



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารกำจัดวัชพืชแบบเห็นได้ด้วยตาเปล่า
Development of Naked Eye Sensor for Herbicide in Water

ชื่อนิสิต นางสาว ศิริวรรณ บุญมีวิริยะ

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2558

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารกำจัดวัชพืชแบบเห็นได้ด้วยตาเปล่า
Development of Naked Eye Sensor for Herbicides in Water



โดย

นางสาว ศิริวรรณ บุญมีวิริยะ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

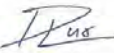
ปีการศึกษา 2558

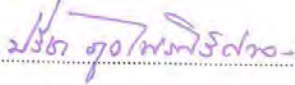
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรื่อง การพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารกำจัดวัชพืชแบบเห็นได้ด้วยตาเปล่า
โดย น.ส. ศิริวรรณ บุญมีวิริยะ
ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

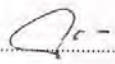
คณะกรรมการสอบโครงการ

 ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร. วิไลภา เอื้องไมตรีภรณ์)

 อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.ดร. ลักษณา ตูบาส)

 กรรมการ
(รศ.ดร. ปรีชา ภูวไพโรศิศาสตร์)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี


รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย พาราสุข
หัวหน้าภาควิชาเคมี
วันที่ 12 เดือน พ.ศ. 2559

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ ดีมาก ดี พอใช้

ชื่อโครงการ การพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารกำจัดวัชพืชแบบเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ชื่อนิสิตในโครงการ นางสาว ศิริวรรณ บุญมีวิริยะ เลขประจำตัว 5533154323

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ลักษณ์ คูบาส

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันไกลโฟเซตถูกนำมาใช้เป็นสารกำจัดวัชพืชในแปลงเกษตรมากขึ้น จึงก่อให้เกิดการสะสมของไกลโฟเซตในแหล่งน้ำที่ใช้ทำการเกษตร หากผู้บริโภคได้รับไกลโฟเซตเข้าสู่ร่างกายจากแหล่งน้ำเหล่านี้ อาจส่งผลเสียต่อร่างกายได้ในอนาคต การตรวจวัดไกลโฟเซตในแหล่งน้ำจึงมีความสำคัญ แต่ปริมาณไกลโฟเซตที่พบในแหล่งน้ำมีปริมาณค่อนข้างต่ำ จึงต้องใช้เทคนิคการตรวจวัดที่มีความไวสูง เช่น Gas Chromatography ,High Performance Liquid Chromatography เป็นต้น แต่เทคนิคเหล่านี้ต้องอาศัยความรู้ความเชี่ยวชาญ และยากต่อการนำมาตรวจวัดในสถานที่จริง ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาพัฒนาวิธีการตรวจวัดไกลโฟเซตให้ง่ายขึ้น โดยมุ่งหวังผลการตรวจวัดไกลโฟเซตที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า ไม่ต้องใช้เครื่องมือ หรือการตรวจวัดที่ยุ่งยาก สามารถนำไปใช้ตรวจวัดได้ในสถานที่จริง และสามารถเห็นผลการตรวจวัดได้อย่างรวดเร็ว โดยอาศัยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะ และสารประกอบโลหะที่เลือกใช้ ได้แก่ FeCl_3 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, CoCl_2 และ $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ในการทดลองจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไกลโฟเซตที่ความเข้มข้น 2 ระดับ คือ $1.5 \times 10^{-3} \text{ M}$ และ $5.9 \times 10^{-3} \text{ M}$ กับโลหะ ณ ค่าพีเอชที่เหมาะสม ในอัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:1.67 และ 1:5 และในส่วนที่สองเป็นการศึกษาทำการศึกษากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะที่ความเข้มข้นของไกลโฟเซต และโลหะเท่ากับ 0.4 M และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอช จากการทดลองพบว่า สภาวะการทดลอง ณ ความเข้มข้นของไกลโฟเซต $1.5 \times 10^{-3} \text{ M}$ และ $5.9 \times 10^{-3} \text{ M}$ ไกลโฟเซตไม่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะได้ แต่ในการทดลองที่ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 0.4 M สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ดีกับโลหะ ทั้งในรูปสารประกอบที่เป็นของแข็ง ซึ่งเกิดกับแคลเซียม, ไอร์ออน (II) และไอร์ออน (III) และสารประกอบที่ละลายน้ำได้ ซึ่งเกิดกับคอปเปอร์, นิกเกิล และโคบอลต์ โดยสารประกอบที่ละลายน้ำได้จะให้สีที่แตกต่างจากสีของโลหะนั้นๆ และสามารถตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงจากสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

คำสำคัญ: ไกลโฟเซต, ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

Title Development of Naked Eye Sensor for Herbicides in Water
Student name Miss Siriwan Booneewiriya ID 5533154323
Advisor Dr. Luxsana Dubas
Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Academic Year 2015



In present, glyphosate is widely used as an herbicide in agricultural field which makes glyphosate contaminated in water. When people receive glyphosate into the body in the period of time, it will affect health condition. Glyphosate can be found in water with low concentration. The methods that usually used to detect glyphosate are gas chromatography (GC) and high performance liquid chromatography (HPLC), but these methods require skills and inconvenient for the on fields or outside study. In this research, we developed method that is more convenient and the results can be identified with naked eyes, using basic equipment and method and rapid detection of the glyphosate on field. The experiment procedure was to create glyphosate and metals complex. The metals used in this work are FeCl_3 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, CoCl_2 and $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. This experiment was separated into 2 parts. First, the study of the coordination compound formation through the complexation between glyphosate and metals with 2 different concentrations of glyphosate: $1.5 \times 10^{-3} \text{ M}$ and $5.9 \times 10^{-3} \text{ M}$, at suitable pH. The mole ratio between glyphosate and metal were fixed at 1:1.67 and 1:5. Second, the study of the coordination compound formation through the complexation between glyphosate and metals in sodium hydroxide solution. The concentration of glyphosate and metals were 0.4 M. From the result, glyphosate cannot form coordination compounds with metals in $1.5 \times 10^{-3} \text{ M}$ and $5.9 \times 10^{-3} \text{ M}$ of glyphosate while 0.4 M glyphosate in sodium hydroxide solution can. The coordination compounds are both insoluble: calcium, iron (II) and iron (III) complex, and soluble: copper, nickel and cobalt complex. The soluble compounds have a different color from metal and can be measured by UV - Visible spectrophotometer for the absorbance.

Keywords: Glyphosate, UV - Visible spectrophotometer.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ ดร. ลักษณ์า คูบาส อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ได้ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้ความรู้เกี่ยวกับโครงการตั้งแต่ เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดงานวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัลภา เอื้องไมตรีภิมย์ และรองศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ภูวไพโรศิรศาล กรุณาให้เกียรติเป็นประธานคณะกรรมการ และคณะกรรมการในการสอบงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้อนุมัติทุนสนับสนุน และเปิดโอกาสให้นิสิตได้ทำโครงการ จากรายวิชาโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ประจำปีการศึกษา 2558

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยให้ความรู้ และประสบการณ์ในการเรียน และการปฏิบัติการทางด้านเคมี

ขอขอบคุณนิสิตปริญญาโท ภาควิชาเคมีที่ได้ให้ความรู้ และคำปรึกษาที่ดี ตลอดจนการให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูป	ฌ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา และมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 สารกำจัดวัชพืช (Herbicides)	4
2.2 สารประกอบเชิงซ้อน (Complex/Coordination compound)	6
2.2.1 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน	6
2.2.2 สี และการดูดกลืนแสงช่วงวิสิเบิลของสารประกอบเชิงซ้อน	7

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์	8
3.2 สารเคมี	8
3.3 วิธีการทดลอง	9
3.3.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ และสารละลายมาตรฐานไกลโฟเซต	9
3.3.1.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอชเท่ากับ 3, 5, 7 และ 9	9
3.3.1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไกลโฟเซตความเข้มข้น 0.01183 M ปริมาตร 100 mL	10
3.3.2 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะโดยการควบคุมสภาวะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายบัฟเฟอร์	10
3.3.2.1 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะ	10
3.3.2.2 ศึกษาปัจจัยการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะ ณ พีเอชที่เหมาะสม	10
3.3.3 การเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะความเข้มข้น 0.4 M โดยการควบคุมสภาวะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	13
3.3.3.1 การเตรียมสารละลายสารประกอบโลหะ และสารละลายมาตรฐานไกลโฟเซต	13
3.3.3.2 ศึกษาปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะโดยการปรับสภาวะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1	14
3.3.3.3 ศึกษาการเกิดตะกอนของโลหะในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 การเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะโดยการควบคุมสถานะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายบัฟเฟอร์	16
4.1.1 การทดสอบการตกตะกอนของโลหะในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 3, 5, 7 และ 9	16
4.1.2 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะโดยการควบคุมสถานะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ณ ค่าพีเอชที่เหมาะสม	17
4.2 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะโดยการควบคุมสถานะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	19
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	23
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก	27
ประวัติผู้วิจัย	42

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 สมการเคมีแสดงการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตในเทคนิคการตรวจวัดทางสเปกโตร-โฟโตเมตริกซ์ของ Jan และคณะ	3
2.1 โครงสร้างโมเลกุลของไกลโฟเซต	5
2.2 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของไกลโฟเซตเมื่อค่า pKa แตกต่างกันของ Motekaitis และ Martell	5
2.3 สีของแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถมองเห็นได้	7
4.1 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับสารประกอบคอปเปอร์(II) ซัลเฟต ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:5(a) และ 1:1.67(b)	18
4.2 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 กับสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 โดยใช้ DI เป็น blank	19
4.3 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับสารประกอบนิกเกิล(II) ซัลเฟต อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:1	21
4.4 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับสารประกอบโคบอลต์(II) คลอไรด์ อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:1	22

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของไกลโฟเซต	5
2.2 ตัวอย่างสีของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันที่มีน้ำเป็นลิแกนด์ล้อมรอบอยู่ จำนวน 6 โมเลกุล โดยมีสูตรโมเลกุล คือ $[M(H_2O)_6]^{n+}$	7
3.1 น้ำหนักของสารเคมีที่ใช้ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอชต่างๆ	10
3.2 น้ำหนักของสารประกอบโลหะที่ใช้เตรียมสารละลายโลหะความเข้มข้น 0.04 M และ 0.5 M	11
3.3 ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการทดลองการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 1.5×10^{-3} M กับโลหะ	12
3.4 ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการทดลองการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 5.9×10^{-3} M กับโลหะ	13
3.5 น้ำหนักของสารประกอบโลหะที่ใช้เตรียมสารละลายโลหะความเข้มข้น 0.4 M ปริมาตร 0.3 mL	14
3.6 น้ำหนักของสารประกอบโลหะที่ใช้เตรียมสารละลายโลหะความเข้มข้น 0.4 M ปริมาตร 0.15 mL	15
3.7 สรุปการทดลองปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับสารประกอบโลหะ	15
4.1 ลักษณะสารละลายของไกลโฟเซตกับโลหะโดยการควบคุมสภาวะความเป็นกรด-เบสด้วย สารละลายบัฟเฟอร์ 5	17
4.2 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะ และสารละลายโลหะ ที่ความเข้มข้นของไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M และ 5.9×10^{-3} M และอัตราส่วนโดยโมลของ ไกลโฟเซตกับโลหะเท่ากับ 1:1.67 และ 1:5 โดยการควบคุมสภาวะความเป็นกรด-เบสด้วย สารละลายบัฟเฟอร์ 5	17
4.3 ลักษณะของสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะ โดยการควบคุมสภาวะความเป็นกรด-เบสด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	22

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และมูลเหตุจูงใจ

สารกำจัดวัชพืช เป็นสารเคมีที่นำมาใช้เพื่อทำลาย หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช สารกำจัดวัชพืชสามารถแบ่งออกได้หลายกลุ่ม⁽¹⁾ เช่น แบ่งตามลักษณะการใช้งาน แบ่งตามกลไกการเกิดพิษต่อพืช หรือแบ่งตามโครงสร้างสารเคมี ในปัจจุบันสารกำจัดวัชพืชถูกนำมาใช้ในแปลงเกษตรมากขึ้น โดยสารกำจัดวัชพืชที่นิยมใช้ เช่น พาราควอต (paraquat), 2,4-dichlorophenoxyacetic acid และไกลโฟเซต (glyphosate)

ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาสารกำจัดวัชพืชในกลุ่มของไกลซีนที่มีชื่อว่า ไกลโฟเซต เป็นสารกำจัดวัชพืชที่มีลักษณะการออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้างกรดอะมิโน ซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืช ไกลโฟเซตเป็นสารกำจัดวัชพืชที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย⁽²⁾ เนื่องจากความเป็นพิษของไกลโฟเซตในมนุษย์ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่น ในประเทศไทยก็มีการนำไกลโฟเซตมาใช้ในการทำเกษตรกรรม⁽³⁾ ส่งผลให้เกิดการสะสมของไกลโฟเซตในพืชผัก ดิน และแหล่งน้ำที่ใช้ทำการเกษตร จากสมบัติของไกลโฟเซต คือ สามารถละลายน้ำได้ จึงอาจพบไกลโฟเซตปนเปื้อนในแหล่งน้ำ⁽⁴⁾ โดยปริมาณไกลโฟเซตในน้ำที่องค์การอนามัยโลกระบุไว้มีค่าเท่ากับ 0.9 µg/mL ซึ่งแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มีความสำคัญ ใกล้ชิดกับแหล่งชุมชน และอาจรวมไปถึงแหล่งน้ำที่ใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค คือ น้ำบาดาล หากแหล่งน้ำเหล่านี้มีการปนเปื้อนของไกลโฟเซต อาจส่งผลให้ประชาชนที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำเหล่านี้ หรือใช้แหล่งน้ำเหล่านี้ในการอุปโภคบริโภคได้รับไกลโฟเซตเข้าสู่ร่างกาย ทำให้เกิดการสะสมของไกลโฟเซต และอาจส่งผลเสียต่อร่างกายได้ในอนาคต⁽⁵⁾ การตรวจวัดไกลโฟเซตในแหล่งน้ำจึงมีความสำคัญ และยังเป็นประโยชน์ต่อการบ่งชี้ความเป็นพิษของแหล่งน้ำเหล่านี้ได้อีกด้วย จึงมีการศึกษาวิธีการตรวจวัดหาไกลโฟเซตโดยใช้เทคนิคต่างๆ เช่น Gas Chromatography (GC)⁽⁶⁾, High Performance Liquid Chromatography (HPLC)⁽⁷⁾ เป็นต้น เทคนิคเหล่านี้สามารถตรวจวัดไกลโฟเซตได้แม้มีในปริมาณต่ำ มีความแม่นยำ และความเที่ยงสูง แต่จำเป็นต้องทดลองในห้องปฏิบัติการ และต้องมีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับวิธีการเหล่านี้เป็นอย่างดี ทำให้ใช้เวลานานในการตรวจวัด และยากต่อการนำมาตรวจวัดในสถานที่จริง

