



## โครงการ

# การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การวิเคราะห์ไกลโฟเซตด้วยวิธีการวัดสี

Detection of glyphosate using colorimetric method

ชื่อนิสิต นายธนภูมิ มิ่งเจริญ

เลขประจำตัว 5833038523

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ไกลโฟเซตด้วยวิธีการวัดสี

Detection of glyphosate using colorimetric method

โดย

นายธนภูมิ มิ่งเจริญ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

โครงการ การวิเคราะห์ไกลโฟเซตด้วยวิธีการวัดสี

โดย นายธนภูมิ มิ่งเจริญ

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

- |  |                  |
|--|------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร. พชณิตา ธรรมรงค์กิจ    | ประธานกรรมการ    |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นวพร วินยเวคิน | กรรมการ          |
| 3. อาจารย์ ดร. ลักษณ์า ดูปาส             | อาจารย์ที่ปรึกษา |

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี



(อาจารย์ ดร.ลักษณ์า ดูปาส)  
อาจารย์ที่ปรึกษา



(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)  
หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ 20 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2563

ชื่อโครงการ                      การวิเคราะห์ไกลโฟเซตด้วยวิธีการวัดสี  
ชื่อนิสิตในโครงการ            นายธนภูมิ มิ่งเจริญ            เลขประจำตัว 5833038523  
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา            อ.ดร.ลักขณา คูบาส  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการใช้สารกำจัดวัชพืชเป็นจำนวนมากในการทำการเกษตร หนึ่งในสารกำจัดวัชพืชที่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในหลายประเทศคือ ไกลโฟเซต ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์ และยังคงค้างในดินและน้ำในบริเวณต่างๆ โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการพัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณไกลโฟเซตที่ง่าย และสามารถพัฒนาเป็นชุดตรวจวัดได้ ในงานวิจัยนี้วิธีการตรวจวัดเชิงสีสำหรับไกลโฟเซตได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยให้ไกลโฟเซตเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไอออนเหล็ก (III) จากนั้นทำการตรวจวัดปริมาณไอออนเหล็ก (III) ที่เหลือด้วยโพแทสเซียม เพอร์โรไซยาไนด์ ซึ่งเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนละลายน้ำของปรัสเซียน บลู ที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร โดยชั้นแรกศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายผสมไกลโฟเซต เพอร์ริคคโลไรด์ และโพแทสเซียม เพอร์โรไซยาไนด์ พบว่า pH 5 เป็น pH ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนเพอร์ริค-โพแทสเซียม เพอร์โรไซยาไนด์ ในสารละลายที่มีไกลโฟเซตผสมอยู่ ทำการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายเพอร์ริคคโลไรด์และโพแทสเซียม เพอร์โรไซยาไนด์ ที่เหมาะสม พบว่าช่วงความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมคือ สูงกว่า  $1.0 \times 10^{-4}$  โมลาร์ แต่ไม่เกิน  $1.5 \times 10^{-4}$  โมลาร์ สำหรับไกลโฟเซตความเข้มข้น 0.1 – 2.0 ppm สุดท้ายทำการศึกษาความสามารถในการแข่งขันระหว่างการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไอออนเหล็ก (III) กับไกลโฟเซต และไอออนเหล็ก (III) กับโพแทสเซียม เพอร์โรไซยาไนด์ โดยใช้เทคนิค UV – Visible spectroscopy พบว่าสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออนเหล็ก (III) กับไกลโฟเซตอาจจะเกิดได้ดีกว่าสารประกอบเชิงซ้อนไอออนเหล็ก (III) กับโพแทสเซียม เพอร์โรไซยาไนด์

คำสำคัญ: ไกลโฟเซต; วิธีการวัดสี

Project Title                    Detection of glyphosate using colorimetric method  
Student Name                    Mister Thanabhumi Mingcharoen                    Student ID 5833038523  
Advisor Name                    Luxsana Dubas, Ph.D.  
Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2019

### Abstract

Nowadays, herbicides are used widely in agriculture. One of the world's most widely used herbicides is Glyphosate. It is toxic to humans and contaminates soil and water especially in agricultural areas. Thus, the easy detection method for glyphosate that can be developed into a test kit is essential. In this research, the colorimetric detection method was developed based on the measurement of the excess amount of Fe (III) ion after reacting with Glyphosate. The excess iron (III) ions was reacted with potassium ferrocyanide,  $K_4[Fe(CN)_6]$  forming soluble form of Prussian blue having the maximum absorbance at 700 nm. Firstly, the pH of the mixture of glyphosate, ferric chloride, and potassium ferrocyanide was optimized. The pH 5 was the most suitable for the formation of ferric-potassium ferrocyanide complex in the presence of glyphosate. Next, the concentration range of  $FeCl_3$  and  $K_4[Fe(CN)_6]$  was studied. The result showed that the concentration range should be more than  $1.0 \times 10^{-4}$  M but lower than  $1.5 \times 10^{-4}$  M for 0.1-2.0 ppm glyphosate. Finally, the competition between the formation of  $Fe^{3+}$ -Glyphosate, and  $Fe^{3+}$ - $K_4[Fe(CN)_6]$  complexes was studied by using UV-Vis spectroscopy technique. As a result, the formation of  $Fe^{3+}$ -Glyphosate complex might be able to form better than  $Fe^{3+}$ - $K_4[Fe(CN)_6]$  complex.

Keywords: Glyphosate; colorimetric detection

## กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการนี้ ต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ ลักษณะ ดุบาส และอาจารย์ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำแนะนำในการทำโครงการ ความห่วงใย และความรู้เพิ่มเติมหลายประการ ขอขอบคุณนิสิตรุ่นพี่ชั้นปริญญาโทและเอก และขอขอบใจนิสิตรุ่นน้องในที่ปรึกษาของอาจารย์ลักษณะ ดุบาส ที่ให้คำแนะนำ ความรู้เพิ่มเติม และความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ด้วยความยินดี

ขอขอบพระคุณโครงการการเรียนการสอนเพิ่มเสริมประสบการณ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีส่วนในการทดสอบนิสิตก่อนจบการศึกษา ให้นิสิตมีความรู้ ความทุ่มเท การคิดแบบมีกระบวนการ และการแก้ปัญหา เพื่อให้ผ่านโครงการในครั้งนี้ ผู้วิจัยเชื่อว่าสิ่งที่ดีทั้งหมดจะติดตัวผู้วิจัยไปในอนาคตและนับว่าโครงการนี้เป็นสิ่งหนึ่งที่เป็นความภาคภูมิใจในชีวิตการเป็นนิสิต

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
<b>บทที่ 2 การทดลอง</b>	7
2.1 รายการอุปกรณ์เครื่องมือ/เครื่องแก้วที่ใช้	7
2.2 รายการสารเคมี	7
2.3 วิธีการทดลอง	7
2.3.1 การเตรียมสารละลาย	7
2.3.2 ศึกษา pH ที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบ เชิงซ้อนระหว่างไอออน $Fe^{3+}$ กับ $K_4[Fe(CN)_6]$	8
2.3.3 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย $FeCl_3$ และ $K_4[Fe(CN)_6]$ ที่เหมาะสม	9
2.3.4 ศึกษาการแข่งขันในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนไอออน $Fe^{3+}$ กับไกลโฟเซต และ $Fe^{3+}$ กับ $K_4[Fe(CN)_6]$	10
<b>บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง</b>	11
3.1 ศึกษา pH ที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบ เชิงซ้อนระหว่างไอออน $Fe^{3+}$ กับ $K_4[Fe(CN)_6]$	11
3.2 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย $FeCl_3$ และ $K_4[Fe(CN)_6]$ ที่เหมาะสม	12

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ศึกษาการแข่งขันในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนไอออน $\text{Fe}^{3+}$ กับไกลโฟเซต และ $\text{Fe}^{3+}$ กับ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	14
<b>บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง</b>	15
เอกสารอ้างอิง	16
ประวัติผู้วิจัย	18



