



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ชุดตรวจวัดไกลโฟเสตด้วยตาเปล่าสำหรับใช้งานในพื้นที่
Naked-eye testing kit for glyphosate for in-field detection

ชื่อนิสิต นายเฉลิมวงศ์ บุญเสถียร

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2560

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดตรวจวัดไกลโฟเสตด้วยตาเปล่าสำหรับใช้งานในพื้นที่

Naked-eye testing kit for glyphosate for in-field detection

โดย

นายเฉลิมวงศ์ บุญเสถียร

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

โครงการ ชุดตรวจวัดไกลโพสแตด้วยตาเปล่าสำหรับใช้งานในพื้นที่


โดย นายเฉลิมวงศ์ บุญเสถียร

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ลักษณา ดุบาส)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฟื่องฟ้า อุ่นอบ)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

..... หัวหน้าภาควิชาเคมี
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)

วันที่ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ ดีมาก ดี พอใช้

ชื่อโครงการ ชูตตรวจวัดไกลโฟเสตด้วยตาเปล่าสำหรับใช้งานในพื้นที่
ชื่อนิสิตในโครงการ นายเฉลิมวงศ์ บุญเสถียร เลขประจำตัว 5733073323
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ลักษณา คูบาส
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ไกลโฟเสตเป็นสารกำจัดวัชพืชที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มีความเป็นพิษ อีกทั้งมีความเสถียรต่อความร้อน จึงตกค้างในสิ่งแวดล้อม ทั้งในดิน และในน้ำ โดยเฉพาะในพื้นที่การเกษตรได้ง่าย การพัฒนาชูตตรวจวัดไกลโฟเสตเพื่อนำไปใช้งานในพื้นที่การเกษตรจึงมีความสำคัญ เพื่อใช้ตรวจวัดปริมาณของไกลโฟเสตที่ตกค้างในน้ำ โดยใช้ปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไอออนเหล็ก (III) กับไกลโฟเสต และตรวจวัดปริมาณไอออนเหล็ก (III) ที่เหลือด้วยไอออนโรโอไซยานต โดยทำการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดสารเชิงซ้อนของไอออนเหล็ก (III) กับไกลโฟเสต ซึ่งได้ pH ที่เหมาะสมที่ 2.9 และ 3.8 และควบคุม pH ด้วยบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเตต จากนั้นศึกษาอัตราส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมของไอออนเหล็ก (III) กับไกลโฟเสต ดังที่กล่าวมาข้างต้นปริมาณของไอออนเหล็ก (III) ที่เหลือจะถูกตรวจวัดด้วยสารละลายโพแทสเซียมโรโอไซยานต ให้เกิดสารเชิงซ้อนละลายน้ำที่มีสีแดง อย่างไรก็ตามสารเชิงซ้อนละลายน้ำที่มีสีแดงนั้นไม่สามารถสังเกตได้ในระบบบัฟเฟอร์แอซิติก/แอซิเตต และอัตราส่วนความเข้มข้นของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตที่ใช้ได้เป็น 2:1 และทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตะกอนของสารเชิงซ้อนไอออนเหล็ก (III) กับไกลโฟเสต ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ผลการทดลองแสดงว่าตะกอนที่สังเกตได้เป็นตะกอนของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออนเหล็ก (III) กับไกลโฟเสต

คำสำคัญ: ไกลโฟเสต, การตรวจวัดไกลโฟเสตด้วยตาเปล่า

Project Title Naked-eye testing kit for glyphosate for in-field detection
Student Name Mister Chaloeuwong Boonsathian Student ID 5733073323
Advisor Name Luxsana Dubas, Ph.D.
Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2017

Abstract

Glyphosate, a toxic and thermally stable substance, is a herbicide widely used. Therefore, it can easily contaminate in the environment, especially in agricultural areas. The development of naked-eye testing kit for glyphosate for in-field use should be important. Our developed kit was based on the complexation of excess amount of Fe(III) ion and glyphosate and measure the amount of Fe(III) ion left with thiocyanate ion. The optimum pH for Fe(III) ion and glyphosate reaction was 2.9 and 3.8 controlling with acetic/acetate buffer. Then, the mole ratio of Fe(III) ion to glyphosate was studied. As stated earlier, the left over amount of Fe(III) ions after reacting with glyphosate was determined with KSCN solution resulting in the reddish solution. However, the reddish soluble complex could not be observed in the acetic/acetate buffer system. The ratio of Fe(III) ion and glyphosate was 2:1 were the best condition. The observable precipitate of Fe(III)-glyphosate complex then characterized with ATR-FTIR spectrometer. The results showed that it was precipitate of Fe(III) and glyphosate complex.

Keywords: glyphosate, naked-eye detection for glyphosate

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการนี้ ต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ลักขณา ดุบาส ที่ให้คำแนะนำในการทำวิจัย ช่วยให้ความรู้เพิ่มเติมหลายประการ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ให้การฝึกอบรมการใช้เครื่องมือตรวจวัดเช่น UV-vis spectrometer และ ATR-FTIR spectrometer ให้ใช้งานได้ถูกวิธี ขอขอบคุณพี่แลปในที่ปรึกษาของอาจารย์ และจากห้องปฏิบัติการในชั้น 12 อาคารมหามกุฏ ที่คอยให้การช่วยเหลือ แนะนำ ด้วยความยินดี

และขอขอบพระคุณโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีส่วนในการทดสอบนิสิตก่อนจบการศึกษา ที่ต้องทุ่มเท ความรู้ ความสามารถ ให้ผ่านพ้นด้วยดี นับเป็นความภูมิใจที่จะติดตัวผู้วิจัยตลอดไป



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ	3
บทที่ 2 การทดลอง	7
2.1 รายการอุปกรณ์เครื่องมือ/เครื่องแก้วที่ใช้	7
2.2 รายการสารเคมี	7
2.3 วิธีการทดลอง	7
2.3.1 เตรียมสารละลายมาตรฐาน	7
2.3.2 วิธีการเตรียมสารละลายผสม	9
2.3.3 ศึกษา pH ของสารละลายที่ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนระหว่าง Fe(III) กับไกลโฟเสตที่เหมาะสม	9
2.3.4 ศึกษาผลของ ionic strength ต่อการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) และไกลโฟเสต	9
2.3.5 ศึกษาอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง Fe(III) กับไกลโฟเสตที่เหมาะสมในการตรวจวัด	9
2.3.6 พิสูจน์เอกลักษณ์ของตะกอนสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต	10
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	11
3.1 ศึกษา pH ของสารละลายที่ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนระหว่าง Fe(III) กับไกลโฟเสตที่เหมาะสม	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ศึกษาผลของ ionic strength ต่อการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) และ โกลโฟเสต	12
3.3 ศึกษาอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง Fe(III) กับโกลโฟเสตที่เหมาะสมในการ ตรวจวัด	13
3.4 พิสูจน์เอกลักษณ์ของตะกอนสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) กับโกลโฟเสต	16
บทที่ 4 สรุปผลการดำเนินงาน	18
เอกสารอ้างอิง	19
ภาคผนวก	21
ประวัติผู้วิจัย	28



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างของ hard-acid, soft-acid, hard-base และ soft-base	4
ตารางที่ 2.1 แสดงรายการสารเคมีที่ใช้และมวลโมเลกุลของสาร	7
ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของสารละลายไอออน Fe(III) และความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในการควบคุมค่า pH	10



สารบัญรูป

	หน้า
ภาพที่ 1.1 การ derivatize glyphosate ด้วย Isopropyl chloroformate	2
ภาพที่ 1.2 การลดลงของ fluorescent intensity เมื่อมีไกลโฟเสตเข้าจับบน CuO/MWCNTs	2
ภาพที่ 1.3 ปฏิกิริยาของ Ninhydrin กับไกลโฟเสต	3
ภาพที่ 1.4 การแตกตัวของไกลโฟเสต	4
ภาพที่ 1.5 สเปกตรัมของสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) และไกลโฟเสต ที่ pH 3.65 (เส้นทึบ) และสารละลายไกลโฟเสต ที่ pH 4 (เส้นประ)	5
ภาพที่ 1.6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ Fe(III)-SCN ที่ความเข้มข้นของไฮโอไซยานาตต่าง ๆ กับ Fe(III) 1.16 ppm	6
ภาพที่ 3.1 การดูดกลืนแสงช่วง UV-visible ของสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสตที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 1:1 (2.909×10^{-4} โมลาร์ ต่อ 3.158×10^{-4} โมลาร์) ที่ pH 2.0, pH 2.9 และ pH 3.8	11
ภาพที่ 3.2 การดูดกลืนแสงช่วง UV-visible ของสารละลายผสมระหว่างไอออน Fe(III) และ ไกลโฟเสต ในน้ำที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 1:1 (2.909×10^{-4} โมลาร์ ต่อ 3.158×10^{-4} โมลาร์) และที่ pH 3.8	12
ภาพที่ 3.3 สเปกตรัมเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงในช่วง 200-800 นาโนเมตร ของสารละลาย Fe(III)-SCN ในระบบน้ำ Milli-Q และในระบบสารละลายบัฟเฟอร์ acetic/acetate pH 3.7 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์	13
ภาพที่ 3.4 สเปกตรัมเปรียบเทียบกันของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.7 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์, สารละลายไอออน Fe(III) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.05 โมลาร์ และสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสต ที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 1:1 (2.909×10^{-4} โมลาร์ ต่อ 3.158×10^{-4} โมลาร์)	14
ภาพที่ 3.5 สเปกตรัมเปรียบเทียบกันของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.7 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์, สารละลายไอออน Fe(III) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.05 โมลาร์ และสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสต ที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 2:1 (6.004×10^{-4} โมลาร์ ต่อ 3.158×10^{-4} โมลาร์)	15
ภาพที่ 3.6 สเปกตรัมเปรียบเทียบกันของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.7 ความเข้มข้น 0.07 โมลาร์, สารละลายไอออน Fe(III) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.07 โมลาร์ และสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสต ที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 3:1 (9.006×10^{-4} โมลาร์ ต่อ 3.158×10^{-4} โมลาร์)	15
ภาพที่ 3.7 สเปกตรัมเปรียบเทียบกันของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.7 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์, สารละลายไอออน Fe(III) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ และสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสต ที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 4:1 (1.201×10^{-3} โมลาร์ ต่อ 3.158×10^{-4} โมลาร์)	16
ภาพที่ 3.8 สเปกตรัมการดูดกลืนอินฟราเรดของไกลโฟเสต และสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต	17

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ

LOD

ppm

ppb

ย่อมาจาก

Limit of detection

Part per million

Part per billion



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไกลโฟเสต (glyphosate, [N-(phosphonomethyl) glycine]) มีชื่อทางการค้าว่า Round up® เป็นหนึ่งในสารกำจัดวัชพืชที่นิยมใช้ในประเทศไทย มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ในพืช, มนุษย์และสัตว์ ดังมีรายงานพบว่าไกลโฟเสตสามารถทำลายการทำงานของเซลล์รกในมนุษย์⁽¹⁾ มีพิษต่อระบบสืบพันธุ์ของสัตว์ฟันแทะ⁽²⁾ มีผลต่อการเจริญของเอ็มบริโอของม้าน้ำ⁽³⁾ นอกจากนี้มีรายงานว่าไกลโฟเสตสามารถดูดซับบนดินโคลนที่มีสารเชิงซ้อนออกไซด์ได้ดี และมีการสลายตัวต่ำ⁽⁴⁾ ซึ่งสารนี้มีการใช้งานเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี โดยมีรายงานการนำเข้าไกลโฟเสตในไทยในปี 2559 ปริมาณสูงถึง 61.80 ล้านกิโลกรัม⁽⁵⁾