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาการตรวจวัดไกลโฟเซต โดยใช้หลักการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะในภาวะความเป็นกรด-เบสที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น การเปลี่ยนแปลงสี หรือ การเกิดตะกอน เป็นต้น โลหะที่เลือกใช้สำหรับการทดลอง ได้แก่ FeCl_3 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, CoCl_2 และ $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งเป็นส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่ให้สีในช่วงที่ตามองเห็น ทำให้เห็นผลการทดลองได้ด้วยตาเปล่า และเป็น hard metal จึงสามารถเกิดสารประกอบได้ดีกับไกลโฟเซตซึ่งเป็น hard ligand โดยงานวิจัยนี้มุ่งหวังการตรวจวัดไกลโฟเซตโดยไม่ต้องใช้

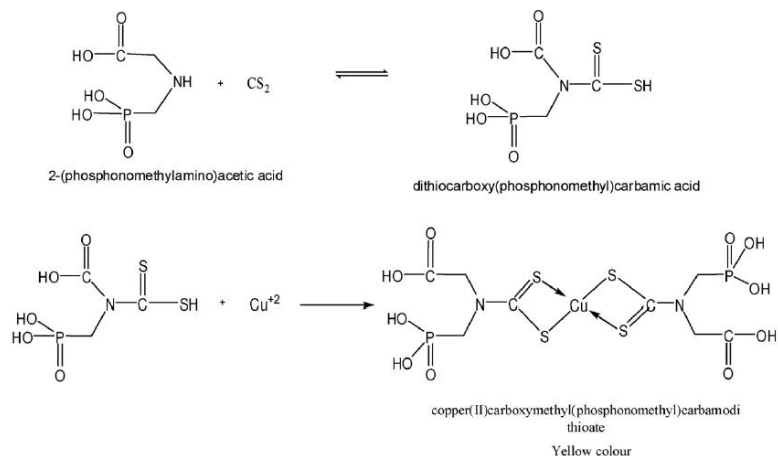
เครื่องมือ หรือการตรวจวัดที่ยุ่งยาก สามารถนำไปใช้ตรวจวัดได้ในสถานที่จริง และสามารถเห็นผลการตรวจวัดได้อย่างรวดเร็ว

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี 1984 Glass⁽⁶⁾ ได้ศึกษาการเกิดสารประกอบของไกลโฟเซตกับโลหะที่มีประจุบวก 2 (divalent metal ions) คือ คอปเปอร์ แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ในรูปของสารละลาย ณ ค่าพีเอชเท่ากับ 5 โดยใช้เทคนิคสำหรับตรวจวัดไกลโฟเซต 2 เทคนิค คือ เทคนิค differential pulse polarography และเทคนิค spectrophotometry แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกเป็นการเกิดปฏิกิริยาของคิวปร็อกไซด์กับไกลโฟเซต โดยความเข้มข้นของไกลโฟเซตอยู่ในช่วง 20-800 $\mu\text{g/mL}$ และส่วนที่ 2 เป็นปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบของคอปเปอร์ แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสีกับไกลโฟเซต โดยความเข้มข้นของไกลโฟเซตอยู่ในช่วง 0.25-2.60 mM

ปี 1988 Subramaniam และ Hoggard⁽⁹⁾ ได้ศึกษาการเกิดสารประกอบของไกลโฟเซตกับโลหะในสถานะค่าพีเอชใกล้เคียงความเป็นกลาง โดยไกลโฟเซตความเข้มข้น 0.2 M เกิดปฏิกิริยากับคอปเปอร์ แคดเมียม และแมกนีเซียม และไกลโฟเซตความเข้มข้น 0.4 M เกิดปฏิกิริยากับนิกเกิล และเหล็ก เกิดเป็นผลึกที่ไม่ละลายในน้ำ ยกเว้นผลึกที่เกิดจากไกลโฟเซตกับนิกเกิลที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งตรวจวัดโครงสร้างผลึกที่ได้ด้วยเทคนิค x-ray powder diffraction และเทคนิค FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

ปี 2009 Jan และคณะ⁽¹⁰⁾ ได้ศึกษาวิธีการตรวจวัดไกลโฟเซตที่ระดับความเข้มข้น 1000 $\mu\text{g/mL}$ ด้วยวิธีทางสเปกโตรโฟโตเมตรี โดยไกลโฟเซตทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดซัลไฟด์ เกิดเป็นกรดไดไทโอคาร์บาไมค แล้วนำกรดไดไทโอคาร์บาไมคที่ได้ไปเกิดปฏิกิริยากับคอปเปอร์(II) ที่พีเอช 12.5 ได้สารละลายสีเหลืองดังสมการการเกิดปฏิกิริยาในรูปที่ 1.1 ตรวจวัดสีที่เกิดขึ้นของสารละลายด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ค่าความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ตรวจวัดได้ คือ 435 nm อัตราส่วนของกรดไดไทโอคาร์บาไมคกับคอปเปอร์ในสารประกอบ คือ 2:1 มีค่า limit of detection เท่ากับ 1.1 $\mu\text{g/mL}$ และค่า limit of quantification เท่ากับ 3.7 $\mu\text{g/mL}$ และสามารถใช่วิธีนี้ในการตรวจวัดตัวอย่างจากธรรมชาติ เช่น ดิน, เมล็ดของธัญพืช และน้ำ



รูปที่ 1.1 สมการเคมีแสดงการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตในเทคนิคการตรวจวัดทางสเปกโตรโฟโตเมตริกซ์ของ Jan และคณะ⁽¹⁰⁾

ปี 2015 De Almeida และคณะ⁽¹¹⁾ ได้พัฒนาการตรวจวัดไกลโฟเซตโดยใช้หลักการเช่นเดียวกับการศึกษาของ Jan และคณะ⁽¹⁰⁾ โดยได้เตรียมตัวตรวจวัด Colorimetric Sensor Strips จากกระบวนการ Electrospinning ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับคอปเปอร์ไนเทรต ซึ่งตัวตรวจวัดที่ได้จะมีสีน้ำเงิน เมื่อนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายของกรดไตรโอคาร์บามิก ตัวตรวจวัดจะเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง

1.3 วัตถุประสงค์

พัฒนาวิธีการตรวจวัดสารกำจัดวัชพืชให้เห็นได้ด้วยตาเปล่า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการตรวจวัดสารกำจัดวัชพืชที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า และสามารถนำวิธีการตรวจวัดไปใช้ตรวจวัดสารกำจัดวัชพืชได้ในสถานที่จริง

ภาควิชาเคมี
 คณะวิทยาศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 สารกำจัดวัชพืช (Herbicides)

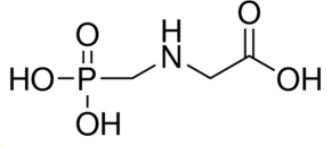
สารกำจัดวัชพืช (Herbicides)⁽¹²⁾ เป็นสารเคมีที่ส่งผลต่อการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งผลของการควบคุมอาจเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโต หรือการฆ่าทำลาย โดยอาจเกิดขึ้นระหว่างการขยายพันธุ์, การเจริญเป็นต้นกล้า หรือการเจริญเป็นต้นสมบูรณ์แล้วขึ้นกับชนิดของสารกำจัดวัชพืชนั้นๆ

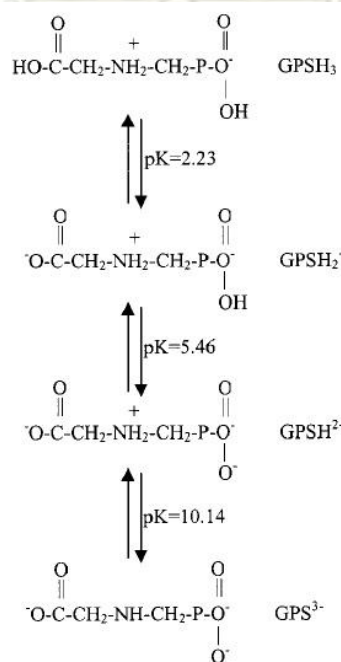
การจำแนกประเภทของสารกำจัดวัชพืช สามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่มโดยยึดตามหลักเกณฑ์การแบ่ง ดังนี้

1. แบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งาน แบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ
 - 1.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมดินก่อนปลูกพืช (pre-planting)
 - 1.2 สารเคมีที่ใช้หลังหว่านพืช (pre-emergence)
 - 1.3 สารเคมีที่ใช้หลังจากพืชงอกพื้นดินแล้ว (post-emergence)
2. แบ่งประเภทตามกลไกการเกิดพิษต่อพืช แบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ
 - 2.1 สารเคมีที่มีฤทธิ์เฉพาะเจาะจงในการทำลายพืชบางชนิด (selective)
 - 2.2 สารเคมีที่ทำลายพืชเมื่อสัมผัสผิวกิ่งใบ (contact)
 - 2.3 สารเคมีที่ทำลายพืชเมื่อถูกดูดซึมเข้าไปในระบบลำเลียงน้ำและอาหารของพืช (translocated)
3. แบ่งประเภทตามโครงสร้างสารเคมี แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ
 - 3.1 ประเภทสารอนินทรีย์ (inorganic herbicides)
 - 3.2 ประเภทสารอินทรีย์ (organic herbicides)

ไกลโฟเซต ดังตารางที่ 2.1 เป็นสารกำจัดวัชพืชในกลุ่มของไกลซีน มีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.1 และสามารถแตกตัวให้โครงสร้างที่แตกต่างกันตามสภาวะความเป็นกรด-เบสที่แตกต่างกันดังรูปที่ 2.2 ไกลโฟเซตจะออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้าง amino acid ในพืช มีชื่อการค้ามากมาย เช่น ราวด์ออฟ ทัชดาวน์ สปาร์ค ไกลโฟเซต ฯลฯ โดยเป็นสารกำจัดวัชพืชที่จัดว่ามีความเป็นพิษในมนุษย์ค่อนข้างต่ำ แต่มีการศึกษาในผู้ป่วยที่ได้รับไกลโฟเซตในกลุ่มแรก ไม่มีอาการผิดปกติหรือมีอาการเล็กน้อย กลุ่มหลังมีอาการตั้งแต่เจ็บคอ กลืนลำบาก เลือดออกในทางเดินอาหาร เกิดอันตรายต่อตับ ไต ปอด ระบบหลอดเลือด และระบบประสาท

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของไกลโฟเซต⁽¹³⁾

ข้อมูล	รายละเอียด
CAS Number	1071-83-6
ชื่อสารเคมี	Glyphosate
ชื่อวิทยาศาสตร์	N-(Phosphonomethyl)glycine
สูตรโมเลกุล	(HO) ₂ P(O)CH ₂ NHCH ₂ CO ₂ H
มวลโมเลกุล (g/mol)	169.07
โครงสร้าง	 <p>รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของไกลโฟเซต</p>
สถานะ	ของแข็ง
ลักษณะ	ของแข็ง สีขาว ไม่มีกลิ่น
ความหนาแน่น (g/cm ³)	1.7
ความสามารถในการละลาย	ละลายได้ในน้ำ 12000 mg/L (at 25°C) ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์
ค่า pKa	pKa ₁ = 2.23, pKa ₂ = 5.46, pKa ₃ = 10.14



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของไกลโฟเซตเมื่อค่า pKa แตกต่างกัน⁽¹⁴⁾

2.2 สารประกอบเชิงซ้อน (Complex/Coordination compound)

สารประกอบเชิงซ้อน⁽¹⁵⁾ เป็นสารประกอบที่ประกอบไปด้วยอะตอมกลางกับโมเลกุล หรือไอออนมาล้อมรอบ เรียกว่า ลิแกนด์ สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะสามารถเป็นได้ทั้งสารประกอบที่ไม่มีประจุ สารประกอบที่มีประจุบวก หรือสารประกอบที่มีประจุลบ โดยสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะที่มีประจุ เรียกว่า complex ions

ลิแกนด์เป็นไอออน หรือโมเลกุลล้อมรอบอะตอมกลาง โดยไอออนหรือโมเลกุลนั้นๆ มีอิเล็กตรอนคู่อิสระสามารถแบ่งประเภทลิแกนด์ตามลักษณะของการเกิดพันธะกับอะตอมกลาง โดยขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมที่ให้คู่อิเล็กตรอนแก่อะตอมกลางในการสร้างพันธะ แบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1. ยูนิเดนเทต หรือโมนิเดนเทต เป็นลิแกนด์ที่มีอะตอม 1 อะตอมที่ให้คู่อิเล็กตรอนแก่อะตอมกลาง ได้แก่ H_2O , NH_3 , ไฮดรอกไซด์ไอออน เป็นต้น
2. ไบเดนเทต เป็นลิแกนด์ที่มีอะตอม 2 อะตอมที่ให้คู่อิเล็กตรอนแก่อะตอมกลาง ได้แก่ ออกซาเลตไอออน, เอทิลีนไดเอมีน เป็นต้น
3. พอลิเดนเทต เป็นลิแกนด์ที่มีอะตอมมากกว่า 2 อะตอมขึ้นไปที่ให้คู่อิเล็กตรอนแก่อะตอมกลาง ได้แก่ เอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิเตท (EDTA) เป็นต้น

2.2.1 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

สารประกอบเชิงซ้อนเกิดจากโลหะแทรนซิชันซึ่งเป็น Lewis acid สามารถรับอิเล็กตรอนคู่อิสระจาก Lewis base คือ ลิแกนด์ เกิดพันธะระหว่างกันที่เรียกว่า พันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนต์ โดยอาศัยหลักการของทฤษฎี Hard-Soft Acid-Base⁽¹⁶⁾

ทฤษฎี Hard-Soft Acid-Base เป็นทฤษฎีที่ทำนายความเสถียรของสารประกอบเชิงซ้อน โดยมีหลักการว่า hard acid-hard base และ soft acid-soft base สามารถแบ่งประเภทของอะตอมในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนตามหน้าที่การให้ และรับคู่อิเล็กตรอนได้ 2 ประเภท คือ

1. Acid คือ Lewis acid ซึ่งก็คือ ไอออนของโลหะที่ทำหน้าที่รับคู่อิเล็กตรอน แบ่งได้ 2 ชนิด คือ hard acid และ soft acid
ตัวอย่างเช่น hard acid : Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}
soft acid : Hg^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+}
2. Base คือ Lewis base ซึ่งก็คือ ลิแกนด์ที่ทำหน้าที่ให้คู่อิเล็กตรอน แบ่งได้ 2 ชนิด คือ hard base และ soft base
ตัวอย่างเช่น hard base : H_2O , NH_3 , OH^-
soft base : RS^- , RSH

