี้จะเป็นสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ ในต่อมาก็มีการพัฒนาไอโอโนฟอร์ที่จำเพาะเจาะจงกับไอออนเป้าหมายกับสารที่ต้องการวิเคราะห์มาเป็นเมมเบรนที่กั้นอยู่ระหว่างเฟส 2 เฟสนั้น ซึ่งหลักการวิเคราะห์สัญญาณ หรือศักย์ไฟฟ้าที่ได้เป็นไปตามสมการของเนิร์นสต์ (Nernst Equation)

$$E = \frac{RT}{zF} \ln\left(\frac{a_2}{a_1}\right) \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเมมเบรนกันอยู่ระหว่างสารละลายทั้งสองฝั่งที่ไอออนแตกตัวไม่เท่ากัน มีความเข้มข้นของไอออนเป็น a_1 และ a_2 และเมื่อเกิดความแตกต่างของไอออนทั้งสองฝั่งของเมมเบรน ทำให้ที่ผิวของเมมเบรนเกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้น และแสดงเป็นค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าของเมมเบรนเกิดขึ้นแสดงในรูปของ E ดังสมการที่ (2.9) และ Z คือ จำนวนประจุของไอออนในสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ และถ้าให้ a_1 คงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ให้ $a_2 = a_x$ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณค่าความต่างศักย์ (E) ได้ภายใต้เงื่อนไขคือ ไอออนของสารละลายตัวอย่างที่ต้องการวัดเปลี่ยนแปลงเพียงเฟสเดียว ซึ่งค่าความต่างศักย์ที่แสดงผลออกมาดังสมการเนิร์นสต์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นไอออนที่เปลี่ยนไปและค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าเคมีได้ดังนี้ (2.10)

$$E = \frac{RT}{zxF} \ln\left(\frac{ax}{a1}\right) \cong E = \text{const.} + S \cdot \log(ax) \quad (2.10)$$

เมื่อ Z_x คือจำนวนประจุของไอออนในสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ และ S เท่ากับ $59.16/Z_x$ [มิลลิโวลต์] ที่อุณหภูมิ 298 เคลวิน

2.7.3 การออกแบบชิฟเบส [34]

ในปี 2008 Farnoush Faridbon และคณะ ได้ศึกษาโครงสร้างชิฟเบส เพื่อทำเป็นเมมเบรนในการตรวจวัด และได้ทำการรวมรวมตัวอย่างโครงสร้างของชิฟเบสที่สังเคราะห์เพื่อเป็นเมมเบรนในอุปกรณ์ตรวจวัดโดยใช้หลักการทำงานแบบโพเทนชิโอเมตรี ดังนั้นจึงมีการศึกษาตัวอย่างโครงสร้างที่ดีที่สุดในการเป็นอุปกรณ์ตรวจวัด โดยจะต้องมีความจำเพาะเจาะจงกับอนุภาคที่ต้องการวิเคราะห์ ตัวอย่างของโครงสร้างชิฟเบสไอโอโนฟอร์ดังแสดงในภาพที่ 2.17

bis(5-phenylazosaclyaldehyde)-2,3-naphthalenediimine



N,N'-bis(salicylidene)-2,6-pyridinediamine

1



Diphenylisocyanate bis(acetylacetone) ethylenedinnine

N,N'-bis-thiophene-2-ylmethyleneethane- 1,2-diamine



bis (2-mercaptoanil) diacetyl (BMDA)

ภาพที่ 2.17 ตัวอย่างโครงสร้างชิฟเบสไอโอโนฟอร์ (ที่มา : Sensor, 8, 1645-1730(2008))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 โครงสร้างของชิฟเบสที่สังเคราะห์เพื่อนำมาใช้ในการตรวจวัดวิเคราะห์แคตไอออน (cation) และแอนไอออน (anion)

Ions	Ionophore	Slope (mV decade ⁻¹)	Linear Range (M)	Interfering ions (log K _{sel} > -2)
Al ³⁺	Bis(5-phenylazosalicylaldehyde)-2,3-naphthalene diimine	19.3	5×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻²	Li ⁺ ,NH ₄ ⁺ ,Ag ⁺
Sn ²⁺	6-(4-nitrophenyl)-2,4-diphenyl-3,5-diazabicyclo-[3.1.0]-hex-2-ene	28.8	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	Tl ⁺ ,Mn ²⁺ ,Ba ²⁺ ,Cs ⁺
Pb ²⁺	Bis(acetylacetone)- <i>p</i> -phenylenediamine-lead(II)[LPb(NO ₃) ₂] ₂ H ₂ O complex ionophore	30.0	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	-
	<i>N,N'</i> -bis(5-methylsalicylidene)- <i>p</i> -diphenylenemethane diamine	29.4	5×10 ⁻⁶ -0.10	Zn ²⁺ ,Fe ³⁺ ,K ⁺ ,NH ₄ ⁺
	<i>N,N'</i> -bis(3-methylsalicylidene)- <i>p</i> -phenylmethane diamine	30.3	2×10 ⁻⁵ -0.10	Na ⁺ ,K ⁺ ,NH ₄ ⁺
	Schiff base as a neutral carrier	29.4	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	Na ⁺ ,K ⁺ ,Cu ²⁺
	<i>N,N'</i> -bis-thiophene-2-ylmethyleneethane-1,2-diamine	29.8	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	-
	<i>N,N'</i> -bis(salicylidene)-2,6-pyridinediamine	29.4	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	K ⁺ ,Ag ⁺
	<i>N,N'</i> -dibenzyl-1,4,10,13-tetraoxa-7,16-diazacyclooctadecane(I)	30.0	8.2×10 ⁻⁹ -1×10 ⁻¹	Cd ²⁺ ,Zn ²⁺ ,Ag ⁺
Y ³⁺	2-(((E)1,2-diphenyl-2-[(2-2-sulfanylphenyl)imino]ethylidene)amino)-1-benzenethiol	19.2	1×10 ⁻⁷ -1×10 ⁻²	Sc ³⁺
La ³⁺	Bis(2-mercaptoanil) diacetyl	19.7	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	Ce ³⁺ ,Gd ³⁺
	Bis(thiophenyl)phenylene-1,3-diamine	19.6	1×10 ⁻⁷ -1×10 ⁻¹	Sm ³⁺ ,Ce ³⁺
Ce ³⁺	<i>N,N</i> -bis[2-(salicylideneamino) ethyl]ethane-1,2-diamine	20.0	1.4×10 ⁻⁷ -1×10 ⁻²	La ³⁺
Gd ³⁺	2-{3-[2-sulfanyl(phenyl)imino]-1-methylbutylidene}amino]phenylhydrosulfide	19.8	1×10 ⁻¹ -1×10 ⁻⁵	Tb ³⁺ ,Dy ³⁺ ,Eu ³⁺
	Bis(thiophenyl)pyridine-2,6-diamine	19.4	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	La ³⁺ ,Mg ²⁺ ,Hg ²⁺
Tb ³⁺	<i>N,N</i> -bis(pyrolidene) benzene-1,2-diamine	19.8	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	La ³⁺ ,Yb ³⁺ ,Dy ³⁺
Dy ³⁺	<i>N,N</i> -bis(pyrolidene) benzene-1,2-diamine	20.6	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	Ce ³⁺ ,La ³⁺
	[(E)- <i>N</i> -(2-hydroxybenzylidene)-benzohydraide]	20.1	1×10 ⁻² -1×10 ⁻⁶	Yb ³⁺ ,Tm ³⁺ ,Na ⁺
Ho ³⁺	<i>N</i> -(1-thien-2-yl-methylene)-1,3-benzothiazol-2-amine	19.7	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻²	Lu ³⁺ ,Dy ³⁺ ,Gd ³⁺
Lu ³⁺	<i>N</i> -(thien-2-ylmethylene)-pyridine-2,6-diamine	20.5	1×10 ⁻² -1×10 ⁻⁶	Nd ³⁺ ,Dy ³⁺ ,Gd ³⁺
UO ₂ ²⁺	2,2'-[1,2-ethanediy bis (nitroethylidene)]bis(1-naphthalene)	28.5	1×10 ⁻¹ -1×10 ⁻⁷	Mg ²⁺ ,Cu ²⁺
Cr ³⁺	4-hydroxysalicylade-2-mercaptoanil	20.2	3×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	Na ⁺ ,La ³⁺ ,Pb ²⁺
	2,3,8,9-tetraphenyl-1,4,7,10-tetraazacyclododeca-1,3,7,9-tetraene	19.5	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	Ag ⁺
	2-hydroxybenzaldehyde-O,O'-(1,2-dioxetane-1,2-diy) oxime	19.6	1.5×10 ⁻⁶ -8×10 ⁻⁵	Ce ³⁺ ,Cu ²⁺
	<i>N</i> -(1-thien-2-ylethylidene)-benzene-1,2-diamine	19.9	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	Fe ³⁺ ,Eu ³⁺ ,Mg ²⁺
	<i>N</i> -(acetoacetanilide)-1,2-diaminoethane	19.8	8.9×10 ⁻⁸ -1×10 ⁻¹	-
	<i>N,N'</i> -bis(acetoacetanilide)-triethylenetetrammine	19.8	8.9×10 ⁻⁸ -1×10 ⁻¹	-
Mn ²⁺	<i>N,N',N'',N'''</i> -1,5,8,12-tetraazadodecane-bis(salicylaldiminato)	30.0	5×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	Cd ²⁺ ,Fe ³⁺ ,Ni ²⁺
Fe ³⁺	2-[2-hydroxy-1-propenyl-but-1,3-dienylimino]-methyl-4-ptolyazo-phenol	28.5	3.5×10 ⁻⁶ -4×10 ⁻²	Fe ²⁺ ,Cr ³⁺
Co ²⁺	5-((4-nitrophenyl)azo)- <i>N</i> -(2,4-dimethoxyphenyl)salicylaldimine	29.0	9×10 ⁻⁷ -1×10 ⁻²	K ⁺ ,Ag ⁺
Ni ²⁺	thiophene-derivative Schiff base	29.5	5×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	-
	<i>N,N'</i> -bis-(4-dimethylaminobenzylidene)-benzene-1,2-diamine	30.0	1×10 ⁻² -2×10 ⁻⁷	Tl ⁺ ,Ag ⁺
	<i>N</i> -(2-hydroxybenzyl)- <i>N'</i> -(2-hydroxybenzylidene)-ethylenediamine	30.0	6.3×10 ⁻⁶ -5×10 ⁻¹	Ag ⁺ ,Co ²⁺ ,Hg ²⁺
	<i>N,N'</i> -bis((naphthalen-1-ymethylene)ethane-1,2-diamine	29.9	1×10 ⁻¹ -5×10 ⁻⁶	Na ⁺ ,K ⁺ ,Ba ²⁺ ,Co ²⁺ ,Ag ⁺ ,Zn ²⁺
Cu ²⁺ , Ni ²⁺	Electrodes 1 and 2 are based on mixed complexes of Cu(II) and Ni(II) with <i>N</i> -[2-thienylmethylidene]-2-aminopyridine as ligand and electrodes 3 and 4 are based on the mixed complexes with <i>N,N'</i> -[2,2'-bis-thienylmethylidene] tolylene	29.0	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻²	Co ²⁺ ,Fe ³⁺
	Two Schiff base ligands: <i>N</i> -[2-thienylmethylidene]-2-propanolamine and <i>N</i> -[2-thienylmethylidene]aminopropane	29.0	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻²	Cd ²⁺ ,Fe ³⁺
	<i>N</i> -[2-thienylmethylidene]-2-aminoethanol	29.0	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 โครงสร้างของชิฟเบสที่สังเคราะห์เพื่อนำมาใช้ในการตรวจวัดวิเคราะห์แคตไอออน (cation) และแอนไอออน (anion) (ต่อ)