ในการตรวจวัดไกลโฟเสต มีการรายงานไว้หลายวิธี เช่น การอาศัยอุปกรณ์ตรวจวัด เช่น ใช้คาร์บอนนาโนทิวป์ที่มี CuO เกาะบนผิว ซึ่งเป็นวัสดุที่มีสมบัติในการเร่งปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่าง H₂O₂ กับ Amplex Red ที่มีสีชมพูอ่อน ให้เป็น Resorufin ที่มีสีแดง ทำการทดสอบกับไกลโฟเสตที่สามารถยับยั้งการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของวัสดุนี้ และทำการสังเกตจากการเปลี่ยนสีของสารผสม ก่อนและหลังเติมไกลโฟเสต⁽⁶⁾ การพัฒนาวิธีการทดสอบด้วยเอนไซม์ (ELISA) โดยตรวจวัดความสามารถในการยับยั้งไกลโฟเสตของแอนติบอดี⁽⁷⁾ วิธีที่ใช้เครื่องมือในการตรวจวัดเช่นใช้ Ninhydrin ซึ่งเป็นสารก่อให้เกิดสีกับไกลโฟเสต ทำปฏิกิริยากับไกลโฟเสต แล้วทำการวัดการดูดกลืนแสงด้วย UV-visible spectrometer⁽⁸⁾ เทคนิค HPLC-fluorescence ตรวจวัดหาปริมาณไกลโฟเสตในน้ำทะเล⁽⁹⁾ เทคนิค GC-FPD โดยเปลี่ยนรูปของไกลโฟเสตให้เป็นเอสเทอร์แล้วทำการตรวจวัด⁽¹⁰⁾ ซึ่งให้ระดับการตรวจวัดต่ำถึงไมโครกรัมต่อลิตร

จากงานวิจัยข้างต้น ในการวิเคราะห์ไกลโฟเสตจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มีการสังเคราะห์อุปกรณ์ตรวจวัด ดังนั้นสารตัวอย่างจึงต้องเก็บรักษาเป็นอย่างดีก่อนเริ่มตรวจวัด อีกทั้งยังพบปัญหาภาวะในขั้นตอนการสังเคราะห์อุปกรณ์ตรวจวัด ที่ใช้ภาวะที่รุนแรง เช่น ใช้อุณหภูมิสูง หรือใช้เวลานาน ซึ่งเป็นปัญหาหลักต่อการนำไปใช้นอกพื้นที่ ดังนั้นผู้จัดทำโครงการจึงสนใจที่จะพัฒนาชุดตรวจวัดสารไกลโฟเสตที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ให้สามารถใช้ตรวจวัดในพื้นที่เกษตรกรรมได้ เพื่อป้องกันการสูญเสียและเสื่อมสภาพของสารตัวอย่างและลดความยุ่งยากในการใช้งาน โดยอาศัยการเกิดสารเชิงซ้อนของไกลโฟเสตกับไอออน Fe(III) ที่มากเกินไป ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา เช่น pH และอัตราส่วนไอออน Fe(III) ต่อไกลโฟเสตและทำการตรวจวัดไอออน Fe(III) ที่เหลือจากปฏิกิริยากับไกลโฟเสต ด้วยไรโอโซยานेट ที่ให้สารเชิงซ้อนมีสีกับไอออน Fe(III) เปรียบเทียบสีเมื่อไม่มีไกลโฟเสตอยู่

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

เพื่อพัฒนาชุดตรวจวัดไกลโฟเสตให้มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยศึกษาภาวะเช่น pH และอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างไอออน Fe(III) และไกลโฟเสต ที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาตรวจวัดไกลโฟเสต

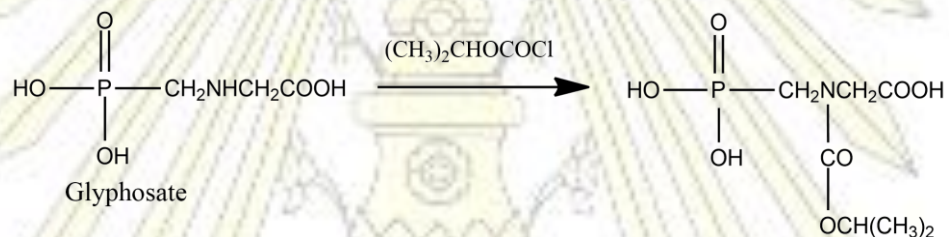
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ภาวะ pH และอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างไอออน Fe(III) และไกลโฟเสต ที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาระหว่างไอออน Fe(III) และไกลโฟเสต สำหรับชุดตรวจวัดไกลโฟเสตด้วยตาเปล่า

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

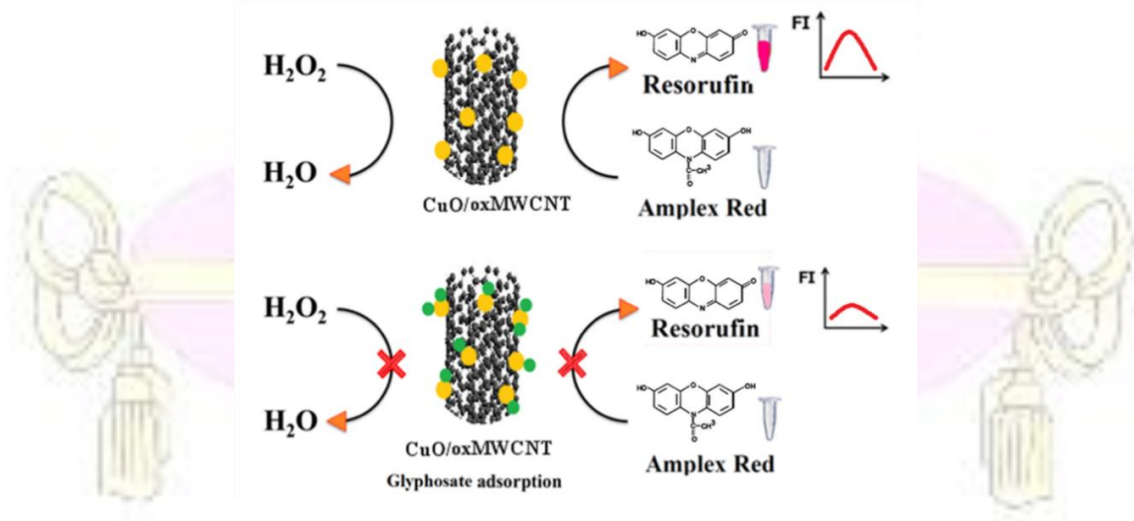
1.4.1) การตรวจวัดไกลโฟเสต

การตรวจวัดการมีอยู่และปริมาณของไกลโฟเสต มีหลายวิธี เช่น การใช้เอนไซม์ในการตรวจวัดหรือเทคนิค ELISA ซึ่งอาศัยความสามารถในการยับยั้งของ antibody ต่อไกลโฟเสตเป็นตัวบ่งชี้⁽⁷⁾ หรือการใช้เครื่องมือในการตรวจวัด เช่น HPLC-fluorescence โดยทำการ derivatize สารไกลโฟเสต ด้วย 9-fluorenylmethylchloroformate (FMOC-Cl) เพื่อหาปริมาณของไกลโฟเสตในน้ำทะเล ซึ่งได้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดของวิธีอยู่ที่ 0.6 ไมโครกรัมต่อลิตร⁽⁹⁾ วิธีใช้ GC-FPD โดย derivatize สารไกลโฟเสตด้วย Isopropyl chloroformate ดังภาพที่ 1.2 แล้วจึงนำไปตรวจหาไกลโฟเสตในดินหรือในตัวอย่างผักด้วยเทคนิค Gas chromatography ซึ่งได้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดอยู่ที่ 1.2 ไมโครกรัมต่อลิตร⁽¹⁰⁾



ภาพที่ 1.1 การ derivatize glyphosate ด้วย Isopropyl chloroformate⁽¹⁰⁾

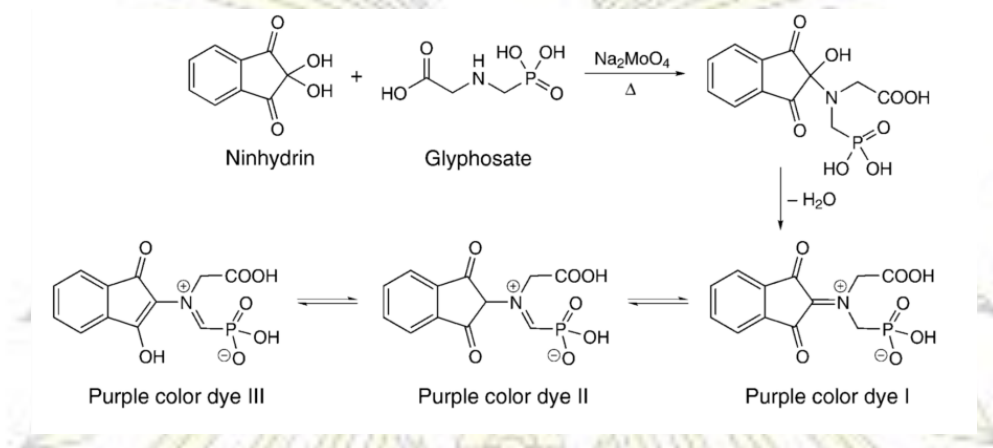
การสังเคราะห์ตัวตรวจวัดคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ผสม CuO โดยอาศัยความสามารถในการเร่งปฏิกิริยารีดอกซ์ของวัสดุสังเคราะห์ร่วมกับสารย้อมที่ให้สีได้เมื่อเกิดการรีดิวซ์ เช่น Amplex Red⁽⁶⁾



ภาพที่ 1.2 การลดลงของ fluorescent intensity เมื่อมีไกลโฟเสตเข้าจับบน CuO/MWCNTs⁽⁶⁾

จากภาพที่ 1.2 เมื่อมีไกลโฟเสตเข้าเกาะบนผิวของวัสดุ CuO/MWCNTs ส่งผลให้พื้นที่เร่งปฏิกิริยาของวัสดุลดลง Amplex Red จึงเกิดการรีดิวซ์ได้น้อยลง สารผลิตภัณฑ์ คือ Resorufin ที่มีสีแดงเกิดได้น้อยลง ค่าสัญญาณ fluorescence ที่วัดได้จึงมีความเข้มลดลง บ่งชี้ถึงการมีอยู่และปริมาณของไกลโฟเสตในตัวอย่างไม่โดยมีขีดจำกัดการตรวจวัดอยู่ที่ 0.67 ppb ช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ที่ 0.002 ถึง 0.01 ppm

การใช้สารย้อม Ninhydrin เป็นตัวทำปฏิกิริยากับไกลโฟเสตที่หมู่เอมีนของไกลโฟเสต ทำให้เกิดความแตกต่างของสี โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา คือ Sodium molybdate⁽⁸⁾ ดังแสดงในภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 ปฏิกิริยาของ Ninhydrin กับไกลโฟเสต⁽⁸⁾

เมื่อสารย้อม Ninhydrin ทำปฏิกิริยากับไกลโฟเสตในภาวะที่มีตัวเร่งและอุณหภูมิ 100°C จะทำให้เกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีม่วง สามารถตรวจวัดได้ด้วยเทคนิค UV-visible spectrometry ที่ 570 นาโนเมตร โดยมีขีดจำกัดการตรวจวัดอยู่ที่ 0.04 ppm ช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ที่ 0.1 ถึง 3.5 ppm

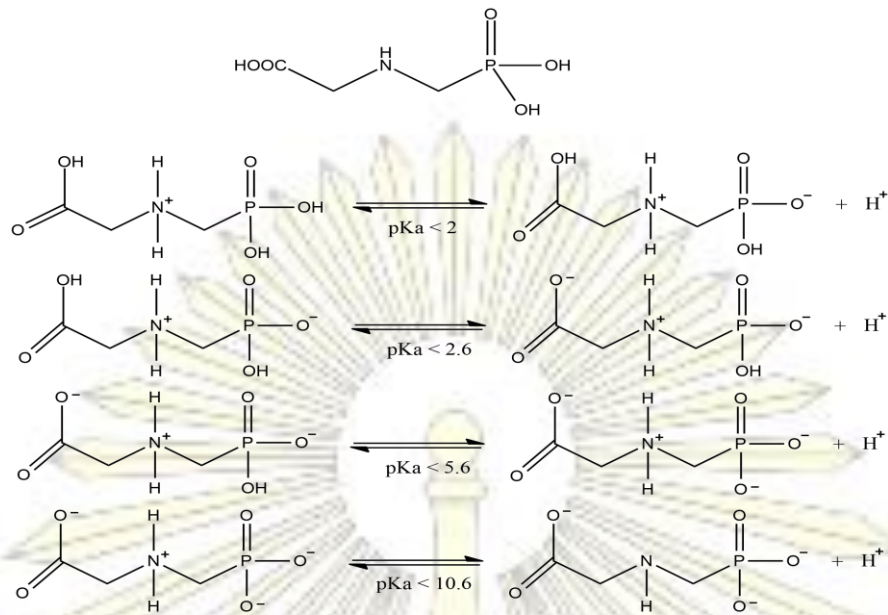
แต่วิธีดังกล่าวมาเป็นวิธีที่ใช้อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ หรือใช้ภาวะที่รุนแรง จึงยังไม่เหมาะสมต่อการใช้งานในพื้นที่