โดย hard เป็นอะตอมที่มีขนาดเล็ก และโพลาริไซส์ได้ง่าย ส่วน soft เป็นอะตอมขนาดใหญ่ และโพลาริไซส์ได้ยาก

2.2.2 สี และการดูดกลืนแสงช่วงวิสิเบิลของสารประกอบเชิงซ้อน

การมีสีของสารประกอบเชิงซ้อนส่วนใหญ่⁽¹⁷⁾ ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ และโลหะแต่ละชนิดสามารถให้สีที่แตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับเลขออกซิเดชัน และ ชนิด และจำนวนโมเลกุลหรือไอออนที่ล้อมรอบโลหะนั้นๆ โดยโลหะ 1 ชนิดสามารถเกิดเป็นสารประกอบที่มีองค์ประกอบเหมือนกันได้มากกว่า 1 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีสีที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสีของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันที่มีน้ำเป็นลิแกนด์ล้อมรอบอยู่จำนวน 6 โมเลกุล โดยมีสูตรโมเลกุล คือ $[M(H_2O)_6]^{n+}$

ชนิดของโลหะแทรนซิชัน, M	เลขออกซิเดชัน, n	สีของสารประกอบ
Fe	3	เหลือง
	2	เขียวอ่อน
Co	2	ชมพู
Cu	2	ฟ้า
Ni	2	เขียว
Cr	3	น้ำเงินเข้ม
Al	3	ไม่มีสี

สีของสารประกอบเชิงซ้อนที่มองเห็น⁽¹⁸⁾ ดังรูปที่ 2.3 เกิดจากสีของแสงในช่วงความยาวคลื่นที่สารไม่ได้ดูดกลืน กล่าวคือสารดูดกลืนสีของแสงในช่วงความยาวคลื่นหนึ่ง เรียกว่า absorbed color แล้วปลดปล่อยสีของแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เหลือ เรียกว่า complementary color ซึ่งแสงเหล่านั้นจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถมองเห็นได้ คือ ความยาวคลื่น 400-700 nm



รูปที่ 2.3 สีของแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตาสามารถมองเห็นได้⁽¹⁸⁾

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องมือ

- เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (8453, Agilent Technologies)
- เครื่องพีเอชมิเตอร์ (SevenCompact, Mettler Toledo)
- เครื่องชั่ง (ML204/01, NewClassic MF, Mettler Toledo)

3.1.2 อุปกรณ์

- 3.1.2.1 ไมโครปิเปตขนาด 1000 μ L, 0.5-5 mL และ 1-10 mL
- 3.1.2.2 ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 mL, 25 mL, 50 mL และ 100 mL
- 3.1.2.3 ปีกเกอร์ขนาด 10 mL, 25 mL, 50 mL และ 200 mL
- 3.1.2.4 หลอดทดลองขนาด 10 mL
- 3.1.2.5 ซ้อนตักสาร
- 3.1.2.6 แผ่นฟรอยด์
- 3.1.2.7 กระดาษ Kimwipes
- 3.1.2.8 หลอดหยด
- 3.1.2.9 ถาดหลุมพลาสติก

3.2 สารเคมี

- ไกลโฟเซต (99.5% HPLC grade, Sigma-aldrich)
- ไอร์รอน(III) คลอไรด์, FeCl_3 (97.0%, Sigma-aldrich)
- ไอร์รอน(II) ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Pharmacopeia, Sigma-aldrich)
- นิลเกิลซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (99.0%, Sigma-aldrich)
- คอปเปอร์(II) ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (98.0%, Sigma-aldrich)
- โคบอลต์(II) คลอไรด์, CoCl_2 (98.0%, Sigma-aldrich)
- แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (grade for analysis, Emsure)
- กรดซิตริก, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ (grade for analysis, Univar)

- ไตรโซเดียมซีเทรตไดไฮเดรต, $C_6H_5O_7Na_3$ (grade for analysis, Carlo ERBA)
- ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต, Na_2HPO_4 (ACS-for analysis Reag.Ph.Eur.Reag.USP, Carlo ERBA)
- โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต, $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ (RPE-for analysis-ACS-Reag.Ph.Eur.Reag.USP, Carlo ERBA)
- โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต, $NaHCO_3$ (ACS-for analysis, Carlo ERBA)
- โซเดียมคาร์บอเนต, Na_2CO_3 (Pharmacopeia, Carlo ERBA)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์, $NaOH$ (ACS-ISO-for analysis, Carlo ERBA)
- น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

3.3 วิธีการทดลอง

ในการศึกษานี้ ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งมุ่งศึกษาภาวะการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไกลโฟเซตที่ความเข้มข้น 2 ระดับ คือ $1.5 \times 10^{-3} M$ และ $5.9 \times 10^{-3} M$ กับโลหะ ๓ ค่าพีเอชที่เหมาะสม โดยสารประกอบโลหะที่เลือกใช้ ได้แก่ $FeCl_3$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $NiSO_4 \cdot 6H_2O$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ และ $CoCl_2$ ส่วนที่สองศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะที่ความเข้มข้นของไกลโฟเซต และโลหะเท่ากับ 0.4 M ซึ่งสารประกอบโลหะที่เลือกใช้เหมือนกับการทดลองในส่วนที่หนึ่ง แต่มีการศึกษาเพิ่มเติมของสารประกอบ $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ ด้วย

ส่วนที่ 1 ศึกษาภาวะการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไกลโฟเซตที่ความเข้มข้นระดับ $1.5 \times 10^{-3} M$ และ $5.9 \times 10^{-3} M$ กับโลหะ ๓ ค่าพีเอชที่เหมาะสม

3.3.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ และสารละลายมาตรฐานไกลโฟเซต

3.3.1.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอชเท่ากับ 3, 5, 7 และ 9

เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 3 และ 5 ที่ความเข้มข้น 0.035 M และพีเอช 7 และ 9 ที่ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตรสารละลายบัฟเฟอร์แต่ละพีเอชเท่ากับ 200 mL โดยชั่งน้ำหนักสารดังตารางที่ 3.1 และละลายสารด้วยน้ำ DI

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักของสารเคมีที่ใช้ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอชต่างๆ

pH	สารเคมี	ความเข้มข้น (M)	น้ำหนักสาร (g)
3	กรดซิตริก	0.035	1.1488
	ไตรโซเดียมซิเตรต	0.035	0.3530
5	กรดซิตริก	0.035	0.4940
	ไตรโซเดียมซิเตรต	0.035	1.2743
7	ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	0.1	1.7319
	โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	0.1	1.0764
9	โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต	0.1	1.5120
	โซเดียมคาร์บอเนต	0.1	0.2120

3.3.1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไกลโฟเซตความเข้มข้น 0.01183 M ปริมาตร 100 mL

ละลายไกลโฟเซตน้ำหนัก 0.2020 g ด้วยน้ำ DI ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100.00 mL

3.3.2 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะโดยการควบคุมภาวะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายบัฟเฟอร์

3.3.2.1 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะ

พีเอชของสารละลายที่ใช้ในการศึกษาเป็นปัจจัยสำคัญในการแตกตัวของไกลโฟเซต ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะต่างๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสม โดยในขั้นต้นพีเอชที่จะใช้ในการศึกษาต้องไม่ทำให้โลหะตกตะกอน โดยผสมสารละลายโลหะแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 0.04 M ปริมาตร 0.5 mL กับ สารละลายบัฟเฟอร์ที่บรรจุอยู่ในหลอดทดลอง 3 mL และเปรียบเทียบกับน้ำ DI แล้วสังเกต และบันทึกลักษณะของสารละลาย

3.3.2.2 ศึกษาปัจจัยการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะ ณ พีเอชที่เหมาะสม

ในการศึกษาส่วนนี้ มุ่งที่จะศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะ ณ ค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อ 3.3.2.1 โดยมีปัจจัยที่ต้องการศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่

1. ความเข้มข้นของไกลโฟเซต โดยความเข้มข้นของไกลโฟเซตที่ใช้ศึกษามี 2 ระดับ คือ 1.5×10^{-3} M และ 5.9×10^{-3} M เพื่อหาความเข้มข้นต่ำสุดของไกลโฟเซตที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะได้

2. อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะ โดยเลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะที่ 1:1.67 และ 1:5 ซึ่งอัตราส่วนโดยโมลทั้ง 2 อัตราส่วนนี้เป็นเพียงการสุ่มเลือก โดยให้ปริมาณโลหะมากกว่าไกลโฟเซต เพื่อให้ไกลโฟเซตสามารถเกิดปฏิกิริยากับโลหะได้ทั้งหมด เป็นศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไกลโฟเซตและความเข้มข้นของโลหะ

หมายเหตุ : สารละลายในการทดลองใช้สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 เป็นตัวทำละลาย

ก. การเตรียมสารละลาย

ก-1 การเตรียมสารละลายเข้มข้นของสารประกอบโลหะความเข้มข้น 0.04 M และ 0.5 M

ในการทดลองนี้เลือกใช้ความเข้มข้นของสารประกอบโลหะเท่ากับ 0.04 M และ 0.5 M เพื่อให้เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยากับไกลโฟเซต ความเข้มข้น 1.5×10^{-3} M และ 5.9×10^{-3} M ตามลำดับ ในอัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะที่ต้องการศึกษา

เตรียมสารประกอบโลหะแต่ละความเข้มข้น โดยชั่งสารประกอบโลหะแต่ละชนิด ดังตารางที่ 3.2 ละลายสารประกอบโลหะในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 mL

ตารางที่ 3.2 น้ำหนักของสารประกอบโลหะที่ใช้เตรียมสารละลายโลหะความเข้มข้น 0.04 M และ 0.5 M

โลหะ	ปริมาตร (mL)	น้ำหนักสารสำหรับความเข้มข้น	
		0.04 M (g)	0.5 M (g)
FeCl ₃	10.00	0.0649	0.8112
FeSO ₄ ·7H ₂ O	10.00	0.1115	1.3898
NiSO ₄ ·6H ₂ O	10.00	0.1053	1.3144
CuSO ₄ ·5H ₂ O	10.00	0.1003	1.2478
CoCl ₂	10.00	0.0521	0.6496

ก-2 การเตรียมสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 1.5×10^{-3} M และ 5.9×10^{-3} M

เตรียมสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 1.5×10^{-3} M และ 5.9×10^{-3} M ปริมาตร 50 mL จากสารละลายมาตรฐานไกลโฟเซตความเข้มข้น 0.01183 M

ข. ปฏิกริยาของสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 1.5×10^{-3} M กับโลหะที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะเท่ากับ 1:1.67 และ 1:5

การทดลองการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-3} M ในอัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะเท่ากับ 1:1.67 และ 1:5 มีวิธีการทดลองเช่นเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นของสารละลายโลหะที่ใช้ โดยในการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:1.67 ใช้สารละลายโลหะความเข้มข้น 0.012 M ปริมาตร 2 mL และอัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:5 ใช้สารละลายโลหะความเข้มข้น 0.04 M โดยมีการทดลองดังนี้

หมายเหตุ : สารละลายโลหะความเข้มข้น 0.012 M โดยเตรียมได้จากสารละลายโลหะความเข้มข้น 0.04 M

1. เตรียมสารในหลอดทดลองจำนวน 3 หลอด ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการทดลองการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 1.5×10^{-3} M กับโลหะ

หลอดทดลองที่	ปริมาตรสารละลาย (mL)		
	สารละลายไกลโฟเซต	สารละลาย FeCl_3	สารละลายบัพเฟอร์พีเอช 5
1	2.50	-	0.50
2	-	0.50	2.50
3	2.50	0.50	-

2. สังเกตสี และตะกอนที่เกิดขึ้นในสารละลาย และบันทึกผล แล้วนำสารละลายในหลอดทดลองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
3. ทำซ้ำ แต่เปลี่ยนสารละลาย FeCl_3 เป็นสารละลาย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ CoCl_2

ค. ปฏิกริยาของสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 5.9×10^{-3} M กับโลหะ อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:1.67 และ 1:5

การทดลองการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตที่ความเข้มข้น 5.9×10^{-3} M ในอัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะเท่ากับ 1:1.67 และ 1:5 มีวิธีการทดลองเช่นเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นของสารละลายโลหะที่ใช้ โดยในการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:1.67 ใช้สารละลายโลหะความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 2 mL และอัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:5 ใช้สารละลายโลหะความเข้มข้น 0.3 M (สารละลายโลหะความเข้มข้น 0.1 M และ 0.3 M สามารถเตรียมได้จากสารละลายโลหะความเข้มข้น 0.5 M) โดยมีการทดลองดังนี้

1. เตรียมสารในหลอดทดลองจำนวน 3 หลอด ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการทดลองการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 5.9×10^{-3} M กับโลหะ

หลอดทดลองที่	ปริมาตรสารละลาย (mL)		
	สารละลายไกลโฟเซตในบัฟเฟอร์พีเอช 5	สารละลาย FeCl_3 ในบัฟเฟอร์พีเอช 5	สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5
1	5.00	-	0.50
2	-	0.50	5.00
3	5.00	0.50	-

- สังเกตสี และตะกอนที่เกิดขึ้นในสารละลาย และบันทึกผล แล้วนำสารในหลอดทดลองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์
- ทำซ้ำ แต่เปลี่ยนสารละลาย FeCl_3 เป็นสารละลาย $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ CoCl_2

ส่วนที่ 2 ศึกษาปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะความเข้มข้น 0.4 M โดยการควบคุมสภาวะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.3 การเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะความเข้มข้น 0.4 M โดยการควบคุมสภาวะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.3.1 การเตรียมสารละลายสารประกอบโลหะและสารละลายมาตรฐานไกลโฟเซต

- การเตรียมสารละลายสารประกอบโลหะความเข้มข้น 0.4 M ปริมาตร 0.3 mL ในน้ำ DI
ซึ่งสารประกอบโลหะชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 3.5 และละลายสารด้วยน้ำ DI

ตารางที่ 3.5 น้ำหนักของสารประกอบโลหะที่ใช้เตรียมสารละลายโลหะความเข้มข้น 0.4 M ปริมาตร 0.3 mL

ชนิดของสารประกอบโลหะ	น้ำหนักสารในปริมาตร 0.3 mL (g)
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.0176
FeCl_3	0.0195
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.0334
$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.0316
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.0300
CoCl_2	0.0156

ข. การเตรียมสารละลายมาตรฐานไกลโฟเซต ความเข้มข้น 0.4 M ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 1.5 mL

ชั่งไกลโฟเซตหนัก 0.1014 g ละลายไกลโฟเซตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.8 M ปริมาตร 1.5 mL และวัดค่าพีเอชของสารละลายด้วยกระดาษทดสอบพีเอช