Ions	Ionophore	Slope (mV decade ⁻¹)	Linear Range (M)	Interfering ions (log K _{set} > -2)
Cu ²⁺	Naphthol-derivative Schiff's base	29.0	5×10 ⁻⁶ -5×10 ⁻²	Na ⁺ ,Hg ²⁺ ,Ni ²⁺
	Bis-2-thiophenyl propanediamine	29.1	1×10 ⁻¹ - 6×10 ⁻⁸	Ag ⁺
	New thiophene-derivative Schiff's base	29.3	6×10 ⁻⁸ - 1×10 ⁻¹	Zn ²⁺ ,Hg ²⁺
	Diphenylisocyanate bis(acetylacetone) ethylenedinnine	29.8	1×10 ⁻¹ -1×10 ⁻⁶	-
	2,2'-[4,4'diphenyl-methanebis-(nitrilomethylidene)]-bisphenol	29.0	8×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	Hg ²⁺
	2,2-[1,2-ethandiyl-bis(nitrilomethylidene)- bis] <i>m</i> -cresol(I)	29.2	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	Ni ²⁺ ,Co ²⁺ ,Pb ²⁺
	2,2-[1,2-ethandiyl-bis(nitrilomethylidene)-bis] <i>p</i> -cresol(II)	29.7	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	Ni ²⁺ ,Co ²⁺ ,Pb ²⁺
	2,2'-[1,2-ethandiyl-bis(nitrilomethylidene)- bis]ortho cresole(III)	28.2	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	Ni ²⁺ ,Co ²⁺ ,Pb ²⁺
	<i>N,N'</i> -bis-pyridin-2-ylmethylenenaphthalene-1,8-diamine	29.6	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻²	Co ²⁺
	Bis(2-hydroxyacetophenone)-butane-2,3-dihydrazone	29.6	5×10 ⁻⁸ -1×10 ⁻²	-
	Copper (II) complex of 2,4- dimethyl-1,5,9,12-tetraazacyclopentadeca- 1,4-diene	29.9	1.1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	Co ²⁺ ,Mn ²⁺ ,Ni ²⁺
	2-(1'-(4'-(1"-hydroxy-2"-naphthyl)- methyleneamino)butyl imino-methyl)-1-naphthol	29.0	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	Tl ⁺
	Derived from 2,3-diaminopyridine and omicron-vanilin	29.6	5×10 ⁻⁶ - 1×10 ⁻¹	Hg ²⁺ ,Ag ⁺
	2-[1-(<i>E</i>)-2-(<i>Z</i>)-2-(<i>E</i>)-2-[(<i>Z</i>)-1-(2-hydroxyphenyl) ethylidene] hydrazono]-1-methylpropylidene)-hydrazono]ethyl)phenol	25.9	1×10 ⁻¹¹ -1×10 ⁻⁵	Ni ²⁺ ,Pb ²⁺ ,Cd ²⁺
	Copper(II) salicylaniline Schiff's base	30.0	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻²	Li ⁺ ,Na ⁺ ,Cs ⁺ ,K ⁺
Naphthol-derivative Schiff's base	29.5	5×10 ⁻⁶ -5×10 ⁻²	Hg ²⁺ ,Ni ²⁺ ,Na ⁺	
Zn ²⁺	<i>N,N'</i> -bis(acetylacetone) ethylenedimime	30.0	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	Cu ²⁺ ,Al ³⁺ ,Cd ²⁺
Ag ⁺	Schiff base- <i>p-tert</i> -butylcalix[4]arene	59.7	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	Hg ²⁺
	A dioxime-type Schiff base, <i>N,N'</i> -bis(2'-hydroxyimino-1'-phenylpropylidene)-1,3- propanediamine, PHO3, derived from C -isonitrosopropiophenone and 1,3-diaminopropane	59.0	1×10 ^{-6.5} -1×10 ⁻¹¹	Hg ²⁺
	Schiff base <i>p-tert</i> -butyl calix-[4]arene derivatives containing <i>N</i> and <i>O</i> as binding sites	59.0	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	Hg ²⁺
	Calix[4]arene compound of 5,11,17,23-tetra- <i>tert</i> -butyl-25,27-dihydroxy-calix[4]arene-thiacrown-4	53.8	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻²	Hg ²⁺
	Calix[4] arene derivative	58.9	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	K ⁺ ,NH ₄ ⁺ ,Na ⁺
	[Bis 5-(4-nitrophenylazo)salicylaldehyde] 1,8-diamino,3,6-dioxooctane	56.2	2×10 ⁻⁶ -2.7×10 ⁻²	K ⁺ ,NH ₄ ⁺
	5,11,17,23-tetra- <i>tert</i> -butyl-25,27-dihydroxy-calix[4]arene-thiacrown-4	53.8	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻²	Hg ²⁺
Cd ²⁺	7,8,16,17-dibenzo-6,9,15,18-tetraoxo-1,5,10,14-tetrathiacyclo octadeca-7,16- diene[Bz(2)Oxo(4)(18) dieneS(4)]	58.4	1.3×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	Tl ⁺ ,Hg ²⁺ ,Pb ²⁺
	5-(((4-methylphenyl)azo)- <i>N</i> -(6-amino-2-pyridin)salicylaldehyde]	28.0	2×10 ⁻¹ -7.5×10 ⁻⁷	Pb ²⁺ ,Ni ²⁺
	5-(((4-methylphenyl)azo)- <i>N</i> -(2-diamino-2-cyano-1-ethyl cyanide)salicylaldehyde]	22.0	2×10 ⁻¹ -4×10 ⁻⁷	Pb ²⁺ ,Ni ²⁺
	<i>N,N'</i> -[bis(pyridin-2-yl)-formylidene]butane-1,4-diamine	29.5	7.9×10 ⁻⁸ -1×10 ⁻¹	Cu ²⁺ ,NH ₄ ⁺ ,Cr ³⁺
Hg ²⁺ , Cu ²⁺	<i>N</i> -(2-pyridinyl(methylene)-1,2-benzenediamine	29.5	7.9×10 ⁻⁸ -1×10 ⁻¹	Cu ²⁺ ,NH ₄ ⁺ ,Cr ³⁺
	Tetraethylthiuram disulfide was chosen as a chemical modifier	79.4	1×10 ⁻⁷ -1×10 ⁻³	Mg ²⁺ ,Al ³⁺
Hg ²⁺	Sulfur Schiff's base 1-(2-hydroxy-1,2 diphenylethylidene) thiosemicarbazide	29.0	1×10 ⁻⁶ -2×10 ⁻²	Ag ⁺
	Bis[5-((4-nitrophenyl)azosalicylaldehyde)]	30.0	5×10 ⁻⁷ -7×10 ⁻⁷	-
	Ethylenediamine bithiophenecarboxaldehyde	30.0	1×10 ⁻⁷ -1×10 ⁻²	Ag ⁺
	Ethyl-2-(benzoylamino)-3-(2-hydroxy-4-methoxyphenyl)-2-propenoate	48.5	3×10 ⁻⁷ -3.1×10 ⁻²	Cu ²⁺ ,Cd ²⁺ ,Pb ²⁺

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 โครงสร้างของซีฟเบสที่สังเคราะห์เพื่อนำมาใช้ในการตรวจวัดวิเคราะห์แคตไอออน (cation) และแอนไอออน (anion) (ต่อ)

Ions	Ionophore	Slope (mV decade ⁻¹)	Linear Range (M)	Interfering ions (log K _{set} > -2)
Hg ²⁺	Bis(2-hydroxybenzophenone)butane-2,3-dihydrazone	29.7	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	Fe ³⁺ , Cd ²⁺ , La ³⁺
SCN ⁻	Tricoordinate Schiff base copper(II) complex	-57.6	2.6×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	-
	Bis- <i>N,O</i> -bidentate Schiff base 2,2'-(methylenebis(4,1-phenylenenitrilomethylidene))bisphenol	-57.5	1×10 ^{-3.5} -1×10 ⁻²	N ³⁻ , NO ₂ ⁻
	Cadmium-Schiff's base complex	-57.0	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	-
	(<i>N,N'</i> -bis-salicylidene-1,2-ethylenediamine)	-59.1	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	MnO ₄ ⁻ , I ⁻
	2,2'-[(1,3-dimethyl-1,3-propanediylidene)dinitrilo]bisbenzenethiolato cadmium(II)	-58.9	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	MnO ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻ , Br ⁻
SO ₄ ²⁻	Butane-2,3-dione bis(salicylhydrazone) zinc(II)	-56.5	1×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	ClO ₄ ⁻
	Schiff base complex of Zn(II)	-29.7	5×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	SCN ⁻ , ClO ₄ ⁻
	Strontium Schiff's base complex (SS)	-29.2	1×10 ⁻² -1×10 ⁻⁶	SO ₃ ²⁻ , CO ₃ ²⁻ , Cl ⁻
	Zinc-Schiff base	-29.2	1×10 ⁻² -1×10 ⁻⁶	-
F ⁻	<i>N,N'</i> -ethylenbis(5-hydroxysalicylideneiminato) chromium(III) Chloride	-28.9	1.5×10 ⁻⁶ -5×10 ⁻²	I ⁻ , HPO ₄ ⁻
	Gallium(III)-Schiff base	-61.1	1×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	SCN ⁻
Cl ⁻	Ruthenium(III) Schiff's base	-54.5	1×10 ⁻¹ -3×10 ⁻⁶	-
	Schiff base complex of cobalt(II)	-59	2.5×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	Br ⁻
I ⁻	Schiff base complex of Fe(III)	-71.0	1×10 ⁻⁶ -5×10 ⁻¹	SCN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻
	[5,10,15,20-tetrakis(4- <i>N,N</i> -dimethylaminobenzene)porphyrinato] Mn(III) acetate	-59.4	1×10 ⁻² -7.5×10 ⁻⁶	Salicylate, SCN ⁻ , ClO ₄ ⁻
I ₃ ⁻	Bis(salicylaldehyde) ethylenediamine mercury(II) complex	-59.0	5×10 ⁻⁸ -10×10 ⁻²	-
	<i>N,N'</i> -1,2-propylene-bis-(5-methylsalicylidene iminato) copper(I)	-61.4	4×10 ⁻⁵ -0.7×10 ⁻¹	I ⁻ , SCN ⁻ , ClO ₄ ⁻
	A Charge-Transfer Complex of (1,3-diphenylidihydro-1Himidazole -4,5-dione dioxide with Iodide	-59.3	1×10 ⁻¹ -1×10 ⁻¹	-
	Bis- <i>N,O</i> -bidentate Schiff base	-61.4	4×10 ⁻⁵ -0.7×10 ⁻¹	I ⁻
	2-(((2(((<i>E</i>)-1-(2-hydroxyphenyl) methylidene)amino)phenyl) imino) methyl)phenol with iodine	-59.0	5×10 ⁻⁸ -1×10 ⁻²	-
	Schiff base 2,2'[(4,4'-diphenylmethane bis (nitromethylidene)) bisphenol, L, with copper (II)	-60.0	6×10 ⁻⁶ -8×10 ⁻¹	SCN ⁻ , Salicylate
	Schiff base 2,2'[(4,4'-diphenylmethane bis (nitromethylidene)) bisphenol, L, with iron (III)	-60.0	5×10 ⁻⁵ -1×10 ⁻¹	SCN ⁻ , Salicylate
	Schiff base complexes of Co(III)	-57.2	1.6×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻¹	SCN ⁻
Salicylate	The complex <i>N,N'</i> -1,4-butylene bis(3-methyl salicylidene iminato) copper(II)	-59.1	1×10 ⁻⁶ -1	-
	<i>N,N'</i> -bis(salicylidene)-1,2-phenylenediaminocobalt(II)	-59.0	2×10 ⁻⁶ -1×10 ⁻²	-

ที่มา : Sensor, 8, 1645-1730(2008)

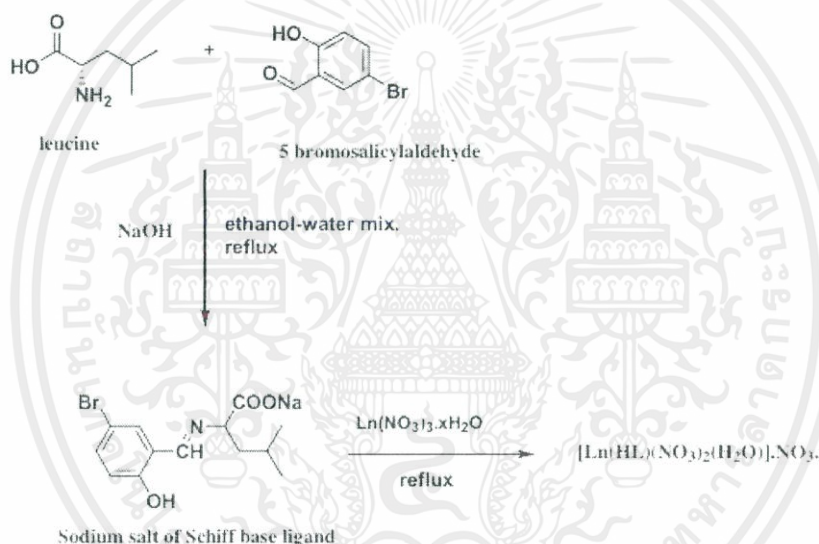
ขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน มีหลักการวิเคราะห์สารละลายผ่านเมมเบรนที่กั้นระหว่างอิเล็กโทรดที่อยู่ในสารละลายอ้างอิงที่บรรจุภายในขั้วไฟฟ้ากับสารละลายที่ต้องการทำการวิเคราะห์ภายนอกขั้วไฟฟ้า คุณสมบัติของเมมเบรนคือต้องมีการละลายที่ต่ำทำให้ไม่ถูกทำลาย หรือทำปฏิกิริยากับสารละลายที่สัมผัส สามารถเป็นสื่อนำไฟฟ้าได้ และคุณสมบัติอีกประการหนึ่งคือ มีความจะเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจาะจงกับไอออน หรือสารประกอบที่ต้องการวิเคราะห์นั้น ดังนั้นข้อไฟฟ้าประเภทนี้สามารถเจาะจงกับไอออนชนิดใดได้นั้น จะขึ้นอยู่กับเมมเบรนที่มีโครงสร้างไอโอโนฟอร์ที่แตกต่างกันไป ว่าไอโอโนฟอร์สามารถตรวจวัดหรือมีความจำเพาะกับไอออนใด ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบไอโอโนฟอร์ให้มีความเจาะจงกับสารที่เราต้องการวัด

2.7.4 การสังเคราะห์ชิฟเบส [35, 36]

ในปี 2013 L.Lekha และคณะ ได้สังเคราะห์ชิฟเบส 2-[(5-bromo-2-hydroxy-benzylidene)-amino]-5-methyl-pentanoic acid ซึ่งเกิดจากสารตั้งต้น leucine และ 5-bromosalicylaldehyde เพื่อเป็นลิแกนด์ในการจับกับโลหะกลุ่ม lanthanide ซึ่งได้แก่ Pr(III), Sm(III), Gd(III), Tb(III), Er(III) และ Yb(III) โดยมีกระบวนการสังเคราะห์สารตั้งภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างการสังเคราะห์ลิแกนด์ที่เป็นชิฟเบส (ที่มา : Journal of Organometallic Chemistry, 753, 77-80(2014))

กระบวนการสังเคราะห์เกลือของชิฟเบสลิแกนด์ (Schiff base ligand) โดยทำการละลาย leucine 0.002 โมล ในน้ำที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.002 โมล หลังจากนั้นเติม 5-bromosalicylaldehyde 0.002 โมลที่ละลายอยู่ในเอทานอล หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการรีฟลักซ์ โดยในระหว่างกระบวนการทำการกวน (stir) ตลอดเวลา โดยให้กระบวนการทั้งหมดอยู่ภายใต้ความร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 ชั่วโมง เมื่อกระบวนการเสร็จสิ้นแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ตะกอนสีเหลืองอ่อนของชิฟเบสลิแกนด์ หลังจากนั้นทำการกรองเอาชิฟเบสออกจากตัวทำละลาย แล้วทำการล้างด้วยเอทานอลผสมน้ำ และทำให้แห้งในโถดูดความชื้น (vacuum desiccator) ภายใต้ anhydrous calcium chloride (CaCl₂)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการสังเคราะห์สารประกอบระหว่างธาตุหายากกับชิฟเบสลิแกนด์ (rare earth Schiff base complex) ทำได้โดยนำชิฟเบสลิแกนด์ 0.002 โมลละลายลงในเอทานอล 10 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายของ $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งเกิดจากการละลาย $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 0.002 โมล ในน้ำ 10 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำสารที่ผสมแล้วเข้าสู่กระบวนการรีฟลักซ์ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 ชั่วโมง โดยในระหว่างกระบวนการต้องทำการกวนสารอย่างต่อเนื่อง เมื่อปฏิกิริยาการผสมสิ้นสุดลงให้ตั้งสารละลายที่ได้ให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง สิ่งที่ได้คือตะกอนสีเหลืองอ่อนของของแข็งที่เกิดการรวมตัวกัน หลังจากนั้นทำการกรองตะกอนเหล่านั้นออก แล้วล้างด้วยเอทานอลผสมน้ำ และทำให้แห้งโดยเก็บไว้ในโถดูดความชื้นที่อยู่ภายใต้ anhydrous CaCl_2 ในการสังเคราะห์สารประกอบของธาตุหายากอื่นๆ กับชิฟเบสลิแกนด์ ก็ใช้วิธีนี้เช่นเดียวกัน

ในปี 2015 Mohammad Shakir และ คณะ ได้ทำการสังเคราะห์โครงสร้างชิฟเบสลิแกนด์ N,N'-bis-(2-thiophenecarboxaldimine)-3,3'-diaminobenzidine จาก 3,3'-diaminobenzisene กับ 2-thiophenecarboxaldehyde หลังจากนั้นนำลิแกนด์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาสร้างเป็นสารประกอบกับธาตุหายาก ได้แก่ La^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} , Gd^{3+} และ Er^{3+} โดยสารประกอบที่ได้มีสูตรโมเลกุลโดยทั่วไปเป็น $[\text{Ln}_2\text{L}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{NO}_3)_4](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ในการประยุกต์ใช้งานในการศึกษาทางด้านการศึกษาต่อด้านมะเร็งมะเร็งปากมดลูกในมนุษย์



ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างการสังเคราะห์ลิแกนด์ที่เป็นชิฟเบส (ที่มา : Journal of Molecular Structure, 1102, 108-116(2015))

วิธีการสังเคราะห์แสดงดังภาพที่ 2.19 โดยเริ่มจากทำการละลาย 3,3'-diaminobenzisene 1 มิลลิโมล หรือ 214 มิลลิกรัม ในตัวทำละลาย 25 มิลลิลิตรที่มีส่วนผสมของน้ำกับอะซิโตนไนไทรล์ (acetonitrile) อยู่ในอัตราส่วน 1:1 นำสารละลายข้างต้นทำให้ร้อน แล้วทำการเติมลงในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ 2-thiophenecarboxaldehyde ที่มีส่วนผสมของ 2-thiophenecarboxaldehyde 2 มิลลิโมล หรือ 0.19 มิลลิลิตร ที่ละลายในอะซิโตนไตรอล์ 5 มิลลิลิตร ทำการกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก (magnetic stir) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุดลง ทำการกรองเอาของแข็งสีส้มออกจากสารละลาย หลังจากนั้นทำการล้างผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้ด้วยน้ำที่ผสมกับอะซิโตนไตรอล์ และทำให้แห้งในโถดูดความชื้นที่อยู่ภายใต้ anhydrous CaCl_2

ในการสังเคราะห์สารประกอบระหว่างซิปเบสลิแกนด์กับธาตุหายากทำได้โดย นำสารละลายของโลหะหายาก 10 มิลลิลิตร ที่เป็นสารประกอบไนเตรตปริมาณ 1 มิลลิโมล หยดลงในเครื่องกวนแม่เหล็ก ที่มีสารละลายลิแกนด์ปริมาณ 1 มิลลิโมลอยู่ภายใน หลังจากนั้นทำการผสมสารละลายข้างต้นเข้ากับตัวทำละลายปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่มีส่วนผสมระหว่าง tetrahydrofuran (THF) กับเมทานอล (methanol) ในอัตราส่วน 1:1 โดยกระบวนการทั้งหมดอยู่ภายใต้ปฏิกิริยารีดอกซ์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสารประกอบที่มีลักษณะเป็นของแข็ง หลังจากนั้นทำการกรองเอาตัวทำละลายออก แล้วทำการล้างด้วย THF ที่ผสมกับเมทานอล แล้วล้างอีกครั้งด้วย petroleum ether เมื่อล้างเสร็จแล้วทำการเก็บสารประกอบในโถดูดความชื้นที่อยู่ภายใต้ anhydrous calcium chloride สารประกอบที่ได้มีคุณสมบัติคือมีความเสถียรในสภาวะอากาศปกติ และละลายได้ใน Dimethylformamide (DMF) และ Dimethyl Sulfoxide (DMSO)

2.7.5 การวิเคราะห์ผลด้วยวิธี Cyclic Voltammetry [37, 38]

ในปี 2015 Xiaobin Feng และคณะ ทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดระบบภูมิคุ้มกัน ที่มี carcinoembryonic antigen (CEA) and alphafetoprotein (AFP) เป็นตัวตรวจจับ เพื่อให้การทำงานของอุปกรณ์มีความจำเพาะเจาะจงกับเป้าหมายที่ต้องการตรวจวัด โดยในงานวิจัยได้ทำการศึกษาแบบการตรึงสารที่แตกต่างกันโดยหนึ่งในนั้นคือการสร้างอุปกรณ์ electrochemiluminescence (ECL) immunoassay โดยใช้เทคนิค chemiluminescence และ potentiostat พบว่าเทคนิค chemiluminescence แสงที่ได้มีตอบสนองต่อการวัดวิเคราะห์ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ที่คู่กับกระบวนการไซคลิกโวลแทมเมตรี มีวิธีการทำงานคือการให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันให้กับอุปกรณ์ตรวจวัด แล้วดูปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออนที่เกิดขึ้นของกับอุปกรณ์เมื่อกำลังทำการวิเคราะห์สารละลายเป้าหมาย ด้วยการตรวจวัดนี้ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้ประสบความสำเร็จโดยค่าสัญญาณที่ได้เกิดจากการให้ค่าความต่างศักย์ที่แตกต่างกัน สัญญาณที่ได้ปล่อยออกมาจากขั้วบวกซึ่งลักษณะสัญญาณที่ได้เป็นดังภาพที่ 2.20 แสดงกราฟการแลกเปลี่ยนไอออนหรือปฏิกิริยารีดอกซ์ เมื่อให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันกับตัวอุปกรณ์

และในปีเดียวกัน Xiugin Tang และคณะ ใช้วิธีการวัดด้วยไซคลิกโวลแทมเมตรี ในการวิเคราะห์ผล โดยประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 3 ขั้ว คือ ขั้วทำงานเป็นขั้วที่ต้องการวัด ขั้วทำงานซึ่งจากงานวิจัยเป็นขั้วกระจกนำไฟฟ้า (Indium Tin Oxide glass, ITO) เปล่า และทำการสร้างขั้วฟิล์มซิลิกาอยู่บนกระจกนำไฟฟ้าที่สร้างขึ้น โดยทำการควบคุมพื้นที่ผิวของขั้วให้มีขนาดเท่ากัน จากงานวิจัยคือ 1.0 ตารางเซนติเมตร และ ลวด Pt เป็นขั้วไฟฟ้าช่วย และใช้ Saturated calomel

electrode (SCE) เป็นขั้วอ้างอิง และงานวิจัยนี้ได้ให้ช่วงความต่างศักย์ -0.6 โวลต์ – 1.6 โวลต์ ในกระบวนการวิเคราะห์ โดยงานวิจัยผลการวัดที่ได้เป็นดังภาพที่ 2.21

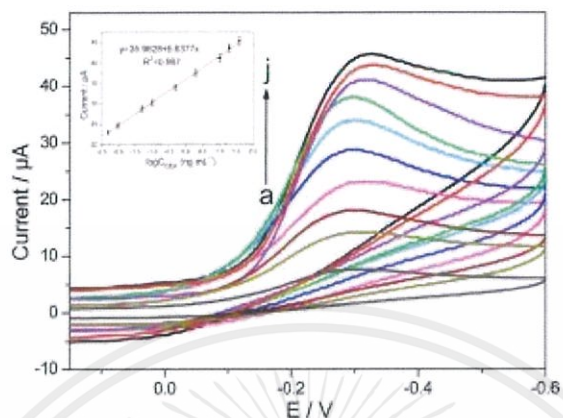


Fig. 6. CV profiles of immunosensor detecting CEA (ng mL^{-1}): (a) 0, (b) 0.005, (c) 0.01, (d) 0.05, (e) 0.1, (f) 0.5, (g) 2.0, (h) 10, (i) 20, and (j) 40. Inset: calibration curve, and the standard deviation values of slope and intercept were 0.5955 and 0.9420, respectively.

ภาพที่ 2.20 ภาพลักษณะกราฟจาก CV ที่ได้จากงานวิจัยเรื่อง A novel strategy for multiplexed immunoassay of tumor markers based on electrochemiluminescence coupled with cyclic voltammetry using graphene-polymer nanotags (ที่มา : *Electrochimica Acta*, 170, 292-299(2015))

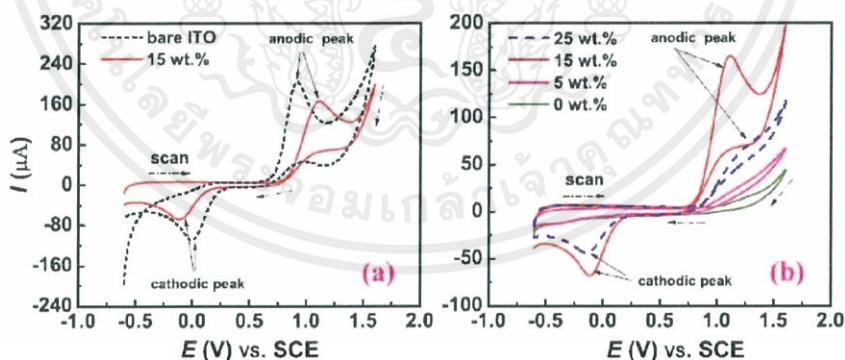


Fig. 2. (a) Cyclic voltammograms for a bare ITO electrode, and silica film/ITO electrode with 15 wt.% CTAB recorded in a 0.05 M hydrogen phthalate solutions (pH 4.1) containing 5 mM KI. (b) Cyclic voltammograms for silica film/ITO electrodes prepared by 0 wt.%, 5 wt.%, 15 wt.%, and 25 wt.% CTAB at a scanning rate of 5 mV/s, respectively.

ภาพที่ 2.21 ภาพลักษณะกราฟ Cyclic Voltammetry (CV) ที่ได้จากงานวิจัยเรื่อง Development of pore interconnectivity/morphology in porous silica films investigated by cyclic voltammetry and slow positron annihilation spectroscopy (ที่มา : *Electrochimica Acta*, 168, 365-369(2015))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

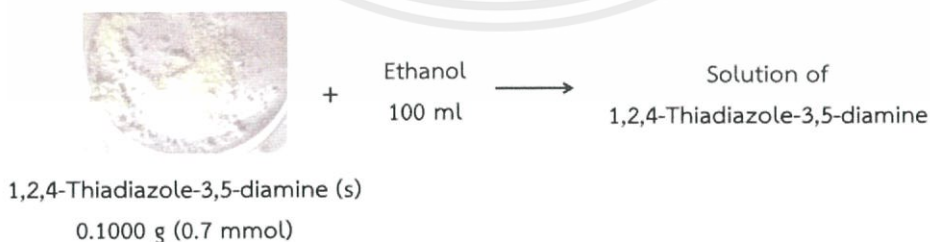
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยของโครงการพิเศษฉบับนี้จะเริ่มต้นจากการศึกษาคุณสมบัติของชิฟเบส (Schiff base) ที่ใช้เป็นส่วนประกอบของขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออน (ISE) เพื่อใช้ในการตรวจวัด และวิเคราะห์ไอออนของโลหะหนักที่อยู่ในรูปของสารละลาย หลังจากนั้นทำการสังเคราะห์โครงสร้างของชิฟเบส โดยทำการผสม 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine กับ 2-5-Thiophenedicarboxaldehyde ในอัตราส่วน 1:1 โดยโมล ตัวทำละลายเอทานอล โดยกระบวนการสังเคราะห์ที่ใช้คือกระบวนการรีฟลักซ์ (Reflux) ในการสังเคราะห์ใช้อุปกรณ์คือ เครื่องควบแน่นชนิดรีฟลักซ์ (Reflux Condenser) ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์ 3-5 ชั่วโมง ทดสอบการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา และการเกิดของผลิตภัณฑ์ด้วย ทินแลร์โครมาโตกราฟี (Thin layer Chromatography, TLC) เมื่อกระบวนการสังเคราะห์สิ้นสุดลง นำสารละลายผสมที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการระเหย (Evaporation) ด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary Evaporator) โดยใช้ความเร็วรอบในการหมุนที่ 1000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ลักษณะของสารที่ได้จะเป็นผลึกสีเหลือง แล้วนำผลึกที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ดังนี้ อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี, นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี, ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี และ โฟเทนิซิโอเมทรี ในลักษณะของไซคลิกโวลแทมเมทรี

3.1 กระบวนการสังเคราะห์ชิฟเบสลิแกนด์

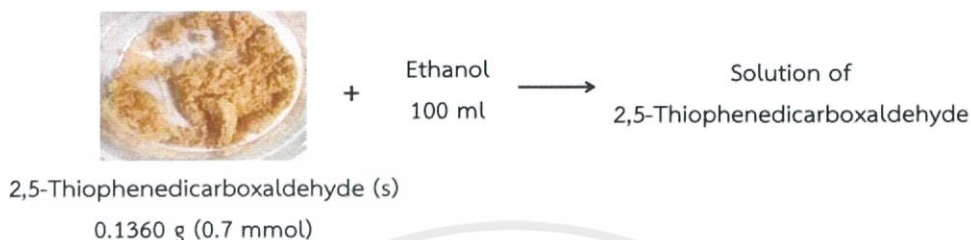
3.1.1 เตรียมสารละลายของ 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine โดยนำ 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine ซึ่งอยู่ในซองของแข็ง มีลักษณะเป็นผงสีขาวน้ำหนัก 0.1000 กรัม (0.7 มิลลิโมล) ผสมในตัวทำละลายเอทานอล 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นคนให้สารทั้งสองผสมกันแสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงการเตรียมสารละลายของ 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เตรียมสารละลายของ 2-5-Thiophenedicarboxaldehyde โดยนำ 2-5-Thiophenedicarboxaldehyde ซึ่งอยู่ในรูปของแข็ง มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองน้ำหนัก 0.1360 กรัม (0.7 มิลลิโมล) ผสมในตัวทำละลายเอทานอล 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นคนให้สารทั้งสองผสมกันแสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แผ่นฝังแสดงการเตรียมสารละลายของ 2,5-Thiophenedicarboxaldehyde

3.1.3 นำสารละลายของ 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine ที่ได้จาก 3.1.1 ผสมกับสารละลายของ 2-5-Thiophenedicarboxaldehyde ที่ได้จาก 3.1.2 นำสารผสมที่ได้ใส่ในขวดกันกลม

3.1.4 ให้ความร้อนแก่สารละลายผสม และเข้าสู่กระบวนการรีฟลักซ์แบบควบแน่น (Reflux Condenser) ภาพที่ 3.3 โดยควบคุมความร้อนให้อยู่ที่อุณหภูมิของสารละลายผสมอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3-5 ชั่วโมง โดยในระหว่างปฏิกิริยาทำการกวนตลอดเวลาด้วย แท่งแม่เหล็ก (magnetic bar) และ เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก (magnetic stirring)



ภาพที่ 3.3 การสังเคราะห์สารด้วยกระบวนการรีฟลักซ์แบบควบแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 ทำการทดสอบการดำเนินไปของปฏิกิริยาด้วยวิธีการทินแลร์โครมาโตกราฟี (TLC) จนปฏิกิริยาลิ้นสุดลง ภาพที่ 3.4 จากซ้ายไปขวา พบว่า แถบสีของสารมีการเปลี่ยนแปลง นั่นอาจหมายถึงมีสารตั้งต้นบางอย่างหมดไป หรือมีผลิตภัณฑ์ใหม่เกิดขึ้น



ภาพที่ 3.4 การทดสอบการดำเนินไปของปฏิกิริยาด้วย TLC

3.1.6 เมื่อปฏิกิริยาการรีฟลักซ์สิ้นสุดลงนำไปเข้าสู่กระบวนการระเหย (Evaporation) ด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุน (Rotary Evaporator) โดยให้ความเร็วรอบอยู่ที่ 1000 รอบต่อนาที (rpm) และให้ความร้อนของการระเหยที่ 60 องศาเซลเซียส รอจนตัวทำละลายระเหยออกหมดจะได้เป็นของแข็งสีเหลืองอยู่ภายในขวดก้นกลมดังภาพที่ 3.5



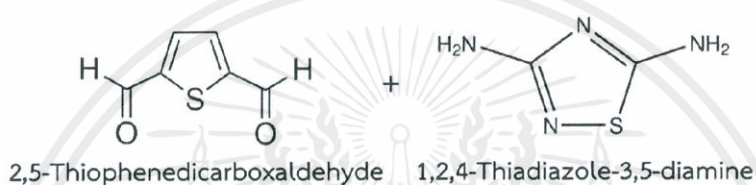
ภาพที่ 3.5 ผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านกระบวนการระเหยแล้ว

3.1.7 ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือซิฟเบสลิแกนด์ที่มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง ดังรูปที่ 3.6 ต่อไปนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่ขั้นตอนของกระบวนการทดสอบสัณฐานวิทยาต่อไป

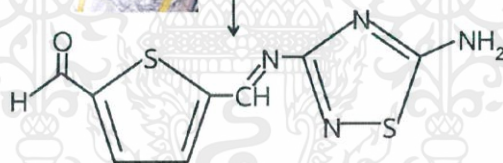
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 ซิฟเบสลิแกนด์ (Schiff base ligand)



Ethanol 200 mL
reflux at 50°C in 3-5 h



Evaporation by
rotary evaporator



Schiff base ligand

ภาพที่ 3.7 กระบวนการสังเคราะห์ซิฟเบสลิแกนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 กระบวนการทดสอบคุณสมบัติของสาร

3.2.1 อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (FTIR)

ข้อมูล IR spectrum ของซีฟเบสลิแกนต์ได้จาก Perkin-Elmer Spectrum Two FT-TR with UATR วัดค่าการทะลุผ่าน (Transmittance) โดยให้เลขคลื่นอยู่ช่วง $4000-450 \text{ cm}^{-1}$ โดยการวัดผลทำในสภาวะอุณหภูมิห้อง

3.2.2 นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี (NMR)

ตำแหน่ง Chemical shift (δ , ppm) ของซีฟเบสลิแกนต์ได้จาก Bruker Biospin GnbH ที่ใช้ความถี่ในการวิเคราะห์ 400 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้ตัวทำละลายคือ deuterated chloroform (CDCl_3)

การเตรียมสารเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทำได้โดย

1. ทำการละลายซีฟเบสลิแกนต์ด้วย CDCl_3
2. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 1 ใส่ลง หลอด NMR โดยใช้สารละลายในหลอดมีความสูงประมาณ 3-5 เซนติเมตร
3. นำไปทดสอบคุณสมบัติ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล

3.3 การวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของซีฟเบสลิแกนต์เมื่อจับกับไอออนของโลหะหนัก

3.3.1 ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี (Fluorescence spectroscopy)

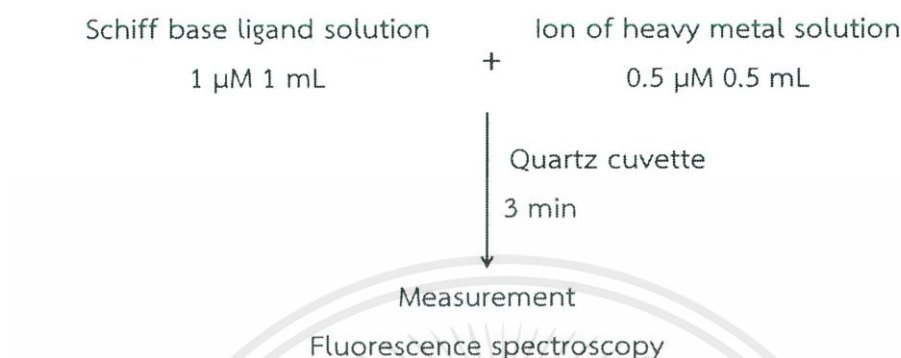
ข้อมูลของ Emission spectra ได้จาก LS 55 Perkin-Elmer spectrofluorometer equipped with a xenon lamp source โดยทำการวัดในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 200-800 นาโนเมตร และ $\lambda_{\text{exc}} = 350$ นาโนเมตรการทำงานอยู่ในสภาวะอุณหภูมิห้อง

การเตรียมสารละลายเพื่อทำการวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายของซีฟเบสลิแกนต์ ที่มีความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ โดยมีตัวทำละลายเป็นเอทานอล
2. เตรียมสารละลายไอออนของโลหะหนักที่ความเข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ ในน้ำปลอดประจุ สารละลายทั้งหมดประกอบไปด้วย $\text{C}_4\text{H}_6\text{CdO}_4$, $\text{C}_4\text{H}_6\text{FeO}_4$, $\text{C}_4\text{H}_6\text{HgO}_4$, $\text{C}_4\text{H}_6\text{MnO}_4$, $\text{C}_4\text{H}_6\text{PbO}_4$, AgNO_3 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, CrO_3 , Fe_2O_3 และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
3. ในกระบวนการวัดผล ทำโดย การเติมสารละลายของซีฟเบสลิแกนต์ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงใน quartz cuvette หลังจากนั้นเติมสารละลายไอออนของโลหะปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที แล้วทำการวัดผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการวัดค่าการแผ่รังสี โดยใช้ช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร
5. ทำตามข้อ 3 และ 4 กับโดยเปลี่ยนชนิดของสารละลายไอออนของโลหะจนครบ
6. นำผลข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล



ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการวัดฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี

3.3.2 โปเทนชิโอเมทรี (Potentiometry)

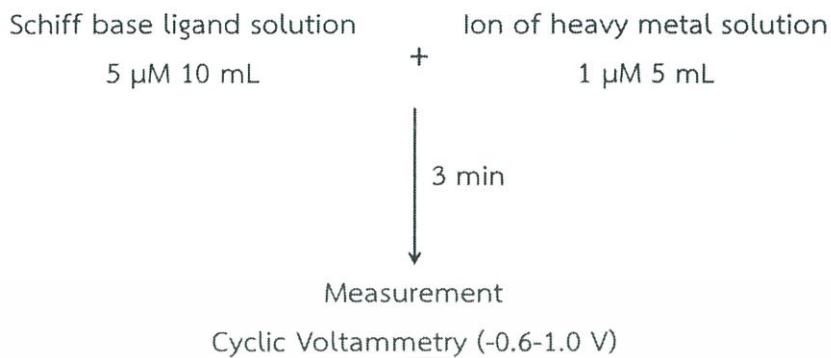
ข้อมูลของไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic Voltammetry, CV) ได้จาก AUTOLAB Potentiostat โดยให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง -0.6-1.0 โวลต์ โวลต์ โดยใช้ทอง (Au) เป็นขั้วทำงาน (Working electrode, WE) , ซิลเวอร์ ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) เป็นขั้วอ้างอิง (Reference electrode) และ แพททินัม (Pt) เป็นขั้วไฟฟ้าช่วย (Counter electrode) กระบวนการทั้งหมดอยู่ในสภาวะอุณหภูมิห้อง

การเตรียมสารละลายเพื่อทำการวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายของซีฟเบสลิแกนด์ ที่มีความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ โดยมีตัวทำละลายเป็นเอทานอล
2. เตรียมสารละลายไอออนของโลหะหนักที่มีความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในน้ำปอดประจุสารละลายทั้งหมดประกอบไปด้วย $C_4H_6CdO_4$, $C_4H_6FeO_4$, $C_4H_6HgO_4$, $C_4H_6MnO_4$, $C_4H_6PbO_4$, $AgNO_3$, $Al(NO_3)_3$, $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $Fe(NO_3)_3$, $Ni(NO_3)_2$, CrO_3 , Fe_2O_3 และ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$
3. ในกระบวนการวัดผล ทำโดย การเติมสารละลายของซีฟเบสลิแกนด์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ หรือถ้วยแก้วสำหรับใส่สาร หลังจากนั้นเติมสารละลายไอออนของโลหะปริมาตร 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที แล้วทำการวัดผล
4. ทำการวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ให้ค่าความต่างศักย์ที่ช่วง -0.6-1.0 โวลต์
5. ทำตามข้อ 3 และ 4 กับโดยเปลี่ยนชนิดของสารละลายไอออนของโลหะจนครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำผลข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล



ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการวัดไซคลิกโวลแทมเมตรี

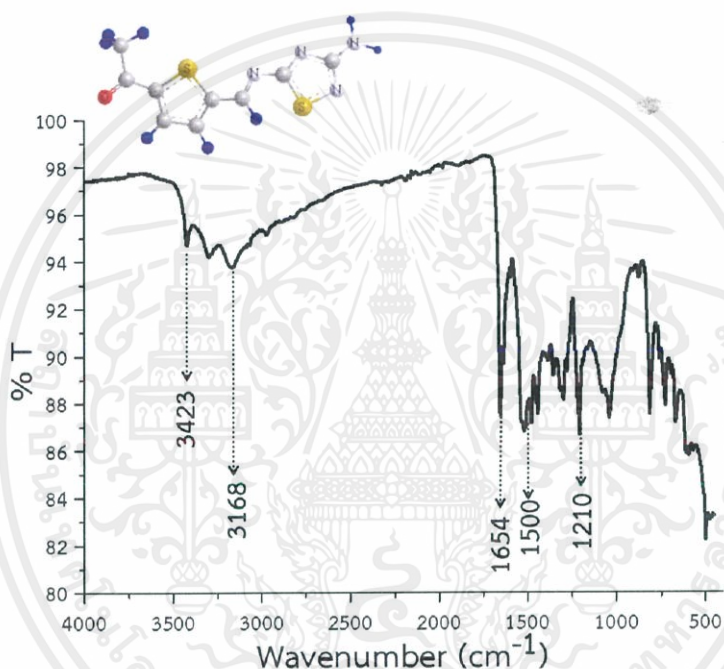


บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 การวัดคุณสมบัติของซิฟเบสลิแกนด์ และสารประกอบของซิฟเบสลิแกนด์ที่เกิดจากการรวมตัวกับไอออนของโลหะหนัก

4.1.1 การวัดคุณสมบัติด้วยอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (FTIR)



ภาพที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของซิฟเบสลิแกนด์

อินฟราเรดสเปกตรัมของซิฟเบสลิแกนด์แสดงดังภาพที่ 4.1 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพบว่าเลขคลื่น (wavenumber, cm^{-1}) และ %transmittance (%T) จากกราฟแสดงตำแหน่งของเลขคลื่นหลักๆอยู่ 5 ตำแหน่ง ที่เลขคลื่น 3432 cm^{-1} , 3168 cm^{-1} , 1654 cm^{-1} , $\sim 1500 \text{ cm}^{-1}$ และ 1210 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชัน และรายละเอียดของแต่ละแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งตำแหน่งที่น่าสนใจมากที่สุด และยืนยันว่าโครงสร้างที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นโครงสร้างของซิฟเบส คือที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1654 cm^{-1} แสดงถึงแถบพลังงานเกิดจากการโค้งงอของโครงสร้างกลุ่มอะโซมีทีน (azomethine group, HC=N-) ของ เซคันดารีอิมีน (R-HC=N-R') ในโครงสร้างของซิฟเบสลิแกนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งเลขคลื่นของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของซิปเบสลิแกนด์

ตำแหน่งของเลขคลื่น (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน	รายละเอียด
3432	O-H stretching	แอลกอฮอล์ที่เกิดพันธะไฮโดรเจน
3168	=C-H stretching	อัลคีน และเบนซีน
1654	N=C bending	2° อิมีน
~1500	C=C stretching	เบนซีนที่มีหมู่แทนที่
1210	C-O stretching	ฟีนอล

4.1.2 การวัดคุณสมบัติด้วยนิวเคลียร์แมกเนติก เรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี (NMR)

จากการวิเคราะห์ด้วย $^1\text{H-NMR}$ พบว่า Chemical Shift ที่ตำแหน่ง 5.6 ppm, 7.7 ppm และ 11.4 ppm ซึ่งเกิดจากโปรตอนในสารประกอบ NH_2 ในอะโรมาติก เอมีน (Ar-NH_2), CH ในไทโอพีน ($\text{C}_4\text{H}_4\text{S}$) และ CH ในเซคันดารีอิมีน ($\text{R-HC=N-R}'$) ตามลำดับ โดยตำแหน่งเซคันดารีอิมีนที่ปรากฏนี้ เป็นการยืนยันว่าสารที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นโครงสร้างของซิปเบสลิแกนด์

4.2 การทดสอบการตรวจวัดปริมาณไอออนของโลหะหนักของซิปเบสลิแกนด์

4.2.1 การตรวจวัดไอออนของโลหะหนักด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี

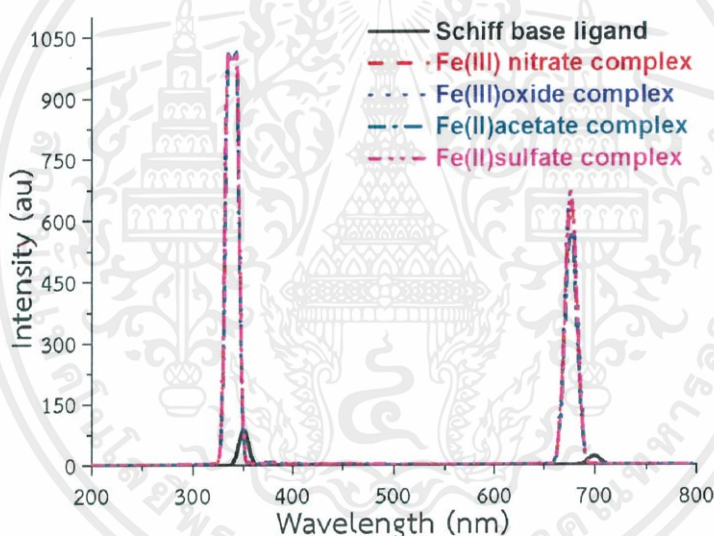
ในการทดสอบด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี พบว่าซิปเบสลิแกนด์ (Schiff base ligand) แสดงตำแหน่งพีคของฟลูออเรสเซนซ์ที่ความยาวคลื่นประมาณ 350.5 นาโนเมตร เป็นผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน (electron transition) ของอิเล็กตรอนในโมเลกุลเมื่อได้รับพลังงานจากระดับพลังงาน $\pi \rightarrow \pi^*$ transition state ของวงเบนซีน (benzyl ring) และ กลุ่มอะโซมีทีน (HC=N-) และเมื่อทดสอบการตรวจวัดไอออนของโลหะหนักโดยเติมสารละลายไอออนของโลหะหนักความเข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ ลงในสารละลายซิปเบสลิแกนด์ที่มีความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในการทดลองเริ่มจากการทดสอบผลของแอนไอออน (anion) ต่อการตรวจวัดไอออนของโลหะหนักด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี โดยใช้สารประกอบไอออนของเหล็กที่มีแอนไอออนที่แตกต่างกันคือ acetate (CH_3COO^-), sulfate (SO_4^{2-}), nitrate (NO_3^-) และ oxide (O^{2-}) โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2 พบว่าแอนไอออนที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อการวัดไอออนของเหล็ก เนื่องจากตำแหน่ง และค่าความเข้มข้นของพีคฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้นของไอออนเหล็ก Fe^{2+} และ Fe^{3+} แสดงตำแหน่งพีคที่ความยาวคลื่นใกล้เคียงกัน ประมาณ 335 และ 343 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน $\pi \rightarrow \pi^*$ transition state ของวงเบนซีน และ กลุ่มอะโซมีทีน และที่ความยาวคลื่นประมาณ 676.5 คาดว่าอาจจะมาเกิดมาจาก $n \rightarrow \pi^*$ transition state ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสถานะอิเล็กตรอนของไอออนของเหล็ก กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะตอมของไนโตรเจน ในกลุ่มอะโซมีทีน ในโครงสร้างของชิฟเบสลิแกนด์ จากผลการทดลองข้างต้น อาจบอกได้ว่า แอนไอออนไม่มีผลต่อการตรวจวัดไอออนของเหล็ก

ตารางที่ 4.2 ตำแหน่ง λ_{\max} (นาโนเมตร) ของชิฟเบสลิแกนด์ และสารประกอบชิฟเบสลิแกนด์กับ ไอออนของเหล็ก เมื่อสารละลายไอออนของเหล็กอยู่ในรูปของสารประกอบที่แตกต่าง กัน

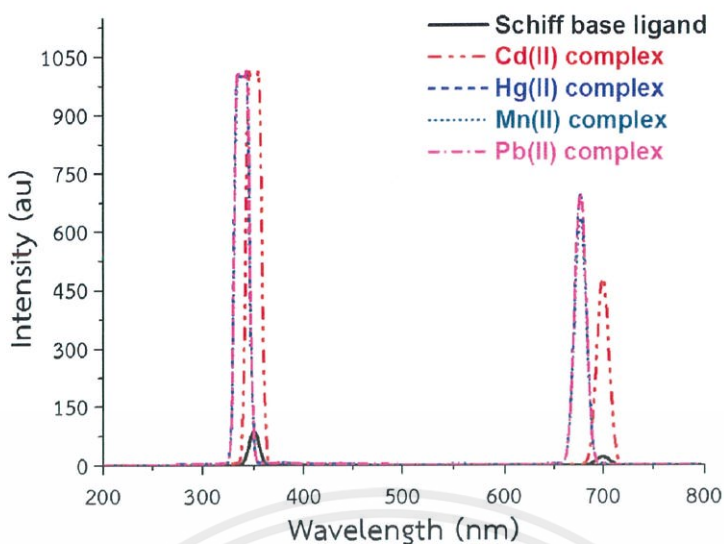
สาร	λ_{\max} (นาโนเมตร)		
Schiff base ligand	350.5	699.0	
Fe(II)acetate complex	335.0	343.0	676.5
Fe(II)sulfate complex	334.5	343.0	676.5
Fe(III)nirate complex	335.0	342.5	676.5
Fe(III)oxide complex	335.5	342.5	676.5



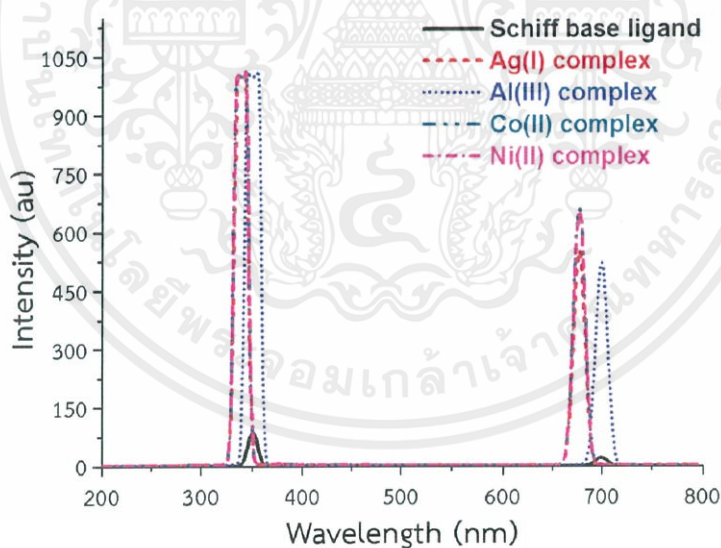
ภาพที่ 4.2 Emission spectra ของชิฟเบสลิแกนด์ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และชิฟเบสลิแกนด์ จับกับไอออนของเหล็ก ที่อยู่ในรูปสารประกอบที่แตกต่างกันคือ Fe(III) nitrate complex, Fe(III) oxide complex, Fe(II) acetate complex และ Fe(II) sulfate complex ที่ความเข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ โดยใช้เงื่อนไขการวัดผลที่ $\lambda_{\text{exc}} = 350$ นาโนเมตร และมีสถานะอยู่ในอุณหภูมิห้อง

และเมื่อทำการเปรียบเทียบ emission spectra ของสารประกอบไอออนของโลหะที่มีหมู่ แอนไอออนเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.3 สารประกอบกลุ่มอะซิเตต, ภาพที่ 4.4 สารประกอบกลุ่ม ไนเตรต และ ภาพที่ 4.5 สารประกอบกลุ่มออกไซด์ โดยตำแหน่งของ λ_{\max} (นาโนเมตร) แสดงดัง ตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

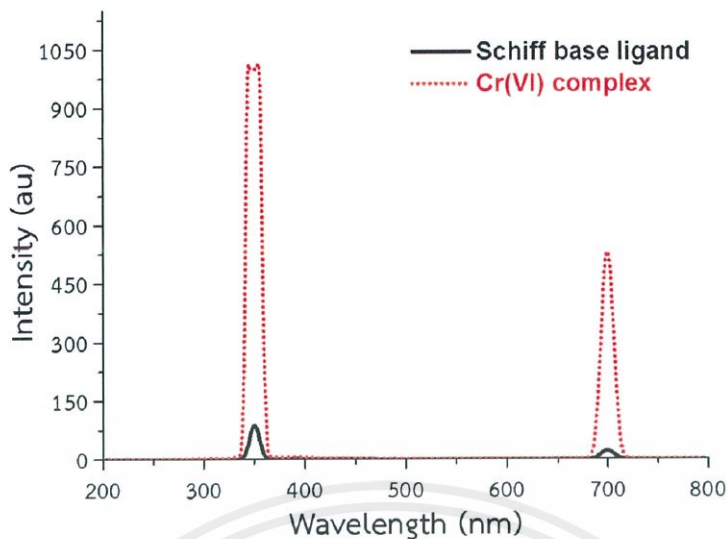


ภาพที่ 4.3 Emission spectra ของ Schiff base ligand ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และ Schiff base ligand กับสารประกอบอะซิเตตไอออนของโลหะ ซึ่งประกอบไปด้วย Cd(II) complex, Hg(II) complex, Mn(II) complex และ Pb(II) complex ที่มีความเข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ โดยใช้เงื่อนไขการวัดผลที่ $\lambda_{exc} = 350$ นาโนเมตร และมีสถานะอยู่ในอุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 4.4 Emission spectra ของ Schiff base ligand ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และ Schiff base ligand กับสารประกอบไนเตรตไอออนของโลหะ ซึ่งประกอบไปด้วย Ag(I) complex, Al(III) complex, Co(II) complex และ Ni(II) complex ที่มีความเข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ โดยใช้เงื่อนไขการวัดผลที่ $\lambda_{exc} = 350$ นาโนเมตร และมีสถานะอยู่ในอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 Emission spectra ของ Schiff base ligand ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และ Schiff base ligand กับสารประกอบออกไซด์ของ Cr(VI) complex ที่มีความเข้มข้น 0.5 ไมโครโมลาร์ โดยใช้เงื่อนไขการวัดผลที่ $\lambda_{exc} = 350$ นาโนเมตร และมีสถานะอยู่ในอุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 4.3 ตำแหน่ง λ_{max} (นาโนเมตร) ของ Schiff base ligand และสารประกอบ Schiff base ligand กับไอออนของโลหะต่างๆ ในกลุ่มของสารประกอบอะซิเตต, ไนเตรต และ ออกไซด์

กลุ่มสารประกอบ	สารประกอบ	λ_{max} (นาโนเมตร)		
	Schiff base ligand	350.5	699	
อะซิเตต	Cd(II) complex	345.5	355.0	700.0
	Hg(II) complex	334.5	343.0	676.5
	Mn(II) complex	335.0	342.5	676.5
	Pb(II) complex	334.5	343.0	676.5
ไนเตรต	Ag(I) complex	335.5	342.0	676.5
	Al(III) complex	345.5	355.0	700
	Co(II) complex	335.0	343.0	676.5
	Ni(II) complex	335.0	342.5	676.5
ออกไซด์	Cr(VI) complex	345.5	355.0	699.5

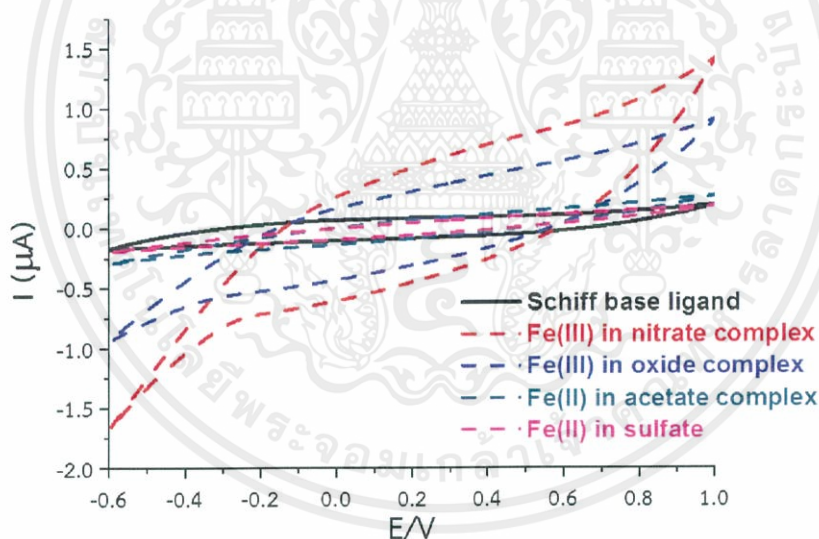
ข้อมูลในตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าไอออนของโลหะที่นำมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ แสดงคุณสมบัติของการเปล่งแสงออกมา โดยตำแหน่ง λ_{max} ที่เกิดขึ้นมีการเคลื่อนจากตำแหน่ง λ_{max} ของ Schiff base ligand เพียงเล็กน้อย และค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้น Schiff base ligand อิสระประมาณ 12 เท่า โดยมีค่าความเข้มแสงอยู่ที่ประมาณ 1011-1015 au ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 330-360 นาโนเมตร เป็นผลมาจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน $\pi \rightarrow \pi^*$ transition state ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงเบนซิน และ กลุ่มอะโซมีทีน และที่ความยาวคลื่นประมาณ 670-700 นาโนเมตร คาดว่าอาจจะมาเกิดมาจาก $n \rightarrow \pi^*$ transition state ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสถานะอิเล็กตรอนของโลหะไอออน กับอะตอมของไนโตรเจน ในกลุ่มอะโซมีทีน ในโครงสร้างของชิฟเบสลิแกนด์ โดยมีค่าความเข้มแสงประมาณ 600 au ซึ่งจากการทดลองพบว่าชิฟเบสลิแกนด์เมื่อจับกับไอออนของโลหะ ผลที่ได้คือไอออนของโลหะทุกชนิดที่นำมาทดสอบแสดงค่าสัญญาณฟลูออเรสเซนซ์ที่ตำแหน่งความยาวคลื่นและความเข้มแสงที่ใกล้เคียงกัน

4.2.2 การตรวจวัดไอออนของโลหะหนักด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

ในการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่า ชิฟเบสลิแกนด์ไม่ (Schiff base ligand) ไม่เกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน (electron transfer reaction) ที่ขั้วไฟฟ้า แต่เมื่อทำการทดสอบโดยการเติมสารละลายไอออนของโลหะหนักลงในสารละลายชิฟเบสลิแกนด์ แล้วทำการวัดผล โดยให้ค่าความต่างศักย์อยู่ระหว่าง -0.6 - 1.0 โวลต์ โดยใช้ทอง (Au) เป็นขั้วทำงาน (Working electrode, WE) , ซิลเวอร์ ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) เป็นขั้วอ้างอิง (Reference electrode) และ แพททินัม (Pt) เป็นขั้วไฟฟ้าช่วย (Counter electrode)

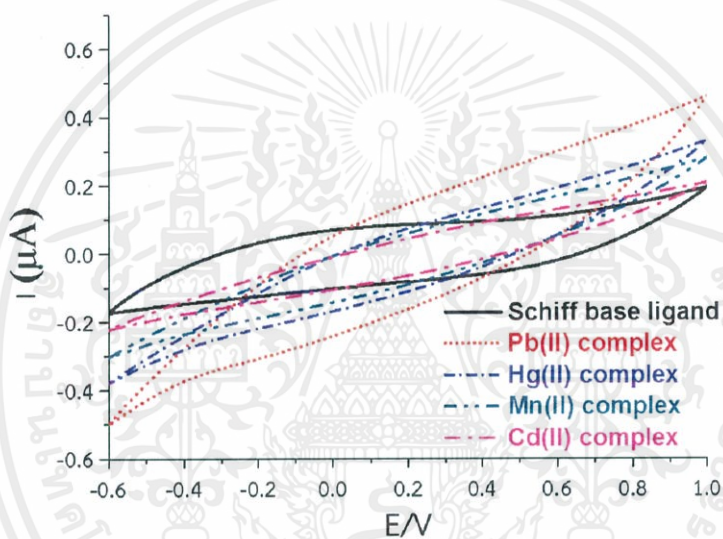


ภาพที่ 4.6 Cyclic Voltammetric curves ของชิฟเบสลิแกนด์ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ และชิฟเบสลิแกนด์จับกับไอออนของเหล็ก ที่อยู่ในรูปสารประกอบที่แตกต่างกันคือ Fe(III) nitrate complex, Fe(III) oxide complex, Fe(II) acetate complex และ Fe(II) sulfate complex ที่มี ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง

จากการทดลองทำการวัดผลของแอนไอออนที่มีต่อค่าสัญญาณ แสดงดังภาพที่ 4.6 แอนไอออนที่ใช้ทำการทดลองประกอบไปด้วย acetate (CH_3COO^-), sulfate (SO_4^{2-}), nitrate (NO_3^-)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

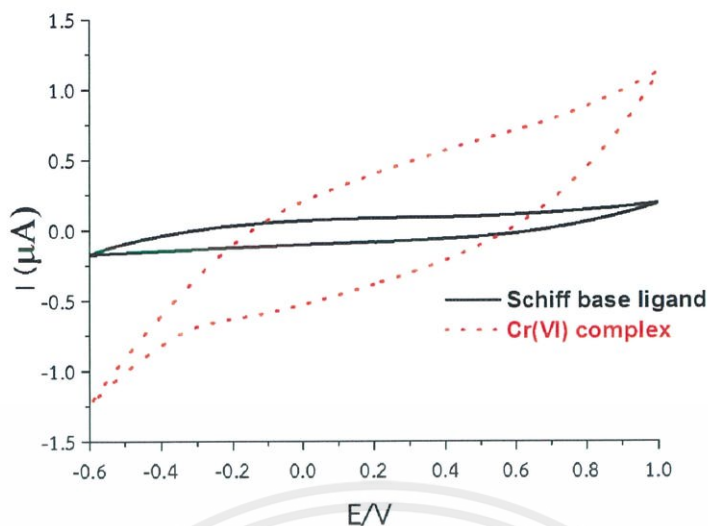
และ oxide (O^{2-}) อยู่ในรูปของสารประกอบของเหล็ก $C_4H_6FeO_4$, $Fe(NO_3)_3$, Fe_2O_3 และ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าแอนไอออนไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค โวลแทมเมทรี (CV) ดังนั้นค่าสัญญาณที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณไอออนของโลหะหนักที่อยู่ในสารละลายที่นำมาทำการวิเคราะห์ จาก กราฟไซคลิกโวลแทมเมทรี พบว่า Fe^{2+} แตกต่างจาก Fe^{3+} ที่อยู่ในสารละลายของซิฟเบสลิแกนด์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน ภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน โดย Fe^{2+} แทบจะไม่เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านขั้วไฟฟ้าทำงาน นั้นอาจหมายความว่า Fe^{2+} ไม่มีการแลกเปลี่ยนของอิเล็กตรอนที่ผิวของขั้วไฟฟ้าทำงาน ไม่สามารถทำให้สารละลายเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนได้ แต่ Fe^{3+} พบว่ามีกระแสไหลผ่านขั้วไฟฟ้าทำงาน เล็กน้อย อาจเป็นผลมาจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนของสารละลาย



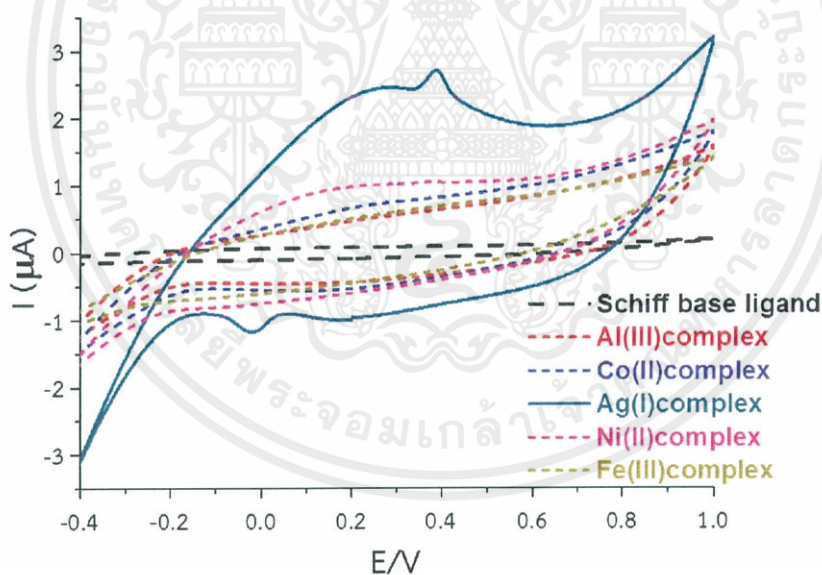
ภาพที่ 4.7 Cyclic Voltammetric curves ของซิฟเบสลิแกนด์ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ และซิฟเบสลิแกนด์จับกับไอออนของโลหะต่างชนิดกัน ที่อยู่ในรูปสารประกอบอะซิเตต คือ Pb(II) complex, Hg(II) complex, Mn(II) complex และ Cd(II) complex ที่มีความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง

และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลของไอออนของโลหะชนิดต่างๆ แสดงดัง ภาพที่ 4.7 ไอออนของโลหะที่อยู่ในรูปของสารประกอบอะซิเตต ซึ่งประกอบไปด้วย Pb^{2+} , Hg^{2+} , Mn^{2+} และ Cd^{2+} ภาพที่ 4.8 ไอออนของโลหะที่อยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ได้แก่ Cr^{6+} พบว่า แทบจะไม่เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านขั้วทำงานทำให้สัญญาณของกระแสที่ได้มีค่าน้อยมาก อาจบอกได้ว่าซิฟเบสลิแกนด์ที่สังเคราะห์ขึ้นเมื่อจับกับไอออนเหล่านี้แล้วไม่มีผลทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างโครงสร้างของซิฟเบสลิแกนด์กับไอออนของโลหะ เป็นผลให้ขั้วไฟฟ้าทำงานไม่มีกระแสเกิดขึ้น ซึ่งต่างจาก Ag(I) complex ในภาพที่ 4.9 ซึ่งแสดงให้เห็นค่าสัญญาณของกระแสที่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 Cyclic Voltammetric curves ของซิฟเบสลิแกนด์ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ และซิฟเบสลิแกนด์จับกับไอออนของโลหะ ที่อยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์คือ Cr(VI) complex ที่มีความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในสถานะอุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 4.9 Cyclic Voltammetric curves ของซิฟเบสลิแกนด์ความเข้มข้น 5 ไมโครโมลาร์ และซิฟเบสลิแกนด์จับกับไอออนของโลหะต่างชนิดกัน ที่อยู่ในรูปสารประกอบไนเตรต คือ Al(III) complex, Co(II) complex, Ag(I) complex, Ni(II) complex และ Fe(III) complex ที่มีความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.9 ไอออนของโลหะที่อยู่ในรูปของสารประกอบโคออร์ดิเนต ซึ่งประกอบไปด้วย Al^{3+} , Co^{2+} , Ag^+ , Ni^{2+} และ Fe^{3+} จากการทดลองพบว่า $Ag(I)$ complex แสดงให้เห็นพีคแอนอดิก (E_{pa}) ที่ 0.38 โวลต์ และพีคแคโทดิก (E_{pc}) ที่ -0.03 โวลต์ โดยมีค่ากระแสแอนอดิก (I_{pa}) และกระแสแคโทดิก (I_{pc}) คือ 2.5 ไมโครแอมแปร์ และ 1.0 ไมโครแอมแปร์ ตามลำดับ นั้นอาจบอกได้ว่า Al^{3+} กับซิฟเบสลิแกนด์ เกิดการให้ และรับอิเล็กตรอนเกิดขึ้น เป็นผลให้เกิดกระแสผ่านที่ขั้วทำงาน หรืออาจเรียกว่าเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับไอออนของโลหะชนิดอื่นแล้ว ไม่พบ E_{pa} และ E_{pc} ซึ่งนั่นอาจบอกได้ว่า ซิฟเบสลิแกนด์ที่สร้างขึ้นมีความจำเพาะต่อ Ag^+ ซึ่งสัญญาณที่ได้คือเกิดกระแส ดิก I_{pa} และ I_{pc} เนื่องจากการที่ทำให้สารละลายสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน แล้วเกิดกระแสที่ขั้วทำงาน แล้วแปลงค่าเป็นสัญญาณได้ โดยคาดว่าค่าสัญญาณที่ได้จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของไอออนของ Ag^+



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยทั้งหมดที่ได้นำเสนอในโครงการพิเศษเล่มนี้ มีเนื้อหาสอดคล้องกับความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่ได้กำหนดไว้ในบทที่ 1 ซึ่งเป็นการศึกษาคุณสมบัติ ออกแบบ โครงสร้าง และการสังเคราะห์ชิฟเบสลิแกนด์ รวมทั้งการวัดวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของชิฟเบสลิแกนด์ ที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี และนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี และทำการประยุกต์ใช้งานในการตรวจวัดไอออนของโลหะหนักในสารละลายโดยทำการวิเคราะห์ผล จาก ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี และ โฟเทนิซิโอเมตรี ซึ่งแสดงผลรูปของกราฟไซคลิกโวลแทม เมทรี

โครงสร้างชิฟเบสลิแกนด์ที่สังเคราะห์ขึ้น เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการรวมตัวระหว่าง 1,2,4-Thiadiazole-3,5-diamine และ 2,5-Thiophenedicarboxaldehyd ซึ่งสังเคราะห์จากปฏิกิริยา ริฟลักซ์แบบควบแน่นในตัวทำละลายเอทานอล จากการทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี และ นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปีพบหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญที่แสดงว่าโครงสร้าง ที่สังเคราะห์เป็นสารประกอบชิฟเบสคือโครงสร้าง กลุ่มอะโซมีทีน (-HC=N-) ซึ่งอยู่ในหมู่เซคันดารีอิมิน ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1654 cm^{-1} และ chemical shift ที่ตำแหน่ง 11.4 ppm ตามลำดับ และ จากการทดสอบในการตรวจวัดโลหะหนักด้วย เทคนิคที่แตกต่างกันคือฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี และ ไซคลิกโวลแทมเมทรี

ในส่วนผลของเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี โลหะทุกชนิดที่นำมาทำการทดสอบ แสดงคุณสมบัติทางฟลูออเรสเซนซ์ คือตำแหน่งของความยาวคลื่นสูงสุดของการเปล่งแสง (λ_{max}) ประมาณ 330-360 นาโนเมตร ซึ่งเป็นผลมาจาก electron transition ในสถานะ $\pi \rightarrow \pi^*$ transition ของวงเบนซีน (benzyl ring) และ กลุ่มอะโซมีทีน (HC=N-) ในโมเลกุลของชิฟเบสลิแกนด์ และตำแหน่งของความยาวคลื่นสูงสุดของการเปล่งแสง ประมาณ 670-700 นาโนเมตร ซึ่งเป็น ผลมาจากจาก $n \rightarrow \pi^*$ transition กลุ่มอะโซมีทีน (HC=N-) และไอออนของโลหะ ดังนั้นอาจบอกได้ ว่า ในการวัดด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรสโคปี ชิฟเบสลิแกนด์ที่สังเคราะห์ขึ้น สามารถ ตรวจจับไอออนของโลหะได้ทุกชนิด แต่ไม่มีความจำเพาะเจาะจงต่อไอออน (specificity)

ผลจากการทดสอบหาปริมาณไอออนของโลหะหนักในสารละลายโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี พบว่า ชิฟเบสลิแกนด์ที่สังเคราะห์ขึ้นมีความจำเพาะเจาะจงต่อไอออนของโลหะเงิน (Ag^+) เนื่องจากพบสัญญาณของกระแสแอโนดิก และกระแสแคโทดิกเกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทำงาน (WE) ซึ่งในการทดสอบเป็นขั้วทอง จากผลอาจบอกได้ว่า ชิฟเบสลิแกนด์ที่สังเคราะห์ขึ้นเหมาะสมจะนำไปพัฒนา เป็นเมมเบรนสำหรับขั้วไฟฟ้าแบบแบบเจาะจงไอออน (ISE) ที่ใช้ในการวัดไอออนของโลหะเงิน โดย เทคนิคที่ใช้ในการวัดที่เหมาะสมกับการทำงานของขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนคือ เทคนิคทางไฟฟ้าเคมี (electrochemistry)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิฟเบสลิแกนด์ที่สังเคราะห์ขึ้นในงานวิจัยนี้ มีความน่าสนใจที่จะไปพัฒนา และประยุกต์ใช้เป็นเมมเบรนสำหรับขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณไอออนของโลหะเงินที่อยู่ในรูปสารละลายได้ เนื่องจากมีความจำเพาะเจาะจงต่อไอออนของโลหะเงิน และสามารถพัฒนาต่อไปเพื่อหาปริมาณไอออนของโลหะเงินในสารละลาย จึงน่าจะเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานทางด้านเคมีสิ่งแวดล้อมในการตรวจวัดความเข้มข้นของสารตัวอย่าง ซึ่งถ้าหากนำสารที่สังเคราะห์ขึ้นมาพัฒนาเป็นขั้วไฟฟ้าแบบเจาะจงไอออนได้แล้ว ในอนาคตยังสามารถนำไปเป็นเซนเซอร์รวมอยู่ในงานประเภท lab on chip ก็จะทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพ และมีประโยชน์มากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M. O. C., et al. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *Journal of Physical Sciences* Vol. 2(5) (2007) 112-118.
- [2] Jutarut. (2012.) ภัยร้ายจากโลหะหนัก ไม่รู้ไม่ได้แล้ว. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/>
- [3] พญ. ฉันทนา ผดุงทศ. (2549). ภัยสุขภาพจากโลหะ . *วารสารคลินิก* เล่มที่ 263 (2549). (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <https://www.doctor.or.th/clinic/detail/8323>
- [4] Hassan H. Hammud, Shawky El Shazly, et al. (2015). Thiophene aldehyde-diamino uracil Schiff base: A novel fluorescent probe for detection and quantification of cupric, silver and ferric ions. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 150 (2015) 94-103.
- [5] Kang, H., Lin, L., Rong, M. and Chen, X. (2014). A cross-reactive sensor array for the fluorescence qualitative analysis of heavy metal ions. *Talanta* 129 (2014) 296-302.
- [6] Wikipedia, the free encyclopedia. (2015). Cadmium acetate. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Cadmium_acetate
- [7] Wikipedia, the free encyclopedia. (2016). Iron (II) acetate. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/Iron\(II\)_acetate](https://en.wikipedia.org/wiki/Iron(II)_acetate)
- [8] Wikipedia, the free encyclopedia. (2015). Mercury (II) acetate. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/Mercury\(II\)_acetate](https://en.wikipedia.org/wiki/Mercury(II)_acetate)
- [9] Wikipedia, the free encyclopedia. (2015). Manganese (II) acetate. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/Manganese\(II\)_acetate](https://en.wikipedia.org/wiki/Manganese(II)_acetate)
- [10] Wikipedia, the free encyclopedia. (2016). Lead (II) acetate. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/Lead\(II\)_acetate](https://en.wikipedia.org/wiki/Lead(II)_acetate)
- [11] Wikipedia, the free encyclopedia. (2016). Silver nitrate. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Silver_nitrate
- [12] Wikipedia, the free encyclopedia. (2016). Aluminium nitrate. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_nitrate
- [13] Wikipedia, the free encyclopedia. (2016). Cobalt (II) nitrate. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/Cobalt\(II\)_nitrate](https://en.wikipedia.org/wiki/Cobalt(II)_nitrate)
- [14] Wikipedia, the free encyclopedia. (2016). Iron (III) nitrate. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/Iron\(III\)_nitrate](https://en.wikipedia.org/wiki/Iron(III)_nitrate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] Wikipedia, the free encyclopedia. (2016). Nickel (II) nitrate. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel\(II\)_nitrate](https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel(II)_nitrate)
- [16] Wikipedia, the free encyclopedia. (2016). Chromium trioxide. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Chromium_trioxide
- [17] Wikipedia, the free encyclopedia. (2016). Iron (III) oxide. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/Iron\(III\)_oxide](https://en.wikipedia.org/wiki/Iron(III)_oxide)
- [18] Wikipedia, the free encyclopedia. (2016). Iron (II) sulfate. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/Iron\(II\)_sulfate](https://en.wikipedia.org/wiki/Iron(II)_sulfate)
- [19] Wikipedia, the free encyclopedia. (2015). Reflux. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <https://en.wikipedia.org/wiki/Reflux>
- [20] Wikipedia, the free encyclopedia. (2016). Evaporation. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <https://en.wikipedia.org/wiki/Evaporation>
- [21] James W Zubrick. RF Heating Solutions. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://what-when-how.com/organic-chemistry-laboratory-survival-manual/reflux-laboratory-manual/>
- [22] Wikipedia, the free encyclopedia. (2015). Rotary evaporator. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_evaporator
- [23] จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. โครมาโตกราฟี (Chromatography). (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/chapter9.pdf
- [24] BIO-RAD. (2016). Introduction to Chromatography. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.bio-rad.com/en-th/applications-technologies/introduction-chromatography>
- [25] e-Books (Electronics) Ramkhamhaeng University. โปรตอน-นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี (^1H - Nuclear magnetic resonance spectroscopy). (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-11.pdf>
- [26] e-Books (Electronics) Ramkhamhaeng University. อินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (Infrared Spectroscopy). (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-10.pdf>
- [27] e-Books (Electronics) Ramkhamhaeng University. การตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของ Lemon และ Orange extract. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : [http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY473\(51\)/FY473-8.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY473(51)/FY473-8.pdf)
- [28] NANOTEC member of NSTDA. Fluorescence Spectroscopy. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.nanotec.or.th/th/?page_id=565
- [29] e-Books (Electronics) Ramkhamhaeng University. โวลแทมเมตรี (Voltammetry). (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM333/cm333-4-1.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [30] Wen-Jing, S., Xue-Wei, W., et al. (2012). Electrochemical Sensing System for Determination of Heavy Metals in Seawater. *Chinese Journal of Analytical Chemistry* 40(5) (2012) 670-674.
- [31] Jia, Y. and Li, J. (2015). Molecular Assembly of Schiff Base Interactions: Construction and Application. *Chemical Reviews* 115 (2015) 1597-1621.
- [32] Faridbod, F., Reza, M., et al. (2008). Schiff's Bases and Crown Ethers as Supramolecular Sensing Materials in the Construction of Potentiometric Membrane Sensors. *Sensors* 8 (2008) 1645-1703.
- [33] Lekha, L., Kanmani Raja, K., et al. (2014). Schiff base complexes of rare earth metal ions: Synthesis, characterization and catalytic activity for the oxidation of aniline and substituted anilines. *Journal of Organometallic Chemistry* 753 (2014) 72-80.
- [34] Shakir, M., Abbasi, A., et al. (2015). Synthesis, characterization and cytotoxicity of rare earth metal ion complexes of N,N'-bis-(2-thiophenecarboxaldimine)-3-3'-diaminobenzidine, Schiff base ligand. *Journal of Molecular Structure* 1102 (2015) 108-116.
- [35] Feng, X., Zhang, H., et al. (2015). A novel strategy for multiplexed immunoassay of tumor markers based on electrochemiluminescence coupled with cyclic voltammetry using graphene-polymer nanotags. *Electrochimica Acta* 170 (2015) 292-299.
- [36] Tang, X., Xiong, B., et al. (2015). Development of pore interconnectivity /morphology in porous silica films investigated by cyclic voltammetry and slow positron annihilation spectroscopy. *Electrochimica Acta* 168 (2015) 365-369.
- [37] Casadesus, R., Moreno and Lluch, J. M. (2005). Theoretical study of the photoinduced intramolecular proton transfer and rotational processes in 2-(2'-hydroxyphenyl)-4-methyl-5-oxazolone in gas phase and embedded in β -cyclodextrin. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 173 (2005) 365-374.
- [38] Faridbod, F., Ganjali, M. R., et al. (2008). Developments in the Field of Conducting and Non-conducting Polymer Based Potentiometric Membrane Sensors for Ions Over the Past Decade. *Sensors* 8 (2008) 2331-2412.
- [39] Forzani, E. S., Zhang, H., et al. (2005). Detection of Heavy Metal Ions in Drinking Water Using a High-Resolution Differential Surface Plasmon Resonance Sensor. *Environ. Sci. Technol* 39 (2005) 1257-1262.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [40] Forzani, E. S., Zhang, H., et al. (2005). Detection of Heavy Metal Ions in Drinking Water Using a High-Resolution Differential Surface Plasmon Resonance Sensor. *Environ. Sci. Technol* 39 (2005) 1257-1262.
- [41] Fu, Q., Tang, Y. Shi, C., et al. (2013). A novel fluorescence-quenching immunochromatographic sensor for detection of the heavy metal chromium. *Biosensors and Bioelectronics* 49 (2013) 399-402.
- [42] Jeong, U. and Kim, Y. (2015). Colorimetric detection of heavy metal ions using aminosilane. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 31 (2015) 393-396.
- [43] Jullian, C., Fenandez-Sandoval, S., et al. (2015). Supramolecular assemblies of phenyl-pyridyl-triazolopyridine and β -cyclodextrin as sensor of divalent cations in aqueous solution. *Carbohydrate Polymers* 121 (2015) 295-301.
- [44] Meng Li, Hao Zhou, et al. (2014). Ion-selective gold-thiol film on integrated screen-printed electrodes for analysis of Cu (II) ions. *Analyst* 139 (2014) 643-648.
- [45] PaZik, A., and Skwierawska, A. (2014). Synthesis and application of tetrazole di- and triamide derivatives in ion-selective membrane electrodes. *Sensors and Actuators B* 196 (2014) 370-380.
- [46] Prabhu, S., Saravanamoorthy, S., Ashok, M. and Velmathi, S. (2012). Colorimetric and fluorescent sensing of multi metal ions and anions by salicyladimine based receptors. *Journal of Luminescence* 132 (2012) 979-986.
- [47] Prathish, K. P., James, D., et al. (2009). Dual optoelectronic visual detection and quantification of spectroscopically silent heavy metal toxins: A multi-measurand sensing strategy based on Rhodamine 6G as chromo or fluoro ionophore. *Analytica Chimica Acta* 647 (2009) 84-49.
- [48] Reay, R. J., Flannery, A. F., et al. (1996). Microfabricated electrochemical analysis system for heavy metal detection. *Sensors and Actuators B* 34 (1996) 450-455.
- [49] Sidir, Y. G., Sidir, I., et al. (2015). Solvatochromism and electronic structure of some symmetric Schiff base derivatives. *Journal of Molecular Liquids* 204 (2015) 33-38.
- [50] Sikovec, M., Novic, M. and Franko, M. (1996). Application of thermal lens spectrometric detection to the determination of heavy metals by ion chromatography. *Journal of Chromatography A*, 739 (1996) 111-117.
- [51] Ting, S. L., Ee, S. J., et al. (2015). Graphene quantum dots functionalized gold nanoparticles for sensitive electrochemical detection of heavy metal ions. *Electrochimica Acta* 172 (2015) 7-11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [52] Verma, R. and Gupta, B. D. (2015). Detection of heavy metal ions in contaminated water by surface plasmon resonance based optical fibre sensor using conducting polymer and chitosan. Food Chemistry 166 (2015) 568-575.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวปิยวรรณ ลีเฟ่ง
วัน เดือน ปีเกิด	5 พฤษภาคม 2537
ที่อยู่	31 หมู่ 5 ตำบลโคกเคียน อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา 82110
ประวัติการศึกษา	- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนเทศบาลบ้านศรีตะกั่วป่า - ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนตะกั่วป่า “เสนาอนุกุล”
ประวัติการทำงาน	- ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีโฟโตนิกส์ หน่วยวิจัยอุปกรณ์ และระบบอัจฉริยะ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์คอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ในหัวข้อ เรื่อง การสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดสารละลายแอมโมเนีย ในปี พ.ศ. 2557 - ห้องปฏิบัติการระบบอุปกรณ์นาโน ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ในหัวข้อ การสร้างอุปกรณ์ไมโครฮีทเตอร์สำหรับกระบวนการจำลองดีเอ็นเอ ในปี พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้