1.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

1.5.1) ไกลโฟเสต

ไกลโฟเสต เป็นสารกำจัดวัชพืชตัวหนึ่งที่ยอมรับใช้ มีกลไกยับยั้งเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนในพืช⁽⁷⁾ สารนี้มีคุณสมบัติในการละลายน้ำที่ดี สามารถแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว สลายตัวช้า จึงมักพบปนเปื้อนในธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ดิน เป็นต้น^(1,3) และด้วยการปนเปื้อนที่เพิ่มขึ้นตามแหล่งต่าง ๆ นี้ จึงเป็นสาเหตุให้เกิดมลพิษ มีผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่

ไกลโฟเสตสามารถแตกตัวได้ทั้งหมด 4 ชั้น โดยมีโครงสร้างดังภาพที่ 1.4



ภาพที่ 1.4 การแตกตัวของไกลโฟเสต⁽¹¹⁾

1.5.2) การเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะของไกลโฟเสต

ไกลโฟเสตสามารถสร้างพันธะกับโลหะทรานซิชันได้โดยใช้หมู่ฟอสโฟเนต, คาร์บอกซิเลต หรือหมู่เอมีนในโมเลกุล

ตามทฤษฎี hard-soft acid-base⁽¹²⁾ ที่มีหลักการว่าไอออนหรือโมเลกุลประเภท hard acid จะชอบทำปฏิกิริยากับ hard-base และ ไอออนหรือโมเลกุลประเภท soft-acid จะชอบทำปฏิกิริยากับ soft-base ด้วยอัตราทวิระหว่างกรดลิวอิสและเบสลิวอิส ตัวอย่างของ hard acid-base และ soft acid-base ดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างของ hard-acid, soft-acid, hard-base และ soft-base⁽¹²⁾

	Lewis acids	Lewis bases
Hard	$\text{H}^+, \text{Li}^+, \text{Be}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$	$\text{NH}_3, \text{RNH}_2, \text{ROH}, \text{CO}_3^{2-}, \text{PO}_4^{3-}, \text{CH}_3\text{CO}_2^-, \text{O}^{2-}$
Soft	$\text{CO}_2, \text{SO}_3, \text{Cu}^+, \text{Ag}^+, \text{Pt}^{2+}$	$\text{H}^-, \text{CN}^-, \text{CO}$

ไอออนของโลหะจะทำหน้าที่เป็นกรดลิวอิสรับอิเล็กตรอนจากหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ของไกลโฟเสต ที่ทำหน้าที่เป็นเบสลิวอิสและความเสถียรของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับชนิดว่า hard จับกับชนิด hard หรือ soft จับกับ soft หรือไม่ หากเป็น hard จับกับ soft ความเสถียรจะต่ำ

สำหรับการทำปฏิกิริยากับไอออน Fe(III) ไกลโฟเสตจะใช้ออกซิเจน (O) บนหมู่ฟอสโฟเนตในการเกิดปฏิกิริยา ทำหน้าที่เป็นเบสลิวอิสและเป็นประเภท hard base เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับไอออน Fe(III) ที่เป็นประเภท hard acid เกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีความเสถียรได้

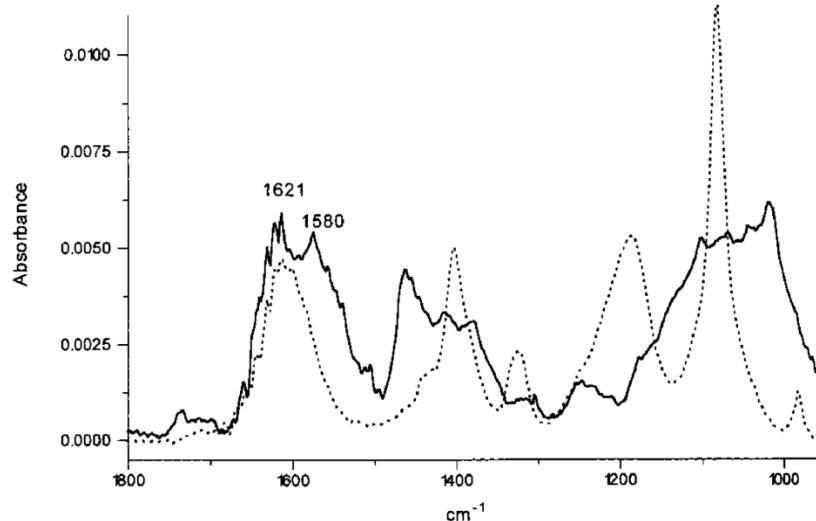
1.5.3) สารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) และไกลโฟเสต

ในปี 1988 Hoggard และ Subramaniam ได้เสนอวิธีการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต โดยใช้ $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$ 0.01 โมล ทำปฏิกิริยากับไกลโฟเสต 0.02 โมล พบว่าเกิดตะกอนสีเหลืองจางที่ไม่ละลายน้ำ ตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย และพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค X-ray powder diffraction spectrometry ได้สูตรโมเลกุลของสารเชิงซ้อนเป็น $[\text{Fe}(\text{glyph})(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot 1.25\text{H}_2\text{O}$ ⁽¹³⁾

ในปี 1997 Sundaram ได้ทำการทดสอบหาค่าการละลายของสารเชิงซ้อนระหว่างโลหะ 6 ชนิดกับไกลโฟเสต โดยใช้วิธีการเตรียมดังในรายงานของ Hoggard และ Subramaniam ⁽¹³⁾ และพบว่าค่า K_{sp} ในน้ำของสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตในบัพเฟอร์ฟอสเฟต ความแรงไอออน 0.225 โมลาร์ ที่ pH 7 เป็น 5.62×10^{-15} โมลาร์ ⁽¹⁴⁾

ในปี 1989 McBride และ Kung ได้ทำการศึกษาสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต ณ pH 3.7 โดยใช้ไอออน Fe(III) ความเข้มข้น 2×10^{-4} โมลาร์ ทำปฏิกิริยากับไกลโฟเสตที่อัตราส่วนโดยโมลเป็น 1:1 และตรวจวัดสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิค UV-visible spectroscopy พบว่าสารเชิงซ้อนนี้สามารถตรวจพบได้ในรูปของสารที่ละลายน้ำ โดยตรวจพบด้วยเทคนิค UV-visible spectrometry ที่ความยาวคลื่นประมาณ 275 นาโนเมตร ⁽¹⁵⁾

ในปี 1998 Afonso และ Barja ได้ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตะกอนของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) และไกลโฟเสตและสารละลายไกลโฟเสต ที่ pH 3.65 และ pH 4 ตามลำดับด้วยเทคนิค ATR-FTIR spectroscopy ⁽¹⁶⁾ ได้ผลดังภาพ ที่ 1.5



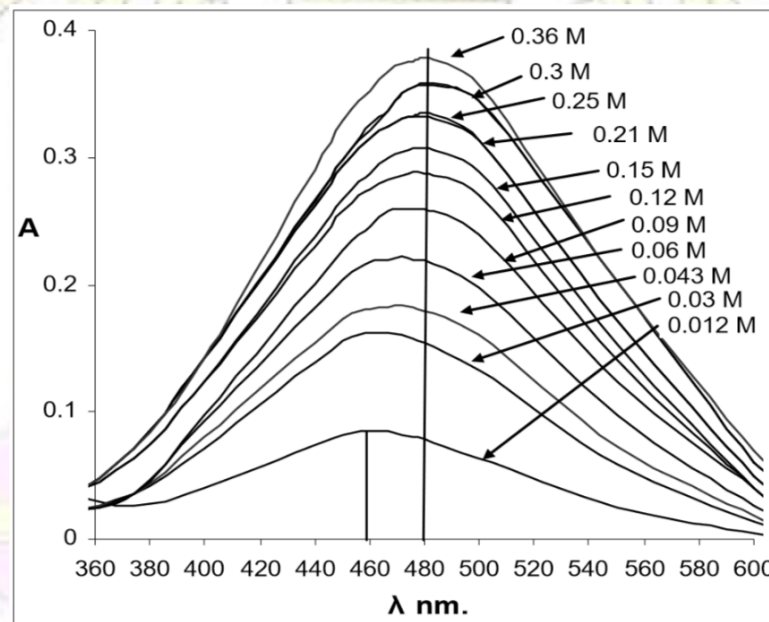
ภาพที่ 1.5 สเปกตรัมของสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) และไกลโฟเสต ที่ pH 3.65 (เส้นทึบ) และสารละลายไกลโฟเสต ที่ pH 4 (เส้นประ) ⁽¹⁶⁾

1.5.4) การเกิดสารเชิงซ้อนมีสีของไอออน Fe(III) กับไอออนไรโอไซยาเนต (SCN⁻)

ไอออน Fe(III) สามารถเกิดสารเชิงซ้อนได้กับลิแกนด์หลายชนิด ทั้งที่ให้เห็นที่มองเห็นได้และไม่ให้สี⁽¹⁷⁾ โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากลิแกนด์ ตามหลักกรด-เบส ลิวอิส

สำหรับการเกิดของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไอออนไรโอไซยาเนต นั้น ก่อนทำการเติมสารละลายไรโอไซยาเนต ในสารละลาย Fe(III) น้ำจะทำหน้าที่เป็นลิแกนด์ล้อมรอบไอออน Fe(III) สูตรโครงสร้างเป็น $[M(H_2O)_6]^{3+}$ โดยไอออน Fe(III) จะรับอิเล็กตรอนจากอะตอมออกซิเจนของน้ำ และเมื่อมีไอออนไรโอไซยาเนต เข้ามาในระบบ ไอออนของไรโอไซยาเนต จะทำหน้าที่เป็นเบสลิวอิส โดยให้อิเล็กตรอนกับไอออน Fe(III) แทนโมเลกุลน้ำด้วยอิเล็กตรอนบนอะตอมซัลเฟอร์ (S) โดยสีที่สังเกตเห็นได้และช่วงความยาวคลื่นแสงที่ดูดกลืนในช่วง 450-480 นาโนเมตร ขึ้นกับความเข้มข้นของไอออนไรโอไซยาเนต⁽¹⁸⁾

การใช้ไอออนไรโอไซยาเนต ในการตรวจวัดการมีอยู่หรือปริมาณของไอออน Fe(III) หรือใช้เพื่อศึกษาสมดุลของปฏิกิริยาเคมี มีอยู่อย่างกว้างขวาง เนื่องจากสารเชิงซ้อนนี้มีสีที่สังเกตเห็นได้ง่าย เกิดได้อย่างรวดเร็ว สารเชิงซ้อนนี้สามารถอยู่ได้ในหลายรูป เช่นในภาวะที่มีไอออนไรโอไซยาเนตน้อย จะพบในรูปของ $[Fe(SCN)]^{2+}$ และ $[Fe(SCN)_2]^+$ หรือในภาวะที่มีไอออนไรโอไซยาเนต มากเกินพอ จะพบในรูป $[Fe(SCN)_6]^{3-}$ ด้วย ซึ่งดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่นใกล้เคียงกันที่ประมาณ 450-480 นาโนเมตร^(18,19) มีการศึกษาการเกิดสีของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไอออนไรโอไซยาเนต พบว่าสีของสารเชิงซ้อนที่ได้และการเลื่อนของความยาวคลื่นที่ดูดกลืน ในช่วงความยาวคลื่นช่วง 450-480 นาโนเมตร เมื่อตรวจวัดด้วย UV-vis spectrometer จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไอออนไรโอไซยาเนต^(19,20) โดยเมื่อใช้ความเข้มข้นของไอออนไรโอไซยาเนตต่ำ สีที่สังเกตเห็นได้จะมีสีแดงจางกว่า และพบการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนเลื่อนไปทางน้ำเงิน ดังภาพที่ 1.6