3.3.3.2 ศึกษาปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะโดยการปรับสถานะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1

ปิเปตสารละลายไกลโฟเซตในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.4 M ลงในภาดหลุมทั้งหมด 6 หลุม ปริมาตรหลุมละ 0.15 mL ปิเปตสารละลายโลหะลงในภาดหลุมที่บรรจุสารละลายไกลโฟเซตชนิดละหลุม ปริมาตรหลุมละ 0.15 mL สังเกตสี และตะกอนที่เกิดขึ้น แล้วบันทึกผลการทดลองเก็บสารละลายได้จากการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับสารประกอบโลหะ เจือจางสารละลาย 20 เท่าด้วยน้ำ DI แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.3.3.3 ศึกษาการเกิดตะกอนของโลหะในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เนื่องจากภาวะการทดลองการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะทำในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาการเกิดตะกอนของโลหะในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะ เพื่อตรวจสอบว่าการเกิดตะกอนของสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะไม่ใช่ตะกอนที่เกิดจากโลหะกับไฮดรอกไซด์

ชั่งสารประกอบโลหื่อดังตารางที่ 3.6 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.8 M ปริมาตร 0.15 mL และน้ำ DI ปริมาตร 0.15 mL ลงไป สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น และบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 3.6 น้ำหนักของสารประกอบโลหะที่ใช้เตรียมสารละลายโลหะความเข้มข้น 0.4 M ปริมาตร 0.15 mL

ชนิดของสารประกอบโลหะ	น้ำหนักสารในปริมาตร 0.15 mL (g)
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.0088
FeCl ₃	0.0097
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.0167
NiSO ₄ ·6H ₂ O	0.0158
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.0150
CoCl ₂	0.0078

จากการทดลองศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะในภาวะการทดลองต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สรุปการทดลองปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับสารประกอบโลหะ

ปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับสารประกอบโลหะ	ควบคุมพีเอชด้วยสารละลายบัฟเฟอร์				ปรับพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
	1.5×10 ⁻³		5.9×10 ⁻³		
ความเข้มข้นของไกลโฟเซต (M)	1.5×10 ⁻³		5.9×10 ⁻³		0.4
ปริมาตรของไกลโฟเซต (mL)	2.5		5		0.15
โมลของไกลโฟเซต (×10 ⁻⁵ mol)	0.37		2.96		6.00
ความเข้มข้นของสารละลายสารประกอบโลหะ (M)	0.012	0.04	0.1	0.3	0.4
ปริมาตรของสารละลายสารประกอบโลหะ (mL)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.15
โมลของสารประกอบโลหะ (×10 ⁻⁵ mol)	0.62	2.00	4.94	15.0	6.00
อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อสารประกอบโลหะ	1:1.67	1:5	1:1.67	1:5	1:1

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะชนิดต่างๆ โดยแบ่งการทดลองเป็นสองส่วนหลักๆ ส่วนที่หนึ่งมุ่งศึกษาภาวะการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไกลโฟเซตที่ความเข้มข้น 2 ระดับ คือ 1.5×10^{-3} M และ 5.9×10^{-3} M กับโลหะ ณ ค่าพีเอชที่เหมาะสม โดยเลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:1.67 และ 1:5 ทั้ง 2 ระดับความเข้มข้น ส่วนที่สองการศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะที่ความเข้มข้นของไกลโฟเซต และโลหะเท่ากับ 0.4 M ปรับภาวะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้ได้วิธีการตรวจวัดไกลโฟเซตที่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยดัดแปรมาจากงานวิจัยของ Subramaniam และ Hoggard⁽⁹⁾

4.1 การเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะโดยการควบคุมสถานะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายบัฟเฟอร์

4.1.1 การทดสอบการตกตะกอนของโลหะในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 3, 5, 7 และ 9

จากการทดสอบการเกิดตะกอนของโลหะในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอชต่างๆดังหัวข้อ 3.3.2.1 พบว่าที่ค่าพีเอช 3 และ 5 ลักษณะของสารละลายโลหะเป็นสารละลายใส ไม่มีตะกอนเกิดขึ้น แต่ที่พีเอช 7 และ 9 สารละลายมีตะกอนเกิดขึ้น ดังรูป ผ.1 และมีสีตะกอนของโลหะที่พีเอช 7 และ 9 ดังตารางที่ 4.1 สามารถอธิบายได้ดังนี้ สารละลายโลหะในบัฟเฟอร์พีเอช 7 ตะกอนของสารประกอบโลหะที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ของโลหะ เนื่องจากแอนไอออนในสารละลายมี HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- และ OH^- แม้ว่าปริมาณ OH^- มีน้อยเมื่อเทียบกับ HPO_4^{2-} และ H_2PO_4^- แต่ HPO_4^{2-} และ H_2PO_4^- ไม่ได้ทำให้โลหะในสารละลายตกตะกอน ส่วนสารละลายโลหะในบัฟเฟอร์พีเอช 9 มี HCO_3^- , CO_3^{2-} และ OH^- เป็นแอนไอออนในสารละลาย ซึ่งทั้ง CO_3^{2-} และ OH^- สามารถทำให้โลหะตกตะกอนได้ และสีตะกอนของสารประกอบโลหะกับคาร์บอเนต และโลหะกับไฮดรอกไซด์มีสีที่คล้ายกัน แต่จากค่า K_{sp} ที่แสดงในตาราง ผ. 1 พบว่า ค่า K_{sp} ของสารประกอบโลหะกับไฮดรอกไซด์มีค่าไม่แตกต่างสารประกอบโลหะกับคาร์บอเนตมากนัก แต่ CO_3^{2-} มีปริมาณมากกว่า OH^- ดังนั้น ตะกอนที่เกิดขึ้นในสารละลายน่าจะเป็นตะกอนของสารประกอบโลหะกับคาร์บอเนต และจากการทดสอบดังกล่าวพีเอช 3 และ 5 เป็นพีเอชที่ควรเลือกเป็นสภาวะสำหรับการศึกษาปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับสารประกอบโลหะ เนื่องจากไม่มีตะกอนที่จะส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 สีตะกอนของโลหะในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 7 และ 9

โลหะ	สีของตะกอน	
	พีเอช 7	พีเอช 9
Fe(III)	เหลือง	น้ำตาลแดง
Fe(II)	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม
Ni(II)	เขียว	เขียว
Cu(II)	ฟ้า	ฟ้า
Co(II)	ชมพู	ชมพู

อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้เลือกศึกษาพีเอช 5 เพียงจุดเดียว เนื่องจากสารละลายไกลโฟเซตอยู่ในสมดุลระหว่างประจุ -1 และ -2 ซึ่งเหมาะสำหรับการเกิดสารประกอบกับโลหะมากกว่าพีเอช 3 ที่สารละลายไกลโฟเซตอยู่ในสมดุลระหว่างประจุ 0 และ -1 ดังรูปที่ 2.2

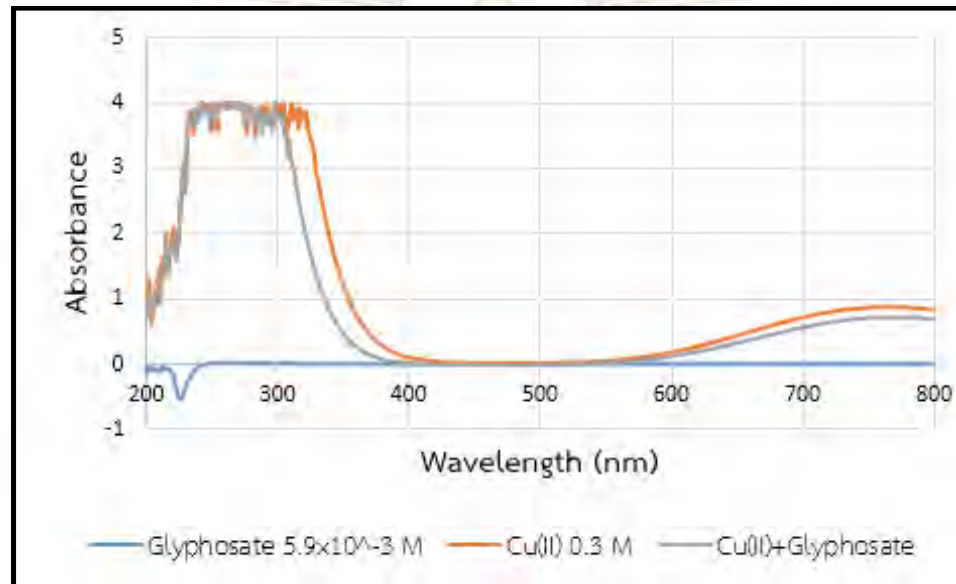
4.1.2 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะโดยการควบคุมสถานะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ณ ค่าพีเอชที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาการทดลองในหัวข้อ 3.3.2.1 ทำให้ทราบค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง และจากการทดลองนี้ได้ศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะ โดยแบ่งปัจจัยที่ต้องการศึกษาออกเป็น 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของไกลโฟเซต 2 ระดับ คือ 1.5×10^{-3} M และ 5.9×10^{-3} M และอัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:1.67 และ 1:5 โดยการควบคุมสถานะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 พบว่า สารละลายไกลโฟเซตกับโลหะในบัฟเฟอร์พีเอช 5 เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายโลหะในบัฟเฟอร์พีเอช 5 ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันดังตารางที่ 4.2 และดังรูปที่ ผ.2

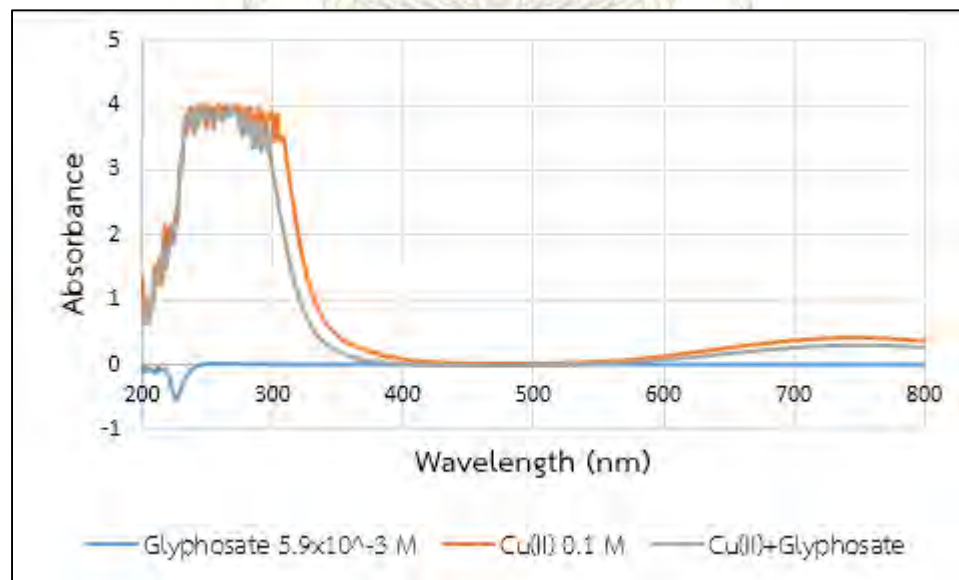
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะ และสารละลายโลหะที่ความเข้มข้นของไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M และ 5.9×10^{-3} M และอัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะเท่ากับ 1:1.67 และ 1:5 โดยการควบคุมสถานะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 5

โลหะ	ความเข้มข้นของไกลโฟเซต (M)			
	1.5×10^{-3}		5.9×10^{-3}	
	อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ		อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ	
	1:1.67	1:5	1:1.67	1:5
Fe(III)	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
Fe(II)	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
Ni(II)	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
Cu(II)	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
Co(II)	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง

จากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับโลหะ เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของโลหะที่ทุกความเข้มข้นของไกลโฟเซต และอัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะ พบว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงระหว่างสเปกตรัมของสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะ และสารละลายโลหะ ดังตัวอย่างสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับคอปเปอร์(II) ซัลเฟตรูปที่ 4.1 แสดงว่าโลหะไม่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไกลโฟเซตได้ในสภาวะการทดลองนี้



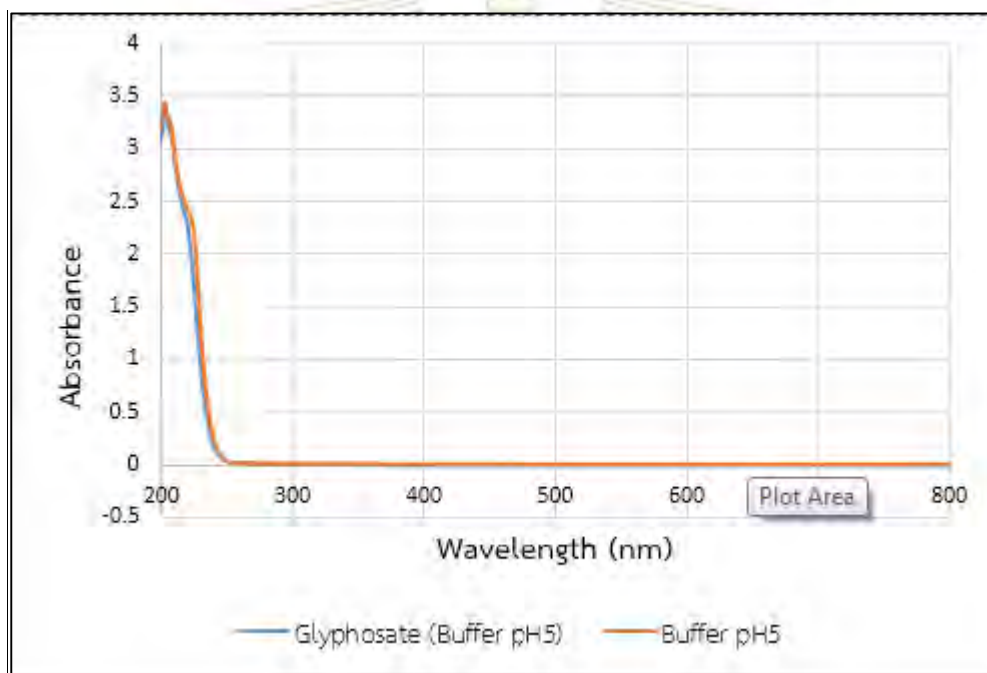
(a)



(b)

รูปที่ 4.1 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับสารประกอบคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:5 (a) และ 1:1.67 (b) ณ ค่าพีเอชเท่ากับ 5