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงรายการสารเคมีที่ใช้และมวลโมเลกุลของสาร	7
ตารางที่ 2 อัตราส่วนโดยโมลไอออน $Fe^{3+}$ ต่อเนื้อสารไกลโฟเซตในการศึกษา pH ที่เหมาะสม	9
ตารางที่ 3 อัตราส่วนโดยโมลไอออน $Fe^{3+}$ ต่อเนื้อสารไกลโฟเซตในการศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย $FeCl_3$ และ $K_4[Fe(CN)_6]$ ที่เหมาะสม	9
ตารางที่ 4 อัตราส่วนโดยโมลไอออน $Fe^{3+}$ ต่อไกลโฟเซตในการศึกษาการแข่งขันการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน	10

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 ปฏิกิริยาระหว่าง Ninhydrin กับไกลโฟเซต	2
รูปที่ 2 การตรวจวัดไกลโฟเซตด้วยสัญญาณ fluorescence จากปฏิกิริยา Redox ของ Amplex Red	3
รูปที่ 3 การแตกตัวของไกลโฟเซต	4
รูปที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนของไอออน $Fe^{3+}$ กับไกลโฟเซต, PMG(เส้นทึบ)	5
รูปที่ 5 ค่าการดูดกลืนแสงของปรัสเซียน บลูที่ความเข้มข้นต่างๆ	6
รูปที่ 6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสม 2.0 ppm ( $1.2 \times 10^{-5}$ M, $4.8 \times 10^{-8}$ mol) ไกลโฟเซตกับ $2.0 \times 10^{-7}$ mol $FeCl_3$ และ $2.0 \times 10^{-7}$ mol $K_4[Fe(CN)_6]$ อัตราส่วนความเข้มข้นโดยโมลไอออน $Fe^{3+}$ ต่อไกลโฟเซตเท่ากับ 4:1 ในช่วง pH 4-6	11
รูปที่ 7 สีของสารละลาย $1.0 \times 10^{-4}$ M $FeCl_3$ และ $1.0 \times 10^{-4}$ M $K_4[Fe(CN)_6]$ ที่เติมไกลโฟเซต ความเข้มข้น 2.0 ppm, 1.0 ppm และ 0.1 ppm	12
รูปที่ 8 สีของสารละลาย $1.5 \times 10^{-4}$ M $FeCl_3$ และ $1.5 \times 10^{-4}$ M $K_4[Fe(CN)_6]$ ที่เติมไกลโฟเซต ความเข้มข้น 2.0 ppm, 1.0 ppm และ 0.1 ppm	13
รูปที่ 9 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสม $2.5 \times 10^{-4}$ M $FeCl_3$ และ $K_4[Fe(CN)_6]$ ที่เติมไกลโฟเซตความเข้มข้น 10 ppm, 20 ppm และ 30 ppm	14

## สัญลักษณ์และคำย่อ

### คำย่อ

ppm

mL

$\mu$ l

LOD

SERS

ELISA

GC-FPD

### ย่อมาจาก

part per million

milliliter

microliter

limit of detection

Surface-enhanced Raman spectroscopy

Enzyme-linked immunosorbent assay

Gas Chromatography – Flame Photometric Detector

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไกลโฟเซต (Glyphosate, [N-(phosphonomethyl)glycine]) เป็นสารกำจัดวัชพืชที่ใช้อย่างแพร่หลายในการทำเกษตรกรรม ไกลโฟเซตมีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ในวัชพืชทำให้วัชพืชหยุดการเจริญเติบโตและตาย<sup>(1)</sup> อย่างไรก็ตามไกลโฟเซตเป็นพิษต่อมนุษย์ เช่น ก่อให้เกิดการระคายเคืองของตาและผิวหนัง ถ้ากลืนเข้าไปจะทำให้เกิดอาการเวียนหัว อาเจียน อาจถึงขั้นเสียชีวิตถ้าได้รับในปริมาณมาก<sup>(2)</sup> อีกทั้งสามารถละลายน้ำและจับกับแคตไอออนบนผิวดิน เช่น  $Fe^{3+}$  ทำให้เกิดการปนเปื้อนตามแหล่งน้ำและดินในบริเวณที่มีการใช้ไกลโฟเซต<sup>(3)</sup>

ในปัจจุบันมีวิธีการตรวจวัดไกลโฟเซตที่หลากหลาย เช่น การใช้สีย้อม Ninhydrin ทำปฏิกิริยากับไกลโฟเซตเพื่อให้เกิดสารประกอบสีม่วงและทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค Surface-enhanced Raman spectroscopy, SERS เพื่อหาความเข้มข้นของไกลโฟเซต<sup>(4)</sup> การใช้คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่เคลือบด้วย CuO ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของ Amplex Red ที่มีสีชมพูเปลี่ยนไปเป็น Resorufin ที่มีสีแดง ซึ่งเมื่อมีไกลโฟเซตในปฏิกิริยานี้จะทำให้การเปลี่ยนสีเกิดการยับยั้ง จึงสามารถตรวจวัดไกลโฟเซตจากวิธีการนี้ได้<sup>(5)</sup> การใช้ Enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA ซึ่งเป็นการใช้เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เหมือนแอนติบอดีในการตรวจวัดไกลโฟเซตในดิน<sup>(6)</sup> การใช้เทคนิค Different Pulse Voltammetry ด้วย Cu/GC electrode เพื่อดูสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากที่มีไกลโฟเซตมาเกี่ยวข้อง<sup>(7)</sup> การใช้เทคนิค Solid Phase Extraction เพื่อทำการสกัดไกลโฟเซตและสารอนุพันธ์ออกมาจากสารตัวอย่างและนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิค Gas Chromatography – Flame Photometric Detector, GC-FPD<sup>(8)</sup>

จากงานวิจัยวิธีการตรวจวัดไกลโฟเซตนั้นต้องใช้สารเคมีและเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ จึงทำให้ต้องเก็บรักษาตัวอย่างเพื่อป้องกันการสูญเสียของไกลโฟเซตก่อนจะนำมาตรวจวัด หรือต้องมีการเตรียมสารตัวอย่างก่อนนำไปตรวจวัดทำให้วิธีการตรวจวัดข้างต้นยุ่งยากและใช้เวลานาน ข้อเสียของงานวิจัยด้วยวิธีการตรวจวัดไกลโฟเซตที่ผ่านมาทำให้เกิดความสนใจในการศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจวัดไกลโฟเซตที่ง่ายมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และสามารถพัฒนาเพื่อทำเป็นชุดตรวจวัดนอกพื้นที่ได้โดยการใช้ไอออน  $Fe^{3+}$  ทำปฏิกิริยากับไกลโฟเซตเพื่อให้เกิดสารเชิงซ้อน ต่อไปจะทำการตรวจวัดไอออน  $Fe^{3+}$  ที่เหลือด้วย โพแทสเซียมเพอร์โรไซยาไนด์,  $K_4Fe(CN)_6$  เพื่อให้เกิดสารเชิงซ้อนมีสี จากนั้นจะดูความแตกต่างของสีกับสารละลายที่ไม่มีไกลโฟเซต ทำให้สามารถบอกปริมาณของไกลโฟเซตที่มีอยู่ในตัวอย่าง

## 1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้ตรวจวัดไกลโคเซตด้วยวิธีการวัดสี โดยศึกษา pH ที่สามารถตรวจวัดได้ดีที่สุด และระบุความเข้มข้นของไอออน Fe (III) และ โพแทสเซียม เพอร์โรไซยาไนด์,  $K_4Fe(CN)_6$  ที่เหมาะสมที่สามารถเกิดปฏิกิริยา บลูที่มีสีน้ำเงิน การสังเกตความต่างของสีปรัสเซียน บลูเมื่อไกลโคเซตมีความเข้มข้นต่างกัน โดยในการศึกษานี้กำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลของ Fe (III) ต่อไกลโคเซต มีค่ามากกว่า 1:1