ภาพที่ 1.6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ Fe(III)-SCN ที่ความเข้มข้นของไรโอไซยาเนตต่าง ๆ กับ Fe(III) 1.16 ppm⁽²⁰⁾

บทที่ 2

การทดลอง

รายการอุปกรณ์เครื่องมือ/เครื่องแก้วที่ใช้

1. ATR-FTIR spectrometer ยี่ห้อ Thermo scientific รุ่น Nicolet 6700
2. pH meter ยี่ห้อ Mettler-Toledo รุ่น S220
3. UV-vis Spectrophotometer ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น HP8453
4. ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร, 25 มิลลิลิตร, 50 มิลลิลิตร, 100 มิลลิลิตร และ 200 มิลลิลิตร คลาส A
5. ขวดพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตร และขนาด 250 มิลลิลิตร
6. เครื่องปั่นเหวี่ยง centrifuge ยี่ห้อ Hettich รุ่น EBA20
7. ชั้นวางหลอดทดลอง
8. ปีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร, 100 มิลลิลิตร และ 150 มิลลิลิตร
9. ไมโครปิเปตต์ขนาด 100 ไมโครลิตร, 1000 ไมโครลิตร, 1 มิลลิลิตร และ 5 มิลลิลิตร ขนาดละ 1 อัน
10. หลอดทดลองแบบมีฝาปิดขนาด 10 มิลลิลิตร

รายการสารเคมี

ตารางที่ 2.1 แสดงรายการสารเคมีที่ใช้และมวลโมเลกุลของสาร

สูตรโมเลกุลของสาร	มวลโมเลกุล/ความเข้มข้น
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	270.3 กรัม/โมล
Glacial acetic acid	17.47 โมลาร์
Glyphosate solution	2.9×10^{-3} โมลาร์
Glyphosate	169.07 กรัม/โมล
HCl	37% โดยมวล
KSCN	97.184 กรัม/โมล
NaOH	39.997 กรัม/โมล
Sodium Acetate	136.08 กรัม/โมล
Milli-Q	-

วิธีการทดลอง

1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน

- 1.1 สารละลายไอออน Fe(III) ความเข้มข้น 0.03706 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายมาตรฐานไอออน Fe(III) โดยชั่ง $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ปริมาณ 0.5008 กรัม ละลายและปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำ Milli-Q ในขวดกำหนดปริมาตร 50 มิลลิลิตร

1.2 สารละลายบัฟเฟอร์ acetic/acetate 0.1 โมลาร์ pH 3.7 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ acetic/acetate pH 3.7 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยเจือจาง Glacial acetic acid ให้ได้ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร และเตรียมสารละลายโซเดียมแอสซิเตด 0.1000 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยชั่งน้ำหนักโซเดียมแอสซิเตด 0.6804 กรัม ละลายด้วยน้ำ Milli-Q เติมสารละลายโซเดียมแอสซิเตดลงในขวดกำหนดปริมาตร 200 มิลลิลิตร ปริมาตร 30.6 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดแอสติค 0.1 โมลาร์

1.3 สารละลายบัฟเฟอร์ acetic/acetate 0.05, 0.07 โมลาร์ pH 3.7 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

เจือจางสารละลายบัฟเฟอร์ acetic/acetate pH 3.7 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ให้ได้ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ และ 0.07 โมลาร์ ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Milli-Q

1.4 สารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

ปิเปตต์กรด HCl 37% w/w 83 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำ Milli-Q

1.5 สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 1.000 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

ชั่ง NaOH น้ำหนัก 0.4000 กรัม ละลายด้วยน้ำ Milli-Q ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร

1.6 สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1000 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

เจือจางสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ให้ได้ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Milli-Q

1.7 สารละลายไกลโฟเสต ความเข้มข้น 2.972×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร

ชั่งไกลโฟเสตน้ำหนัก 0.1005 กรัม ละลายด้วยน้ำ Milli-Q ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 200 มิลลิลิตร

1.8 สารละลาย KSCN ความเข้มข้น 0.1000 โมลาร์

ชั่ง KSCN น้ำหนัก 0.4859 กรัม ละลายด้วยน้ำ Milli-Q ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

1.9 สารละลายไอออน Fe(III) ความเข้มข้น 5.818×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

เจือจางสารละลายไอออน Fe(III) ความเข้มข้น 0.03706 โมลาร์ ให้ได้ความเข้มข้น 5.818×10^{-3} โมลาร์ ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Milli-Q

1.10 สารละลายไกลโฟเสต ความเข้มข้น 3.158×10^{-4} โมลาร์ ในน้ำ Milli-Q ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

เจือจางสารละลายไกลโฟเสต ความเข้มข้น 2.972×10^{-3} โมลาร์ ให้ได้ความเข้มข้น 3.158×10^{-4} โมลาร์ ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ Milli-Q

1.11 สารละลายไกลโฟเสต ความเข้มข้น 3.158×10^{-4} โมลาร์ ในสารละลายบัฟเฟอร์ acetic/acetate pH 3.7 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

เจือจางสารละลายไกลโฟเสต ความเข้มข้น 2.972×10^{-3} โมลาร์ ให้ได้ความเข้มข้น 3.158×10^{-4} โมลาร์ ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ acetic/acetate pH 3.7 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

2. ศึกษาปฏิกิริยาระหว่าง Fe(III) กับไกลโฟเสต

ในการศึกษาปฏิกิริยาระหว่าง Fe (III) กับไกลโฟเสตนั้น จะทำการผสมสารละลายมาตรฐานไอออน Fe(III) ความเข้มข้น 5.818×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายมาตรฐานไกลโฟเสต ความเข้มข้น 3.158×10^{-4} โมลาร์ ในตัวทำละลาย (น้ำ หรือ acetic/acetate บัฟเฟอร์) ปริมาตร 4.75 มิลลิลิตร รวมปริมาตรสุดท้ายที่ 5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร

ในกรณีที่เกิดตะกอนทำการปั่นเหวี่ยงที่ 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นตรวจวัดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร ด้วย UV-visible spectrometer โดยใช้น้ำ Milli-Q เป็นสารละลายแปลงค์

3. ศึกษา pH ของสารละลายที่ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนระหว่าง Fe(III) กับไกลโฟเสตที่เหมาะสม

ในส่วนนี้จะทำการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาระหว่างไอออน Fe(III) และ ไกลโฟเสต โดยปรับให้ pH หลังผสม เป็น 2.0 , 2.9 และ 3.8 ตามลำดับด้วยสารละลาย HCl และสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

4. ศึกษาผลของ ionic strength ต่อการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) และ ไกลโฟเสต

ในการทดลองส่วนนี้มุ่งที่จะศึกษาผลของ ionic strength ต่อการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) และ ไกลโฟเสต โดยทำการเตรียมสารละลายไกลโฟเสต ณ pH ที่เหมาะสมต่อการเกิดสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสต ในระบบบัฟเฟอร์ acetic/acetate และในระบบน้ำ Milli-Q

โดยทำการผสมสารละลายในระบบน้ำ Milli-Q เปรียบเทียบกับในระบบบัฟเฟอร์ และได้เตรียมสารละลายอ้างอิงคือสารละลายไอออน Fe(III), สารละลายไกลโฟเสตในน้ำ Milli-Q และในสารละลายบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัม

5. ศึกษาอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง Fe(III) กับไกลโฟเสตที่เหมาะสมในการตรวจวัด

ในการทดลองนี้จะศึกษาอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตที่เหมาะสมต่อการตรวจวัด ณ pH ที่เหมาะสมในระบบบัฟเฟอร์ acetic/acetate โดยการติดตามการเกิดสีของไอออน Fe(III) กับไอออนไรโอไซยานต

ในขั้นแรกทำการศึกษาการเกิดสารเชิงซ้อน Fe(III)-SCN เพื่อหาความยาวคลื่นในการตรวจวัดที่เหมาะสม โดยเตรียมสารละลายผสมของไอออน Fe(III) ในน้ำและในสารละลายบัฟเฟอร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร กับสารละลายไรโอไซยานต ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร และได้เตรียมสารละลายอ้างอิงคือสารละลายไอออน Fe(III) ในน้ำ Milli-Q และในสารละลายบัฟเฟอร์ เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัม

สารละลายมาตรฐานไอออน Fe(III) ที่ใช้ในการศึกษาจะเตรียมทั้งในน้ำ Milli-Q และในสารละลายบัฟเฟอร์ acetic/acetate โดยเตรียมให้สารละลายทั้งสองมี pH เดียวกัน

ในขั้นที่สองทำการเตรียมสารผสมของไอออน Fe(III) และไกลโฟเสต ที่อัตราส่วนโดยโมลของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตเป็น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 ตามลำดับ โดยกำหนดให้สารละลายไกลโฟเสต ในหลอดทดลองมีความเข้มข้น 3.158×10^{-4} โมลาร์ คงที่ตลอดการทดลอง อย่างไรก็ตาม ในการศึกษา ณ อัตราส่วนต่างๆ สารละลายไกลโฟเสตจะถูกเตรียมในสารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้นที่ต่างกันเพื่อควบคุม pH ของสารละลายผสมสุดท้าย

สำหรับสารละลายไอออน Fe(III) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำ Milli-Q เตรียมด้วยการเปิดสารละลายมาตรฐานไอออน Fe(III) ความเข้มข้น 0.03706 โมลาร์ ปริมาตรดังแสดงในตารางที่ 2.2 ในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นทำการผสมสารละลายดังวิธีในข้อ 2 และได้เตรียมสารละลายอ้างอิงคือสารละลายบัฟเฟอร์และสารละลายไอออน Fe(III) ในสารละลายบัฟเฟอร์ เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัม

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของสารละลายไอออน Fe(III) และความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในการควบคุมค่า pH

อัตราส่วนไอออน Fe(III) ต่อ ไกลโฟเสต	ปริมาตรของสารละลายไอออน Fe(III) มาตรฐานที่ใช้ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายไอออน Fe(III) ในหลอดทดลอง (โมลาร์)	ความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.7 ที่ใช้ (โมลาร์)
1:1	1.57	2.909×10^{-4}	0.05
2:1	3.24	6.004×10^{-4}	0.05
3:1	4.86	9.006×10^{-4}	0.07
4:1	6.48	1.201×10^{-3}	0.1

6. พิสูจน์เอกลักษณ์ของตะกอนสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต

ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตะกอนของสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตที่สังเกตุได้ โดยทำการเตรียมตะกอนด้วยอัตราส่วนความเข้มข้นไอออน Fe(III) ต่อไกลโฟเสตเป็น 1:1 ดังวิธีในข้อที่ 4 และทำการล้างตะกอนด้วยน้ำ Milli-Q จนหมดความเป็นกรด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลาข้ามคืน เพื่อกำจัดน้ำ และพิสูจน์เอกลักษณ์ของตะกอนสารเชิงซ้อนที่ได้ด้วยเครื่อง ATR-FTIR spectrometer เปรียบเทียบกับไกลโฟเสตในรูปของแข็ง

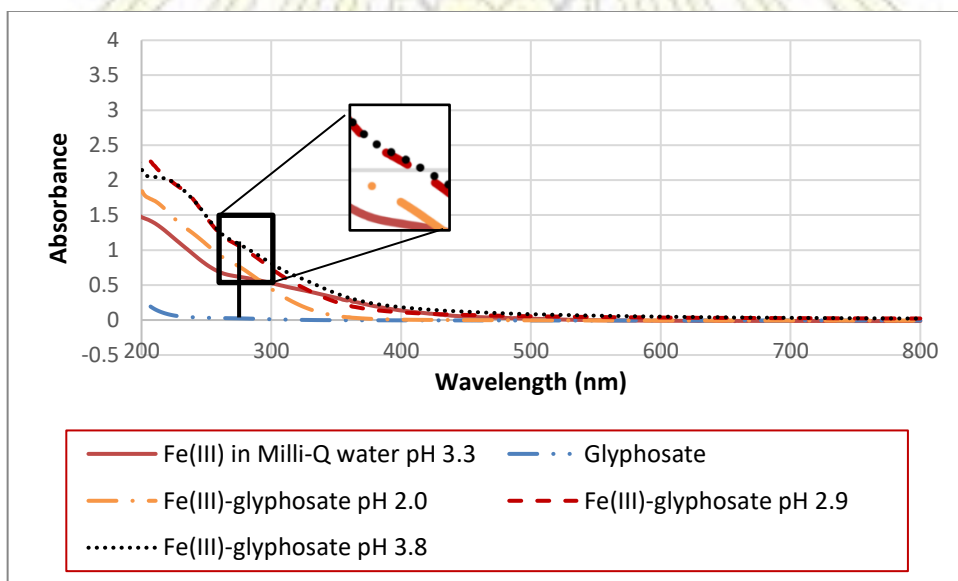
โดยในทุกขั้นตอนทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