จากรูปที่ 4.1 การลดลงของค่าดูดกลืนแสงจากสเปกตรัมของไกลโฟเซตกับโลหะเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของโลหะในช่วงความยาวคลื่น 600-800 nm อาจแสดงถึงแนวโน้มของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะ แต่ไม่สามารถติดตามพีคของไกลโฟเซตได้ เนื่องจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะนี้ได้ใช้สารละลายบัฟเฟอร์เป็น blank และพีคของไกลโฟเซตขึ้นในตำแหน่งเดียวกับพีคของสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ซึ่งเป็นการวัดการดูดกลืนแสงโดยใช้น้ำ DI เป็น blank ดังรูปที่ 4.2 จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถเห็นพีคของไกลโฟเซตได้



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 กับสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 โดยใช้น้ำ DI เป็น blank

4.2 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะโดยการควบคุมสถานะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ในการศึกษานี้ดัดแปรมาจากการศึกษาของ Subramaniam และ Hoggard⁽⁹⁾ ซึ่งเป็นการทดลองเกี่ยวกับการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะที่ความเข้มข้นของไกลโฟเซต และโลหะเท่ากับ 0.4 M โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับสถานะความเป็นกรด-เบส จากการทดลองพบว่า ค่าพีเอชของสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะมีค่าเท่ากับ 6 ณ ค่าพีเอชนี้โครงสร้างโมเลกุลของไกลโฟเซตอยู่ในรูปประจุ -2 ซึ่งเหมาะกับการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะ +2 ผลการทดลองในส่วนนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

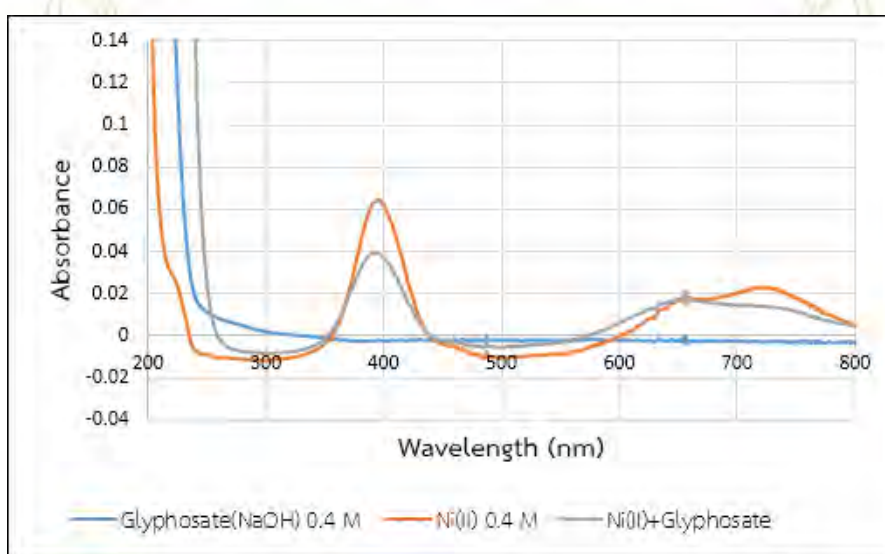
ตารางที่ 4.3 ลักษณะของสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะ โดยการควบคุมสภาวะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ชนิดของสารประกอบโลหะ	ลักษณะของสารละลาย		
	สารประกอบโลหะในน้ำ DI	สารประกอบโลหะในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	สารประกอบไกลโฟเซตกับโลหะ
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	สารละลายใส ไม่มีสี	สารละลายขุ่น เกิดตะกอนสีขาว	สารละลายใส ไม่มีสี แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้สารละลายขุ่นขึ้น และเกิดตะกอนสีขาว
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	สารละลายใส สีฟ้า	สารละลายสีฟ้า เกิดตะกอนสีน้ำเงินเข้ม	สารละลายใส สีน้ำเงินเข้ม
FeCl_3	สารละลายใส สีเหลือง	สารละลายขุ่น เกิดตะกอนสีน้ำตาลแดง	สารละลายขุ่น เกิดตะกอนสีขาวจำนวนมาก
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	สารละลายใส สีเหลืองอ่อน	สารละลายขุ่น เกิดตะกอนสีเขียวเข้ม	สารละลายขุ่น เกิดตะกอนสีขาว
$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	สารละลายใส สีเขียวอ่อน	สารละลายขุ่น เกิดตะกอนสีเขียวอ่อน	สารละลายใส สีเขียวเข้มขึ้น
CoCl_2	สารละลายใส สีชมพู	สารละลายขุ่น เกิดตะกอนสีชมพูคล้ำ-ดำ	สารละลายใส สีชมพูอมม่วง

- แคลเซียม(II) โดยตะกอนที่เกิดขึ้นในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ ตะกอนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนตะกอนที่เกิดขึ้นในการทดลองการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับแคลเซียมคาดว่าน่าจะเป็นตะกอนของสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับแคลเซียม แต่ยังไม่สามารถยืนยันได้อย่างแน่ชัด จึงทดสอบใหม่โดยใช้ความเข้มข้น และปริมาตรของไกลโฟเซต และแคลเซียม(II) คลอไรด์เท่าเดิม แต่ละลายไกลโฟเซตในน้ำ DI แล้วเติมสารละลายของสารประกอบแคลเซียมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีตะกอนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์อยู่ภายใน พบว่าตะกอนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์หายไป แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้ก็พบว่าเกิดตะกอนสีขาวเกิดขึ้น จากการทดลองดังกล่าว เป็นการยืนยันว่าแคลเซียมกับไฮดรอกไซด์จับกันได้ไม่ตึงนัก แต่ยังคงไม่สามารถยืนยันได้อย่างแน่ชัดว่าตะกอนที่เกิดขึ้นใหม่นั้นเป็นตะกอนของสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับแคลเซียม เนื่องจากยังไม่ได้มีการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตะกอนดังกล่าว
- คอปเปอร์(II) ตะกอนที่เกิดขึ้นในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ ตะกอนของคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ ส่วนในการทดลองการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับคอปเปอร์ ไม่สามารถทราบได้เด่นชัดว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับคอปเปอร์หรือไม่ เนื่องจากไม่มีตะกอน

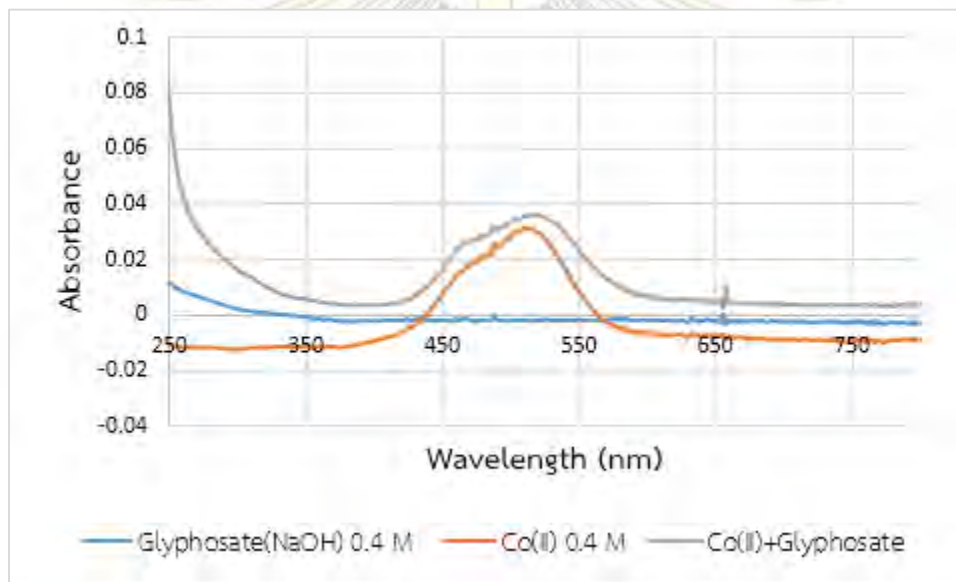
เกิดขึ้น และสีของสารละลายไม่ได้เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด จึงทำการทดลองใหม่โดยใช้ความเข้มข้น และปริมาตรของไกลโฟเซต และคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตเท่าเดิม แต่ละลายไกลโฟเซตในน้ำ DI แล้วเติมสารละลายของสารประกอบคอปเปอร์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีตะกอนของคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์อยู่ภายใน พบว่าตะกอนของคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์หายไป จึงคาดว่าสารประกอบใหม่ที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของคอปเปอร์กับไกลโฟเซตที่สามารถละลายน้ำได้

- ไอร์ออน(III) จากการทดลองเห็นได้ว่า ไอร์ออน (III) สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไกลโฟเซต โดยสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นไม่ละลายน้ำ และมีลักษณะที่แตกต่างจากตะกอนของไอร์ออน(III) ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ยังคงไม่สามารถยืนยันได้อย่างแน่ชัด เนื่องจากยังไม่ได้มีการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตะกอนดังกล่าว
- ไอร์ออน(II) เมื่อเปรียบเทียบตะกอนที่เกิดขึ้นในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับตะกอนที่เกิดขึ้นในสารผสมระหว่างไกลโฟเซตกับไอร์ออน(II) พบว่ามีลักษณะตะกอนที่แตกต่างกัน ซึ่งคาดว่าตะกอนนี้อาจจะเป็นตะกอนของสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับไอร์ออน(II) แต่ยังคงไม่สามารถยืนยันได้อย่างแน่ชัด เนื่องจากยังไม่ได้มีการพิสูจน์องค์ประกอบของตะกอนดังกล่าว
- นิกเกิล(II) จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าในสารผสมระหว่างไกลโฟเซตกับนิกเกิล(II) ไม่มีตะกอนเกิดขึ้น แต่สีของสารละลายไกลโฟเซตกับนิกเกิล(II) มีสีเข้มขึ้นเมื่อเทียบกับนิกเกิล(II) ในน้ำ DI ทราบแต่เพียงว่าไฮดรอกไซด์จับกับนิกเกิลได้ไม่ดีเมื่ออยู่ในสารละลายกับไกลโฟเซต และจากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายไกลโฟเซตกับนิกเกิล(II) ในช่วงความยาวคลื่นที่ 500-700 nm เคลื่อนที่ไปทาง blue shift และที่ความยาวคลื่น 300-500 nm มีการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไกลโฟเซตกับนิกเกิล(II) แสดงให้เห็นว่านิกเกิล(II) บางส่วนอาจจะเกิดสารประกอบใหม่ ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของนิกเกิล(II) กับไกลโฟเซต



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของการทดลองการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับนิกเกิล(II) ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

- โคบอลต์ (II) จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าในสารผสมระหว่างไกลโฟเซตกับโคบอลต์(II) ไม่มีตะกอนเกิดขึ้น แต่สีของสารละลายไกลโฟเซตกับโคบอลต์(II) มีสีเข้มขึ้นเมื่อเทียบกับโคบอลต์(II) ในน้ำ DI ทราบแต่เพียงว่าไฮดรอกไซด์จับกับโคบอลต์ได้ไม่ดีเมื่ออยู่ในสารละลายกับไกลโฟเซต และจากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายไกลโฟเซตกับโคบอลต์(II) มีค่าความยาวคลื่นอยู่บริเวณเดียวกับสารละลายโคบอลต์(II) ในน้ำ DI ในช่วงความยาวคลื่นที่ 350-650 nm แต่มีค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นคาดว่าเกิดจากสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโคบอลต์(II)



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการดูดกลืนแสงของการทดลองการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโคบอลต์(II) ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะชนิดต่างๆ โดยการทดลองจะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักๆ ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไกลโฟเซตที่ความเข้มข้น 2 ระดับ คือ 1.5×10^{-3} M และ 5.9×10^{-3} M กับโลหะ ณ ค่าพีเอชที่เหมาะสม โดยเลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:1.67 และ 1:5 ทั้ง 2 ระดับความเข้มข้น และส่วนที่สองทำการศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะที่ความเข้มข้นของไกลโฟเซต และโลหะเท่ากับ 0.4 M โดยปรับพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถสรุปได้ดังนี้

จากการทดลองการเกิดปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะโดยการควบคุมสถานะความเป็นกรด-เบสด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ โดยเลือกใช้สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ความเข้มข้นของสารละลายไกลโฟเซตที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 1.5×10^{-3} M และ 5.9×10^{-3} M และใช้อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะที่แตกต่างกัน โดยสารประกอบโลหะที่เลือกใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ FeCl_3 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ CoCl_2 เปรียบเทียบผลการทดลองของสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะ และสารละลายโลหะในด้านลักษณะทางกายภาพของสารละลาย คือ สี และการเกิดตะกอน และด้านการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สรุปได้ว่าสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะ และสารละลายโลหะมีลักษณะทางกายภาพเหมือนกัน และสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะ และสารละลายโลหะให้ค่าความยาวคลื่นที่เท่ากัน ซึ่งอาจเกิดจากสถานะความเป็นกรด-เบสที่ใช้ไม่เหมาะสมต่อลักษณะโครงสร้างของไกลโฟเซตในการเกิดเป็นสารประกอบกับโลหะ และอาจเกิดจากปริมาณไกลโฟเซตที่ใช้สำหรับการทดลองน้อยเกินไป และเมื่อปรับเปลี่ยนการทดลองโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ควบคุมสถานะความเป็นกรด-เบส ค่าพีเอชของสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะเท่ากับ 6 เป็นสถานะความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมต่อการเกิดสารประกอบของไกลโฟเซต และเพิ่มความเข้มข้นของไกลโฟเซต และสารประกอบโลหะสรุปได้ว่า ไกลโฟเซตสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะได้ทั้งในรูปของตะกอน โดยโลหะที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไกลโฟเซตในรูปของตะกอน ได้แก่ แคลเซียม, ไอร์ออน (III) และ ไอร์ออน (II) และโลหะที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไกลโฟเซตในรูปของสารประกอบที่ละลายน้ำ ได้แก่ คอปเปอร์ นิกเกิล และโคบอลต์ โดยสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับนิกเกิลจะให้สี และค่าความยาวคลื่นที่แตกต่างจากสารละลายนิกเกิลในน้ำ DI ก่อนข้างชัดเจน ส่วนสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโคบอลต์ถึงแม้จะให้สีที่แตกต่างจากสารละลายโคบอลต์ในน้ำ DI แต่ค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมขึ้นในบริเวณเดียวกัน จากการทดลองดังกล่าวสามารถเป็นแนวทางในการศึกษาวิธีตรวจวัดไกลโฟเซตแบบเห็นได้ด้วยตาเปล่าเพื่อพัฒนาเป็นตัวตรวจวัดไกลโฟเซตได้ในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะที่ความเข้มข้นของไกลโฟเซต และโลหะเท่ากับ 0.4 M ควรศึกษาองค์ประกอบของตะกอนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของไกลโฟเซตกับโลหะ เพื่อเป็นการยืนยันว่าตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นตะกอนสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโฟเซตกับโลหะ ควรศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมล และความเข้มข้นของไกลโฟเซตต่อโลหะ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน



ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์พิษวิทยารามาธิบดี. Poison and Drug Information Bulletin: สารเคมีกำจัดวัชพืช (Herbicides). <http://library.williams.edu/citing/styles/acs.php> (accessed Sep 23, 2015).
2. Friends of the Earth, Summary Statement: The Environmental Impacts of Glyphosate. Friends of the Earth, June 2013, 1-20.
3. Biodiversity Sustainable Agriculture Food Sovereignty Action Thailand. ผลกระทบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชต่อสุขภาพคนไทย .<http://biothai.net/node/8691> (accessed Nov 11, 2015)
4. WHO, Summary Statement: Glyphosate and AMPA in Drinking Water. WHO Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd ed., World Health Organization, Geneva, **2004**.
5. Gasnier, C.; Dumont, C.; Benachour, N.; Clair, E.; Chagnon, M. C.; Séralini, G. E. Glyphosate-based Herbicides are Toxic and Endocrine Disruptors in Human Cell Lines. *Toxicology*. **2009**, *262*, 184-191.
6. Kataoka, H.; Ryu, S.; Sakiyama, N.; Makita, M. Simple and Rapid Determination of the Herbicides Glyphosate and Glufosinate in River Water, Soil and Carrot Samples by Gas Chromatography with Flame Photometric Detection. *J. Chromatogr. A*. **1996**, *726*, 253-258.
7. Nedelkoska, T. V.; Low, G. K-C. High-performance Liquid Chromatographic Determination of Glyphosate in Water and Plant Material after Pre-column Derivatisation with 9-Fluorenylmethyl Chloroformate. *Anal. Chim. Acta*. **2004**, *511*, 145-153.
8. Glass, R. L. Metal Complex Formation by Glyphosate. *J. Agric. Food Chem.* **1984**, *32*, 1249-1253.
9. Subramaniam, V.; Hoggard, P. E. Metal Complexes of Glyphosate. *J. Agric. Food Chem.* **1988**, *36*, 1326-1329.
10. Jan, M. R.; Shah, J.; Muhammad, M.; Ara, B. Glyphosate Herbicide Residue Determination in Samples of Environmental Importance Using Spectrophotometric Method. *J. Hazard. Mater.* **2009**, *169*, 742-745.
11. De Almeida, L. K. S.; Chigome, S.; Torto, N.; Frost, N.; Pletschke, B. I. A Novel Colorimetric Sensor Strip for the Detection of Glyphosate in Water. *Sensor. Actuat. B-Chem.* **2015**, *206*, 357-363.

12. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. วัชพืชและการจัดการ: การจัดการวัชพืช. <http://natres.psu.ac.th/Department/PlantScience/weed> (accessed April 4, 2016)
13. Pubchem. Compound: Glyphosate. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/glyphosate#section=Top> (accessed April 4, 2016)
14. Motekaitis, R. J.; Martell, A. E. Metal chelate formation by N-phosphono-ethylglycine and related ligands. *J. Coord. Chem.***1985**, *14*, 139-149.
15. Chemwiki. Dynamic Chemistry Hypertext: Coordination Compounds. http://chemwiki.ucdavis.edu/Core/Inorganic_Chemistry/Coordination_Chemistry/Coordination_Compounds (accessed April 6, 2016)
16. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. Bioinorganic Chemistry: Coordinationchem.<http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~spornthe/coordinationchem.pdf> (accessed April 6, 2016)
17. Chemwiki. The Dynamic Chemistry Hypertext: Origin of Colors in Complex Ions. http://chemwiki.ucdavis.edu/Core/Inorganic_Chemistry/Coordination_Chemistry/Complex_Ion_Chemistry/Origin_of_Color_in_Complex_Ions (accessed April 6, 2016)
18. Agilent Technologies. UV-Vis&UV-Vis-NIR: UV-Vis-NIR Spectroscopy Tutorial. <http://www.agilent.com/en-us/products/uv-vis-uv-vis-nir/tutorial> (accessed April 10, 2016)
19. Chemwiki. The Dynamic Chemistry Hypertext: Solubility. http://chemwiki.ucdavis.edu/Core/Physical_Chemistry/Equilibria/Solubilty (accessed April 10, 2016)

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

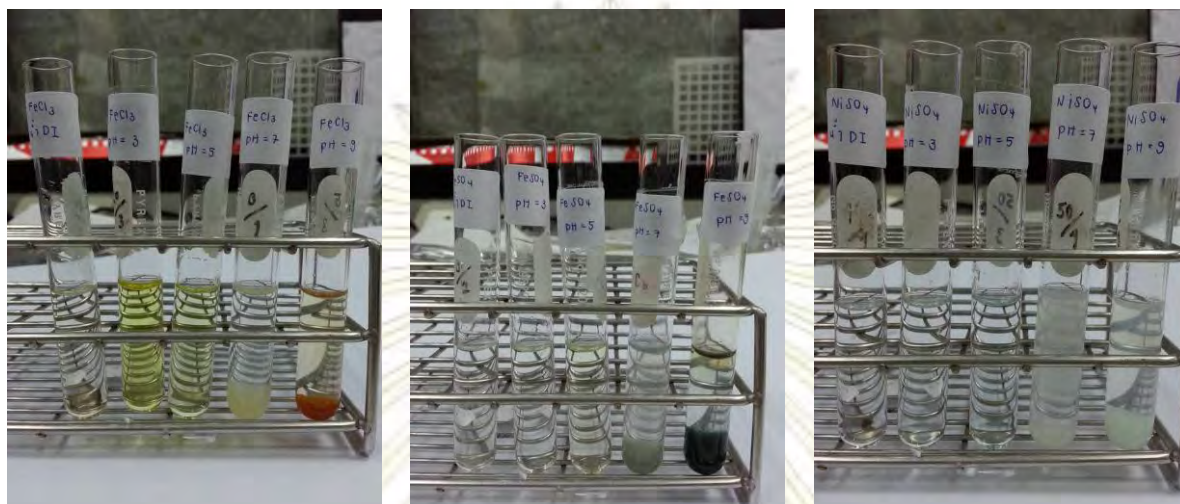
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ตาราง ผ. 1 ค่าคงที่การละลาย (K_{sp}) ณ อุณหภูมิ 25°C และสีของสารประกอบโลหะ

ชนิดสารประกอบโลหะ	สีของสารประกอบโลหะ	ค่า K_{sp} (25°C)
Fe(OH)_3	น้ำตาลแดง	4.0×10^{-38}
$\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$	น้ำตาลแดง	-
Fe(OH)_2	เขียว	8.0×10^{-16}
FeCO_3	เขียว/เทา	3.2×10^{-11}
Ni(OH)_2	เขียว	2.0×10^{-16}
NiCO_3	เขียว	1.3×10^{-7}
Cu(OH)_2	ฟ้า	2.2×10^{-20}
CuCO_3	เขียว	1.4×10^{-10}
Co(OH)_2	ชมพูแดง	1.6×10^{-15}
CoCO_3	ชมพู	1.4×10^{-13}

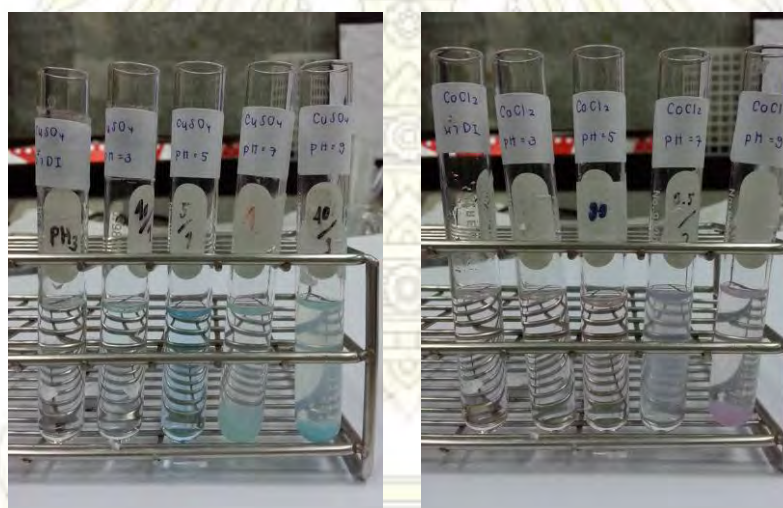
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a) Fe(III)

(b) Fe(II)

(c) Ni(II)



(d) Cu(II)

(e) Co(II)

รูป ผ. 1 ลักษณะสารละลาย และตะกอนของสารประกอบไอร์ออน(III) คลอไรด์(a), ไอร์ออน(II) ซัลเฟต(b), นิกเกิล(II) ซัลเฟต(c), คอปเปอร์(II) ซัลเฟต(d) และโคบอลต์(II) คลอไรด์(e) ในน้ำ DI และสารละลายบัฟเฟอร์ที่ เอช 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a)

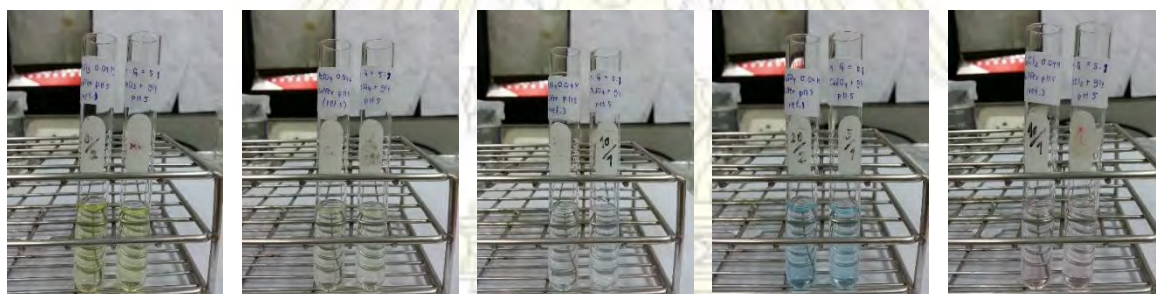
(b)

(c)

(d)

(e)

รูป ผ.2 เปรียบเทียบลักษณะสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะ และสารละลายโลหะ โดยมีโลหะที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ Fe(III)(a), Fe(II)(b), Ni(II)(c), Cu(II)(d) และ Co(II)(e) ณ ความเข้มข้นของไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:1.67



(f)

(g)

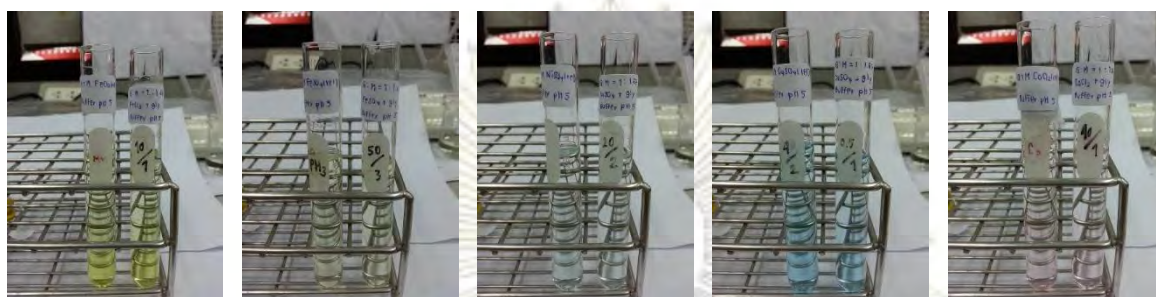
(h)

(i)

(j)

รูป ผ.3 เปรียบเทียบลักษณะสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะ และสารละลายโลหะ โดยมีโลหะที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ Fe(III)(f), Fe(II)(g), Ni(II)(h), Cu(II)(i) และ Co(II)(j) ณ ความเข้มข้นของไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:5

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

รูป ผ.4 เปรียบเทียบลักษณะสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะ และสารละลายโลหะ โดยมีโลหะที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ Fe(III)(a), Fe(II)(b), Ni(II)(c), Cu(II)(d) และ Co(II)(e) ณ ความเข้มข้นของไกลโฟเซตเท่ากับ 5.9×10^{-3} M อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:1.67



(f)

(g)

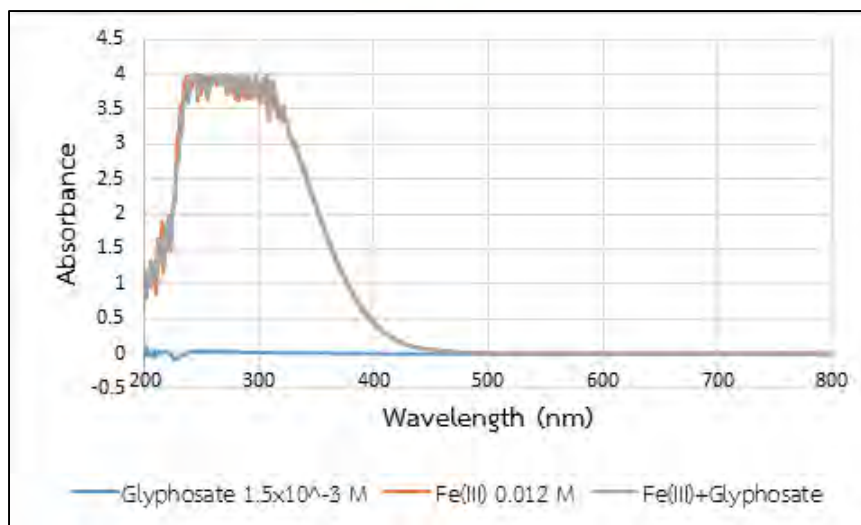
(h)

(i)

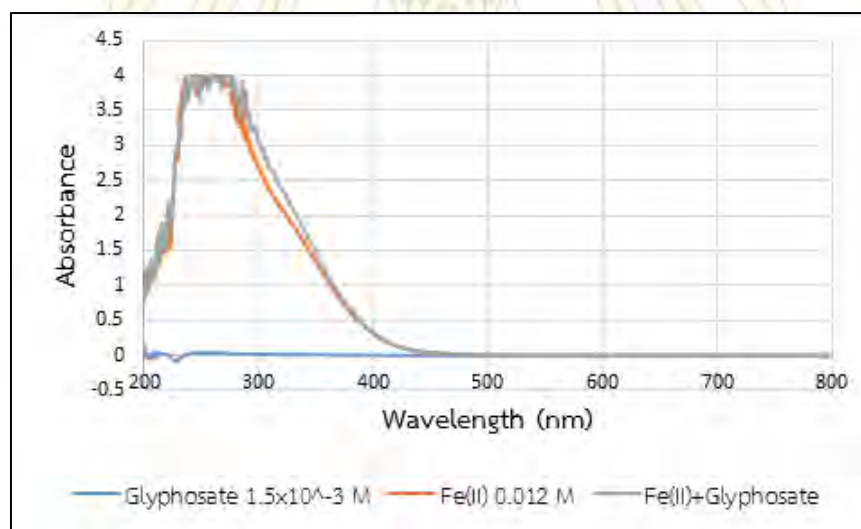
(j)