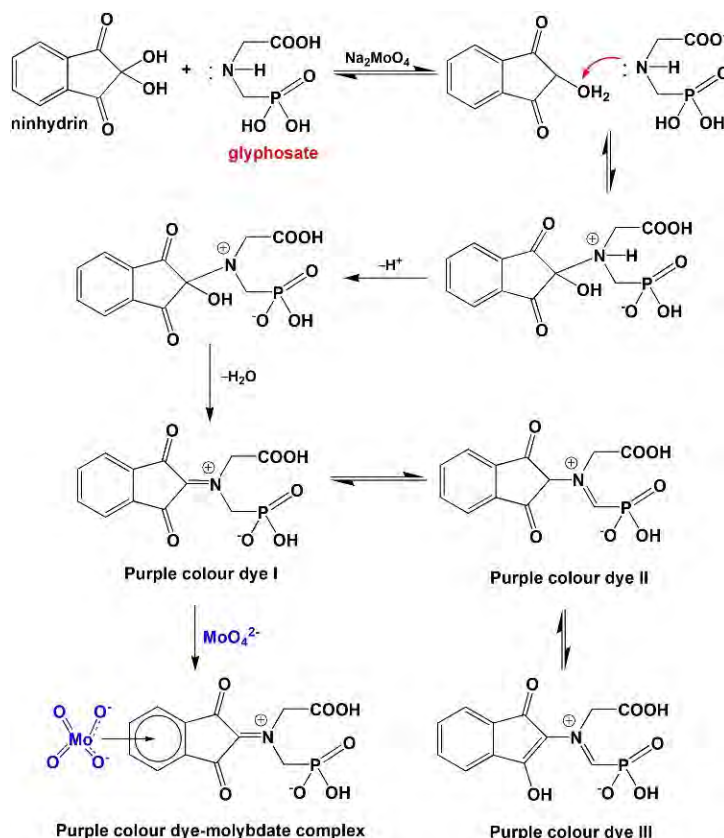
## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ภาวะที่เหมาะสมกับการใช้เป็นวิธีการตรวจวัดไกลโคเซตด้วยวิธีการวัดสี

## 1.4 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

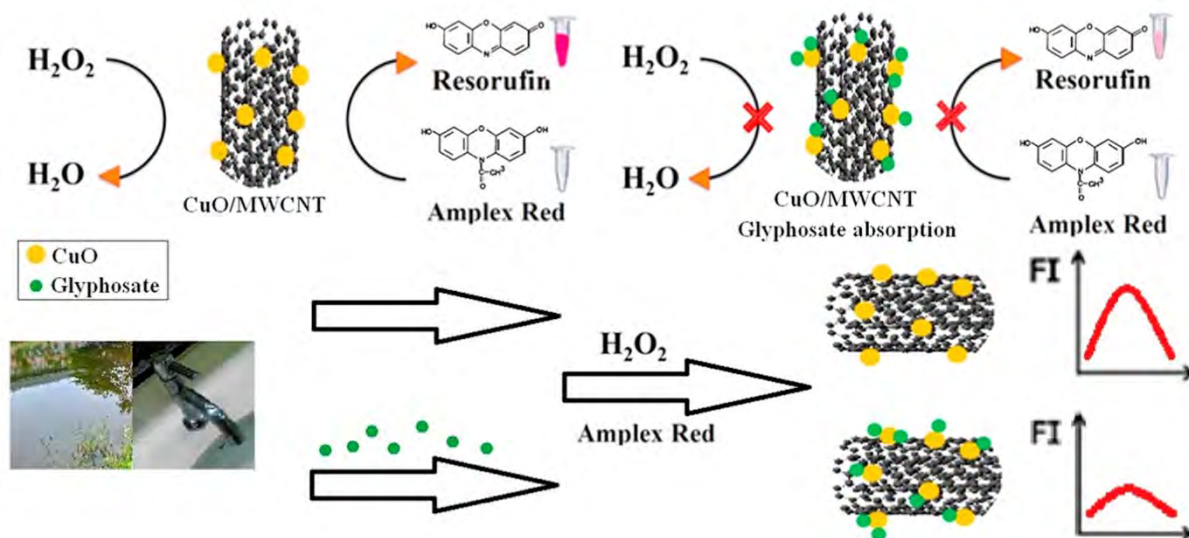
### 1.4.1 งานวิจัยเรื่องการตรวจวัดไกลโคเซตด้วยวิธีการวัดสี

งานวิจัยที่ผ่านมาวิธีการตรวจวัดไกลโคเซตด้วยวิธีการวัดสีหลายวิธี เช่น การใช้สีย้อม Ninhydrin<sup>(4)</sup> ทำปฏิกิริยากับไกลโคเซตเพื่อให้เกิดสารประกอบสีม่วงและทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค SERS เพื่อหาความเข้มข้นของไกลโคเซต ได้ค่า Limit of detection, LOD ของไกลโคเซตที่  $1.43 \times 10^{-8}$  M โดยที่ไกลโคเซตไม่จำเป็นต้องผ่านการปรับสภาพหรือบำบัดก่อน



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาระหว่าง Ninhydrin กับไกลโคเซต<sup>(4)</sup>

การใช้คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่เคลือบด้วย CuO ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของ Amplex Red<sup>(5)</sup> ที่มีสีชมพูเปลี่ยนไปเป็น Resorufin ที่มีสีแดง ไกลโฟเซตในปฏิกิริยานี้จะทำให้ยับยั้งการเปลี่ยนสีของ Amplex Red เนื่องจากไกลโฟเซตเข้าไปเกาะกับพื้นผิวของคาร์บอนนาโนทิวบ์ทำให้มีพื้นที่สำหรับการเร่งปฏิกิริยาของ Amplex Red ลดลง วัดค่าจากสัญญาณ fluorescence โดยค่า LOD อยู่ที่ 0.67 ppb และมีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ 0.002 ถึง 0.01 ppm

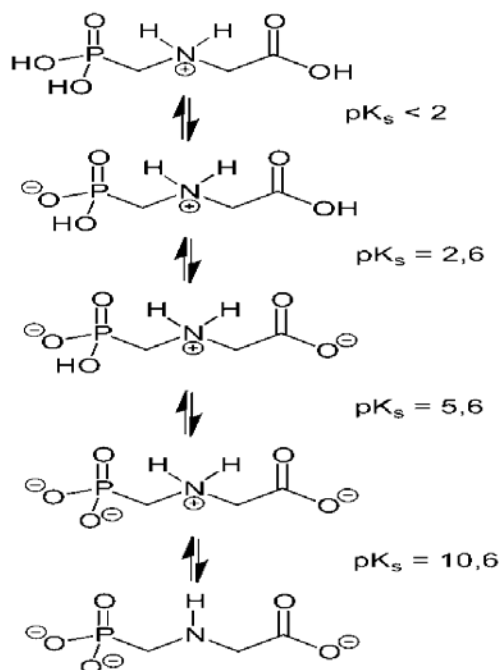


รูปที่ 2 การตรวจวัดไกลโฟเซตด้วยสัญญาณ fluorescence จากปฏิกิริยา Redox ของ Amplex Red<sup>(5)</sup>

จากงานวิจัยที่กล่าวมาการตรวจวัดไกลโฟเซตต้องใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ หรือต้องทำสังเคราะห์ตัวตรวจวัดขึ้นมาซึ่งวิธีการดังกล่าวมีความยุ่งยาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาวิธีการตรวจวัดที่ง่ายอย่างวิธีการวัดสีและสามารถตรวจวัดไกลโฟเซตได้ทันที

### 1.4.2 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไอออน $\text{Fe}^{3+}$ กับไกลโฟเฟต

ไกลโฟเฟต เป็นสารกำจัดวัชพืชที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ไกลโฟเฟตมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี สลายตัวช้า ทำให้พบการปนเปื้อนของไกลโฟเฟตทั้งในดินและน้ำในเขตพื้นที่เกษตรกรรม เมื่อไกลโฟเฟตละลายน้ำจะสามารถแตกตัวได้ทั้งหมด 4 ขั้นตอนดังนี้<sup>(1)</sup>



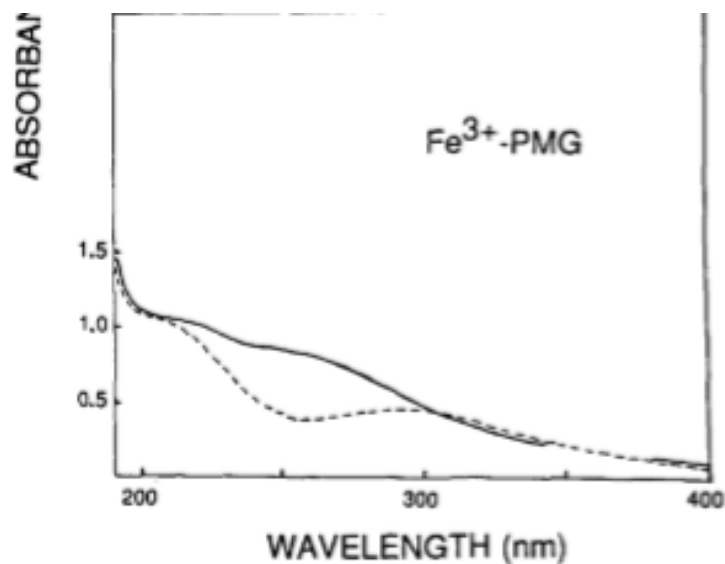
รูปที่ 3 การแตกตัวของไกลโฟเฟต<sup>(1)</sup>

เมื่อแตกตัวไกลโฟเฟตสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะได้โดยใช้หมู่ฟอสโฟเนต, คาร์บอกซิเลต หรือหมู่เอมีน ในทฤษฎีกรด-เบสของลิวอิส<sup>(9)</sup> หมู่ฟังก์ชันที่กล่าวมาทำหน้าที่เป็นเบสลิวอิสเพื่อให้อิเล็กตรอนอิสระแก่กรดลิวอิส และไอออนของ  $\text{Fe}^{3+}$  ทำหน้าที่เป็นกรดลิวอิสเพื่อรับอิเล็กตรอนจากหมู่ฟังก์ชันของไกลโฟเฟต

ในปี 1997 Sundaram ได้ทำการทดสอบหาค่าการละลายของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะ 6 ชนิดกับไกลโฟเฟต อัตราส่วนโดยโมลเป็น 1:1 พบว่าค่า  $K_{sp}$  ในน้ำของสารเชิงซ้อนของไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับไกลโฟเฟตในบัฟเฟอร์ฟอสเฟตที่ pH 7 เท่ากับ  $5.62 \times 10^{-15} \text{ M}$  ซึ่งเป็นค่าการละลายของสารประกอบเชิงซ้อนที่น้อยที่สุดในโลหะทั้งหมด 6 ชนิด ทำให้ทราบว่าไกลโฟเฟตสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  ได้ดี และมีความเสถียรสูง<sup>(10)</sup>

ในปี 1988 Hoggard และ Subramaniam ได้เสนอวิธีการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับไกลโฟเฟต โดยใช้  $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$  0.01 mol ทำปฏิกิริยากับไกลโฟเฟต 0.02 mol ที่ pH ใกล้เคียง 7 พบว่าเกิดตะกอนสีเหลืองจาง ที่ไม่ละลายน้ำ ตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค X-ray powder diffraction spectrometry ได้สูตรโมเลกุลของสารเชิงซ้อนเป็น  $[\text{Fe}(\text{glyph})(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot 1.25\text{H}_2\text{O}$ <sup>(11)</sup>

ในปี 1989 McBride และ Kung ได้ทำการศึกษาสารประกอบเชิงซ้อนของไอออน  $Fe^{3+}$  กับไกลโฟเซต ที่ pH 6 โดยใช้ไอออน  $Fe^{3+}$  ความเข้มข้น  $2.0 \times 10^{-4}$  M ทำปฏิกิริยากับไกลโฟเซตที่อัตราส่วนโดยโมลเป็น 1:1 และตรวจวัดสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิค UV-Visible spectroscopy พบว่าสารประกอบเชิงซ้อนนี้สามารถตรวจพบได้ในรูปของสารที่ละลายน้ำ โดยตรวจพบด้วยเทคนิค UV-Visible spectrometry ที่ความยาวคลื่นประมาณ 275 นาโนเมตร<sup>(12)</sup>

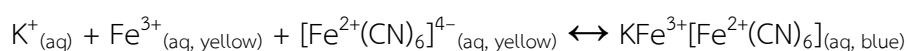


รูปที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารประกอบสารประกอบเชิงซ้อนของไอออน  $Fe^{3+}$  กับไกลโฟเซต, PMG (เส้นทึบ)<sup>(12)</sup>

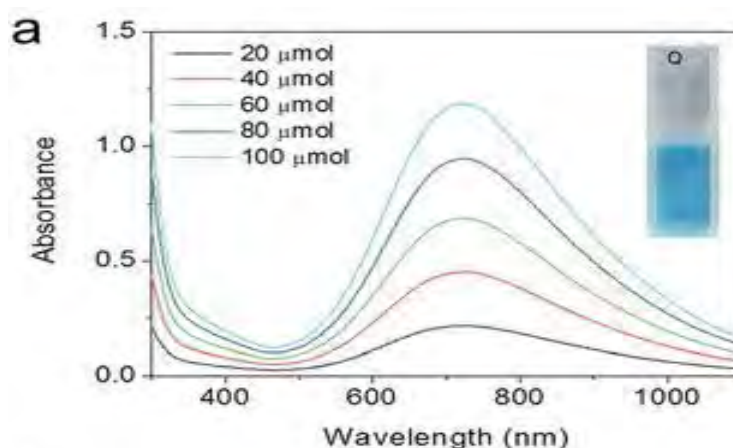


### 1.4.3 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไอออน $\text{Fe}^{3+}$ กับโพแทสเซียม เพอร์โรไซยาไนด์, $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

โพแทสเซียม เพอร์โรไซยาไนด์เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์เพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่เรียกว่า ปรัสเซียน บลู โดยที่ปรัสเซียน บลูสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น ด้านการแพทย์ ปรัสเซียน บลูเกรดการแพทย์สามารถใช้ในการรักษาผู้ป่วยที่ได้รับโลหะหนักอย่างเช่น แทลเลียมและซีเซียมได้ และในทางเคมี ยังใช้ในการตรวจหาการมีอยู่ของไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  ได้ ทำให้ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะนำปฏิกิริยาระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  เพื่อให้ได้ปรัสเซียน บลูที่สามารถละลายน้ำได้ ดังสมการ<sup>(13)</sup>



จากงานวิจัยศึกษาการใช้ปรัสเซียน บลูเพื่อการรักษามะเร็ง ได้ทำการตรวจวัดปรัสเซียน บลูในช่วง pH 5-7 ควบคุม pH ด้วยบัฟเฟอร์ จากงานวิจัยได้สารละลายสีน้ำเงินและหนึ่งในวิธีการตรวจวัดปรัสเซียน บลูคือเทคนิค UV-Visible spectroscopy ทำให้ทราบค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 680-720 นาโนเมตร<sup>(13,14)</sup>



รูปที่ 5 ค่าการดูดกลืนแสงของปรัสเซียน บลูที่ความเข้มข้นต่างๆ<sup>(14)</sup>

## บทที่ 2

### การทดลอง

#### รายการอุปกรณ์เครื่องมือ/เครื่องแก้วที่ใช้

1. UV-Visible Spectrophotometer ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น HP8453
2. ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 25 mL, 50 mL, 100 mL และ 250 mL
3. หลอดทดลองแบบมีฝาปิด 10 mL
4. ไมโครปิเปตต์ขนาด 100  $\mu$ L, 1000  $\mu$ L และ 5 mL

#### รายการสารเคมี

ตารางที่ 1 แสดงรายการสารเคมีที่ใช้และมวลโมเลกุลของสาร

ชื่อสารเคมี	มวลโมเลกุล/ความเข้มข้น
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	270.30 g/mol
$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	422.39 g/mol
Glyphosate (analytical standard)	169.07 g/mol
HCl	37% by weight
NaOH	39.997 g/mol

#### วิธีการทดลอง

##### 1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน

1.1 สารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 100 ppm ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ Deionized เป็น 100.00 mL เป็น Stock เพื่อใช้เตรียมสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 0.1 ppm, 0.5 ppm, 0.7 ppm, 1.0 ppm, 1.3 ppm, 2.0 ppm, 4.0 ppm, 6.0 ppm, 10 ppm, 20 ppm และ 30 ppm โดยใช้ น้ำ Deionized เป็นตัวทำละลาย

1.2 สารละลาย  $\text{FeCl}_3$  ความเข้มข้น  $1.0 \times 10^{-2}$  M ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ Deionized เป็น 25.00 mL เป็น Stock เพื่อใช้เตรียมสารละลาย  $\text{FeCl}_3$  ความเข้มข้น  $5.0 \times 10^{-5}$  M,  $1.0 \times 10^{-4}$  M,  $1.5 \times 10^{-4}$  M,  $2.0 \times 10^{-4}$  M และ  $2.5 \times 10^{-5}$  M โดยใช้ น้ำ Deionized เป็นตัวทำละลาย

1.3 สารละลาย  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ความเข้มข้น  $1.0 \times 10^{-2}$  M ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ Deionized เป็น 25.00 mL เป็น Stock เพื่อใช้เตรียมสารละลาย  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ความเข้มข้น  $5.0 \times 10^{-5}$  M,  $1.0 \times 10^{-4}$  M,  $1.5 \times 10^{-4}$  M,  $2.0 \times 10^{-4}$  M และ  $2.5 \times 10^{-5}$  M โดยใช้ น้ำ Deionized เป็นตัวทำละลาย

1.4 สารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.1 M ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Deionized เป็น 10 mL เป็น Stock เพื่อใช้เตรียมสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 10 mL โดยใช้ น้ำ Deionized เป็นตัวทำละลาย

1.5 สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 1.000 M ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Deionized เป็น 10 mL เป็น Stock เพื่อใช้เตรียมสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 10 mL โดยใช้ น้ำ Deionized เป็นตัวทำละลาย

## 2. ศึกษา pH ที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน $\text{Fe}^{3+}$ กับ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

ในการศึกษา pH ที่เหมาะสมในปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  จะใช้ไกลโฟเซตความเข้มข้น 2.0 ppm ( $1.2 \times 10^{-5}$  M) เนื่องจากความเข้มข้นของไกลโฟเซตที่ตกค้างในน้ำควรมีค่าต่ำจึงใช้ไกลโฟเซตความเข้มข้นต่ำมาทำการทดลอง และทำการทดลองโดยใช้ช่วง pH ใกล้เคียง 7 เพราะเป็นช่วง pH ที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับไกลโฟเซต<sup>(11)</sup> เพื่อหาภาวะ pH ที่เหมาะสมในการพัฒนาเป็นวิธีตรวจวัด

โดยทำการเติมสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 2.0 ppm ในหลอดทดลอง 3 หลอด ปริมาตรหลอดละ 4 ml ปรับ pH ด้วยสารละลาย HCl หรือ NaOH ความเข้มข้น 0.01 M จนมี pH 4, 5 และ 6 วัด pH ของสารละลายด้วยยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ จากนั้นเติม 1 mL ของสารละลาย  $2.0 \times 10^{-4}$  M  $\text{FeCl}_3$  จากนั้นเติม 1 mL ของสารละลาย  $2.0 \times 10^{-4}$  M  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ทำการวัดด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ใช้ น้ำ Deionized เป็นสารละลายแบลนด์ ปริมาตรรวมทุกหลอด 6 mL ในการวัดค่าการดูดกลืนแสง จะทำการวัดภายใน 30 วินาที หลังจากการผสมสารเข้าด้วยกัน

ตารางที่ 2 อัตราส่วนโดยโมลไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  ต่อเนื้อสารไกลโฟเซตในการศึกษา pH ที่เหมาะสม

ความเข้มข้นของไกลโฟเซต	เนื้อสารไกลโฟเซต (mol)	ความเข้มข้นของ $\text{FeCl}_3$ (M)	เนื้อสารไอออนของ $\text{Fe}^{3+}$ (mol)	อัตราส่วนโดยโมลไอออน $\text{Fe}^{3+}$ ต่อเนื้อสารไกลโฟเซต	อัตราส่วนโดยโมลไอออน $\text{Fe}^{3+}$ ต่อเนื้อสาร $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
2.0 ppm ( $1.2 \times 10^{-5}$ M)	$4.8 \times 10^{-8}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-7}$	4:1	1:1

### 3. ศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย $\text{FeCl}_3$ และ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ที่เหมาะสม

การศึกษานี้เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{FeCl}_3$  และ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ที่เหมาะสม โดยศึกษาที่ 2 ระดับความเข้มข้น และใช้ชุดการทดลองไกลโฟเซตที่ความเข้มข้นต่างกันเพื่อสังเกตและเปรียบเทียบสีปรัสเซียน บลูที่เกิดขึ้นเพื่อจะหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย  $\text{FeCl}_3$  และ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  โดยเติมสารละลายไกลโฟเซตในหลอดทดลอง หลอดละ 4 mL จากนั้นเติม 1 mL ของสารละลาย  $\text{FeCl}_3$  ปรับ pH จากนั้นเติม 1 mL ของสารละลาย  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  สำหรับสารละลายแปลงค้ใช้น้ำ Deionized ปริมาตร 4 mL จากนั้นเติม สารละลาย  $\text{FeCl}_3$  และ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  อย่างละ 1 mL ตามลำดับ ปริมาตรรวมทุกหลอด 6 mL โดยความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อัตราส่วนโดยโมลไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  ต่อเนื้อสารไกลโฟเซตในการศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{FeCl}_3$  และ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ที่เหมาะสม

ความเข้มข้นของ $\text{FeCl}_3$ และ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (M)	ความเข้มข้นของไกลโฟเซต (M)	อัตราส่วนโดยโมลของไอออน $\text{Fe}^{3+}$ ต่อไกลโฟเซต ต่อ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
$1.0 \times 10^{-4}$	0.1 ppm ( $1.2 \times 10^{-5}$ M)	42:1:42
	1.0 ppm ( $2.4 \times 10^{-5}$ M)	4:1:4
	2.0 ppm ( $3.6 \times 10^{-5}$ M)	2:1:2
$1.5 \times 10^{-4}$	0.1 ppm ( $1.2 \times 10^{-5}$ M)	63:1:63
	1.0 ppm ( $2.4 \times 10^{-5}$ M)	6:1:6
	2.0 ppm ( $3.6 \times 10^{-5}$ M)	3:1:3

#### 4. ศึกษาการแข่งขันการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน $Fe^{3+}$ กับไกลโฟเซต และไอออน $Fe^{3+}$ กับ $K_4[Fe(CN)_6]$

ในการศึกษาการแข่งขันการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนโดยดูแนวโน้มจากค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Visible spectroscopy นี้ สารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง  $FeCl_3$  และ  $K_4[Fe(CN)_6]$  จะถูกเตรียมขึ้นก่อน หลังจากนั้นจึงเติมสารละลายไกลโฟเซต

โดยทำการผสม 2 mL ของ  $2.5 \times 10^{-4}$  M  $FeCl_3$  และ  $2.5 \times 10^{-4}$  M  $K_4[Fe(CN)_6]$  ในหลอดทดลองจำนวน 3 หลอด จากนั้นเติมสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 10 ppm, 20 ppm และ 30 ppm ที่ปรับและวัด pH ให้อยู่ที่ค่าที่เหมาะสม หลอดละ 1 mL หลังจากนั้นทำการวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร ทำการวัดภายใน 30 วินาที หลังจากการผสมสารเข้าด้วยกัน ใช้น้ำ Deionized เป็นสารละลายแบล็ค ปริมาตรรวมทุกหลอด 5 mL

ตารางที่ 4 อัตราส่วนโดยโมลไอออน  $Fe^{3+}$  ต่อไกลโฟเซตในการศึกษาการแข่งขันการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

ความเข้มข้นของไกลโฟเซต	เนื้อสารไกลโฟเซต (mol)	ความเข้มข้นของ $FeCl_3$ (M)	เนื้อสารของ $Fe^{3+}$ ไอออน (mol)	อัตราส่วนโดยโมลของไอออน $Fe^{3+}$ ต่อไกลโฟเซต	อัตราส่วนโดยโมลไอออน $Fe^{3+}$ ต่อเนื้อสาร $K_4[Fe(CN)_6]$
10 ppm ( $6.0 \times 10^{-5}$ M)	$6.0 \times 10^{-8}$	$2.5 \times 10^{-4}$ M	$5.0 \times 10^{-7}$	8:1	1:1
20 ppm ( $1.2 \times 10^{-4}$ M)	$1.2 \times 10^{-7}$	$2.5 \times 10^{-4}$ M	$5.0 \times 10^{-7}$	4:1	1:1
30 ppm ( $1.8 \times 10^{-4}$ M)	$1.8 \times 10^{-7}$	$2.5 \times 10^{-4}$ M	$5.0 \times 10^{-7}$	3:1	1:1

ทุกขั้นตอนของการทดลองที่ 2-4 ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ

### บทที่ 3

#### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

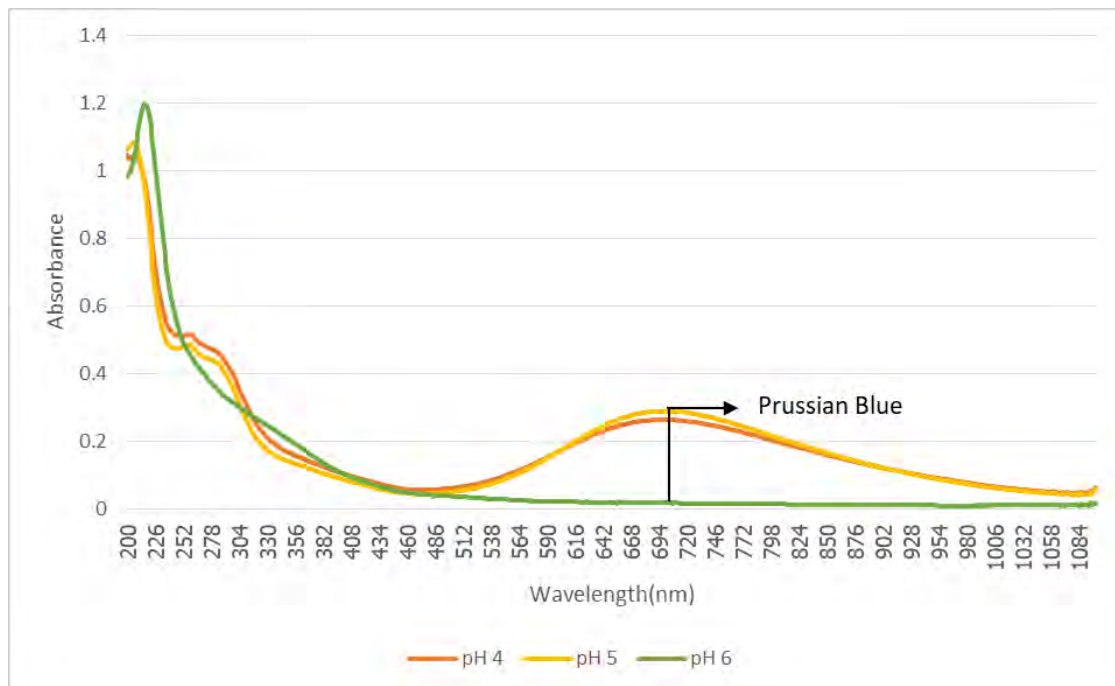
#### 1. ศึกษา pH ที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน $\text{Fe}^{3+}$ กับ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

จากงานวิจัยของ Hoggard และ Subramaniam ระบุว่าสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับไกลโคเฟสสามารถเกิดได้ที่ภาวะ pH ใกล้เคียง 7<sup>(11)</sup> ดังนั้นในการศึกษา pH ที่เหมาะสมกับสารประกอบเชิงซ้อนไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  จะศึกษาในช่วง pH 4-6 ซึ่งเป็นช่วง pH ที่มีการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับไกลโคเฟส และใช้วิธีการตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-Visible spectroscopy

จากรูปที่ 6 ที่ pH 4 และ 5 พบพีคของสารประกอบเชิงซ้อนของไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  หรือปรัสเซียน บลู ที่ความยาวคลื่นประมาณ 710 นาโนเมตร ตามที่งานวิจัยศึกษาการใช้ปรัสเซียน บลูเพื่อการรักษามะเร็งได้ระบุไว้<sup>(14)</sup> ทำให้ยืนยันได้ว่าการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ในภาวะ pH 4 และ 5 จริง

ที่ pH 6 ไม่พบพีคของปรัสเซียน บลูที่ 700 นาโนเมตรทำให้ทราบว่าเป็น pH ที่ไม่เหมาะสมกับปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

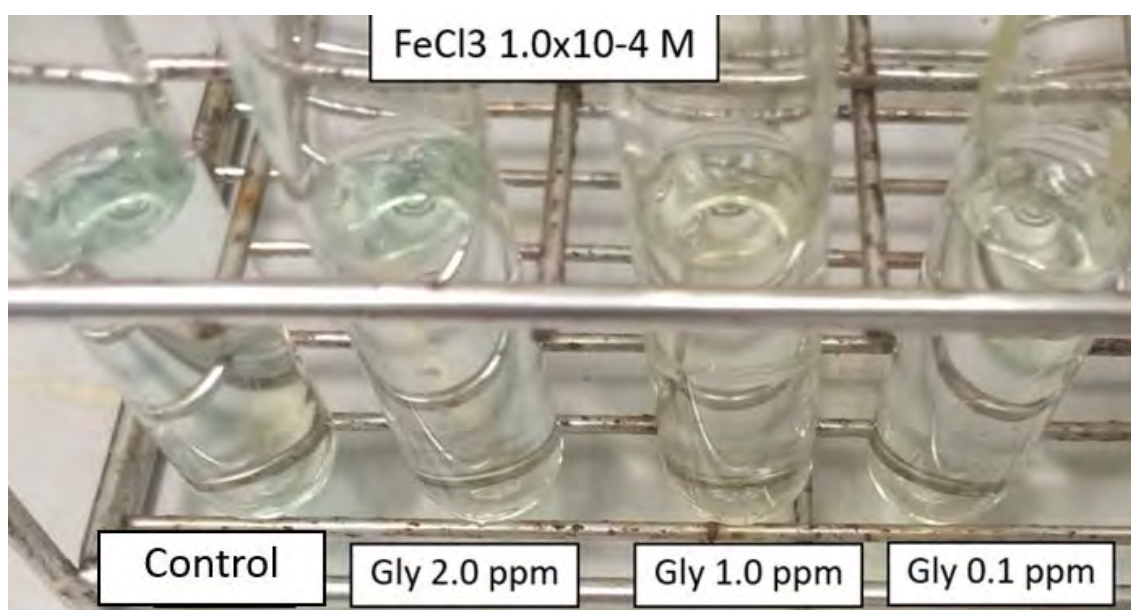
ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะทำการปรับและคุม pH ให้อยู่ที่ pH 5 เพื่อให้ไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  สามารถเกิดปฏิกิริยากับไกลโคเฟสได้ดีด้วย



รูปที่ 6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสม 2.0 ppm ( $1.2 \times 10^{-5}$  M,  $4.8 \times 10^{-8}$  mol) ไกลโคเฟสกับ  $2.0 \times 10^{-7}$  mol  $\text{FeCl}_3$  และ  $2.0 \times 10^{-7}$  mol  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  อัตราส่วนความเข้มข้นโดยโมลไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  ต่อไกลโคเฟสเท่ากับ 4:1 ในช่วง pH 4-6

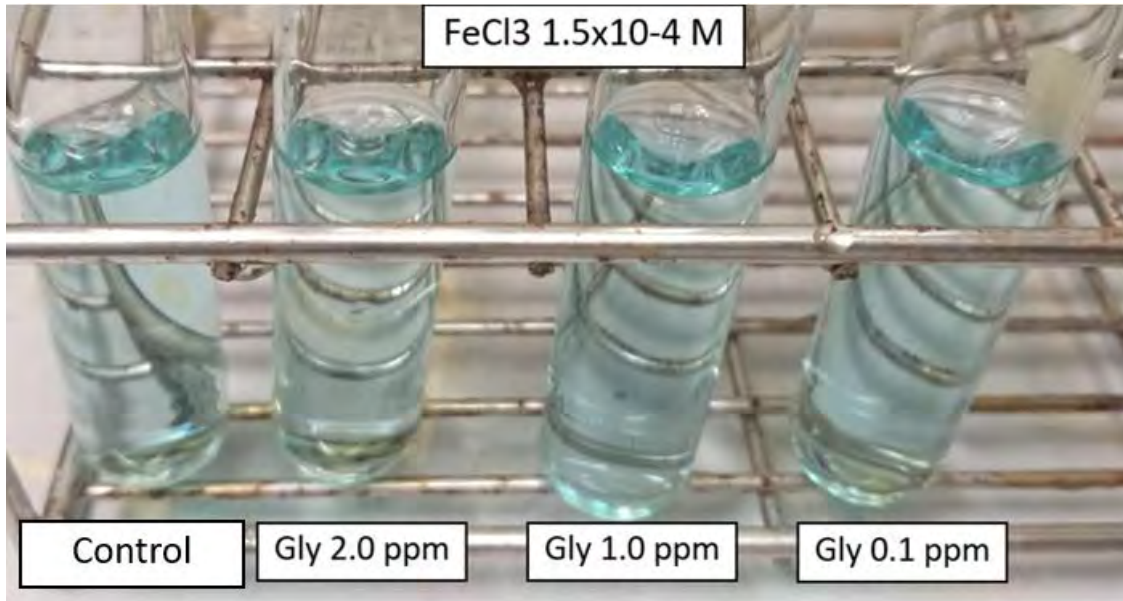
## 2. ศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย $\text{FeCl}_3$ และ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ที่เหมาะสม

จากรูปที่ 7 พบว่าสีน้ำเงินของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง  $1.0 \times 10^{-4} \text{ M FeCl}_3$  กับ  $1.0 \times 10^{-4} \text{ M K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ในหลอดทดลองควบคุม มีสีน้ำเงินที่จางและสังเกตได้ยากด้วยตาเปล่า เมื่อเปรียบเทียบกับสีในหลอดทดลองควบคุมกับสีในหลอดทดลองที่มีการเติมไกลโฟเซต 2.0 ppm พบว่ามีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ในชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของไกลโฟเซตต่างกัน (2.0 ppm, 1.0 ppm และ 0.1 ppm) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{FeCl}_3$  ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไกลโฟเซต มีปริมาณไม่เหมาะสมเมื่อไปทำปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับรีเอเจนต์ของปรัสเซียน บลู



รูปที่ 7 สีของสารละลาย  $1.0 \times 10^{-4} \text{ M FeCl}_3$  และ  $1.0 \times 10^{-4} \text{ M K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ที่เติมไกลโฟเซตความเข้มข้น 2.0 ppm, 1.0 ppm และ 0.1 ppm

จากรูปที่ 8 แสดงชุดการทดลองที่ใช้สารละลาย  $1.5 \times 10^{-4} \text{ M FeCl}_3$  และ  $1.5 \times 10^{-4} \text{ M K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  พบว่าสีน้ำเงินของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  หรือปรัสเซียน บลู ในหลอดทดลองควบคุมมีสีน้ำเงินที่ชัดและสังเกตได้ง่ายด้วยตาเปล่า และเมื่อเปรียบเทียบกับสีปรัสเซียน บลูในหลอดทดลองควบคุมกับสีปรัสเซียน บลูในหลอดทดลองที่เติมไกลโฟเซตความเข้มข้น 2.0 ppm, 1.0 ppm และ 0.1 ppm พบว่าไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีน้ำเงินของปรัสเซียน บลูในหลอดทดลองควบคุม และสีน้ำเงินในหลอดที่เติมไกลโฟเซตความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{FeCl}_3$  สูงทำให้ไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไกลโฟเซตมีจำนวนมากเกินพอเมื่อทำปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับรีเอเจนต์ของปรัสเซียน บลูจึงทำให้ได้สีปรัสเซียน บลูที่ชัดเจนแต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้



รูปที่ 8 สีของสารละลาย  $1.5 \times 10^{-4}$  M  $\text{FeCl}_3$  และ  $1.5 \times 10^{-4}$  M  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ที่เติมไกลโฟเซตความเข้มข้น 2.0 ppm, 1.0 ppm และ 0.1 ppm

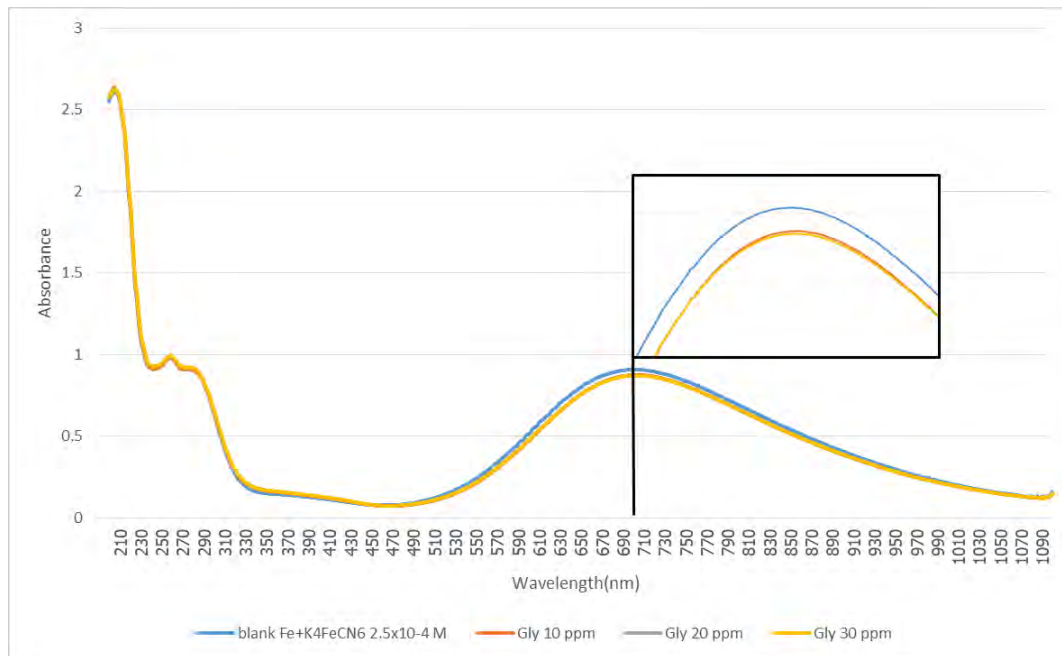
จากผลการทดลองคาดการณ์ว่าควรใช้ความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{FeCl}_3$  และ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ที่มีความเข้มข้นมากกว่า  $1.0 \times 10^{-4}$  M แต่ต่ำกว่า  $1.5 \times 10^{-4}$  M สำหรับไกลโฟเซตความเข้มข้น 0.1-2 ppm



### 3. ศึกษาการแข่งขันในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนไอออน $\text{Fe}^{3+}$ กับไกลโฟเซต และไอออน $\text{Fe}^{3+}$ กับ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

ในการศึกษาผลการแข่งขันการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับไกลโฟเซต และไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  โดยติดตามค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Visible spectroscopy โดยใช้สารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้นสูงเพื่อสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงของเส้นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงได้ชัดเจน

จากรูปที่ 9 สังเกตเห็นพีกที่ 700 นาโนเมตรซึ่งเป็นพีกของสารประกอบเชิงซ้อนไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  หรือปรัสเซียน บลูอย่างชัดเจน โดยที่เส้นสเปกตรัมสีฟ้าเป็นเส้นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสม  $\text{FeCl}_3$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ที่ไม่มีสารละลายไกลโฟเซตเห็นค่าสัญญาณของพีกปรัสเซียน บลูสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นสเปกตรัมของสารละลายผสม  $\text{FeCl}_3$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ที่ใส่สารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้นที่ต่างๆ พบว่าสัญญาณของพีกที่ 700 นาโนเมตรเช่นกัน ซึ่งการลดลงของค่าการดูดกลืนแสง อาจจะเป็นผลมาจากไกลโฟเซตสามารถแย่งจับกับไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  จากการเกิดสารประกอบปรัสเซียน บลูได้เพื่อที่จะเกิดเป็นสารประกอบระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับไกลโฟเซต ดังนั้นในการศึกษาการแข่งขันการเกิดของสารประกอบเชิงซ้อนทั้ง 2 ชนิดทำให้ทราบว่าสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง  $\text{Fe}^{3+}$  กับไกลโฟเซตสามารถเกิดได้ดีกว่าสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  อย่างไรก็ตาม ค่าการดูดกลืนแสงมีค่าสูงจึงจำเป็นต้องทำการทดลอง โดยใช้ความเข้มข้นที่น้อยลง



รูปที่ 9 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายผสม  $2.5 \times 10^{-4}$  M  $\text{FeCl}_3$  และ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ที่เติมไกลโฟเซตความเข้มข้น 10 ppm, 20 ppm และ 30 ppm

## บทที่ 4

### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษาการตรวจวัดไกลโฟเซตด้วยวิธีการวัดสีโดยใช้ไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  เพื่อทำปฏิกิริยากับไกลโฟเซตเพื่อให้ได้สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  และไกลโฟเซต และทำการตรวจวัดไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  ที่เหลือด้วย  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ได้สารละลายสีน้ำเงินที่เรียกว่าปรัสเซียน บลู สรุปได้ดังนี้

pH ที่เหมาะสมกับการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  เพื่อใช้ในวิธีการตรวจวัดไกลโฟเซตด้วยวิธีการวัดสีคือ pH 5 เมื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{FeCl}_3$  และ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ที่เหมาะสมพบว่าควรใช้สารละลาย  $\text{FeCl}_3$  และ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ที่มีความเข้มข้นมากกว่า  $1.0 \times 10^{-4}$  แต่ต่ำกว่า  $1.5 \times 10^{-4}$  M สำหรับไกลโฟเซตความเข้มข้น 0.1-2 ppm และจากการการศึกษาการแข่งขันการเกิดของสารประกอบเชิงซ้อนทั้ง 2 ชนิดทำให้ทราบว่าสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง  $\text{Fe}^{3+}$  กับไกลโฟเซตสามารถเกิดได้ดีกว่าสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

### งานที่จะทำในอนาคต

1. ทำการทดลองโดยใช้สารละลาย  $\text{FeCl}_3$  และ  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ที่มีความเข้มข้นมากกว่า  $1.0 \times 10^{-4}$  M แต่ต่ำกว่า  $1.5 \times 10^{-4}$  M สำหรับไกลโฟเซตความเข้มข้น 0.1-2 ppm เพิ่มเติมเพื่อดูความแตกต่างของสีปรัสเซียน บลู
2. ศึกษาค่า  $K_f$  ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไอออน  $\text{Fe}^{3+}$  กับไกลโฟเซตและปรัสเซียน บลูเพื่อที่จะทราบอัตราส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมในการใช้ในวิธีการตรวจวัด

### เอกสารอ้างอิง

1. Wikipedia contributors. (2020, April 13). **Glyphosate**. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved 06:01, April 30, 2020, from <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Glyphosate&oldid=950757099>
2. Henderson, A. M.; Gervais, J. A.; Luukinen, B.; Buhl, K.; Stone, D.; Cross, A.; Jenkins, J. 2010. **Glyphosate General Fact Sheet**; National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services. <http://npic.orst.edu/factsheets/glyphogen.html>.
3. ภัทรรัตน์ เทียมเก่า, **ความเป็นพิษของไกลโฟเสทและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ Glyphosate Toxicity and Microbial Degradation**.วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 32 : 3 ( 71 - 79 )
4. Xu, M.-L., et al. (2018). "Indirect glyphosate detection based on ninhydrin reaction and surface-enhanced Raman scattering spectroscopy." *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 197: 78-82.
5. Chang, Y.-C., et al. (2016). "A highly selective and sensitive nanosensor for the detection of glyphosate." *Talanta* 161: 94-98.
6. El-Gendy, K., et al. (2018). "Determination of glyphosate residues in Egyptian soil samples." *Analytical Biochemistry* 557: 1-6.
7. Aguirre, M. d. C., et al. (2019). "A Cu<sup>2+</sup>-Cu/glassy carbon system for glyphosate determination." *Sensors and Actuators B: Chemical* 284: 675-683.
8. Zhang, W., et al. (2019). "A method for determining glyphosate and its metabolite aminomethyl phosphonic acid by gas chromatography-flame photometric detection." *Journal of Chromatography A* 1589: 116-121.
9. Wikipedia contributors. (2020, April 18). **Lewis acids and bases**. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved 05:59, April 30, 2020, from [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lewis\\_acids\\_and\\_bases&oldid=951649012](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lewis_acids_and_bases&oldid=951649012)
10. A. Sundaram, K. M. S. Sundaram. (1997). **Solubility products of six metal-glyphosate complexes in water and forestry soils, and their influence on glyphosate toxicity to plants**. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* 32(4): 583-598.
11. P. E. Hoggard, V. Subramaniam. (1988). **Metal Complexes of Glyphosate**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 36: 1326-1329.

12. M. McBride, K. H. Kung. (1989). **Complexation of Glyphosate and Related Ligands with Iron (III)**. *Soil Science Society of America Journal* 53: 1668-1673.
13. Wikipedia contributors. (2020, April 13). **Prussian blue**. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 06:41, April 30, 2020, from [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Prussian\\_blue&oldid=950620425](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Prussian_blue&oldid=950620425)
14. Cheng, M., Peng, W., Hua, P., Chen, Z., Sheng, J., Yang, J., & Wu, Y. (2017). **In situ formation of pH-responsive Prussian blue for photoacoustic imaging and photothermal therapy of cancer**. *Royal Society of Chemistry Advances* 7(30), 18270-18276.

## ประวัติผู้วิจัย

นายธนภูมิ มิ่งเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 19 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2539 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ กรุงเทพมหานคร เมื่อปีการศึกษา 2557 เข้าศึกษาต่อ ในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2558 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 98/112 หมู่บ้านสีวลีสุวรรณภูมิ ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ รหัสไปรษณีย์ 10540 อีเมลล์ wydzyszayel@hotmail.com