บทที่ 3

ผลการดำเนินงาน

1. ศึกษา pH ของสารละลายที่ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนระหว่าง Fe(III) กับไกลโฟเสตที่เหมาะสม

pH มีผลต่อการเกิดของสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดสอบหาภาวะ pH ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต เพื่อให้วิธีตรวจวัดมีประสิทธิภาพสูงสุด ได้ผลการสังเกตดังภาพที่ ๓.1 และผลการตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-visible spectroscopy ดังแสดงในภาพที่ 3.1 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต จะสังเกตได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายผสม Fe(III)-ไกลโฟเสต ในช่วงความยาวคลื่น ใกล้ 300 นาโนเมตร สูงขึ้นกว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไอออน Fe(III) และสารละลายไกลโฟเสต คาดว่าเป็นช่วงการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตที่ละลายน้ำ จากผลงานวิจัยของ McBride และ Kung ซึ่งได้รายงานว่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนนี้พบความยาวคลื่นแสงสูงสุดที่บริเวณ 275 นาโนเมตร⁽¹⁴⁾ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเกิดขึ้นของสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสตที่ละลายน้ำ



ภาพที่ 3.1 การดูดกลืนแสงช่วง UV-visible ของสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสตที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 1:1 (2.909×10^{-4} โมลาร์ ต่อ 3.158×10^{-4} โมลาร์) ที่ pH 2.0, pH 2.9 และ pH 3.8

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างที่ภาวะ pH 2.0, pH 2.9 และ pH 3.8 จะเห็นว่าที่ pH 2.9 และ 3.8 จะมีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นช่วง 275 นาโนเมตรที่สังเกตได้ นั่นคือสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสต เกิดขึ้นได้ดีที่ pH นี้ และทำการเลือก pH ที่ 3.8 ไปศึกษาต่อ เนื่องจากการแตกตัวของไกลโฟเสตไปอยู่ในรูปประจุ -2 เกิดได้ดีกว่าที่ภาวะ pH 2.9 ไอออน Fe(III) จึงเกิดโคออดิเนชันกับไกลโฟเสต ผ่านทางหมู่ phosphonyl⁽¹¹⁾ ได้ดีขึ้น และมีการช่วย stabilize สารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสต ผ่านทางหมู่อะมิโนเมธิลฟอสโฟเนตของไกลโฟเสต

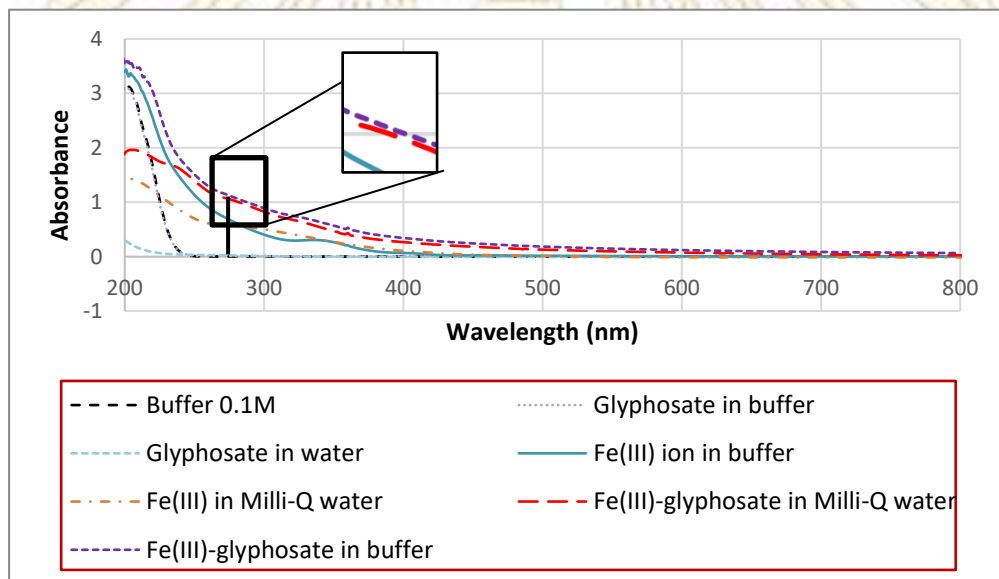
โดยหมู่คาร์บอกซิเลตในโมเลกุลไกลโฟเสตที่แตกตัวได้มากขึ้น⁽¹⁵⁾ จึงทำให้ที่ภาวะนี้เกิดสารเชิงซ้อนได้ดีดังที่กล่าวมาข้างต้น และจะเห็นว่า การดูดกลืนแสงของสารละลายไกลโฟเสตไม่มีการรบกวนในช่วงความยาวคลื่นที่สนใจ

ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของไอออน Fe(III) และ ไกลโฟเสตนี้ ในภาวะ pH 3.8 นี้ ยังพบตะกอนสีขาว อยู่ในสารละลาย ดังภาพแสดงการเปรียบเทียบที่ ภา1 ซึ่งแสดงว่าไอออน Fe(III) สามารถตกตะกอนกับไกลโฟเสตได้ในอัตราส่วนความเข้มข้นนี้ ซึ่งจะมีการพิสูจน์เอกลักษณ์ในลำดับถัดไป

ในการทดสอบต่อไป จะทำการศึกษาเฉพาะที่ภาวะ pH ใกล้เคียง 4 เนื่องจากสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตเกิดได้ดีที่ภาวะดังกล่าว

2. ศึกษาผลของ ionic strength ต่อการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) และ ไกลโฟเสต

เนื่องจาก ionic strength มีผลต่อการเกิดสารเชิงซ้อนของ Fe(III) กับไกลโฟเสต ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาผลของ ionic strength โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการเกิดสารเชิงซ้อนของ Fe(III) กับไกลโฟเสตระหว่างในน้ำ Milli-Q กับในสารละลายบัฟเฟอร์ acetic/acetate ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 การดูดกลืนแสงช่วง UV-visible ของสารละลายผสมระหว่างไอออน Fe(III) และ ไกลโฟเสต ในน้ำที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 1:1 (2.909×10^{-4} โมลาร์ ต่อ 3.158×10^{-4} โมลาร์) และที่ pH 3.8

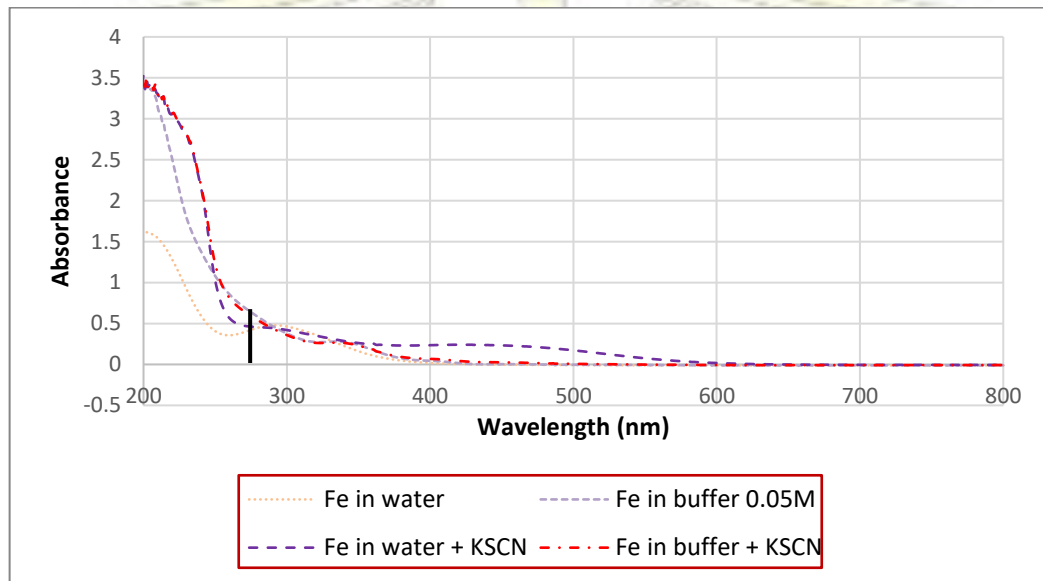
จากภาพที่ 3.2 จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นของไอออน Fe(III) และไกลโฟเสตนี้ ทั้งในน้ำและสารละลายบัฟเฟอร์ ไอออน Fe(III) สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับไกลโฟเสตได้ และให้ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นบริเวณ 275 นาโนเมตร ของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) และ ไกลโฟเสตที่ละลายน้ำได้⁽¹⁵⁾ ใกล้เคียงกัน สังเกตจากพิกการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกัน

เนื่องจากสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตเกิดได้ในสารละลายบัฟเฟอร์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถใช้สารละลายบัฟเฟอร์ acetic/acetate ในการทดลองต่อไปได้ เนื่องจากในการทดลองในพื้นที่จริง น้ำตัวอย่างอาจมีค่า pH แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายบัฟเฟอร์เพื่อใช้ควบคุมค่า pH ของสารละลาย

3. ศึกษาอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง Fe(III) กับไกลโฟเสตที่เหมาะสมในการตรวจวัด

จากการทดลองเพื่อหาช่วงการดูดกลืนของสารเชิงซ้อน Fe(III)-SCN ที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการตรวจวัดต่อไป ได้ผลดังนี้

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ ๓2 ถึง ๓5 และสเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงช่วง 200-800 นาโนเมตร ของสารเชิงซ้อน Fe(III)-SCN ผลดังแสดงในภาพที่ 3.3

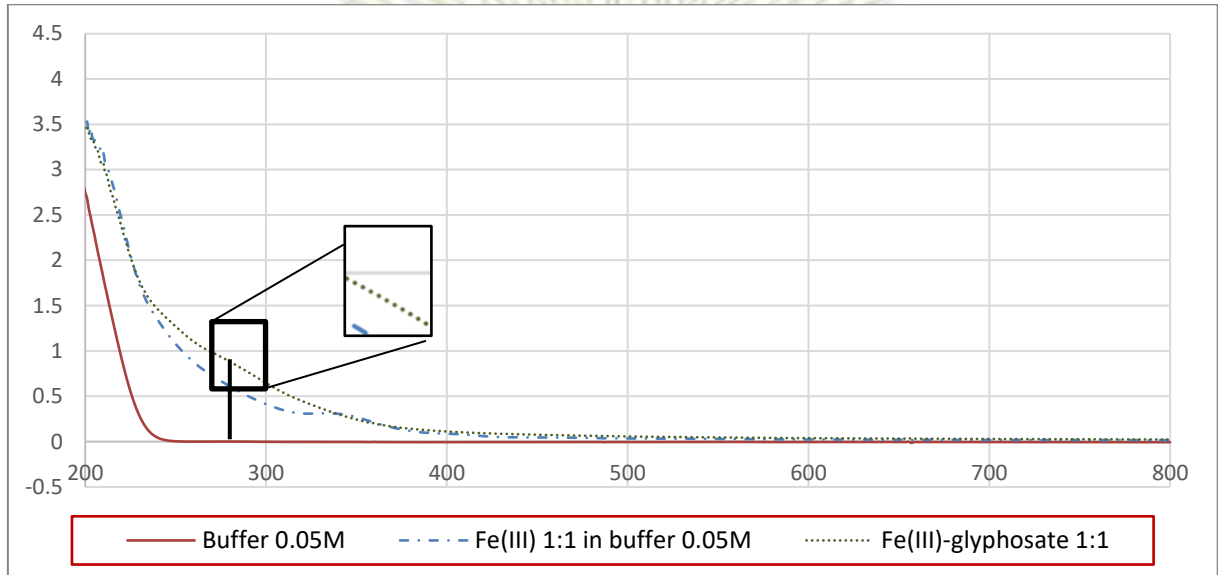


ภาพที่ 3.3 สเปกตรัมเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงในช่วง 200-800 นาโนเมตร ของสารละลาย Fe(III)-SCN ในระบบน้ำ Milli-Q และในระบบสารละลายบัฟเฟอร์ acetic/acetate pH 3.7 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์

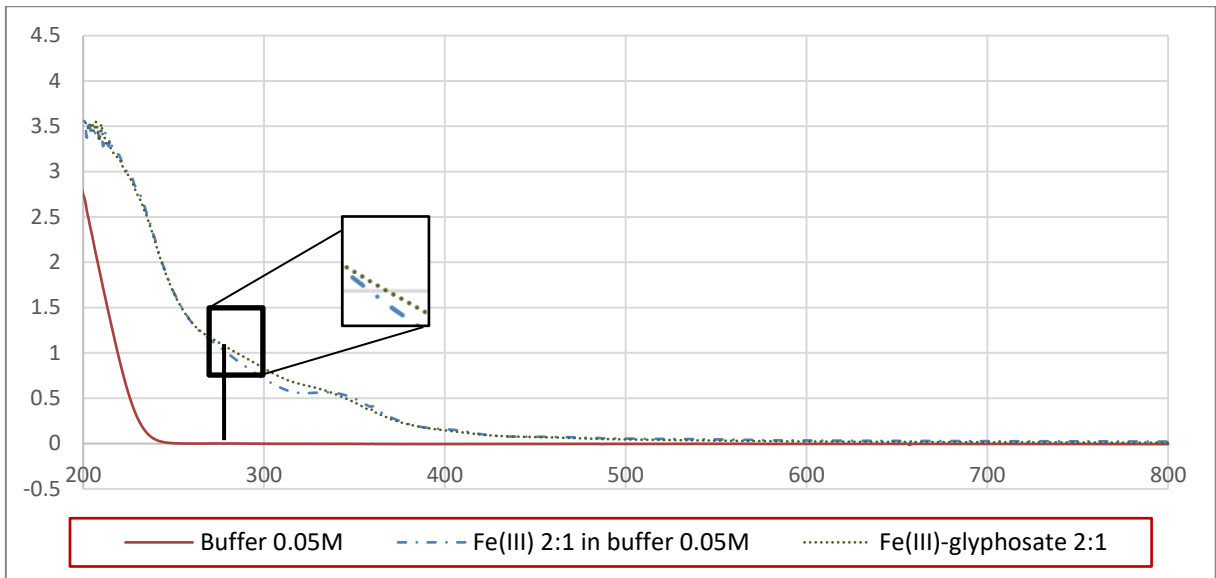
จากภาพที่ 3.3 จะเห็นว่าสารละลายไอออน Fe(III) ในระบบน้ำ Milli-Q สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับไอออนไรโอไซยานเนตจากสารละลาย KSCN ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และสังเกตเห็นพีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 453 นาโนเมตร ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับพีการดูดกลืนแสงของสารละลายไอออน Fe(III) ในสารละลายบัฟเฟอร์ จะเห็นว่าไม่มีพีการดูดกลืนแสงที่ 453 นาโนเมตร เกิดขึ้น คาดว่าเกิดจากไอออนแอสิตเตตในสารละลายบัฟเฟอร์ ซึ่งยังต้องทำการศึกษาต่อไป

เนื่องจากในการตรวจวัดสีด้วยสารเชิงซ้อนไอออน Fe(III) กับไอออนไรโอไซยานเนตไม่เหมาะสม ดังนั้นในการทดลองอัตราส่วนความเข้มข้นของไอออน Fe(III) และไกลโฟเสตขั้นต่อไป จะดูจากการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร แทน

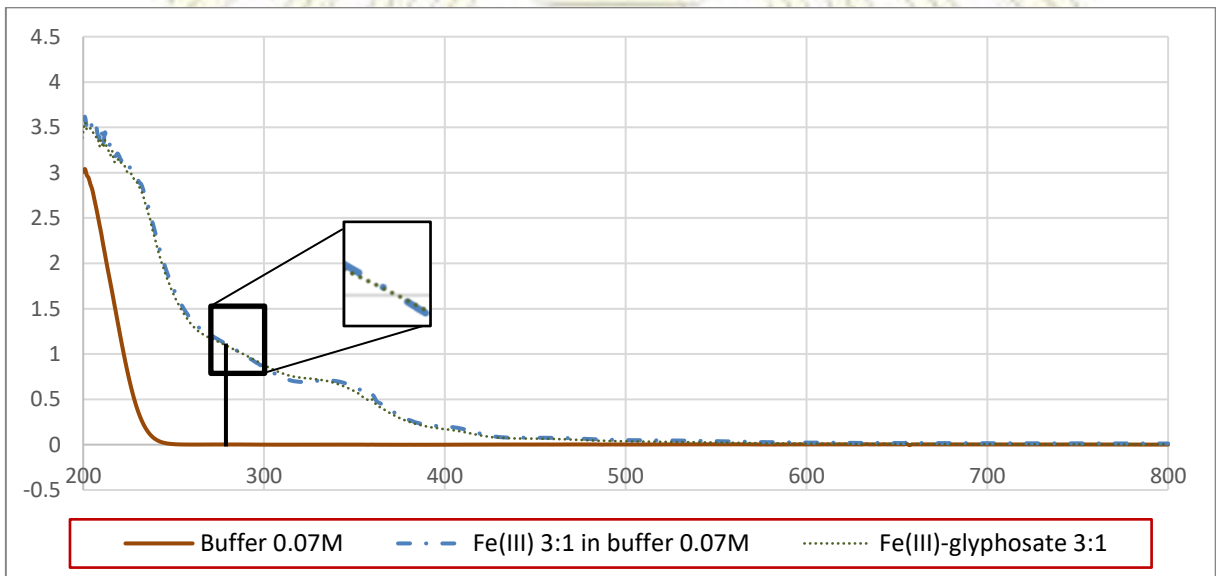
จากการทดลองหาอัตราส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยศึกษาในระบบบัฟเฟอร์แอสिटิก/แอสิตเตต และตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ 275 นาโนเมตร ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 3.4, 3.5, 3.6 และ 3.7 สำหรับอัตราส่วนความเข้มข้น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 ตามลำดับ



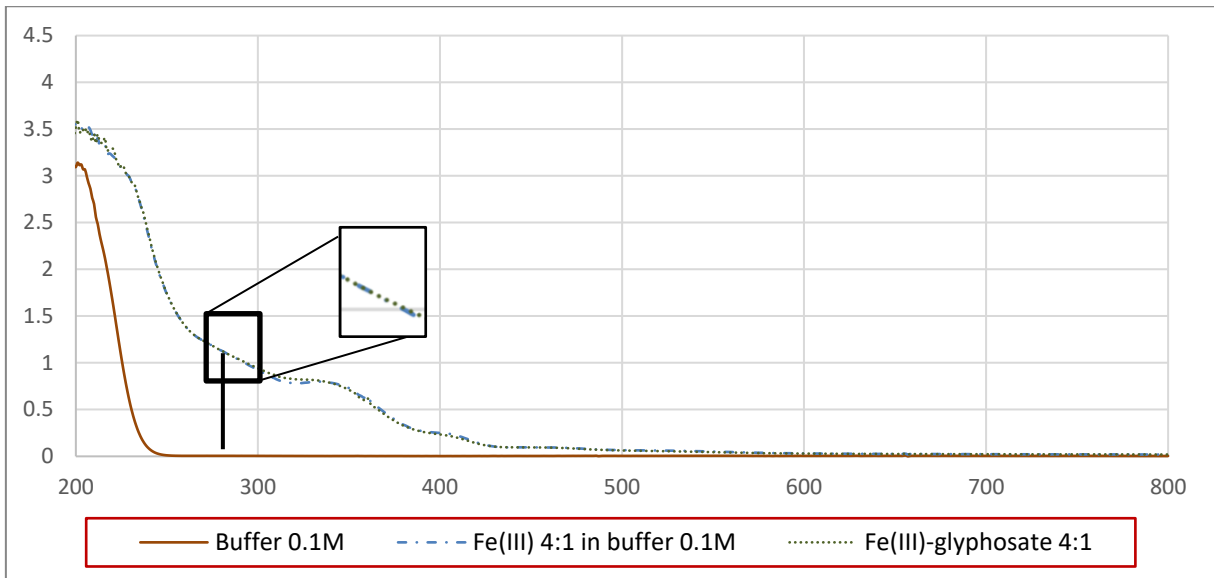
ภาพที่ 3.4 สเปกตรัมเปรียบเทียบกันของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.7 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์, สารละลายไอออน Fe(III) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.05 โมลาร์ และสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสต ที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 1:1 (2.909×10^{-4} โมลาร์ ต่อ 3.158×10^{-4} โมลาร์)



ภาพที่ 3.5 สเปกตรัมเปรียบเทียบกันของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.7 ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์, สารละลายไอออน Fe(III) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.05 โมลาร์ และสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสต ที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 2:1 (6.004×10^{-4} โมลาร์ ต่อ 3.158×10^{-4} โมลาร์)



ภาพที่ 3.6 สเปกตรัมเปรียบเทียบกันของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.7 ความเข้มข้น 0.07 โมลาร์, สารละลายไอออน Fe(III) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.07 โมลาร์ และสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสต ที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 3:1 (9.006×10^{-4} โมลาร์ ต่อ 3.158×10^{-4} โมลาร์)

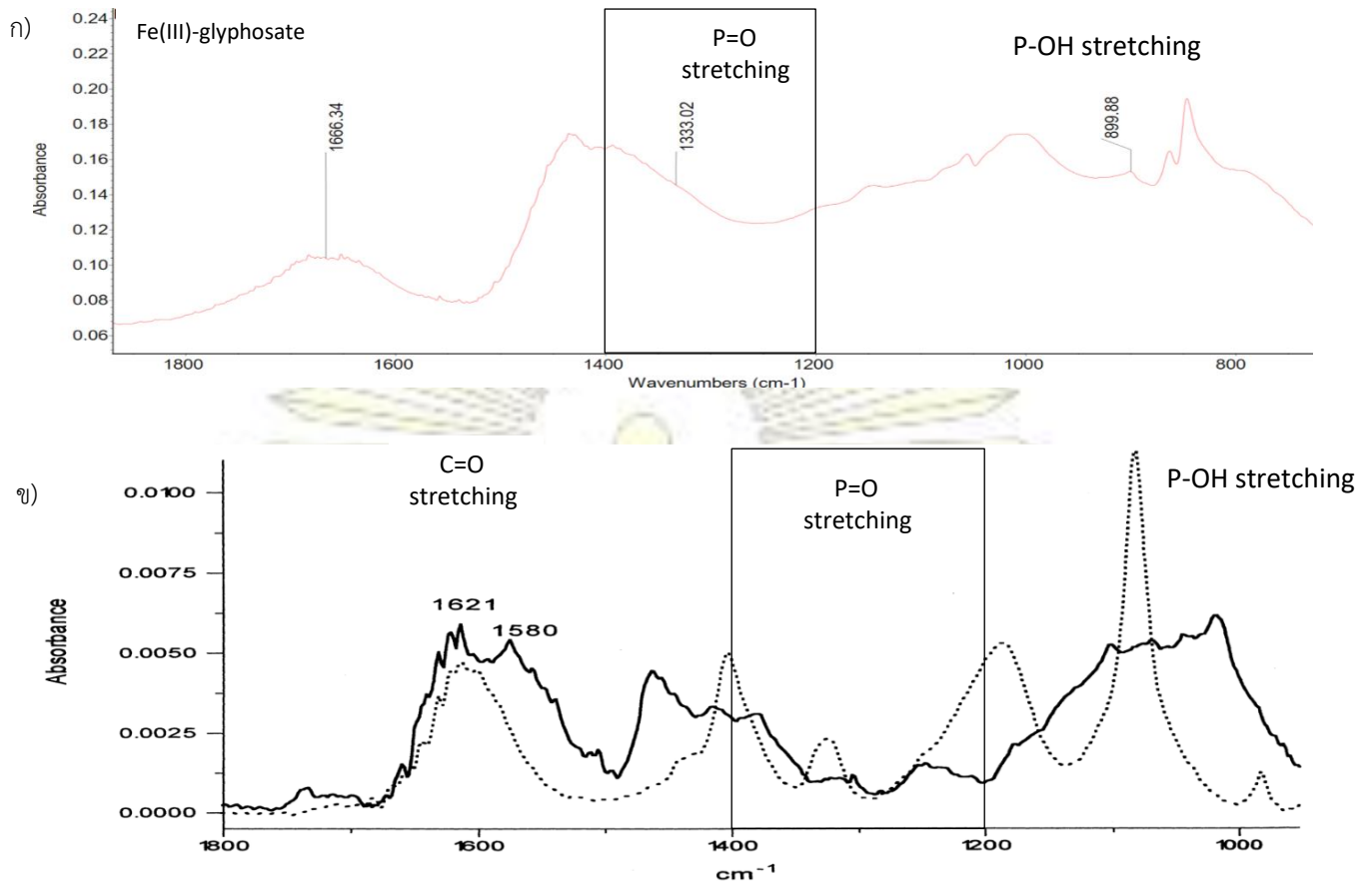


ภาพที่ 3.7 สเปกตรัมเปรียบเทียบกันของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3.7 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์, สารละลายไอออน Fe(III) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ และสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสต ที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 4:1 (1.201×10^{-3} โมลาร์ ต่อ 3.158×10^{-4} โมลาร์)

จากภาพที่ 3.4 ถึง 3.7 ซึ่งเป็นของอัตราส่วนความเข้มข้น 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 ตามลำดับ จากสเปกตรัมการดูดกลืน สำหรับอัตราส่วนความเข้มข้น 1:1, 2:1 จะมีพีกที่บริเวณ 275 นาโนเมตร ปรากฏซึ่งเป็นพีกของสารเชิงซ้อน Fe(III)-ไกลโฟเสตที่ละลายน้ำ⁽¹⁴⁾ แสดงถึงการเกิดขึ้นได้ของสารเชิงซ้อนที่ภาวะนี้ และเห็นความแตกต่างจากพีกของไอออน Fe(III) ได้ อีกทั้งยังสังเกตเห็นตะกอนขาวที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 1:1 ในขณะที่อัตราส่วนความเข้มข้นอื่น ไม่เห็นตะกอน คาดว่าเป็นเพราะการเกิดสารเชิงซ้อนในรูปละลายน้ำ ที่สามารถตรวจวัดได้จากการดูดกลืนแสงที่ 275 นาโนเมตรมากขึ้น เนื่องจากปริมาณของไอออน Fe(III) ที่มากขึ้น แต่จะสังเกตพีกการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตได้ยากขึ้น จากการดูดกลืนแสงของไอออน Fe(III) ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มากขึ้นทำให้มีการบดบังพีกของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต

4. พิสูจน์เอกลักษณ์ของตะกอนสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของตะกอนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต ที่อัตราส่วนความเข้มข้นเป็น 1:1 ด้วยเทคนิค ATR-FTIR spectroscopy ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.8 สเปกตรัมการดูดกลืนอินฟราเรดของไกลโฟเสต และสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต โดย ก) จากการทดลอง และ ข) จากรายงานของ Afonsa และ Barja (เส้นทึบ)

จากสเปกตรัมการดูดกลืนอินฟราเรดของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต แสดงในภาพที่ 3.8 จะไม่พบพีกในช่วง $1200-1400\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีกของการสั่นของพันธะ P=O และพีกที่ประมาณ 900 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีกเอกลักษณ์ของการสั่นของพันธะ P-OH ซึ่งใกล้เคียงกับในรายงานของ Afonsa และ Barja ที่ระบุถึงช่วงการดูดกลืนดังกล่าว⁽¹⁶⁾ แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต โดยเกิดขึ้นผ่านหมู่ฟอสโฟเนตในโมเลกุลของไกลโฟเสต

เมื่อนำสเปกตรัมของตะกอนที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสารเชิงซ้อน Fe(III) กับไกลโฟเสต จากรายงานของ Afonsa และ Barja พบว่าในช่วงความยาวคลื่น $950-1200\text{ cm}^{-1}$ มีลักษณะเป็นพีกกว้าง เป็นพีกที่แสดงถึงโคออดิเนชันของหมู่ฟอสโฟเนตในโมเลกุลของไกลโฟเสตกับไอออน Fe(III) คล้ายกับสเปกตรัมดังกล่าว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตะกอนที่ได้ เป็นตะกอนของสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสต

บทที่ 4

สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดลองเพื่อพัฒนาชุดตรวจวัดไกลโฟเฟสด้วยตาเปล่าโดยใช้ไอออน Fe(III) เป็นสารทำปฏิกิริยากับไกลโฟเฟส และตรวจวัดปริมาณไอออน Fe(III) จากปฏิกิริยาด้วยไอออนไฮโอไซยานेट สรุปได้ดังนี้

ภาวะที่เหมาะสมในการทดสอบไกลโฟเฟส คือที่ pH ที่ pH 2.9 และ 3.8 ไอออน Fe(III) สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับไกลโฟเฟสได้

การทดลองในภาวะที่มีบัฟเฟอร์ acetic/acetate พบว่าไม่สามารถใช้สารละลายไฮโอไซยานेट ในการตรวจวัดสีด้วยตาเปล่าจากปริมาณไอออน Fe(III) ที่เหลือได้ คาดว่าเกิดจากไอออนแอซิเตตจากบัฟเฟอร์ซึ่งยังต้องทำการศึกษาต่อไป

อัตราส่วนความเข้มข้นที่ 1:1 และ 2:1 สามารถสังเกตการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนของไอออน Fe(III) กับไกลโฟเฟสได้ อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยไม่สามารถสรุปผลกระทบบของอัตราส่วนอื่นๆ ได้เนื่องจากการรบกวนการสังเกตพิกสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเฟสที่ ละลายน้ำ เมื่อความเข้มข้นของไอออน Fe(III) มากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดกลืนแสงของไอออน Fe(III) ในสารละลายบัฟเฟอร์

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตะกอนที่สังเกตได้ ด้วย ATR-FTIR spectrometer พบว่าตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นตะกอนของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเฟส โดยมีการสร้างพันธะกันผ่านหมู่ฟอสโฟเนตในโมเลกุลของไกลโฟเฟส

ข้อเสนอแนะ

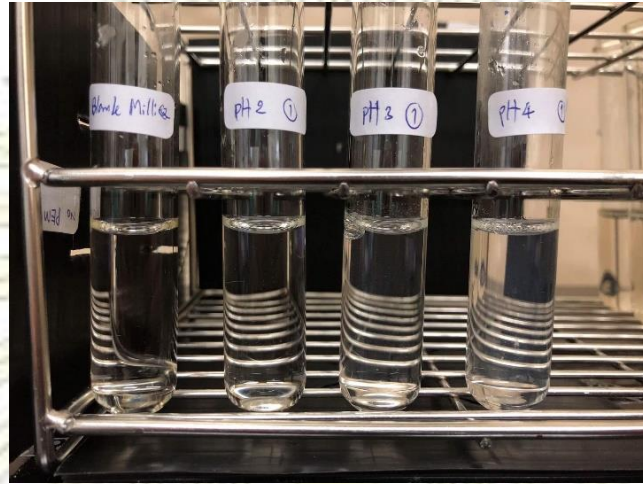
1. ควรทำการทดลองกับสารละลายบัฟเฟอร์ชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อหาชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในการควบคุม pH ของสารผสมระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเฟส และสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน
2. ศึกษาปฏิกิริยาสำหรับตรวจวัดปริมาณไอออน Fe(III) โดยใช้รีเอเจนต์อื่น

เอกสารอ้างอิง

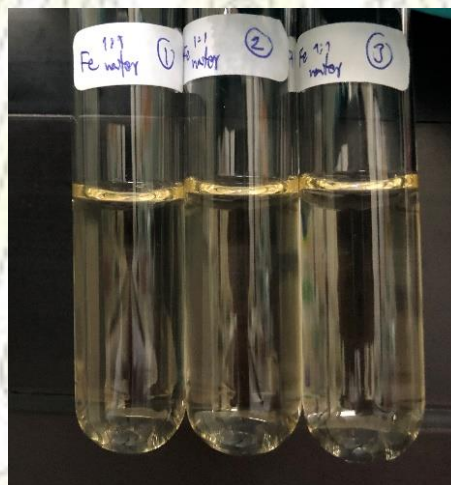
1. S. Richard, S. Moslemi, H. Sipahutar, N. Benachour, G. Seralini. (2005). **Differential Effects of Glyphosate and Roundup on Human Placental Cells and Aromatase.** Environ Health Perspect 113(6): 716-720.
2. B. Zhu, M. Xu, W. Cai, Y. Ji, X. Song, H. Guo, L. Han, F. Zhang, X. Liu, H. Zhang. (2017). **Effects of glyphosate exposure on sperm concentration in rodents: A systematic review and meta-analysis.** Environ Toxicol Phar 55: 148-155.
3. X. Feng, D. Chen, X. Zhao, S. Zhang, J. Xu, X. Kuang, S. Li, X. Li. (2017). **Biological impacts of glyphosate on morphology, embryo biomechanics and larval behavior in zebrafish (Danio rerio).** Chemosphere 181: 270-280.
4. E. Morillo, C. Maqueda, T. Undabeytia, J. Villaverde. (2017). **Behaviour of glyphosate in a reservoir and the surrounding agricultural soils.** Sci Total Environ 593-594: 787-795.
5. Thaireform. (2560). **เปิดตัวเลข 3 ปี ย้อนหลัง นำเข้าสารเคมีอันตราย พบ 'ไกลโฟเซต' สูงสุด มูลค่ารวม 1 หมื่นล. คันเมื่อ 16 เมษายน 2560,** จาก <https://www.isranews.org/isranews-scoop/59676-paraquat.html>
6. C. Hu, Y. Chang, Y. Lin, G. Xiao, T. Chiu. (2016). **A highly selective and sensitive nanosensor for the detection of glyphosate.** Talanta 161: 94-98.
7. B. S. Clegg, G. R. Stephenson, J. C. Hall. (1999). **Development of an Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for the Detection of Glyphosate.** J. Agric. Food Chem 47: 5031-5037.
8. P. Nagaraja, B. L. Bhaskara. (2006). **Direct Sensitive Spectrophotometric Determination of Glyphosate by Using Ninhydrin as a Chromogenic Reagent in Formulations and Environmental Water Samples.** Helv Chim Acta 89: 2686-2693.
9. J. Ma, S. Wang, B. Liu, D. Yuan. (2016). **A simple method for the determination of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in seawater matrix with high performance liquid chromatography and fluorescence detection.** Talanta 161: 700-706.
10. H. Kataoka, S. Ryu, N. Sakiyama, M. Makita. (1996). **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 726: 253-258.
11. R. Lanaro, J. L. Costa, S. O. S. Cazenave, L. A. Zanolli-Filho, M. F. M. Tavares, A. A. M. Chasin. (2015). **Determination of Herbicides Paraquat, Glyphosate, and Aminomethylphosphonic Acid in Marijuana Samples by Capillary Electrophoresis.** J Forensic Sci 60(s1): S241-S247.

12. LibreTexts. (2558). **Hard and Soft Acids and Bases.** ค้นเมื่อ 21 เมษายน 2560, จาก https://chem.libretexts.org/Core/Inorganic_Chemistry/Coordination_Chemistry/Complex_Ion_Equilibria/Hard_and_Soft_Acids_and_Bases
13. P. E. Hoggard, V. Subramaniam. (1988). **Metal Complexes of Glyphosate.** J. Agric. Food Chem 36: 1326-1329.
14. 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.** J. Environ. Sci. Heal. B 32(4): 583-598.
15. M. McBride, K. H. Kung. (1989). **Complexation of Glyphosate and Related Ligands with Iron (III).** Soil Sci Soc. Am. J. 53: 1668-1673.
16. M. dos S. Afonso, B. C. Barja. (1998). **An ATR-FTIR Study of Glyphosate and Its Fe(III) Complex in Aqueous Solution.** Environ. Sci. Technol. 32(21): 3331-3335.
17. K. Eröss-kiss. (1986). **SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION OF IONS OF VARIOUS ELEMENTS.** ค้นเมื่อ 19 มกราคม 2560, จาก <https://pp.bme.hu/ch/article/download/2822/1927/0>
18. J. F. Below Jr., R. E. Connick, C. P. Coppel. (1958). **Kinetics of the Formation of the Ferric thiocyanate Complex.** J. Am. Chem. Soc. 80(12): 2961-2967.
19. C. Peters, C. French. (1941). **Study of Ferric thiocyanate Reaction.** Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 13(9): 604-607.
20. F. M. Najib, O. I. Hayder. (2011). **Study of Stoichiometry of Ferric thiocyanate Complex for Analytical Purposes Including F⁻ Determination.** Irq. Nat. J. Chem. 42: 135-155.

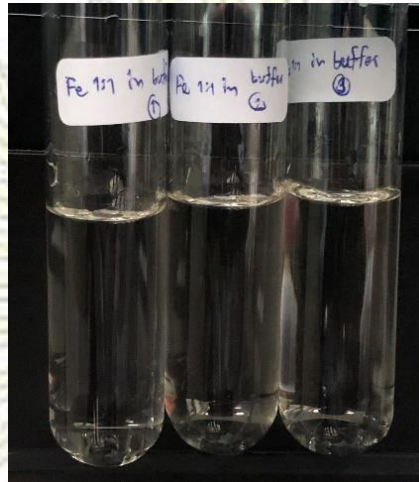
ภาคผนวก



ภาพที่ ผ1 เปรียบเทียบผลที่สังเกตได้จากการใช้ HCl/NaOH ในการปรับ pH ที่ pH=2, pH=3 และ pH=4 ตามลำดับ



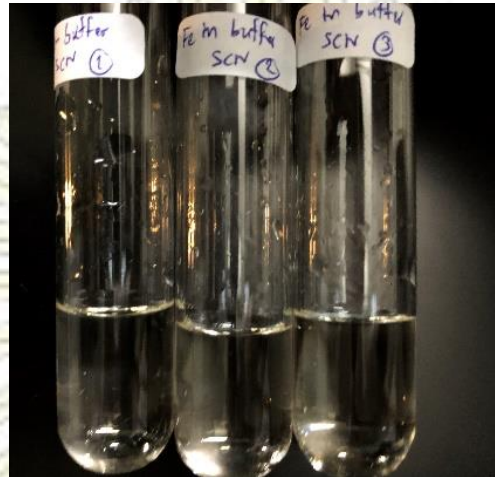
ภาพที่ ผ2 ลักษณะที่สังเกตได้ของสารละลายไอออน Fe(III) ในน้ำ



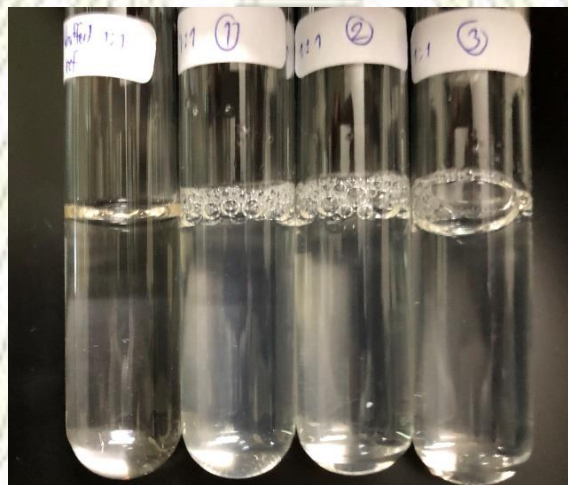
ภาพที่ ผ3 ลักษณะที่สังเกตได้ของสารละลายไอออน Fe(III) ในบัฟเฟอร์



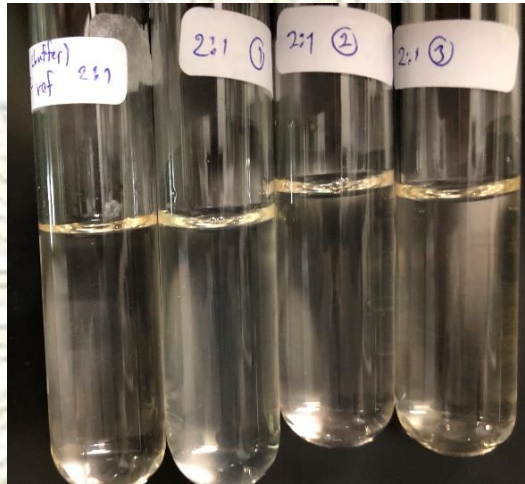
ภาพที่ ผ4 ลักษณะที่สังเกตได้จากหลอดปฏิบัติการระหว่างไอออน Fe(III) กับ thiocyanate ในน้ำ



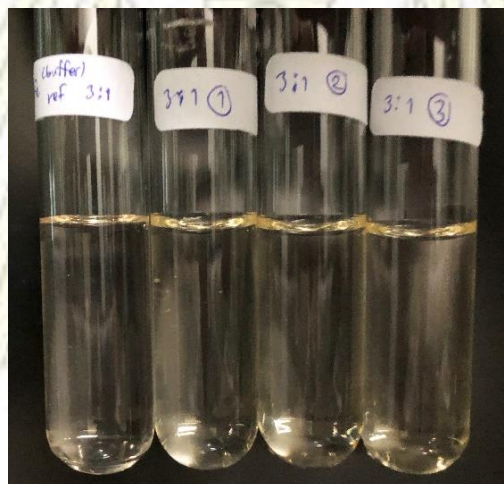
ภาพที่ ๗5 ลักษณะที่สังเกตได้จากหลอดปฏิกิริยาระหว่างไอออน Fe(III) กับ thiocyanate ในบัฟเฟอร์



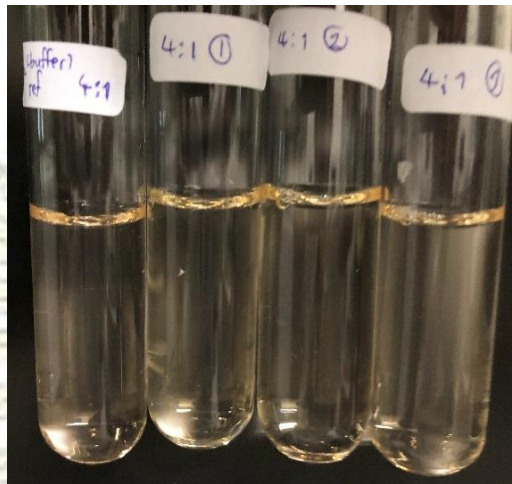
ภาพที่ ๗6 ลักษณะที่สังเกตได้จากหลอดปฏิกิริยาระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตที่อัตราส่วน ความเข้มข้น 1:1



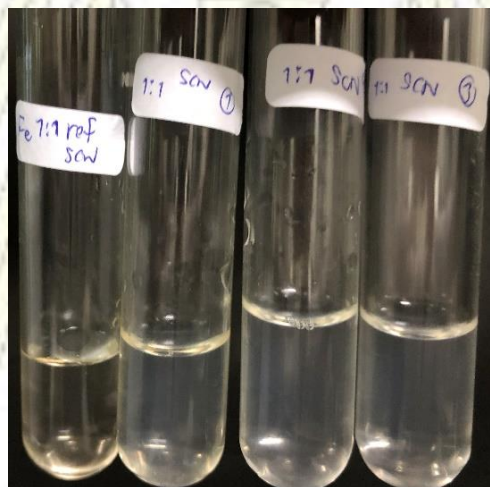
ภาพที่ ๗7 ลักษณะที่สังเกตได้จากหลอดปฏิบัติการระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตที่อัตราส่วนความเข้มข้น 2:1



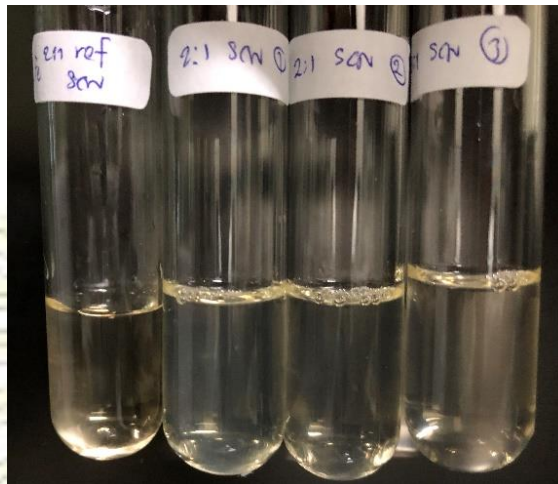
ภาพที่ ๗8 ลักษณะที่สังเกตได้จากหลอดปฏิบัติการระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตที่อัตราส่วนความเข้มข้น 3:1



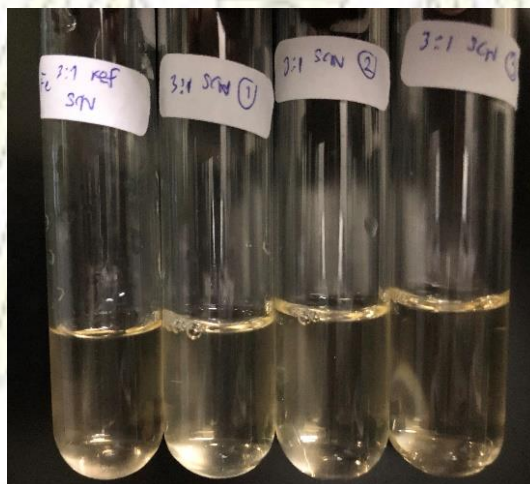
ภาพที่ ๗9 ลักษณะที่สังเกตได้จากหลอดปฏิกิริยาระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตที่อัตราส่วน ความเข้มข้น 4:1



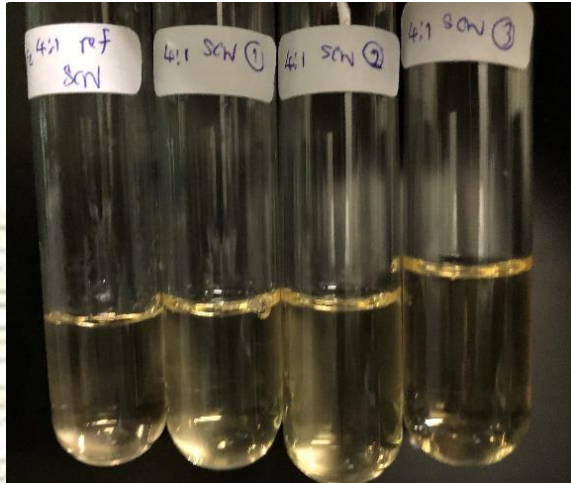
ภาพที่ ๗10 ลักษณะที่สังเกตได้จากหลอดปฏิกิริยาระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตที่อัตราส่วน ความเข้มข้น 1:1 หลังเติม KSCN 0.1M



ภาพที่ ๑11 ลักษณะที่สังเกตได้จากหลอดปฏิบัติการระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตที่อัตราส่วนความเข้มข้น 2:1 หลังเติม KSCN 0.1M



ภาพที่ ๑12 ลักษณะที่สังเกตได้จากหลอดปฏิบัติการระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตที่อัตราส่วนความเข้มข้น 3:1 หลังเติม KSCN 0.1M



ภาพที่ ผ13 ลักษณะที่สังเกตได้จากหลอดปฏิกิริยาระหว่างไอออน Fe(III) กับไกลโฟเสตที่อัตราส่วน ความเข้มข้น 4:1 หลังเติม KSCN 0.1M

ประวัติผู้วิจัย

นายเฉลิมวงศ์ บุญเสถียร เกิดเมื่อวันที่ 24 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2538 ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำเร็จการศึกษา
ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เมื่อปีการศึกษา 2556 เคย
ได้รับรางวัลชนะเลิศการประกวดโครงงานคอมพิวเตอร์ประเภทซอฟต์แวร์ ม.4-ม.6 งานศิลปหัตถกรรมนักเรียน
ครั้งที่ 63 ประจำปี 2556 ระดับเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 10 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เข้าศึกษาต่อ
ในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา
2557 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 141 ตำบลประจวบ อำเภอเมืองประจวบคีรีขันธ์ จังหวัด
ประจวบคีรีขันธ์ รหัสไปรษณีย์ 77000 อีเมล x.uoxaj@hotmail.com