รูป ผ.5 เปรียบเทียบลักษณะสารละลายไกลโฟเซตกับโลหะ และสารละลายโลหะ โดยมีโลหะที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ Fe(III)(f), Fe(II)(g), Ni(II)(h), Cu(II)(i) และ Co(II)(j) ณ ความเข้มข้นของไกลโฟเซตเท่ากับ 5.9×10^{-3} M อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตต่อโลหะเท่ากับ 1:5

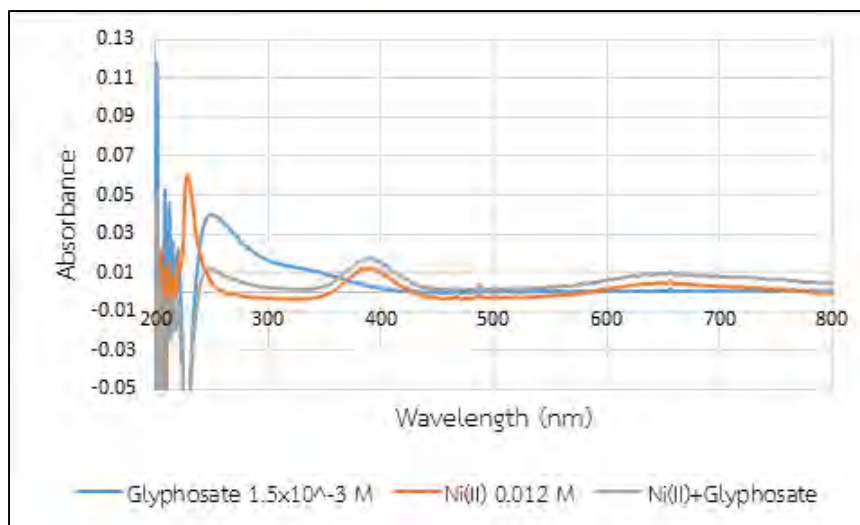
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



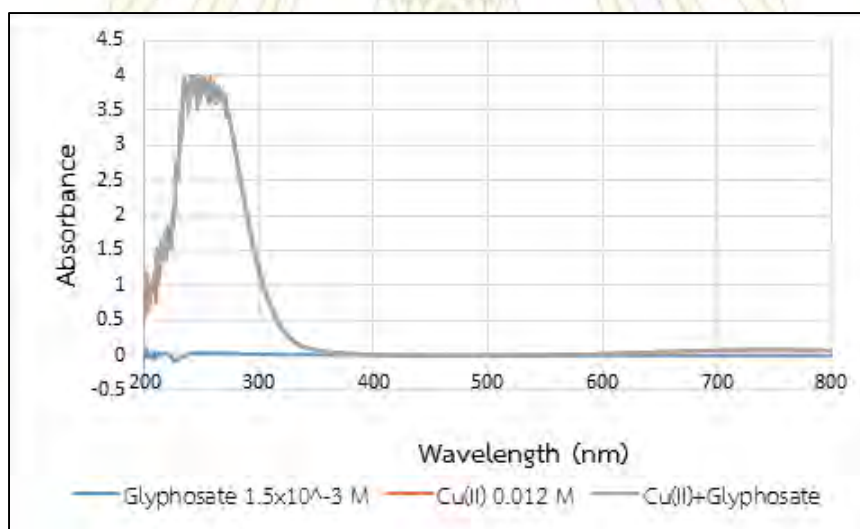
รูป ผ. 6 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับไอร์ออน(III) คลอไรด์ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:1.67



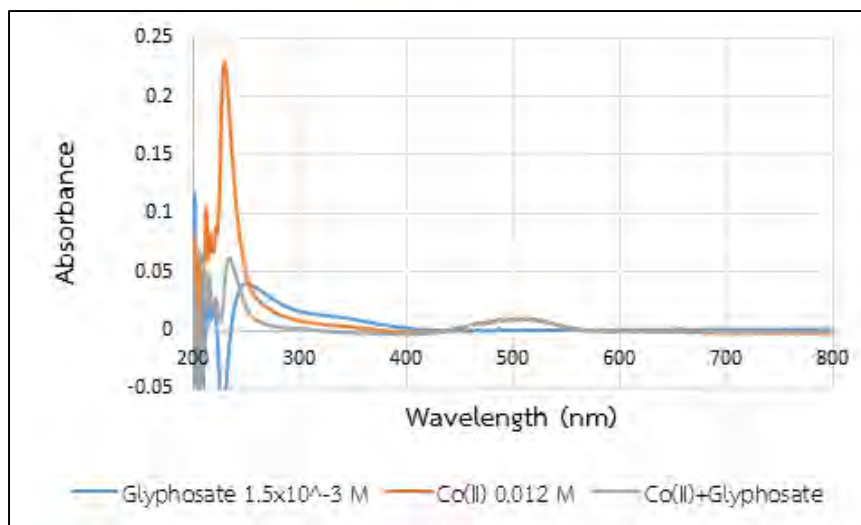
รูป ผ. 7 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับไอร์ออน(II) ซัลเฟตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:1.67



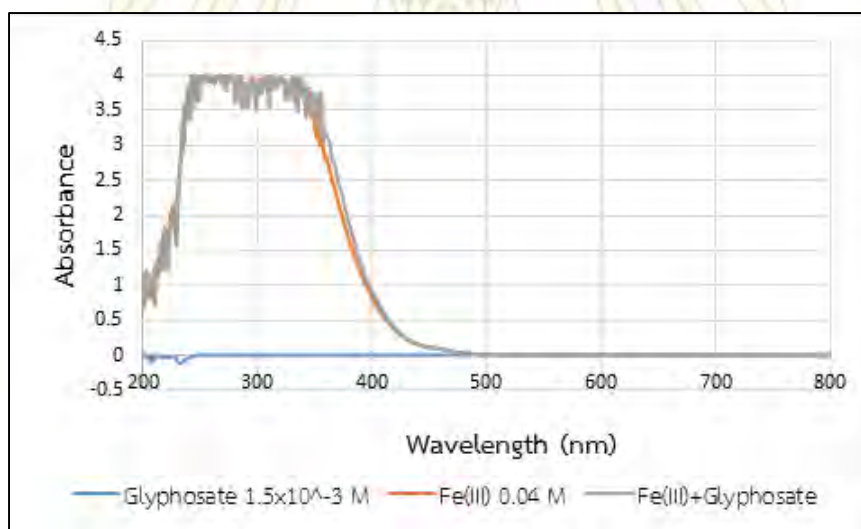
รูป ผ. 8 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับนิกเกิล(II) ซัลเฟตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:1.67



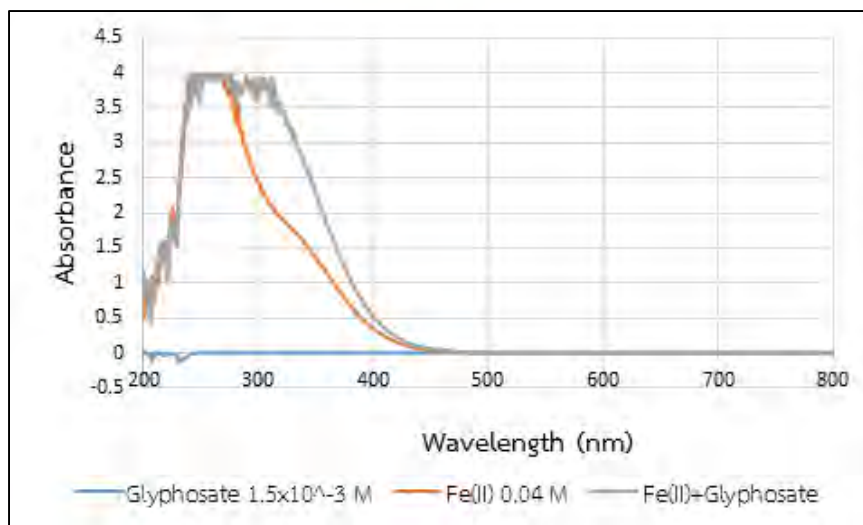
รูป ผ. 9 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับคอปเปอร์(II) ซัลเฟตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:1.67



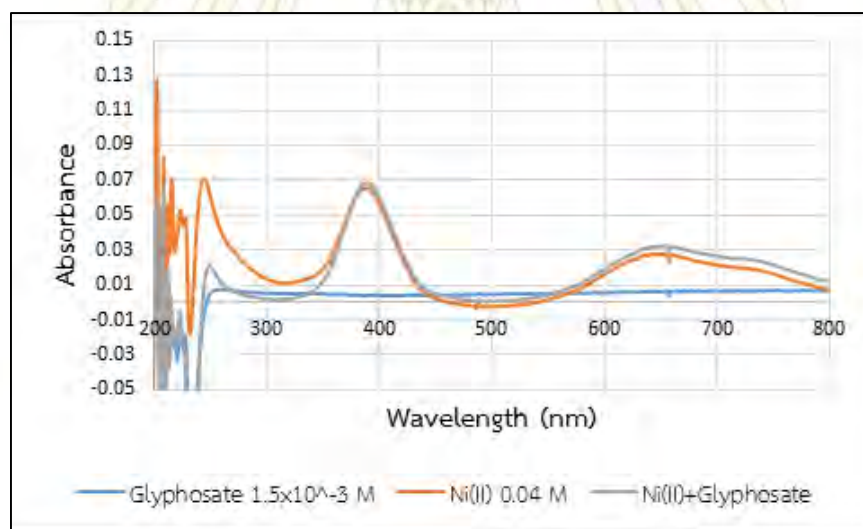
รูป ผ. 10 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับโคบอลต์(II) คลอไรด์ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:1.67



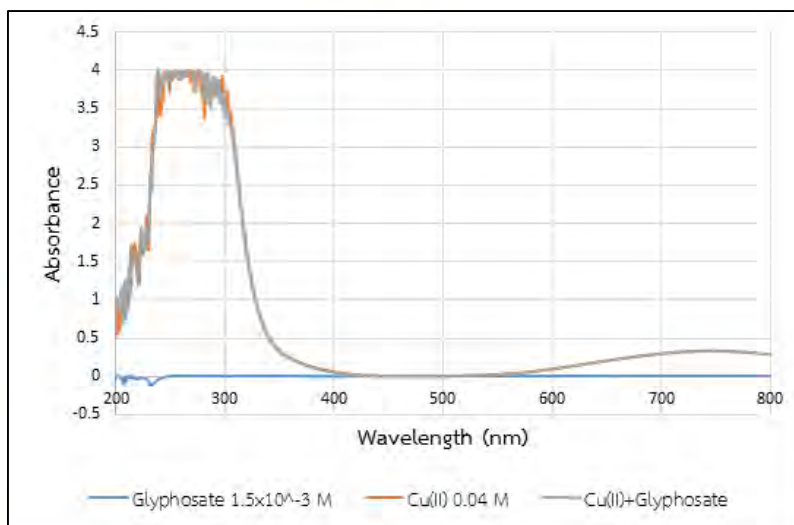
รูป ผ. 11 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับไอรอน(III) คลอไรด์ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:5



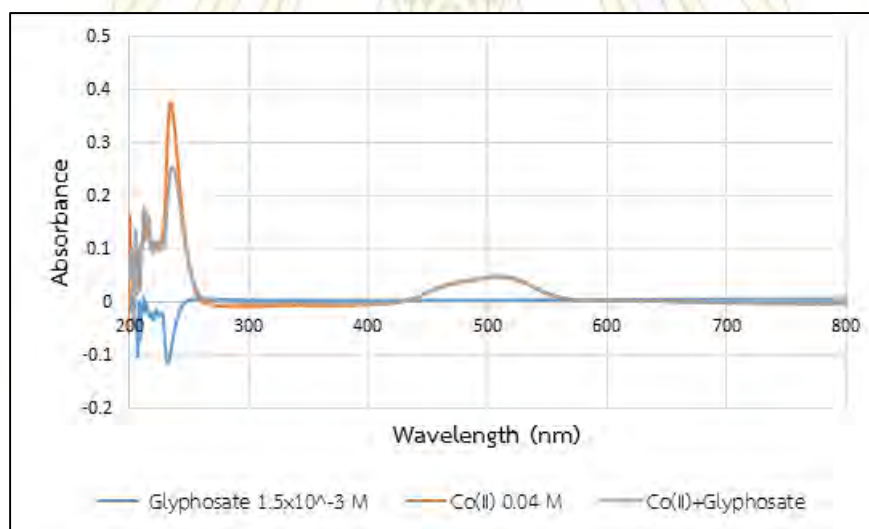
รูป ผ. 12 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับไอร์ออน(II) ซัลเฟตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:5



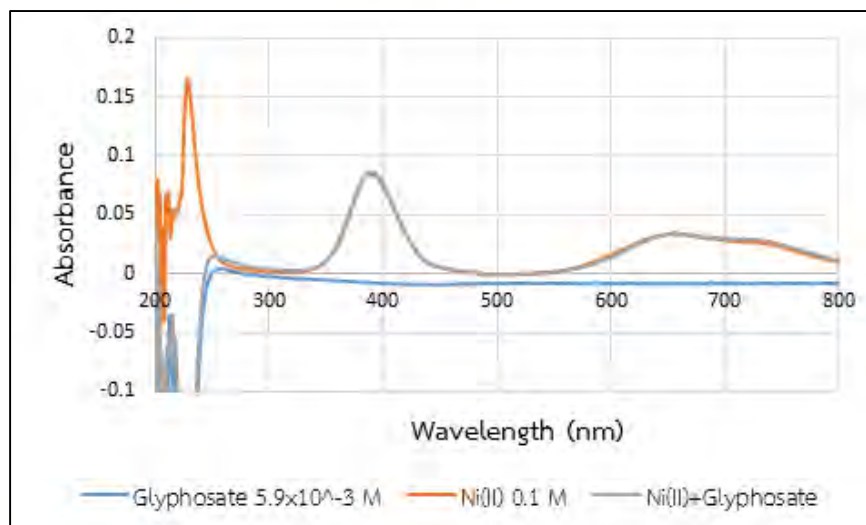
รูป ผ. 13 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับนิกเกิล(II) ซัลเฟตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:5



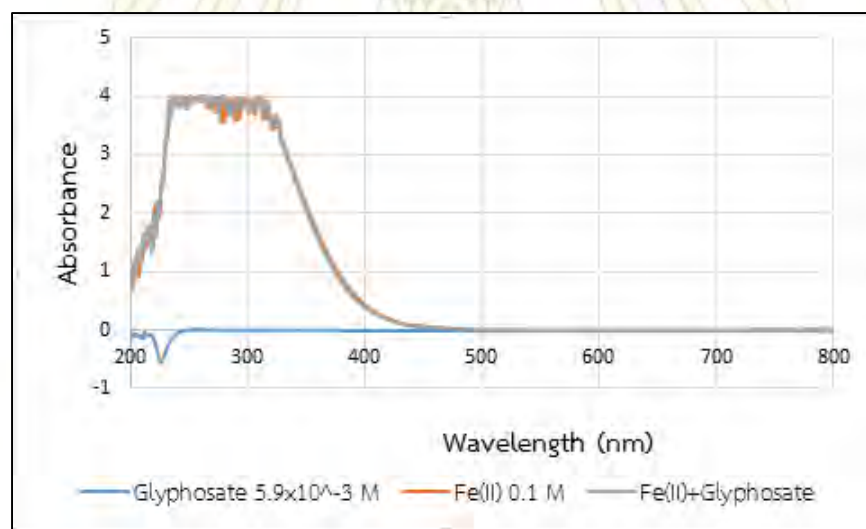
รูป ผ. 14 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับคอปเปอร์(II) ซัลเฟตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:5



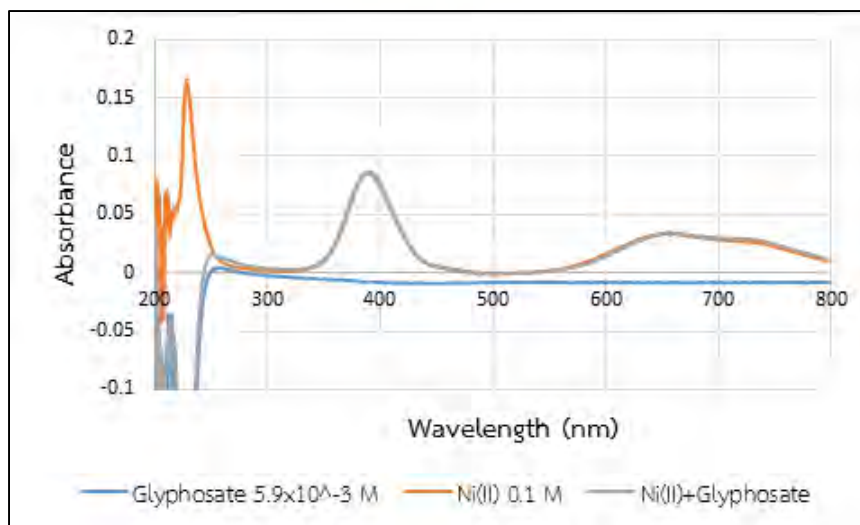
รูป ผ. 15 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับโคบอลต์(II) คลอไรด์ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 1.5×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:5



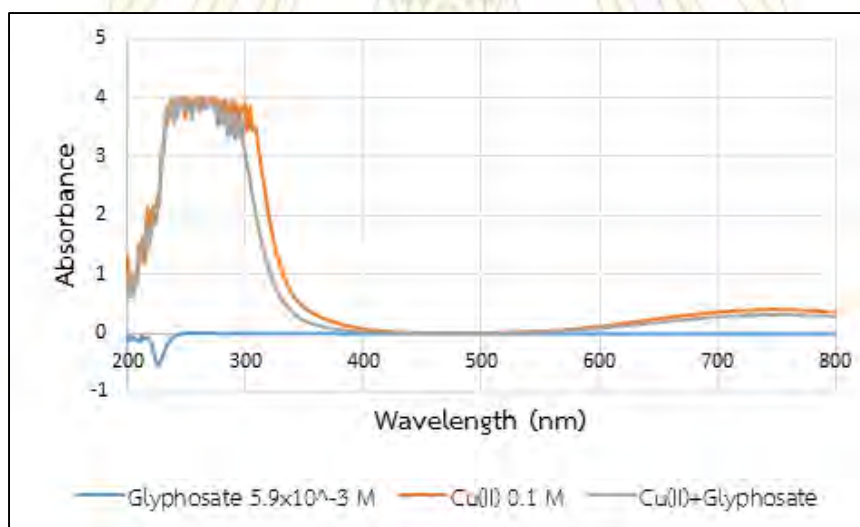
รูป ผ. 16 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับไอร์ออน(III) คลอไรด์ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 5.9×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:1.67



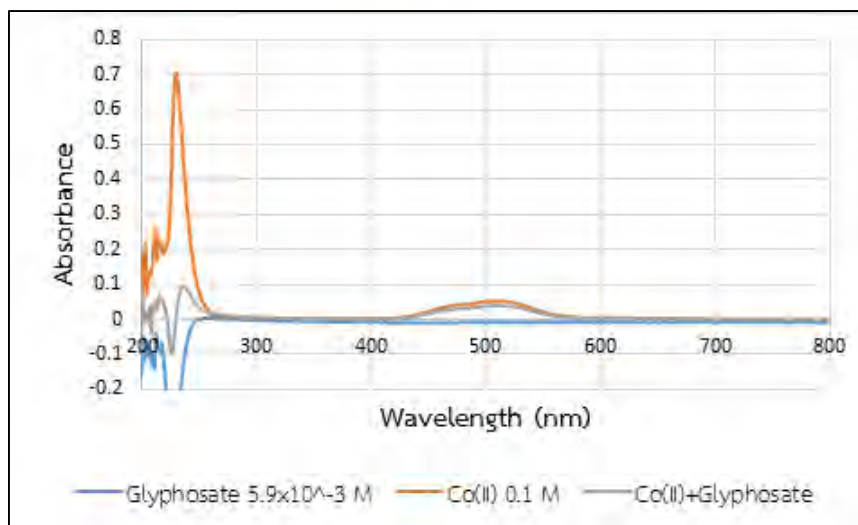
รูป ผ. 17 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับไอร์ออน(II) ซัลเฟตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 5.9×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:1.67



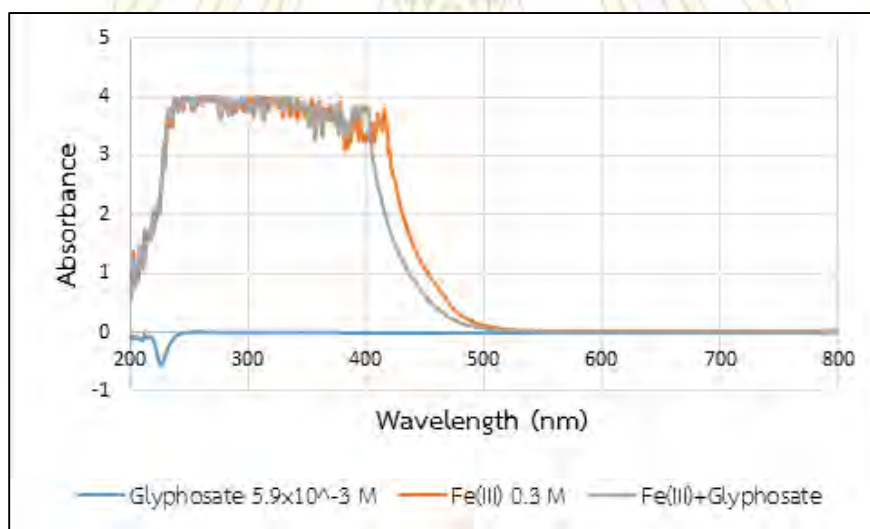
รูป ผ. 18 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับนิกเกิล(II) ซัลเฟตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 5.9×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:1.67



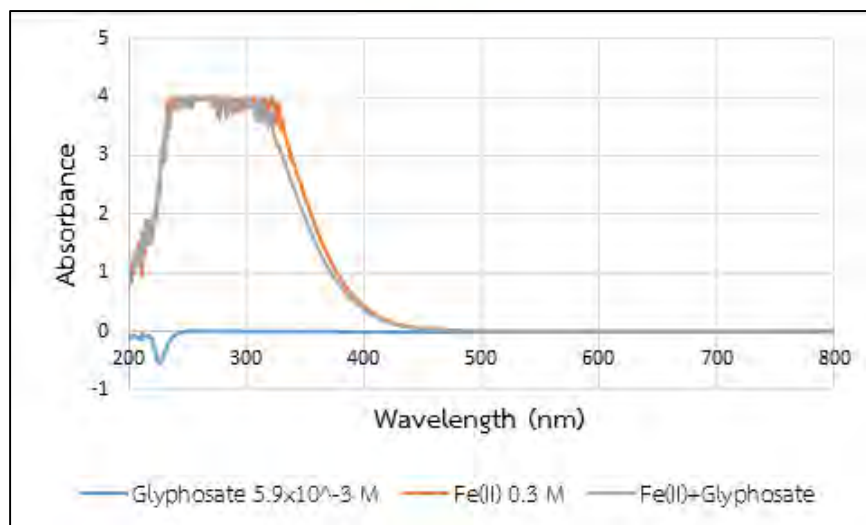
รูป ผ. 19 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับคอปเปอร์(II) ซัลเฟตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 5.9×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:1.67



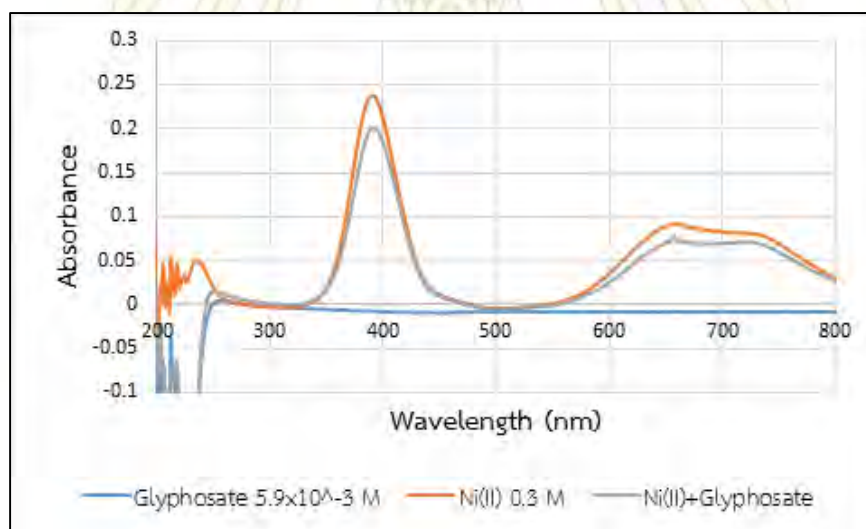
รูป ผ. 20 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับโคบอลต์(II) คลอไรด์ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 5.9×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:1.67



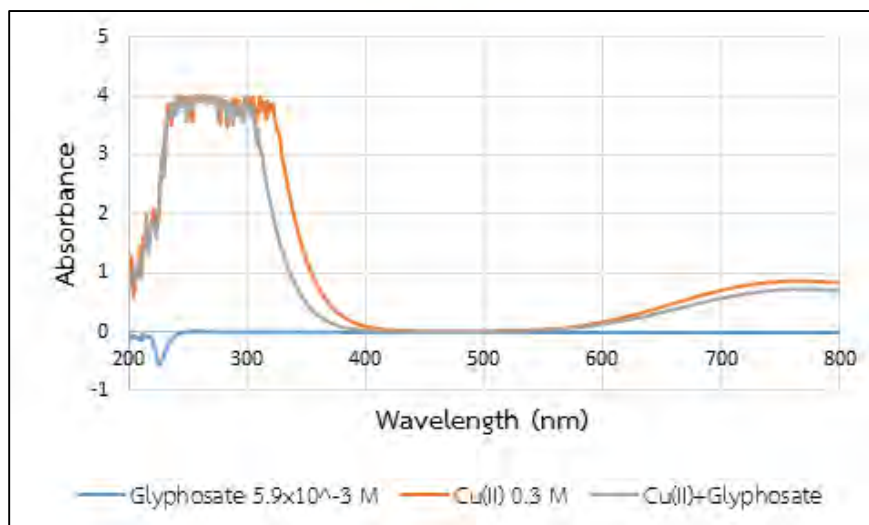
รูป ผ. 21 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับไอร์ออน(III) คลอไรด์ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 5.9×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:5



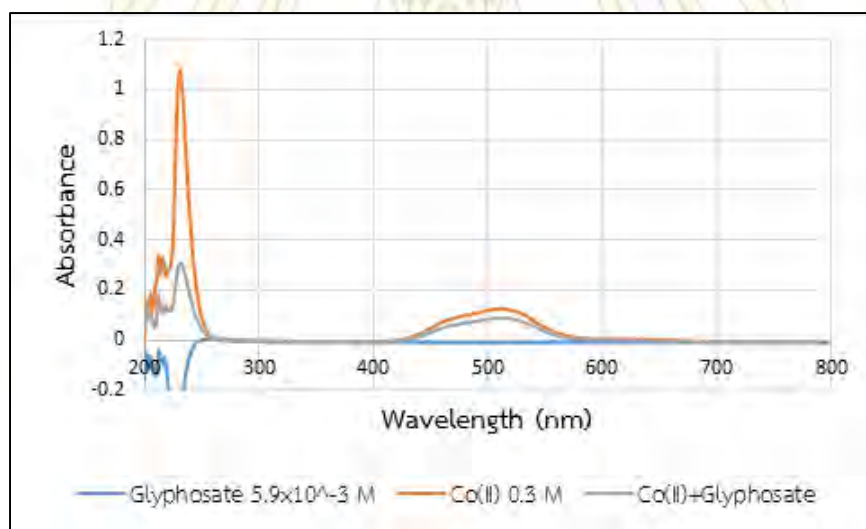
รูป ผ. 22 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับไอร์ออน(II) ซัลเฟตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช ๕ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 5.9×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:5



รูป ผ. 23 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับนิกเกิล(II) ซัลเฟตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 5.9×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:5



รูป ผ. 24 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับคอปเปอร์(II) ซัลเฟตในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 5.9×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:5



รูป ผ. 25 สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของไกลโฟเซตกับโคบอลต์(II) คลอไรด์ในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5 ณ ความเข้มข้นไกลโฟเซตเท่ากับ 5.9×10^{-3} M ที่อัตราส่วนโดยโมลของไกลโฟเซตกับโลหะ คือ 1:5

ประวัติผู้วิจัย

น.ส. ศิริวรรณ บุญมีวิริยะ เกิดเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ที่จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษา
 ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายสายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์จากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ตรัง จังหวัดตรัง
 เมื่อปีการศึกษา 2554 ได้สอบคัดเลือกผ่านระบบการทดสอบความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ วิชาเคมี, ฟิสิกส์,
 ชีววิทยา และคณิตศาสตร์ จากศูนย์ทดสอบทางวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้เข้ามาศึกษาต่อใน
 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2555
 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 5 ถนนเทศบาลบำรุง ตำบลกันตัง อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง 92110 เบอร์
 โทรศัพท์ 08-7383-9109

ภาควิชาเคมี
 คณะวิทยาศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย