

การระบุเลขออกซิเดชันของสารหนู (V) โดยใช้เทคนิคซินโครตรอนเบส
เอ็กซ์เรย์สเปกโทสโกปี

กาญจนา สอนวดี
กรรวิณี จำريญพัฒน์

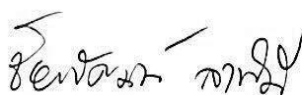
การศึกษาดูอิสระ เสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมี
มีนาคม 2562
มหาวิทยาลัยพะเยา
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

คณะกรรมการสอบการศึกษาอิสระ อาจารย์ที่ปรึกษา และคณบดีคณะวิทยาศาสตร์ได้
พิจารณาการศึกษา เรื่อง “การระบุเลขออกซิเดชันของสารหนู (V) โดยใช้เทคนิคซินโครตรอน
เบสเอ็กซ์เรย์สเปกโทสโกปี” เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยพะเยา



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกสุรีย์ ตักดีศรีชัย)

ประธานกรรมการ



(ดร.ชัยพัฒน์ ลาพินี)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จุฑารัตน์ กำวันจันทร์)

กรรมการ



(รองศาสตราจารย์ปริญานันท์ แสนโชนัน)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

มีนาคม 2562

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ดร.ชัยพัฒน์ ลาภินิ ที่ได้ให้คำปรึกษา ข้อคิด และคำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์ พร้อมทั้งสนับสนุนงบประมาณในการทำการศึกษา และทำการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการศึกษา ทำให้ การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์จุฑารัตน์ กำวิณจันทร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกสุรีย์ ศักดิ์ศรีชัย ที่ได้สละเวลาอันมีค่าเป็นคณะกรรมการ การสอบ ในครั้งนี้ ตลอดจนให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอขอบคุณ คณะครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆ ใน ระหว่างการศึกษาเล่าเรียน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ อำนวยความสะดวกในเรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัวที่คอย เป็นกำลังใจและคอยให้การสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนจนประสบผลสำเร็จมาโดยตลอด สุดท้ายข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาหาความรู้ เพิ่มเติมและผู้ทีศึกษาเรื่องนี้ต่อไป

กาญจนา สอนหวดี

กรรวิภา จำเริญพัฒน์

ชื่อเรื่อง	การระบุเลขออกซิเดชันของสารหนู (V) โดยใช้เทคนิคซินโครตรอนเบส เอ็กซ์เรย์สเปกโทรสโกปี
ผู้ศึกษาค้นคว้า	นางสาวกาญจนา สอนวดี นายกรวุฒิจำเจริญพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ชัยพัฒน์ ลาพิณี
วิทยาศาสตร์บัณฑิต	สาขาวิชาเคมี
คำสำคัญ	TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ โบเมทัลลิกคอมโพสิต, สภาวะออกซิเดชัน, สารหนู, เทคนิค เอกซเรย์ดิฟแฟรคชันสเปกโทรสโกปี, เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโต มิเตอร์, เทคนิคเอ็กซ์เรย์แอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี, การตกตะกอน ร่วม

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ TiO₂/FeSO₄ bimetallic composites ซึ่งใช้วิธีการสังเคราะห์การตกตะกอนร่วมกับคลื่นอัลตราโซนิก โดยใช้ตัวทำละลายเป็น เอทานอล และน้ำ ในอัตราส่วน 1:1 สารbimetallic composite ที่ได้จากการสังเคราะห์นี้นำไปศึกษาคุณลักษณะด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ พบตำแหน่งของ TiO₂ ที่ 2θ = 29.5°, 43.2°, 45. 2°, 56.5°, 63.5° และพบตำแหน่งของ Fe₂O₃ ที่ 2θ = 28.2°, 38.8°, 41.8°, 47.8° และ 58.2° ซึ่งจะยืนยันว่าวิธีการสังเคราะห์ในครั้งนี้อาจสังเคราะห์สารผสมระหว่าง TiO₂ และ Fe₂O₃ ได้และทำการศึกษาข้อมูลทางสเปกโทรสโกปี โดยใช้เทคนิค ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบช่วงการดูดแสงอยู่ที่ 370 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงของคลื่นยูวี นอกจากนี้ได้ทำการระบุเลขออกซิเดชัน โดยเทคนิคเอกซเรย์แอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี พบตำแหน่งของค่า °E ของ สารหนู (V) มีค่า normalized, 1st derivative, 2nd derivative, R-space ที่ 11877.77 eV, 11876.35 eV, 11877.68 eV และ 1.30865 Å ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการบ่งชี้ถึงชนิดของสารหนูในสารตัวอย่างที่ถูกดูดซับบน TiO₂ หรือ Fe₂O₃ และ bimetallic composite ได้ จากการศึกษาวิธีการสังเคราะห์ TiO₂/FeSO₄ bimetallic composites ในอนาคตอาจมีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาทางแสงได้และใช้ในการกำจัดสารหนูที่ปนเปื้อนอยู่ในธรรมชาติได้

Title	Identification of As (V) using synchrotron based x-ray absorption spectroscopy
Author	Miss Kanjana Sornwadee Mr. Korawut Jamroenpat
Advisor	Dr. Chaipat Lapinee
Bachelor of Science	Program in Chemistry
Keyword	TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic composites, arsenic, oxidation state, x-ray Diffraction spectroscopy, uv-visible spectroscopy, x-ray absorption spectroscopy, co-precipitation

ABSTRACT

In this research, a synthetic method of TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic composites was done using co-precipitating and ultrasonication processes with ethanol and water mixing solvent at 1:1 v/v ratio. Additionally, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic composites from the synthetic method were characterized using x-ray diffraction. The results showed TiO₂ position at $2\theta = 29.5^\circ, 43.2^\circ, 45.2^\circ, 56.5^\circ, 63.5^\circ$ and Fe₂O₃ position at $2\theta = 28.2^\circ, 38.8^\circ, 41.8^\circ, 47.8^\circ$ and 58.2° . These results can be used to confirm the synthetic method can mix TiO₂ and Fe₂O₃. Furthermore, the synthesized bimetallic composites were brought to study the absorption spectra using UV-visible spectroscopy and found the absorption spectra of the composites at wavelength 370 nm which were in UV range. The oxidation states of arsenic were identified using synchrotron based x-ray absorption spectroscopy and the K-edge energy, 0E of As(V) normalized, 1st derivative, 2nd derivative, R-space at 11877.77 eV, 11876.35 eV, 11877.68 eV and 1.30865 Å respectively. This evidence can be used as the basic information for specify arsenic oxidation states adsorbed on TiO₂, Fe₂O₃ or TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic composites. The studied method can be applied to prepare TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic composites and the bimetallic composites could possibly use for photo-reaction and further adsorption of arsenic from natural water.

สารบัญ

หน้า

หน้าอำนวยการ ก	ก
กิตติกรรมประกาศ ข	ข
บทคัดย่อ ค	ค
ABSTRACT ง	ง
สารบัญ จ-ฉ	จ-ฉ
สารบัญภาพ ญ-ฎ	ญ-ฎ
สารบัญตาราง ฏ	ฏ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ฐ	ฐ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย 1-4	1-4
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4	4
1.3 สมมติฐานการวิจัย 4	4
1.4 ขอบเขตการศึกษาของการวิจัย 4	4
1.5 ระยะเวลาในการทำการวิจัย 4	4
1.6 สถานที่ในการทำการวิจัย 5	5
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 5	5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารเคมีที่นำมาวิเคราะห์ 6	6
2.1.1 ไททาเนียมไดออกไซด์ 6-7	6-7
2.1.2 ไอรอน(II)ซัลเฟต 8	8

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2 เทคนิคและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	9
2.2.1 เทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์	9
2.2.2 หลักการของเทคนิคซินโครตรอน (XANES)	10-11
2.2.3 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์	12-13
2.2.4 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	14-16
2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	16-19

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การวิจัย	20
3.1.1 สารมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์	20
3.1.2 สารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์	20
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	20-21
3.2 การเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์	21
3.2.1 การเตรียมสารตัวอย่าง TiO ₂ mineral	21
3.2.2 การเตรียมสารตัวอย่าง TiO ₂ calcine	21
3.2.3 การเตรียมสารตัวอย่าง TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic clay	21-22
3.2.4 การเตรียมสารตัวอย่าง TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic semi-crystal	22
3.2.5 การเตรียมสารตัวอย่าง TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic crystal	22-23
3.3 การเตรียมสารตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หาช่วงค่าการดูดกลืนแสงของ bimetallic composites	23-24
3.4 การเตรียมสารมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์โดยเอกซเรย์ ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์	25

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย

4.1 รายงานผลการศึกษาคูณลักษณะของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites โดยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน	26
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ TiO_2 mineral และ TiO_2 calcine	26
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic clay	27
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic semi-crystal	28
4.1.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal	29
4.2 รายงานผลการศึกษาช่วงการดูดกลืนแสงของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites โดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี	30
4.2.1 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO_2 mineral และ TiO_2 calcine ในตัวทำละลาย DI	30
4.2.2 ผลการดูดกลืนแสงของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic clay ในตัวทำละลาย DI	31
4.2.3 ผลการดูดกลืนแสงของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic semi-crystal ในตัวทำละลาย DI	31
4.2.4 ผลการดูดกลืนแสงของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal ในตัวทำละลาย DI	32

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2.5	ผลการดูดกลืนแสงของ TiO ₂ mineral และ TiO ₂ calcine ในตัวทำละลาย HNO ₃	33
4.2.6	ผลการดูดกลืนแสงของ TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic clay ในตัวทำละลาย HNO ₃	33
4.2.7	ผลการดูดกลืนแสงของ TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic semi-crystal ในตัวทำละลาย HNO ₃	34
4.2.8	ผลการดูดกลืนแสงของ TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic crystal ในตัวทำละลาย HNO ₃	34-35
4.3	รายงานผลการศึกษา X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) spectra ของ standard As (III), As (V) และ As (V) ที่ถูกดูดซับอยู่บน TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic composites	36
4.3.1	ผลการวิเคราะห์ของ X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) spectra ของ standard As (III)	36-37
4.3.2	ผลการวิเคราะห์ของ X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) spectra ของ standard As (V)	37
4.3.3	ผลการวิเคราะห์ของ X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) spectra ของ As (V) ที่ถูกดูดซับอยู่บน TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic composites	38-41

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5.1	สรุปผลการสังเคราะห์ TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ ทั้ง 3 สภาวะ	42-43
5.2	ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย	43

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม	44-45
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ภาพประกอบวิธีการดำเนินการวิจัย	47-60
ภาคผนวก ข ภาพการศึกษาผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES	61-80
ภาคผนวก ค การคำนวณการเตรียมสารตัวอย่าง	80-89
ประวัติผู้วิจัย	90-91

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	แผนที่ประเทศที่พบปัญหาสารหนูในแหล่งน้ำ1
2	แผนที่อำเภออ่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่พบสารหนูในแหล่งน้ำ3
3	โครงสร้างของผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์แต่ละชนิด7
4	กลไกการดูดกลืนรังสีเอกซ์ ทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น9
5	กระบวนการทำงานของเครื่องซินโครตรอน10
6	กระบวนการเกิดการดูดกลืนรังสีเอกซ์ เมื่อผ่านการคัดเลือกพลังงาน10
7	สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีเอกซ์ในชั้น K (K-edge absorption) ของอะตอมคอปเปอร์ (Cu metal)11
8	เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์12
9	ภาพแสดงหลักการของ Bragg's law หรือ $2d \sin\theta = n\lambda$ ในการคำนวณค่าการ เลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์12
10	การใส่สารตัวอย่างในภาชนะสำหรับใส่สารตัวอย่าง13
11	เครื่องยิวี-วิลีเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์14
12	หลักการทำงานของเครื่องยิวี-วิลีเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์15
13	เครื่องยิวี-วิลีเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์23
14	เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์25
15	การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ TiO_2 mineral และ TiO_2 calcine26
16	การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ TiO_2/Fe_2O_3 bimetallic clay27
17	การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ TiO_2/Fe_2O_3 bimetallic semi-crystal28
18	การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ TiO_2/Fe_2O_3 bimetallic crystal29
19	ผลการดูดกลืนแสงของ TiO_2 mineral และ TiO_2 calcine30
20	ผลการดูดกลืนแสงของ TiO_2/Fe_2O_3 bimetallic clay31
21	ผลการดูดกลืนแสงของ TiO_2/Fe_2O_3 bimetallic semi-crystal31
22	ผลการดูดกลืนแสงของ TiO_2/Fe_2O_3 bimetallic crystal32

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
23 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO ₂ mineral และ TiO ₂ calcine	33
24 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic clay	33
25 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic semi-crystal	34
26 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic crystal	34
27 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (III) code (55247_As ₂ O ₃ _1.dat_6)	36
28 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (V) code (55214_Na_Arsenate_1.dat_8)	37
29 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) code (55300_MB24V_3.dat_18) ที่ถูกดูดซับอยู่บน TiO ₂ /Fe ₂ O ₃ bimetallic composites	38

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ค่า K-edge energy(°E) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (III)	39
2 ค่า K-edge energy(°E) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (V)	40
3 ค่า K-edge energy(°E) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) ที่ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites	41

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

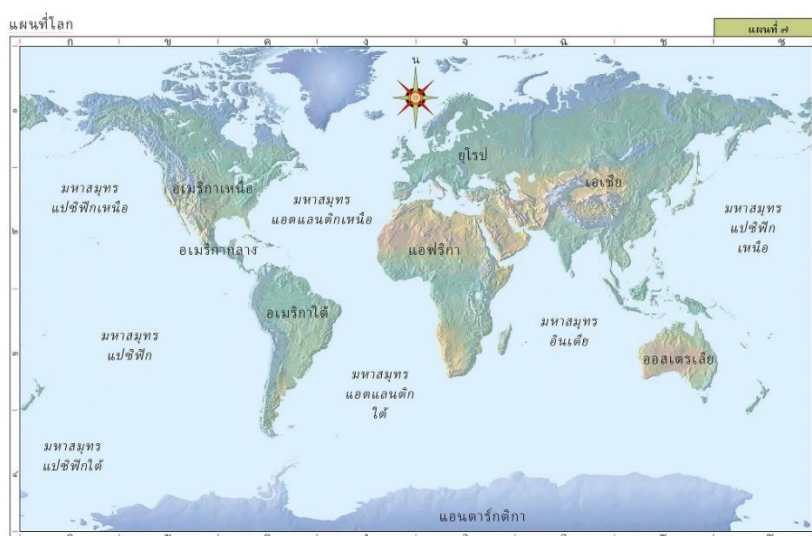
XRD	=	เทคนิคการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction spectroscopy)
XAS	=	เทคนิคการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (X-ray adsorption spectroscopy)
XANES	=	เทคนิควิธีการวิเคราะห์โครงสร้างการดูดกลืนพลังงานรังสีเอ็กซ์ใกล้ขอบพลังงานการดูดกลืน (X-ray Absorption Near Edge Structure)
TiO ₂	=	ไทเทเนียมไดออกไซด์
FeSO ₄	=	ไอออน(II)ซัลเฟต
Fe ₂ O ₃	=	ไอออน(III)ออกไซด์
As (III)	=	อาร์เซนไนต์
As (V)	=	อาร์เซนต
Deg.	=	องศา (degree)
eV	=	อิเล็กตรอนโวลต์
Å	=	อังสตรอม เป็นหน่วยวัดความยาว
°E	=	K-edge energy

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

สารหนู(As) เป็นธาตุกึ่งโลหะและจัดเป็นธาตุที่พบมากเป็นลำดับที่ 20 ของโลก เป็นสารที่พบได้ในธรรมชาติ โดยเป็นองค์ประกอบของดิน หิน และแร่ต่างๆ พบมากในสายแร่ทองแดง แมงกานีส ตะกั่ว ดีบุก เงินและทองคำ จึงเป็นธาตุที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่ในทางกลับกันก็พบว่า มีโทษที่เป็นอันตรายต่อชีวิตด้วยเช่นกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะพบการปนเปื้อนสารหนูในแหล่งน้ำ และเป็นข่าวที่พบเห็นได้อย่างต่อเนื่องทั้งในประเทศและต่างประเทศ การปนเปื้อนนั้นเกิดได้ทั้งจากธรรมชาติ และจากการกระทำของมนุษย์เอง เมื่อมนุษย์ได้รับสารหนูปริมาณมาก จะก่อให้เกิดอาการเฉียบพลัน เช่น ท้องเสีย อาเจียน มึนเมา ตาพร่ามัว เป็นต้น แต่หากได้รับปริมาณน้อยและมีระยะเวลานานจะก่อให้เกิดอาการพิษเรื้อรัง เช่น เกิดอาการที่ผิวหนัง เกิดโรคมะเร็ง และเสียชีวิต การศึกษาค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับการปนเปื้อนสารหนู ได้รับความสนใจมากขึ้นทั้งในประเด็นของการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัย การแก้ไขปัญหาการปนเปื้อน และการพัฒนาวิธีการตรวจวิเคราะห์ ดังนั้นการกำหนดมาตรการป้องกันและแก้ไขอย่างจริงจังจึงควรได้รับความร่วมมือจากทุกภาคส่วน ในการแก้ปัญหา [1]

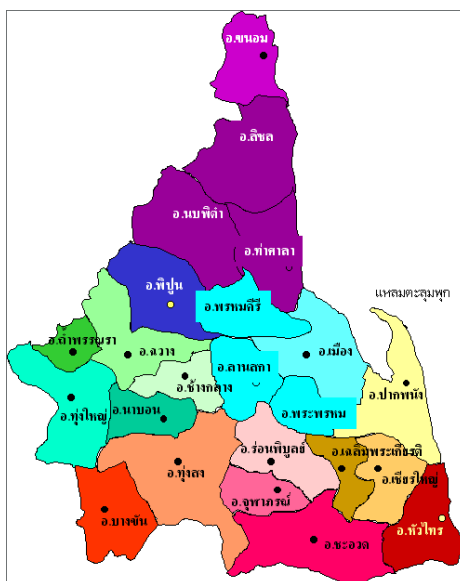


ภาพที่ 1 แผนที่ประเทศที่พบปัญหาสารหนูในแหล่งน้ำ [2]

ประเทศจีนมีรายงานข่าวพบการปนเปื้อนสารหนูในแหล่งน้ำทางตอนใต้ จนทำให้ประชาชนเกิดอาการหน้าบวม อาเจียน และตาพร่าเป็นจำนวนมากหลายร้อยคน สาเหตุเกิดจากการจัดการบำบัดน้ำเสียของโรงงานถลุงเหล็กไม่มีประสิทธิภาพ เมื่อเกิดพายุฝนขนาดใหญ่ ทำให้น้ำเสียเกิดการรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อมและชุมชน [3]

ประเทศบังคลาเทศมีรายงานแหล่งน้ำปนเปื้อนสารพิษนี้ มีส่วนทำให้ประชาชนเสียชีวิตไปถึง 43,000 คนในแต่ละปี สาเหตุที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการที่รัฐบาลพยายามขุดเจาะพื้นดินเพื่อหาแหล่งน้ำสะอาดหลายล้านแห่ง สำหรับชาวบ้านในท้องถิ่น ตั้งแต่ปี 2513 แต่เมื่อขุดเจาะแล้ว กลับไม่สามารถดำเนินการที่จะขจัดสารหนูออกจากแหล่งน้ำบริเวณสำหรับประชาชนได้ ซึ่งขณะนี้ องค์การอนามัยโลกยังได้ออกมากล่าวว่า วิกฤติสารหนูในบังกลาเทศ กำลังทำให้ประชาชนได้รับสารหนูครั้งใหญ่ที่สุดในประวัติศาสตร์ และยังพบว่าในน้ำใต้ดินที่ถูกนำมาใช้ บริเวณมีการปนเปื้อนสารหนูเกินมาตรฐาน เกิดจากทรัพยากรแร่ที่มีสารหนูปะปนในปริมาณมาก ถูกชะล้างและปนเปื้อนลงใต้น้ำใต้ดิน นอกจากนี้ประเทศกัมพูชา เวียดนาม ทิเบต อาร์เจนตินา ชิลี เม็กซิโก และทางตอนเหนือของสหรัฐอเมริกา ก็พบการปนเปื้อนสารหนูในน้ำใต้ดินสูงเช่นกัน [4]

ประเทศไทยก็พบกับการปนเปื้อนสารหนูในน้ำเช่นกัน ในปี พ.ศ. 2534 มีการปนเปื้อนสารหนูที่ อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราชซึ่งเกิดจากการทำเหมืองแร่ดีบุกซึ่งมีสารหนูปนเปื้อนมากับสายแร่ ในกระบวนการแยกแร่ธาตุ สารหนูจะถูกแยกไปกับหางแร่และถูกทิ้งไว้โดยไม่มีจัดการที่เหมาะสม จึงทำให้สารหนูปนเปื้อนไปยังแหล่งน้ำของชุมชนใกล้เคียงและเมื่อปี พ.ศ. 2549 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี พบการปนเปื้อนสารหนูในน้ำผิวดินสูงเกินมาตรฐานมาก โดยได้มีการตรวจสอบกลุ่มบุคคลที่อยู่ในพื้นที่พบว่า มีบางรายพบการปนเปื้อนสารหนูในปัสสาวะ สาเหตุอาจเกิดจากการปนเปื้อนโดยธรรมชาติและการจัดการเหมืองแร่เก่าที่ไม่เหมาะสมก็เป็นได้ และยังใช้น้ำในการทำการเกษตร ปรากรว่าเรื่องนี้ก็สามารถกลายเป็นต้นตอให้พิษสารหนูแพร่ถึงร่างกายมนุษย์ได้เช่นกัน ชาวในประเทศแถบนี้นิยมปลูกกันใต้น้ำที่มักมีน้ำท่วม โดยที่น้ำดังกล่าวก็อาจมีสารหนูปนเปื้อนอยู่ แล้วมันก็ถูกดึงเข้าสู่เมล็ดข้าวที่ใช้เป็นอาหาร ทำให้ได้รับสารหนูอย่างต่อเนื่องและส่งผลในระยะยาว [5]



ภาพที่ 2 แผนที่อำเภอร้อนพิษมูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่พบสารหนูในแหล่งน้ำ

ในการใช้ชีวิตในปัจจุบัน มนุษย์มีโอกาสได้รับสารหนูทั้งการสัมผัสที่ผิวหนัง การหายใจเอาละอองฝุ่นที่มีสารหนูหรือไอระเหยของสารหนู และการรับประทานอาหารหรือน้ำดื่มที่มีการปนเปื้อน โดยปกติร่างกายมนุษย์จะขจัดสารหนูที่ได้รับในปริมาณน้อยออกทางปัสสาวะภายในระยะเวลา 2 วัน แต่ถ้าหากได้รับสารหนูในปริมาณเพียง 130 มิลลิกรัม จะทำให้ลำไส้และตับถูกทำลาย อาเจียนมีสีเขียวและเหลือง ท้องเสียอย่างรุนแรง มีนเมมา เพ้อ และถึงแก่ชีวิต หากได้รับปริมาณน้อย และมีระยะเวลานานเป็นเวลาหลายปี จะทำให้เกิดโรคพิษสารหนูเรื้อรังหรืออาร์ซินิโคซิส อาการจะเริ่มตั้งแต่ผิวหนังเกิดการระคายเคืองจนมีความคันและหนา สีผิวเปลี่ยนเป็นสีดำเข้ม ฝ่ามือและฝ่าเท้าเป็นจุดสีดำใหญ่ จนกระทั่งกลายเป็นมะเร็งผิวหนัง มะเร็งปอด มะเร็งไต มะเร็งกระเพาะปัสสาวะ รวมทั้งมีผลต่อระบบหลอดเลือดหัวใจและระบบประสาทจนเสียชีวิตในที่สุด องค์การอนามัยโลกกำหนดให้คุณภาพน้ำสำหรับการบริโภคไม่ควรมีสารหนูปนเปื้อนเกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 10 พีพีบี ในขณะที่ประเทศไทยโดยกรมควบคุมมลพิษกำหนดให้คุณภาพน้ำผิวดินที่จะนำมาบริโภคที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคและบำบัดเบื้องต้นแล้ว ต้องมีการปนเปื้อนสารหนูไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตรเช่นกัน แต่มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค คุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุปิดสนิท และมาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์น้ำอูโลมให้มีสารหนูปนเปื้อนได้ถึง 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร [6]

และวิธีในการตรวจวิเคราะห์ตามมาตรฐานต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า อะตอมมิกแอฟซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์(AAS) ซึ่งมีราคาแพง ใช้เวลานาน และมีเพียงไม่กี่แห่งในประเทศไทย หรือการใช้ชุดตรวจวัดสารหนูภาคสนามก็มีราคาสูงและหาซื้อได้ยาก ทำให้การเฝ้าระวังการปนเปื้อนในน้ำดื่มเป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการระบุออกซิเดชันสเตรสของสารหนู (V) โดยใช้เทคนิคซินโครตรอนเบสแอ็กซ์เรย์สเปกโทสโกปี
2. เพื่อทำการศึกษาสภาวะและอัตราส่วนของตัวทำละลายที่เหมาะสม ในการเตรียม bimetallic composites
3. เพื่อทำการศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่าง ของตัวดูดซับที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสารหนู (V) ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1. $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites สามารถเกิดอันตกิริยากับสารหนูได้
2. การใช้เทคนิคซินโครตรอนเบสแอ็กซ์เรย์สเปกโทสโกปี สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์สปีซีของสารหนูแต่ละชนิดได้

1.4 ขอบเขตการศึกษาของการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นขอบเขตงานวิจัย ดังนี้

- การศึกษาการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับไอออนทูลซ์เฟต
- การศึกษาเลขออกซิเดชันของสารหนู (V) โดยใช้เทคนิคซินโครตรอนเบสแอ็กซ์เรย์สเปกโทสโกปี

1.5 ระยะเวลาในการทำการวิจัย

เดือนมกราคม 2562 – เดือนมีนาคม 2562

1.6 สถานที่ในการทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ SC3310 และห้องการศึกษาอิสระทางเคมี2 SC4314

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- ทำให้เกิดทักษะความรู้ การแก้ปัญหา และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
- ทำให้ทราบถึงกระบวนการสังเคราะห์แบบการตกตะกอนร่วม
- เพื่อนำความรู้ที่ได้จากการศึกษามาเป็นแนวทาง เพื่อปรับใช้ในการพัฒนากระบวนการวิเคราะห์

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

2.1 สารเคมีที่นำมาวิเคราะห์

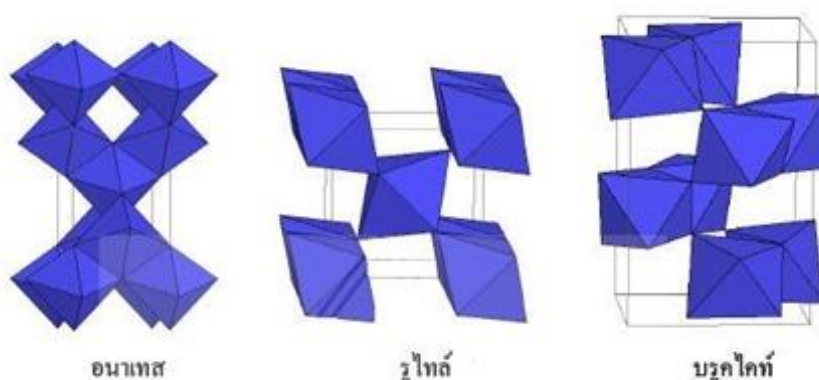
2.1.1 ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide : TiO_2)

ไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไทเทเนียม ที่ถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรสูง ไม่เป็นพิษ และราคาถูก มีชื่อทางการค้าคือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titaniumdioxide) ไทเทนิคแอนไฮไดร (Titanic anhydride) และไทเทเนีย (Titania) มีมวลโมเลกุล 79.9 กรัม/โมล ความหนาแน่น 3.84–4.26 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จุดเดือดอยู่ที่ 2,500 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 1,850 องศาเซลเซียส และมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ในปัจจุบันไทเทเนียมไดออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์มาก มักใช้ในรูปแบบของผลึกแบบ รูไทล์ (rutile) ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมในด้านต่างๆ ซึ่งพบมากในธรรมชาติ ส่วนชนิดอนาเทส (anatase) นิยมใช้ในกระบวนการใช้แสงชั้นสูง การนำมาใช้ประโยชน์เกี่ยวข้องกับด้านต่างๆ เช่น ใช้สำหรับสารให้สี ใช้เป็นสารเคลือบผลิตภัณฑ์ เป็นสารกึ่งตัวนำผลิตกระแสไฟฟ้า นำมาใช้ ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องสำอางต่างๆ และที่สำคัญไทเทเนียมไดออกไซด์ยังถูกนำมาใช้ในด้านการบำบัดมลพิษ คือ การนำมาใช้เป็นสารดูดซับ โดยใช้งานในด้านการบำบัดมลพิษทางอากาศ และมลพิษทางน้ำ ทำหน้าที่เป็นสารตัวดูดซับมลพิษได้ดี ซึ่งสำหรับการบำบัดมลพิษในน้ำ ด้วยการให้แสงแก่แผ่นตัวกลางนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่แขวนอยู่ในน้ำ เมื่อได้รับแสงจะเกิดการปลดปล่อยอนุภาคดั่งที่กล่าวข้างต้นเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ชนิดไทเทเนียมไดออกไซด์ แบ่งตามโครงสร้างของผลึก ได้แก่

1. รูไทล์ (rutile) มีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนัล (tetragonal) เป็นชนิดที่พบมากที่สุด ในธรรมชาติ มีความคงทน และเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิที่สูง
2. อนาเทส (anatase) มีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนัล (tetragonal) เป็นชนิดที่พบในธรรมชาติปานกลาง หากให้ความร้อนสูงกว่า 915 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์

3. บรูคไคท์ (brookite) มีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก (orthorhombic) เป็นชนิดที่พบบได้น้อยในธรรมชาติ มีความเสถียรต่ออุณหภูมิต่ำ หากได้รับความร้อนมากกว่า 750 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์



ภาพที่ 3 โครงสร้างของผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์แต่ละชนิด

นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นวิธีการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อทำให้เกิดแผ่นฟิล์มบางๆของไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีต่างๆ คือ

1. วิธีสปัตเตอร์ริง (sputtering) เป็นการให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ก๊าซ Ar^+ ทำให้อิออน Ar^+ วิ่งเข้าชนกับแผ่นไทเทเนียม จนอะตอมของไทเทเนียมหลุดออกไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วฝังติดบนแผ่นฐานรองจนเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ
2. วิธีโกลว์ดิสชาร์จ (glow discharge) เป็นวิธีการให้ศักย์ไฟฟ้าแก่พลาสมาของไทเทเนียม ทำให้อะตอมไทเทเนียมหลุดออกไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และจับตัวในตำแหน่งที่ต้องการ
3. วิธีการตกเคลือบด้วยไอเคมี (chemical vapor deposition: CVD) เป็นวิธีให้ความร้อนแก่ไทเทเนียมจนเกิดไอของไทเทเนียมเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นไทเทเนียมไดออกไซด์รวมตัวกันในตำแหน่งที่ต้องการ [7]

2.1.2 ไอรอน(II)ซัลเฟต (Iron(II)sulfate : FeSO₄)

ไอรอน(II)ซัลเฟต มีชื่อสามัญอื่น คือ เพอร์รัสซัลเฟต, กรดกำมะถันสีเขียว, กรดกำมะถันเหล็ก, Copperas, Melanterite, Szomolnokite มีสูตรโครงสร้างคือ FeSO₄ · xH₂O โดยปกติพบสารประกอบเหล่านี้ส่วนมากอยู่ในรูป heptahydrate (x=7) ซึ่งฟอร์ม hydrated สามารถใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ เช่น ใช้ในการรักษาโรคโลหิตจางและใช้รักษาภาวะขาดธาตุเหล็ก เป็นต้น ส่วนการใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การทำสีย้อมและกำจัดของเสียโดยทำให้เกิดการตกตะกอน เป็นต้น

คุณสมบัติของ FeSO₄ (ปราศจากน้ำ) มีมวลโมเลกุล คือ 151.91 กรัม/โมล มีลักษณะเป็นผลึกสีขาวมีจุดหลอมเหลว 680 องศาเซลเซียส (1,256 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 953 เคลวิน) มีความหนาแน่น 3.65 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, FeSO₄ (monohydrate) มีมวลโมเลกุล 169.93 กรัม/โมล มีลักษณะผลึกเป็นสีขาวเหลือง มีจุดหลอมเหลว 300 องศาเซลเซียส (572 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 573 เคลวิน) มีความหนาแน่น 3 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, FeSO₄ (pentahydrate) มีมวลโมเลกุล 241.99 กรัม/โมล มีความหนาแน่น 2.15 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, FeSO₄ (hexahydrate) มีมวลโมเลกุล 260.00 กรัม/โมล มีความหนาแน่น 1.934 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, FeSO₄ (heptahydrate) มีมวลโมเลกุล 278.02 กรัม/โมล มีลักษณะเป็นผลึกสีน้ำเงินเขียว มีจุดหลอมเหลว 60–64 องศาเซลเซียส (140–147 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 333–337 เคลวิน) มีความหนาแน่น 1.895 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร สมบัติการละลายน้ำของ Monohydrate จะละลายได้ 44.69 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (77 องศาเซลเซียส), 35.97 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (90.1 องศาเซลเซียส) การละลายน้ำของ Heptahydrate จะละลายได้ 15.65 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (0 องศาเซลเซียส), 20.5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (10 องศาเซลเซียส), 29.51 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (25 องศาเซลเซียส), 39.89 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (40.1 องศาเซลเซียส), 51.35 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (54 องศาเซลเซียส) [8]

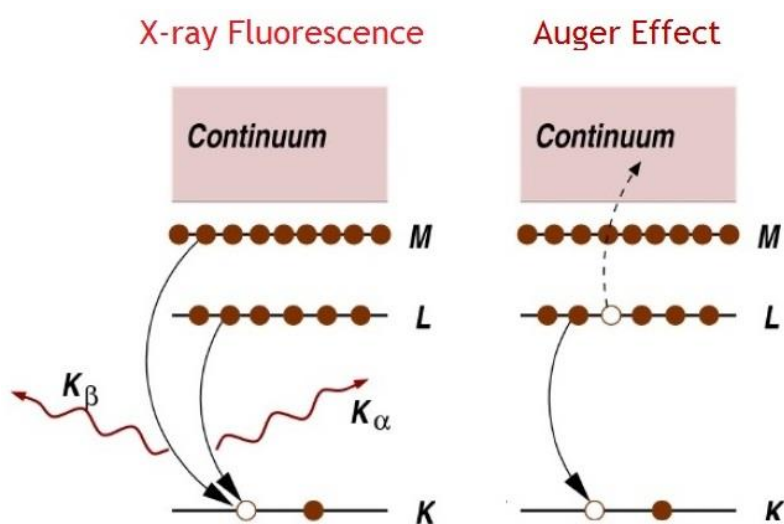
Iron(II) sulfates heptahydrate หรือ Ferrous sulphate heptahydrate เป็นโมเลกุลที่มีโครงสร้างเรขาคณิตแบบ octahedral และมีสมบัติทางแม่เหล็กแบบ paramagnetic การเกิด Ferrous sulphate สามารถเกิดได้จากปฏิกิริยาระหว่างธาตุเหล็กและกรดซัลฟิวริกเกิดเป็นเพอร์รัสซัลเฟตและก๊าซไฮโดรเจน (ปฏิกิริยา 1) หรือโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของไพไรต์ (ปฏิกิริยา 2)



2.2 เทคนิคและเครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์

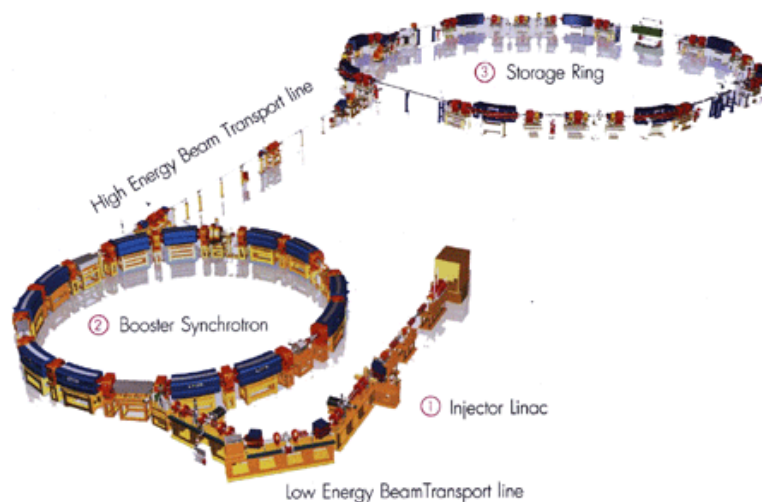
2.2.1 เทคนิคการดูดกลืนรังสีเอกซ์ (X-ray Absorption Spectroscopy)

เทคนิคการตรวจสอบคุณสมบัติของสาร โดยอาศัยการกระตุ้นอะตอมด้วยรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นเหมาะสม เมื่ออะตอมของสารตัวอย่างถูกกระตุ้น คลื่นพลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดการแกว่ง และเกิดปฏิกิริยากับสนามพันธะของอิเล็กตรอนภายในอะตอม ส่งผลให้อิเล็กตรอน เหล่านั้นได้รับพลังงานกระตุ้น และเคลื่อนย้ายตำแหน่ง โดยย้ายระดับพลังงานพร้อมๆกับการปลดปล่อยพลังงานในรูปของแสง



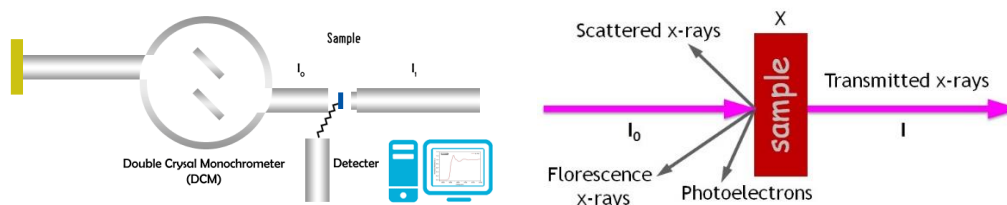
ภาพที่ 4 กลไกการดูดกลืนรังสีเอกซ์ ทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น

2.2.2 หลักการของเทคนิคซินโครตรอน (XANES)



ภาพที่ 5 กระบวนการทำงานของเครื่องซินโครตรอน

เทคนิค XANES คือ การฉายรังสีเอกซ์บนสารที่ต้องการศึกษาและวัดอัตราส่วนการดูดกลืนรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่างๆ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้บ่งบอกถึงโครงสร้างของสารตัวอย่างในระดับอะตอมได้ ระบบลำเลียงแสงและสถานีทดลองนี้สามารถทำงานได้ในช่วงพลังงานแสงซินโครตรอนย่านรังสีเอกซ์ตั้งแต่ 1,240 – 12,100 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) โดยใช้เครื่องคัดเลือกพลังงานแสงแบบผลึกคู่ (Double Crystal Monochromator หรือ DCM)

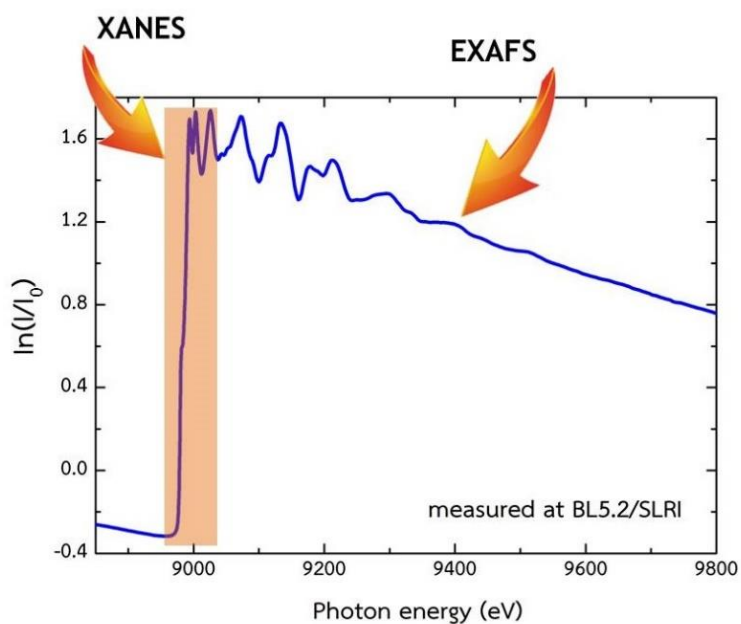


ภาพที่ 6 กระบวนการเกิดการดูดกลืนรังสีเอกซ์ เมื่อผ่านการคัดเลือกพลังงาน

ในการวัดแบบทะลุผ่าน (ภาพที่ 6) เราจะวัดการดูดกลืนรังสีเอกซ์จากความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ลดลงหลังจากที่เดินทางผ่านตัวอย่าง ความเข้มของรังสีก่อน (I_0) และหลังตัวอย่าง (I) มีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

โดยที่ตัวแปร μ และ x คือ สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนรังสีเอกซ์และความหนาของตัวอย่าง ตามลำดับ เราใช้สมการนี้ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีที่แต่ละพลังงานโฟตอน โดยในการทดลองเราจะปรับค่าพลังงานโฟตอนของรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องคัดเลือกพลังงานแสง (x-ray monochromator) เมื่อนำค่า $\mu(E)$ มาแสดงเป็นกราฟกับค่าพลังงานโฟตอน E เราจะได้สเปกตรัม XANES ของตัวอย่าง (ภาพที่ 7) [9]



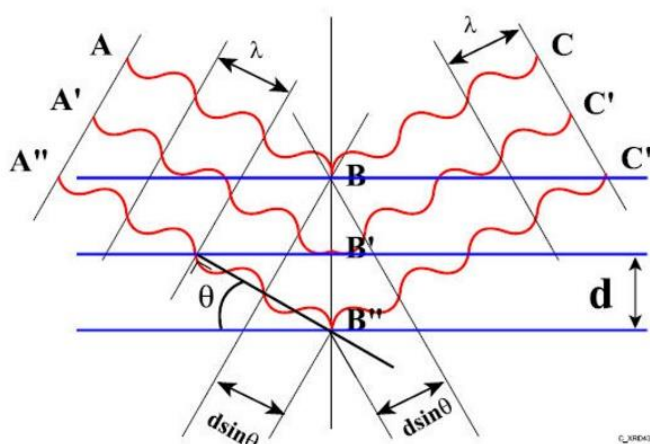
ภาพที่ 7 สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีเอกซ์ในชั้น K (K-edge absorption) ของอะตอมคอปเปอร์ (Cu metal)

2.2.3 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer : XRD)

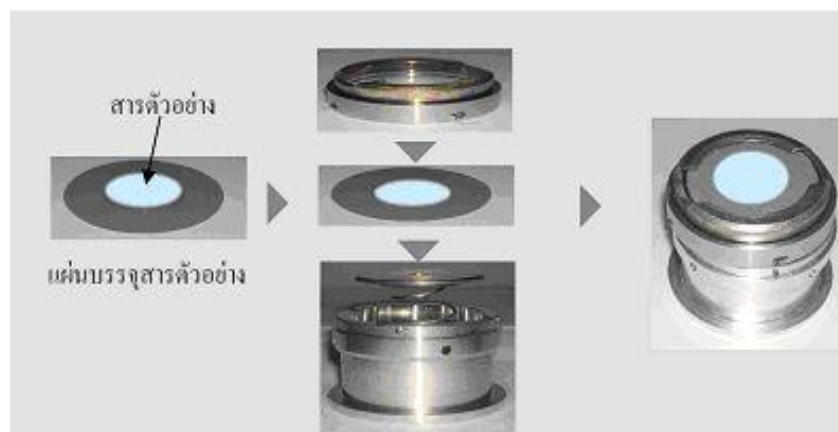


ภาพที่ 8 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer : XRD, Rigaku รุ่น MiniFlex600)

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์วัสดุขั้นพื้นฐาน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive analysis) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึก การจัดเรียงตัว ของอะตอมในโมเลกุลของสารประกอบต่าง ๆ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของ รังสีเอกซ์ และความรู้เกี่ยวกับวิธาระบบโครงสร้างผลึก เครื่องมือชนิดนี้มีความสำคัญมากในกระบวนการควบคุมคุณภาพ การผลิต ใช้สำหรับตรวจสอบสมบัติของวัสดุดิบและผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตตามขั้นตอนต่าง ๆ



ภาพที่ 9 หลักการของ Bragg's law หรือ $2d \sin \theta = n\lambda$ ในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์



ภาพที่ 10 การใส่สารตัวอย่างในภาชนะสำหรับใส่สารตัวอย่าง

สารตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของแข็งที่เป็นผงขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน (325 เมช) ปริมาณผงตัวอย่างที่เหมาะสมประมาณ 1-2 กรัม (หากตัวอย่างมีน้อย สามารถอัดบนแผ่นวางตัวอย่างแบบ zero background ได้) และอัดด้วยแรงกระทำสม่ำเสมอเท่ากันทุกทิศทาง บริเวณผิวหน้าของตัวอย่างต้องเรียบสม่ำเสมอ ตัวอย่างที่ดีต้องมีการจัดเรียงตัวของผลึกอย่างอิสระ (random orientation) หากตัวอย่างเป็นก้อน ต้องตัดและขัดหน้าตัวอย่างให้เรียบ ขนาดก้อนตัวอย่างประมาณ 10 x 10 เซนติเมตร การเตรียมตัวอย่าง ที่ดีมีผลมากต่อผลการวิเคราะห์ เช่น หากบดตัวอย่างละเอียดเกินไปจะทำให้ลายโครงสร้างผลึกหรือหากใช้แรงอัดตัวอย่างมากเกินไปจะทำให้เกิด Preferred Orientation ขึ้นได้

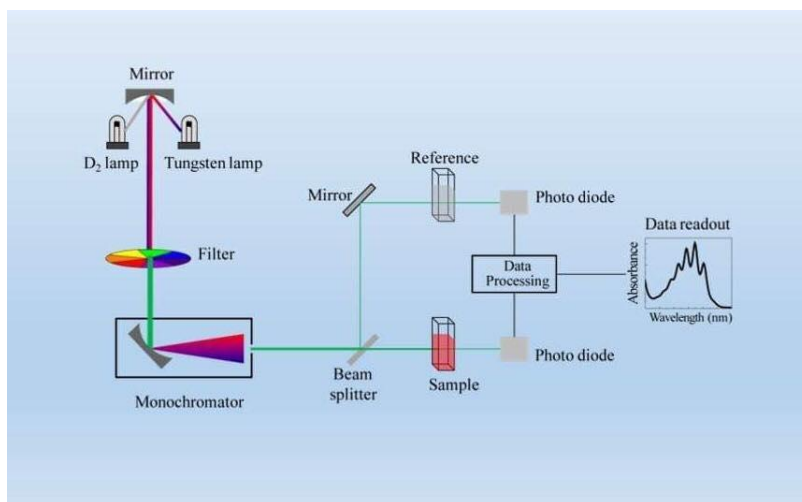
XRD มีประโยชน์มากในอุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องควบคุมคุณภาพ (quality control) เช่น อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เป็นที่ทราบกัน โดยทั่วไปว่า การผลิตปูนซีเมนต์เป็นสาเหตุของการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ผู้ผลิตปูนซีเมนต์จึงเติมวัตถุดิบอื่นเพื่อลดการใช้ปูนเม็ด เช่น ถ้ำลอย อย่างไร ก็ตามการผสมวัตถุดิบอื่นเมื่อนำไปเผาจะมีผลทำให้ปูนซีเมนต์ที่ได้มีโครงสร้างผลึกที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผลต่อสมบัติการนำไปใช้งาน เช่น ความแข็งแรง ลดลง การแข็งตัวของปูนช้าลง ผู้ผลิตจึงต้องใช้เทคนิค XRD วิเคราะห์ องค์ประกอบของปูนเพื่อรักษาโครงสร้างผลึกให้สม่ำเสมอ [10]

2.2.4 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)



ภาพที่ 11 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer, Jasco รุ่น V-530)

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ใน ตัวอย่างเมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง(absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้



ภาพที่ 12 หลักการทำงานของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

- แหล่งกำเนิดแสง (light source)

แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอด้วย แหล่งกำเนิดแสง มีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา ซึ่งต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าดูดกลืนแสง

ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสง ช่วง UV ใช้หลอด H₂ and D₂ lamp ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160–380 nm ชนิดของสเปกโทรสโกปี UV molecular absorption และช่วง visible ใช้หลอด Tungsten/halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240–2,500 นาโนเมตร ชนิดของสเปกโทรสโกปีเป็นแบบ UV/visible/near-IR molecular absorption

- Wavelength selector, Monochromator

ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียว ใช้ฟิลเตอร์(กระจกสี) ปริซึม (prism) หรือ เกรตติ้ง (grating)

- เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง (Cell หรือ Cuvette)

เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (cell sample) บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวทท์ (cuvettes) รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาถูกดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอร์ตซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

- ตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector)

ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง คือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย ก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ เครื่องวัดแสงที่ยังนิยมกันอยู่ในปัจจุบัน คือ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube, PMT) และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (silicon diode detector)

- บันทึกและแปรผลสัญญาณ (recorder and processor)

ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ และแปรผลสัญญาณให้ออกมาในมาตราส่วนแบบล็อก

[11]

2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

จากการค้นคว้าฐานข้อมูลของการศึกษาและการสังเคราะห์สารดูดซับชนิดต่าง ๆ พบข้อมูลการสังเคราะห์สารดูดซับที่นำไปใช้ประโยชน์ในด้านการกำจัดสารอันตรายที่ปนเปื้อนในธรรมชาติ เพื่อนำมาพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังงานวิจัยต่อไปนี้

ในปี พ.ศ. 2554 Mitch D'Arcy และคณะได้ทำการศึกษาวิธีการสังเคราะห์อย่างง่าย ๆ ใช้ต้นทุนที่ประหยัดและประเมินประสิทธิภาพการดูดซับของออกไซด์ผสมที่ได้จาก TiO_2 และ Fe_2O_3 ในช่วงค่า pH 5 และ 9 ซึ่งได้รับการยอมรับว่าเป็นสารดูดซับอาร์เซนิตและฟอสเฟตที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า TiO_2 ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายพร้อมกันให้สัญญาณที่ดีสำหรับการกำจัดสารหนูจากน้ำใต้ดิน [12]

ในปี พ.ศ. 2554 Wenshu Tang และคณะได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนอัลตราฟีนเหล็กออกไซด์ (α -Fe₂O₃) โดยกระบวนการทางความร้อนของตัวทำละลายและใช้ในการกำจัดอาร์เซนิกไอออนจากตัวอย่างน้ำที่เตรียมในห้องปฏิบัติการและตัวอย่างน้ำธรรมชาติ อนุภาคนาโน α -Fe₂O₃ ที่สังเคราะห์ได้สันนิษฐานว่ามีรูปร่างใกล้เคียงกับขนาดเฉลี่ยประมาณ 5 นาโนเมตร โครงสร้างมีรูพรุนสูงและมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงประมาณ 162 m²/g ในขณะที่พื้นผิวถูกปกคลุมด้วยกลุ่มไฮดรอกซิล ผลการทดลองการดูดซับของสารหนูแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดทั้ง As (III) และ As (V) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเข้มข้นของสารหนูที่สภาวะสมดุลต่ำ ในช่วง pH ที่ใกล้เคียงกับค่าที่เป็นกลางมีความสามารถในการดูดซับ As (III) และ As (V) จากตัวอย่างพบว่าไม่น้อยกว่า 95 mg/g และ 47 mg/g ตามลำดับ [13]

ในปี พ.ศ. 2555 Ju-Young Park และคณะได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการเติม Fe ต่อการเปลี่ยนแปลงและการพัฒนาผลึกของเส้นใยนาโนอิเล็กโตรสปิน TiO₂ สำหรับปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติก เส้นใยนาโนถูกประดิษฐ์โดยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิ่งโดยใช้ poly(vinylpyrrolidone) และ titanium isopropoxide เป็นสารตั้งต้น เมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้นขนาดผลึกของเส้นใยนาโน TiO₂ จะเพิ่มสูงขึ้น ผลึกเส้นใยนาโน TiO₂ ที่เจือด้วย Fe นั้นมีขนาดใหญ่กว่าผลึกเส้นใยนาโน TiO₂ บริสุทธิ์เนื่องจาก Fe ส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงแล้วยังเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงและส่งผลต่อการพัฒนาของผลึก anatase และจากการศึกษายังพบว่าเส้นใยนาโน TiO₂ ที่เจือด้วย Fe นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าเส้นใยนาโน TiO₂ บริสุทธิ์สำหรับการสลายตัวโฟโตแคตาไลติกของ methylene blue อัตราการสลายโฟโตแคตาไลติกได้จากสมการ pseudo first-order มีค่าคงที่อัตราของเส้นใยนาโน TiO₂ บริสุทธิ์และเส้นใยนาโน TiO₂ ที่เจือด้วย Fe 0.5% เป็น 0.276 และ 0.570 ตามลำดับ [14]

ในปี พ.ศ. 2555 Sen Lin และคณะได้ทำการศึกษาการจัดการปนเปื้อนสารหนูด้วยอนุภาคนาโน γ -Fe₂O₃ ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่สังเคราะห์โดยวิธีการตกตะกอนร่วมที่อุณหภูมิห้องได้ถูกนำมาใช้เพื่อกำจัด As (III) และ As (V) จากสารละลายที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ การดูดซับของ As (III) หรือ As (V) พบว่าอิมัลชันภายใน 30 นาทีและได้รับการยืนยันในรูปแบบไอโซเทอมการดูดซับของ Langmuir ที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีความสามารถในการดูดซับ As (III) สูงถึง 59.25, 67.02 และ 74.83 mg/g ที่อุณหภูมิ 10, 30 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วน As (V) มีความสามารถในการดูดซับคือ 88.44, 95.37 และ 105.25 mg/g ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ทดสอบผลกระทบของ pH และไอออนที่มีต่อการดูดซับของอาร์เซนิตและอาร์เซเนตพบว่า

ความสามารถในการดูดซับยังคงไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงของค่า pH 3 ถึง 11 ส่วนไอออน Cl^- , SO_4^{2-} และ NO_3^- ไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ อย่างไรก็ตาม PO_4^{3-} ซึ่งมีโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ภายนอกคล้ายคลึงกันกับสารหนูทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR และ XPS สรุปได้ว่าสารเคมีที่จับกับ OH บนพื้นผิวดูดซับมีความสามารถในการดูดซับ As (III) และ As (V) [15]

ในปี พ.ศ. 2558 Ivan Andjelkovic และคณะได้ทำการสังเคราะห์ตัวดูดซับ TiO_2 และ TiO_2 ที่ถูกเจือด้วยเซอร์โคเนียมด้วยวิธีไมโครเวฟ-ไฮโดรเทอร์มอลซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก, รวดเร็ว และใช้ตัวดูดซับสำหรับกำจัด As (III) และ As (V) จากสารละลายที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวและขนาดของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้โดยใช้เทคนิค BET และ XRD การทดลองแสดงให้เห็นว่า TiO_2 ที่เจือด้วย 10% ของ Zr โดยใช้วิธีไมโครเวฟ-ไฮโดรเทอร์มอลมีพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนโดยรวมมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ TiO_2 ที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีเดียวกัน นอกจากนี้ตัวดูดซับ TiO_2 ที่ถูกเจือด้วย Zr ยังมีประสิทธิภาพในการกำจัด As (III) และ As (V) ที่เพิ่มขึ้นด้วยและยังมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อทดสอบจลนศาสตร์ของการดูดซับ, อิทธิพลของค่า pH และผลกระทบของประจุลบทั่วไปที่มีอยู่ในน้ำธรรมชาติ [16]

ในปี พ.ศ. 2559 Zhigang Wei และคณะได้ทำการศึกษาผลของค่า pH ต่อการดูดซับสารหนูชนิด As (III) และ As (V) ที่บริเวณผิวหน้า (1 0 1) ของ TiO_2 ชนิด anatase ซึ่ง Octahedral TiO_2 nanocrystals (OTNs) ถูกเตรียมขึ้นโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลจากพื้นผิวของ (1 0 1) จากการทดสอบพฤติกรรมดูดซับสารหนูของ OTNs ในช่วงค่า pH ตั้งแต่ 1.0 ถึง 13.5 พบว่ามีการดูดซับ As (III) และ As (V) สูงสุดที่ค่า pH เท่ากับ 8 และ 4 ตามลำดับ และพบว่าการดูดซับของ As (III) และ As (V) ต่ำสุดที่ค่า pH 12 จากนั้นค่าการดูดซับจะเพิ่มขึ้นที่ค่า pH ที่สูงขึ้นคือ 13.0 และ 13.5 และการดูดซับจะถูกลบยับยั้งโดยเฉพาะที่ค่า pH สูงมาก ๆ เทคนิค density functional theory (DFT) ถูกนำมาใช้เสนอเป็นแบบจำลองการดูดซับของ As (III) และ As (V) เนื่องจากแบบจำลองของพื้นผิว (1 0 1) TiO_2 ชนิด anatase ซึ่งบางพื้นผิวมีไอออนบวก H^+ บางโมเลกุลของน้ำ หรือ OH^- ในการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับเชิงคุณภาพของชนิดสารหนูต่าง ๆ , น้ำ และ OH^- พบว่าไอออนลบที่ค่า pH 8 H_2AsO_3^- ควรเป็นสารหนูชนิด As (III) ที่ค่า pH 4 H_2AsO_4^- ควรเป็นสารหนูชนิด As (V) และพบไอออนลบสูงที่สุดคือ AsO_3^{3-} และ AsO_4^{3-} สอดคล้องกันกับการดูดซับที่ค่า pH สูงคือ 13.0 และ 13.5 [17]

ในปี พ.ศ. 2560 Yubao Wang และคณะได้ทำการสังเคราะห์วัสดุรูพรุนนาโนที่ได้จาก TiO_2 และ SiO_2 ที่ทนความร้อนสูงผ่านวิธีการทำให้เป็นไอรวมกับการไหลย้อนกลับของเอทิลีนไดเอมีนและหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ตัวอย่างที่ได้แสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชัน, โฟโตแคตาไลติกและการดูดซับการปนเปื้อนของสารหนูที่ค่า pH ต่าง ๆ โดยเฉพาะการนำ SiO_2 ไปปรับปรุงการดูดซับของ As (III) และยับยั้งการเปลี่ยนเฟสคริสตัลของ TiO_2 จาก anatase เป็น rutile ที่อุณหภูมิการเผาสูงซึ่งมีส่วนทำให้ความสามารถโฟโตแคตาไลติกของ TiO_2 สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของ As (III) และ As (V) นอกจากนี้หลังจากนำกลับมาใช้ใหม่สิบครั้งตัวอย่างยังคงประสิทธิภาพโฟโตแคตาไลติกและการดูดซับที่ดี [18]

ในปี พ.ศ. 2561 Xing Peng และคณะได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SBA-15}$ แบบชั้นตอนเดียวและปราศจากกรดสำหรับปรับปรุงการกำจัดสารหนูจากน้ำใต้ดินให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยใช้ไตรบลิคโคพอลิเมอร์ pluronic P123 มีการวิเคราะห์ลักษณะของวัสดุที่สังเคราะห์ได้โดยใช้เทคนิค X-ray diffraction (XRD), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) และ Transmission electron microscopy (TEM) ตรวจสอบคุณสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุที่สังเคราะห์ได้โดยใช้เทคนิค Vibrating sample magnetometer (VSM) การทดลองการดูดซับแบบเป็นชุดแสดงให้เห็นว่าค่า pH ต่ำจะมีประสิทธิภาพที่ดีต่อการกำจัดสารหนู การมีอยู่ของ NO_3^- และ SO_4^{2-} ไม่มีผลต่อการดูดซับของสารหนูอย่างไรก็ตามการมีอยู่ของ H_2PO_4^- และ SiO_3^{2-} พบว่ามีผลกระทบในทางลบต่อการกำจัดสารหนู [19]

จากรายงานวิจัย สังเกตได้ว่าการสังเคราะห์สารดูดซับชนิดต่าง ๆ เป็นที่น่าสนใจอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นชนิดและคุณสมบัติที่ต่างกันของสารที่นำมาสังเคราะห์เป็นสารดูดซับหรือวิธีการในการสังเคราะห์ โดยสังเกตได้จากการตีพิมพ์วารสารโดยนักวิจัยออกมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะมีการศึกษาที่หลายหลากด้าน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การวิจัย

3.1.1 สารมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์

- Titanium dioxide (TiO_2) commercial grade
- Iron(II)sulfate (FeSO_4) Heptahydrate Grade AR

3.1.2 สารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์

- Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) (Absolute Denatured) Grade AR 99.9 %
- Nitric acid (HNO_3) (Meet A.C.S Specifications) Grade AR 65 %
- Deionized water

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

- บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 25,100,250 มิลลิลิตร ยี่ห้อ ISOLAB
- ขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Witeg
- กระจกตวง (Cylinder) ขนาด 50 มิลลิลิตร ยี่ห้อ BOMEX
- หลอดหยด (Dropper) + จุกยาง
- แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod) ขนาด 10 เซนติเมตร
- ช้อนตักสาร (Spatula stainless) ขนาด 13 เซนติเมตร
- ปิเปตแบบตวง (Graduate pipette) ขนาด 10 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Witeg
- ขวดน้ำกลั่น (Plastic wash bottle) ขนาด 250 มิลลิลิตร ยี่ห้อ ISOLAB
- กระจกนาฬิกา (watch glass)
- โกร่งบดสาร (Mortar)
- ขวดทนความร้อน (Crusible)
- ที่คีบทนความร้อน (Crusible tong)
- คิวเวทท์ (Cuvette) ยี่ห้อ Hellma

- Magnetic stirrer
- พาราฟิล์ม (Parafilm)
- ถุงมือ
- เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- เครื่อง Ultrasonic Bath
- เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)
- เตาเผาไฟฟ้า (Furnace)
- เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer ,
Jasco รุ่น V-530)
- เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer : XRD, Rigaku
รุ่น MiniFlex600)

3.2 การเตรียมสารตัวอย่างในการวิเคราะห์

3.2.1 การเตรียมสารตัวอย่าง TiO₂ mineral

- ชั่งน้ำหนัก TiO₂ 3.0002 กรัม สำหรับการนำไปวิเคราะห์ด้วย XRD

3.2.2 การเตรียมสารตัวอย่าง TiO₂ calcine

- ชั่งน้ำหนัก TiO₂ 3.0005 กรัม ลงใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร
- จากนั้นนำ TiO₂ ที่ชั่งได้ใส่ลงใน Crucible แล้วนำไปอบด้วยเครื่อง Furnace
ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- เก็บตะกอนที่ได้ลงในขวดพลาสติก

3.2.3 การเตรียมสารตัวอย่าง TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic clay

- ชั่งน้ำหนัก TiO₂ 3.0000 กรัม ลงใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร
- ชั่งน้ำหนัก Fe₂O₃ 3.0002 กรัม ลงใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วทำ
การละลายด้วย Ethanol : Deionized water (1:1) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร
- นำ TiO₂ 3.0000 กรัม และ Fe₂O₃ ที่ทำการละลายและปรับปริมาตรเสร็จ
แล้ว มาผสมให้เข้ากัน

- นำมาคนให้เข้ากันด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
- เมื่อครบ 30 นาที นำไป Ultra-sonicate อีกเป็นเวลา 30 นาที
- เมื่อครบเวลา 30 นาที จะเกิดตะกอนเกิดขึ้น ให้ใช้ Dropper คูดน้ำส่วนที่ใส ออก ให้เหลือแต่ตะกอน
- ตั้งทิ้งไว้ในที่ร่มจนแห้ง จนได้ตะกอนที่แห้งสนิท
- บดตะกอนให้ละเอียดด้วยโกร่งบดสาร และเก็บตะกอนที่ได้ลงในขวดพลาสติก

3.2.4 การเตรียมสารตัวอย่าง $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic semi-crystal

- ชั่งน้ำหนัก TiO_2 3.0005 กรัม ลงใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร
- ชั่งน้ำหนัก Fe_2O_3 3.0003 กรัม ลงใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วทำการละลายด้วย Ethanol : Deionized water (1:1) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร
- นำ TiO_2 3.0005 กรัม และ Fe_2O_3 ที่ทำการละลายและปรับปริมาตรเสร็จแล้ว มาผสมให้เข้ากัน
- นำมาคนให้เข้ากันด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
- เมื่อครบ 30 นาที นำไป Ultra-sonicate อีกเป็นเวลา 30 นาที
- เมื่อครบเวลา 30 นาที จะเกิดตะกอนเกิดขึ้น ให้ใช้ Dropper คูดน้ำส่วนที่ใส ออก ให้เหลือแต่ตะกอน
- จากนั้นนำส่วนที่เหลือไปให้ความร้อนด้วย hot plate จนตะกอนแห้งสนิท
- บดตะกอนให้ละเอียดด้วยโกร่งบดสาร และเก็บตะกอนที่ได้ลงในขวดพลาสติก

3.2.5 การเตรียมสารตัวอย่าง $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal

- ชั่งน้ำหนัก TiO_2 3.0008 กรัม ลงใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร
- ชั่งน้ำหนัก Fe_2O_3 3.0003 กรัม ลงใน Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วทำการละลายด้วย Ethanol : Deionized water (1:1) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร
- นำ TiO_2 3.0008 กรัม และ Fe_2O_3 ที่ทำการละลายและปรับปริมาตรเสร็จแล้ว มาผสมให้เข้ากัน

- นำมาคนให้เข้ากันด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
- เมื่อครบ 30 นาที นำไป Ultra-sonicate อีกเป็นเวลา 30 นาที
- เมื่อครบเวลา 30 นาที จะเกิดตะกอนเกิดขึ้น ให้ใช้ Dropper คูดน้ำส่วนที่ใส ออก ให้เหลือแต่ตะกอน
- จากนั้นนำตะกอนที่ได้ใส่ลงใน Crucible แล้วนำไปอบด้วยเครื่อง Furnace ที่ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จนตะกอนแห้งสนิท
- บดตะกอนให้ละเอียดด้วยโกร่งบดสาร และเก็บตะกอนที่ได้ลงในขวด พลาสติก

3.3 การเตรียมสารตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์หาช่วงค่าการดูดกลืนแสงของ bimetallic composites



ภาพที่ 13 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer, Jasco รุ่น V-530)

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาช่วงค่าการดูดกลืนแสงของ bimetallic composites

- เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)
- คิวเวทท์ (Cuvette) ยี่ห้อ Hellma
- ขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Witeg
- ขวดน้ำกลั่น (Plastic wash bottle)

3.3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานในการวิเคราะห์

TiO₂ mineral, TiO₂ calcine, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic clay, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic semi-crystal, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic crystal ในการวิเคราะห์โดยใช้ Deionized water และ Nitric acid (HNO₃) ที่ความเข้มข้นต่างกันเป็นตัวทำละลาย

- เตรียมโดยใช้ Deionized water เป็นตัวทำละลาย

ซึ่ง TiO₂ mineral, TiO₂ calcine, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic clay, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic semi-crystal, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic crystal ที่น้ำหนัก 0.0025, 0.0050, 0.0075, 0.0100, 0.0125 กรัมต่อ Deionized water 25 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน (1:1), (2:1), (3:1), (4:1), (5:1) ตามลำดับ

- เตรียมโดยใช้ Nitric acid (HNO₃) เป็นตัวทำละลาย

ซึ่ง TiO₂ mineral, TiO₂ calcine, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic clay, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic semi-crystal, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic crystal ที่น้ำหนัก 0.0025, 0.0050, 0.0075, 0.0100, 0.0125 กรัมต่อ Nitric acid (HNO₃) ความเข้มข้น 0.1 โมล ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน (1:1), (2:1), (3:1), (4:1), (5:1) ตามลำดับ

3.4 การเตรียมสารมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์โดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer : XRD)



ภาพที่ 14 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer : XRD, Rigaku รุ่น MiniFlex600)

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์

- แผ่นบรรจุสารตัวอย่าง
- โกร่งบดสาร (Morta)

3.4.2 เตรียมสารมาตรฐานในการวิเคราะห์

TiO₂ mineral, TiO₂ calcine, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic clay, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic semi-crystal, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic crystal ที่บดละเอียดก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์

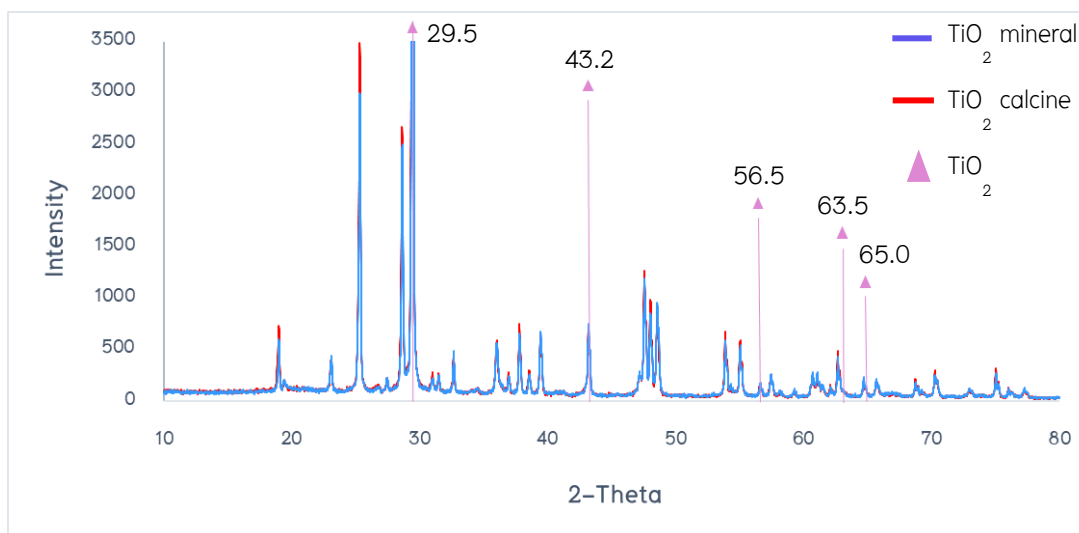
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

4.1 รายงานผลการศึกษาคูณลักษณะของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites โดยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

จากการสังเคราะห์ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites ที่เตรียมโดยการผสม TiO_2 และ FeSO_4 โดยใช้วิธีการตกตะกอนร่วม และการใช้คลื่น Ultrasonic ในการให้ TiO_2 และ Fe_2O_3 ทำปฏิกิริยาและสามารถตกตะกอนด้วยกันได้ โดยสามารถดูได้จากรูปแบบ X-ray diffraction (XRD) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) สามารถใช้ในการยืนยันวิธีการในการสังเคราะห์ได้ดังนี้

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ TiO_2 mineral และ TiO_2 calcine

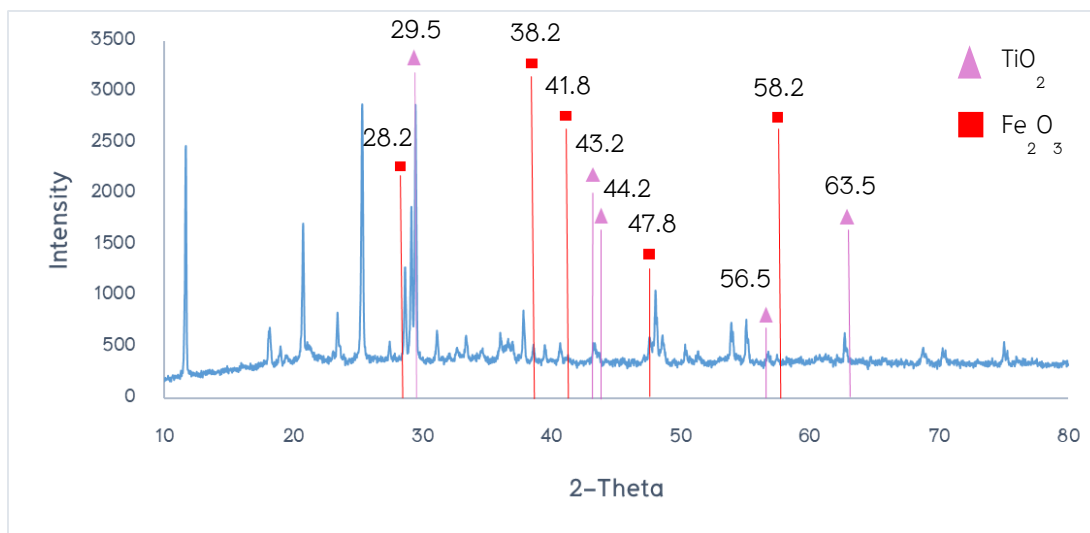


ภาพที่ 15 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ TiO_2 mineral และ TiO_2 calcine

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ TiO_2 mineral และ TiO_2 calcine ปรากฏรูปแบบสัญญาณ XRD ที่เหมือนกันทั้งหมด และพบสัญญาณที่แสดงถึง TiO_2 anatase ที่ตำแหน่ง $2\theta = 29.5^\circ, 43.2^\circ, 56.5^\circ, 63.5^\circ, 65.0^\circ$

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$

bimetallic clay

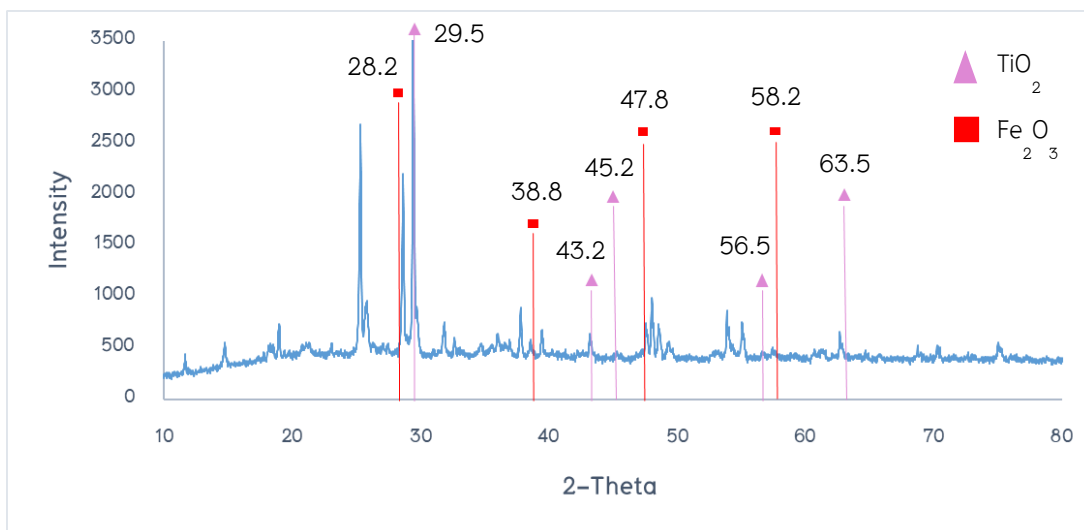


ภาพที่ 16 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic clay

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic clay พบสัญญาณที่แสดงถึง TiO_2 anatase ที่ตำแหน่ง $2\theta = 29.5^\circ, 43.2^\circ, 44.2^\circ, 56.5^\circ, 63.5^\circ$ และพบสัญญาณที่แสดงถึง Fe_2O_3 ที่ตำแหน่ง $2\theta = 28.2^\circ, 38.2^\circ, 41.8^\circ, 47.8^\circ, 58.2^\circ$

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$

bimetallic semi-crystal

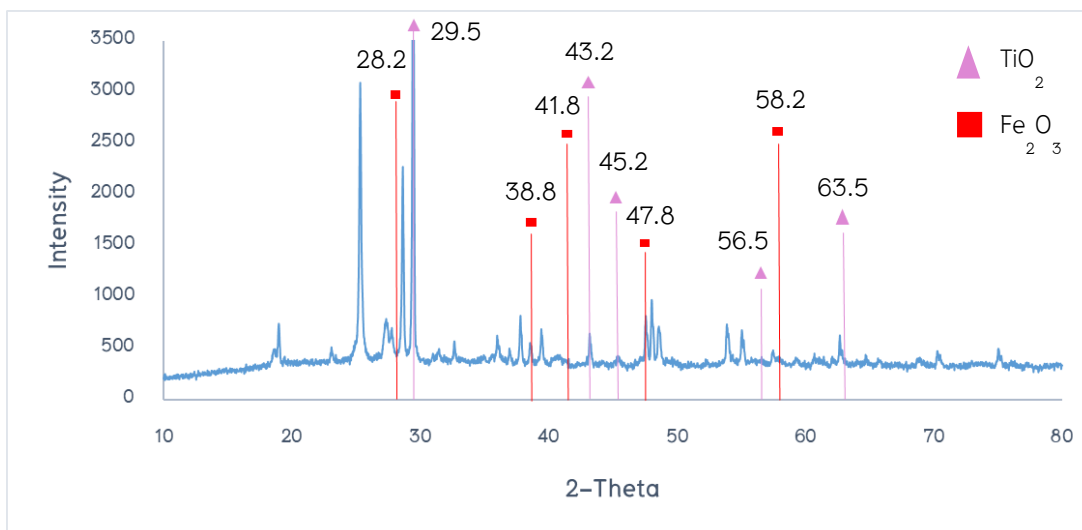


ภาพที่ 17 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic semi-crystal

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic semi-crystal พบสัญญาณที่แสดงถึง TiO_2 anatase ที่ตำแหน่ง $2\theta = 29.5^\circ, 43.2^\circ, 45.2^\circ, 56.5^\circ, 63.5^\circ$ และพบสัญญาณที่แสดงถึง Fe_2O_3 ที่ตำแหน่ง $2\theta = 28.2^\circ, 38.8^\circ, 47.8^\circ, 58.2^\circ$

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$

bimetallic crystal



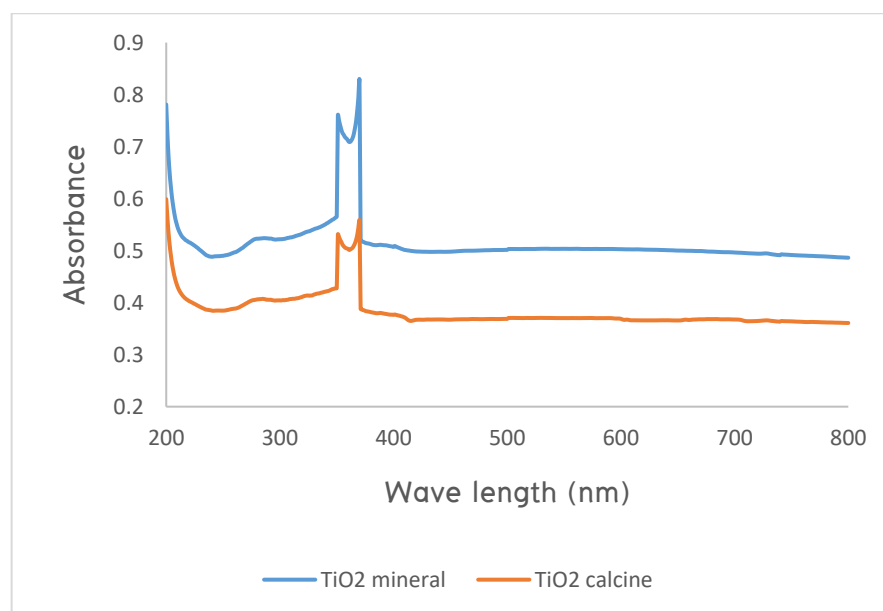
ภาพที่ 18 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal พบว่ามีสัญญาณของสารรบกวนน้อยที่สุด และปรากฏสัญญาณที่แสดงถึง TiO_2 anatase ที่ตำแหน่ง $2\theta = 29.5^\circ$, 43.2° , 45.2° , 56.5° , 63.5° และพบสัญญาณที่แสดงถึง Fe_2O_3 ที่ตำแหน่ง $2\theta = 28.2^\circ$, 38.8° , 41.8° , 47.8° , 58.2°

4.2 รายงานผลการศึกษาช่วงการดูดกลืนแสงของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites โดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

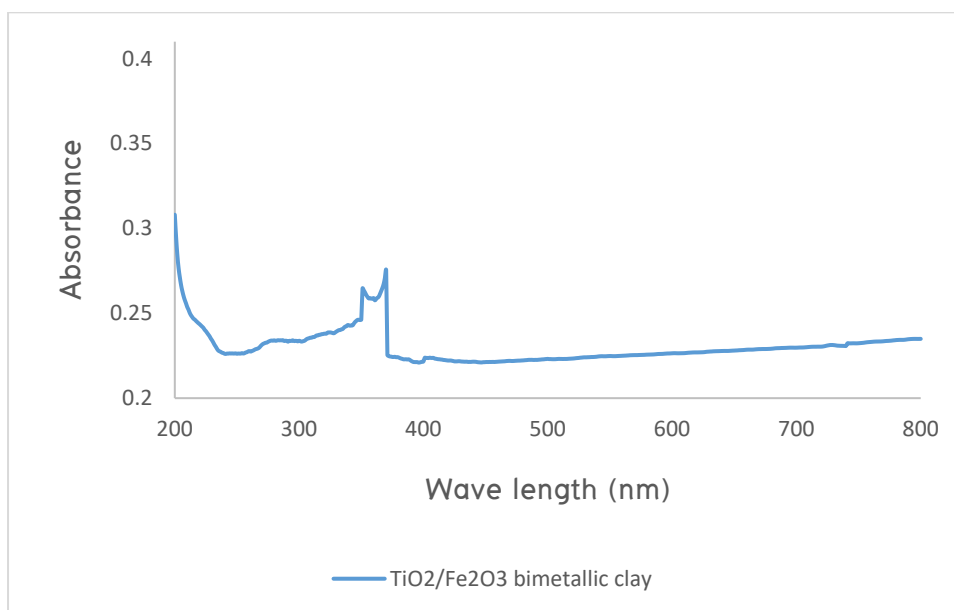
ในการสังเคราะห์ bimetallic composites จะเตรียมได้โดยการผสมกันระหว่าง TiO_2 และ Fe_2O_3 โดยใช้วิธีการในการตกตะกอนร่วม ที่ทำการ Ultrasonic ซึ่งจะช่วยให้ TiO_2 และ Fe_2O_3 ทำปฏิกิริยากันและได้ตะกอนออกมา จากนั้นจึงนำมาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยการใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี และพบว่ามีการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 200–400 นาโนเมตร

4.2.1 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO_2 mineral และ TiO_2 calcine ในตัวทำละลาย DI



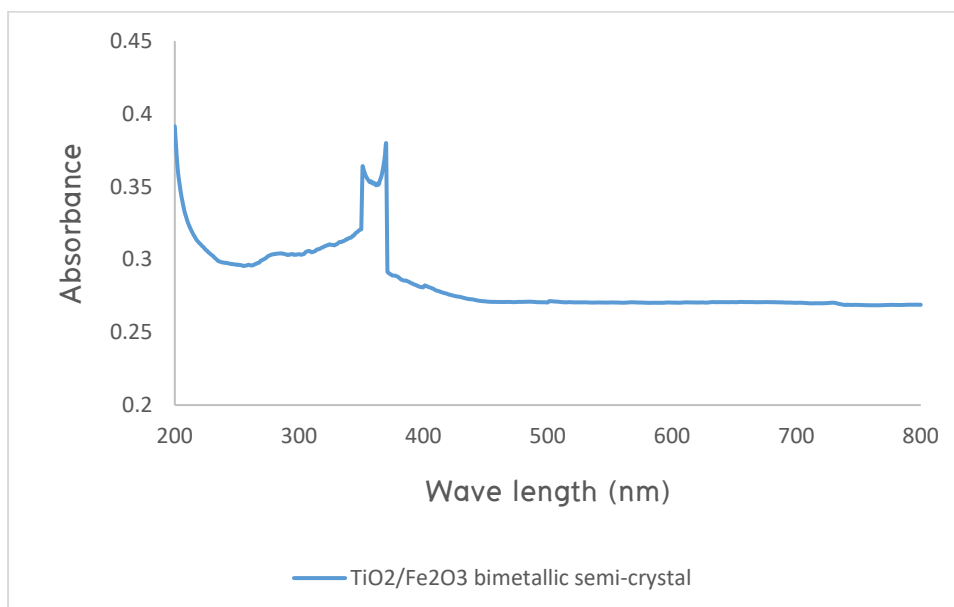
ภาพที่ 19 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO_2 mineral และ TiO_2 calcine

4.2.2 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic clay ในตัวทำละลาย DI



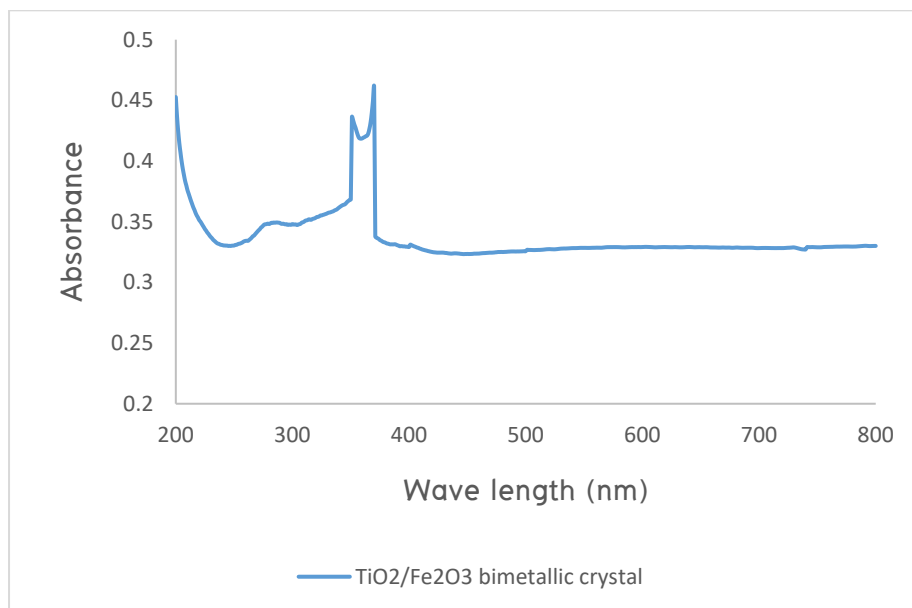
ภาพที่ 20 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic clay

4.2.3 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic semi-crystal ในตัวทำละลาย DI



ภาพที่ 21 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic semi-crystal

4.2.4 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic crystal ในตัวทำละลาย DI

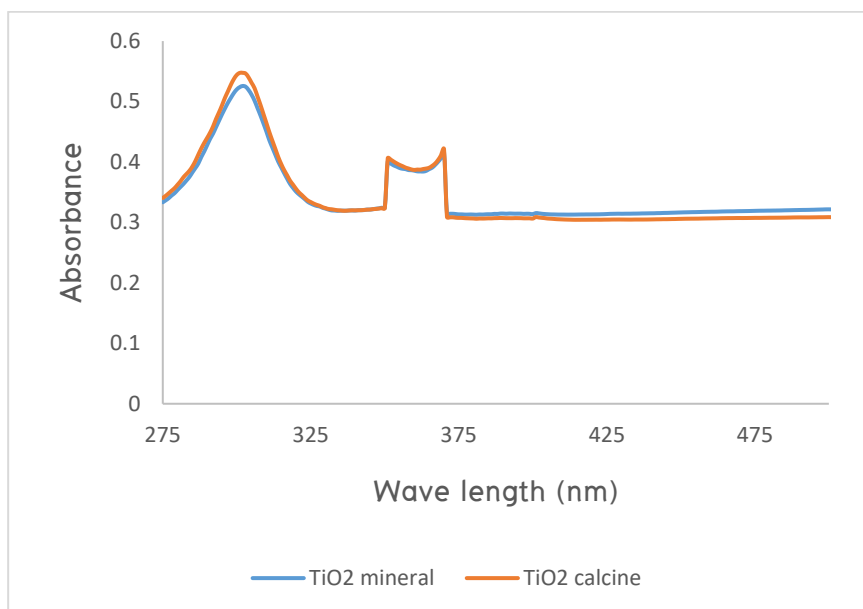


ภาพที่ 22 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic crystal

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ของ TiO₂ mineral, TiO₂ calcine, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic clay, TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic semi-crystal และ TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic crystal ที่ละลายในตัวทำละลายน้ำ DI ปรากฏสัญญาณที่มีลักษณะของพีคที่คล้ายกันทั้งหมดซึ่งอาจมีผลมาจากตัวทำละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์ และพบว่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 200–400 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นของแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 370 นาโนเมตร (ภาพที่ 19, 20, 21, 22) ดังนั้นวัสดุที่สังเคราะห์มีแนวโน้มที่สามารถนำไปใช้ในปฏิกิริยาทางแสงในช่วงคลื่นของแสงอัลตราไวโอเล็ตได้

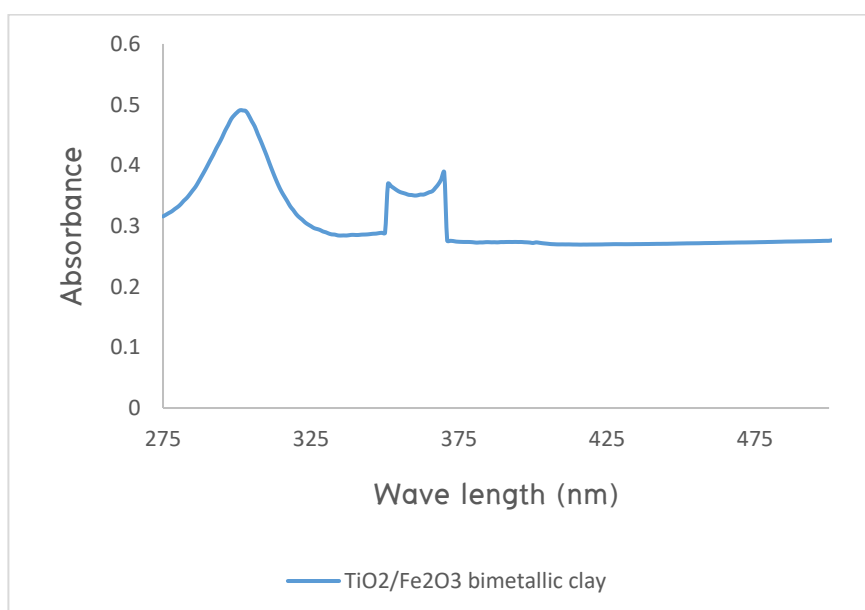
4.2.5 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO₂ mineral และ TiO₂ calcine ในตัวทำละลาย

HNO₃



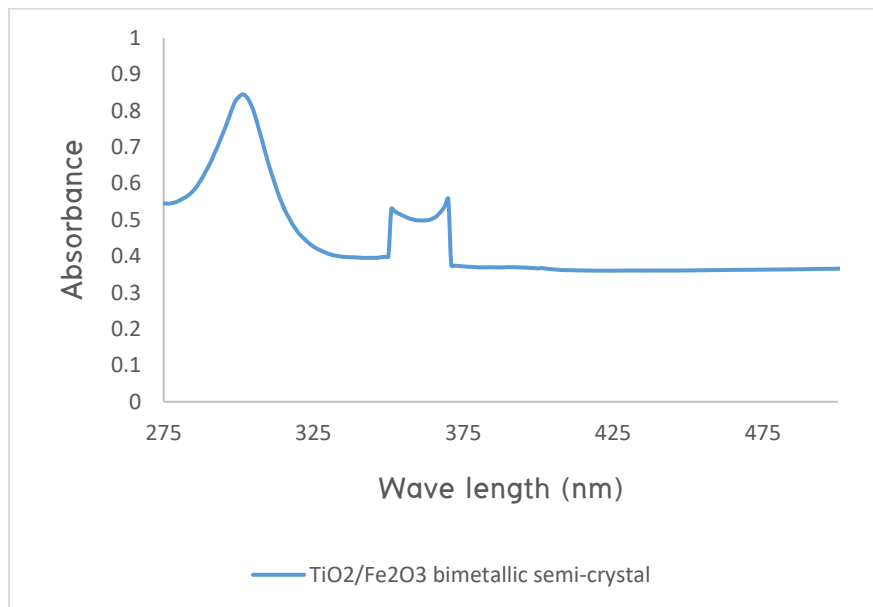
ภาพที่ 23 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO₂ mineral และ TiO₂ calcine

4.2.6 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic clay ในตัวทำละลาย HNO₃



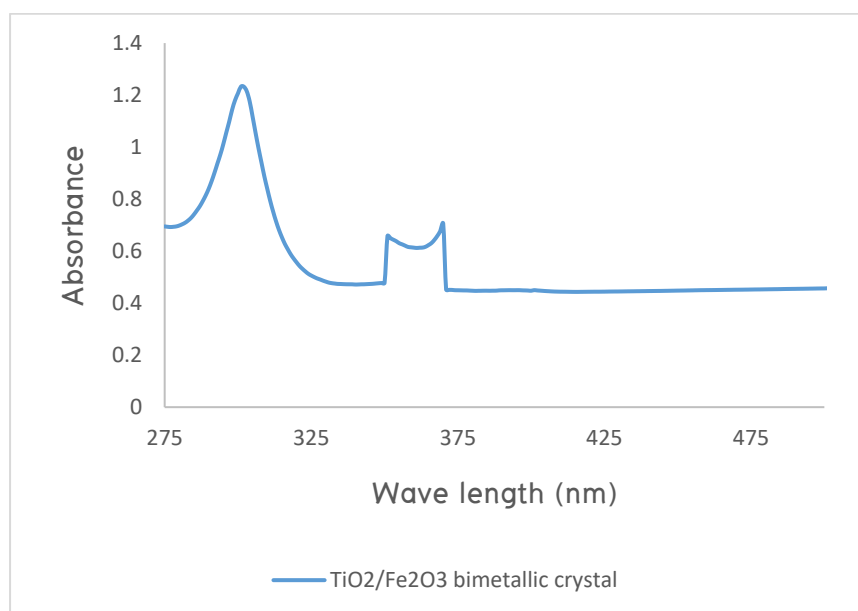
ภาพที่ 24 ผลการดูดกลืนแสงของ TiO₂/Fe₂O₃ bimetallic clay

4.2.7 ผลการดูดกลืนแสงของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic semi-crystal ในตัว
ทำละลาย HNO_3



ภาพที่ 25 ผลการดูดกลืนแสงของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic semi-crystal

4.2.8 ผลการดูดกลืนแสงของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal ในตัวทำละลาย
 HNO_3



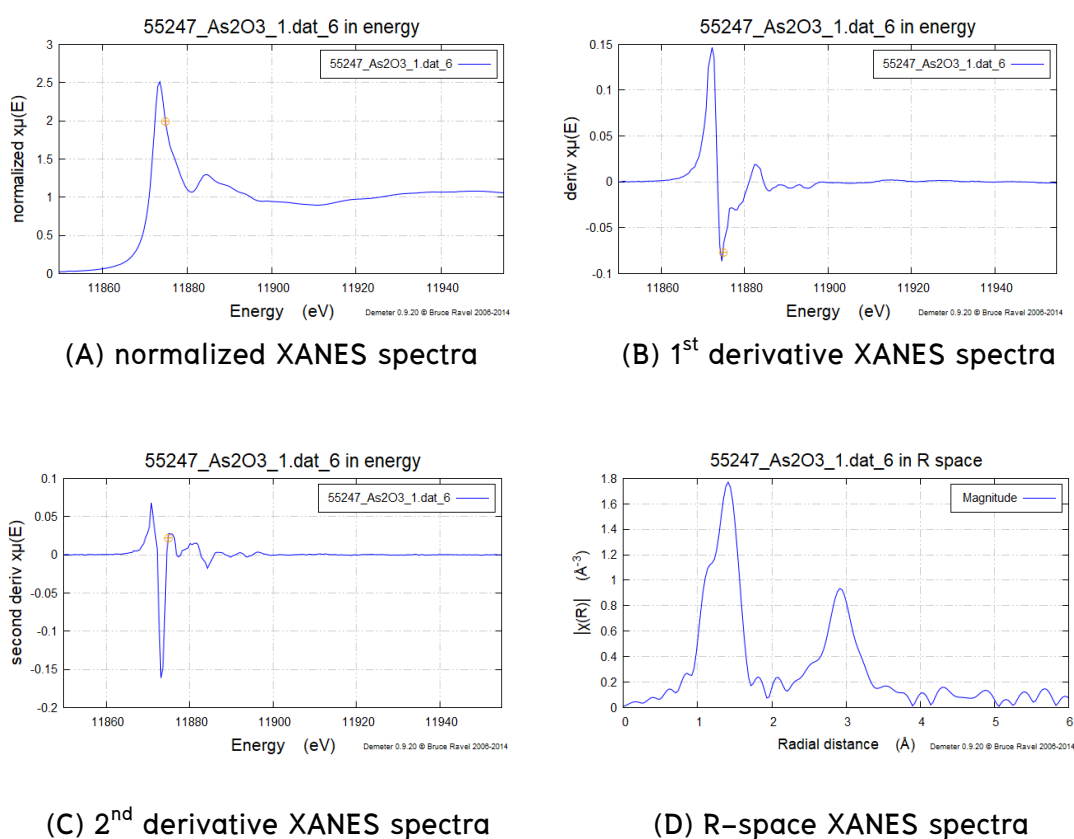
ภาพที่ 26 ผลการดูดกลืนแสงของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ของ TiO_2 mineral, TiO_2 calcine, $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic clay, $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic semi-crystal และ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal ที่ละลายในตัวทำละลาย HNO_3 ปรากฏสัญญาณที่มีลักษณะของพีคที่คล้ายกันทั้งหมดซึ่งอาจมีผลมาจากตัวทำละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์ และพบว่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 200–400 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นของแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 370 นาโนเมตร (ภาพที่ 23, 24, 25, 26) ดังนั้นวัสดุที่สังเคราะห์มีแนวโน้มที่สามารถนำไปใช้ในปฏิกิริยาทางแสงในช่วงคลื่นของแสงอัลตราไวโอเล็ตได้

4.3 รายงานผลการศึกษา X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) spectra ของ standard As (III), As (V) และ As (V) ที่ถูกดูดซับอยู่บน bimetallic composites

ในการศึกษาด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) เป็นการศึกษาเพื่อหาค่า K-edge energy($^{\circ}$ E) และได้ผลในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ของ X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) spectra ของ standard As (III)



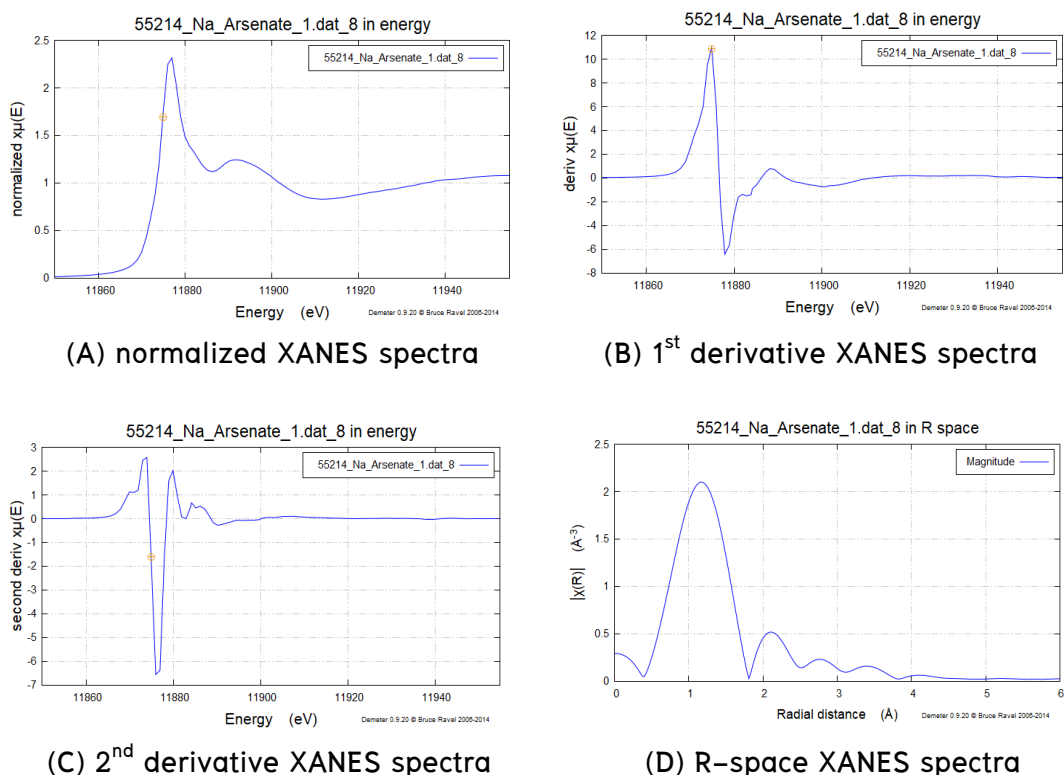
ภาพที่ 27 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (III) code

(55247_As₂O₃_1.dat_6)

ซึ่งภาพ (A) สเปกตรัมของ XANES รูปแบบ normalized, (B) สเปกตรัมของ XANES รูปแบบ 1st derivative, (C) สเปกตรัมของ XANES รูปแบบ 2nd derivative, (D) สเปกตรัมของ XANES รูปแบบ R-space และจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) เพื่อศึกษาค่า K-edge energy($^{\circ}$ E) ของ standard As (III) code (55247_As₂O₃_1.dat_6) (ภาพที่ 27) ได้ผลสเปกตรัมของ XANES ในรูปแบบของ normalized,

1st derivative, 2nd derivative มีค่าพลังงานเท่ากับ 11873.6, 11872.2 และ 11873.2 eV ตามลำดับ และมีระยะห่างระหว่างพันธะของ As(III)-O (R-space) 1.41108 Å

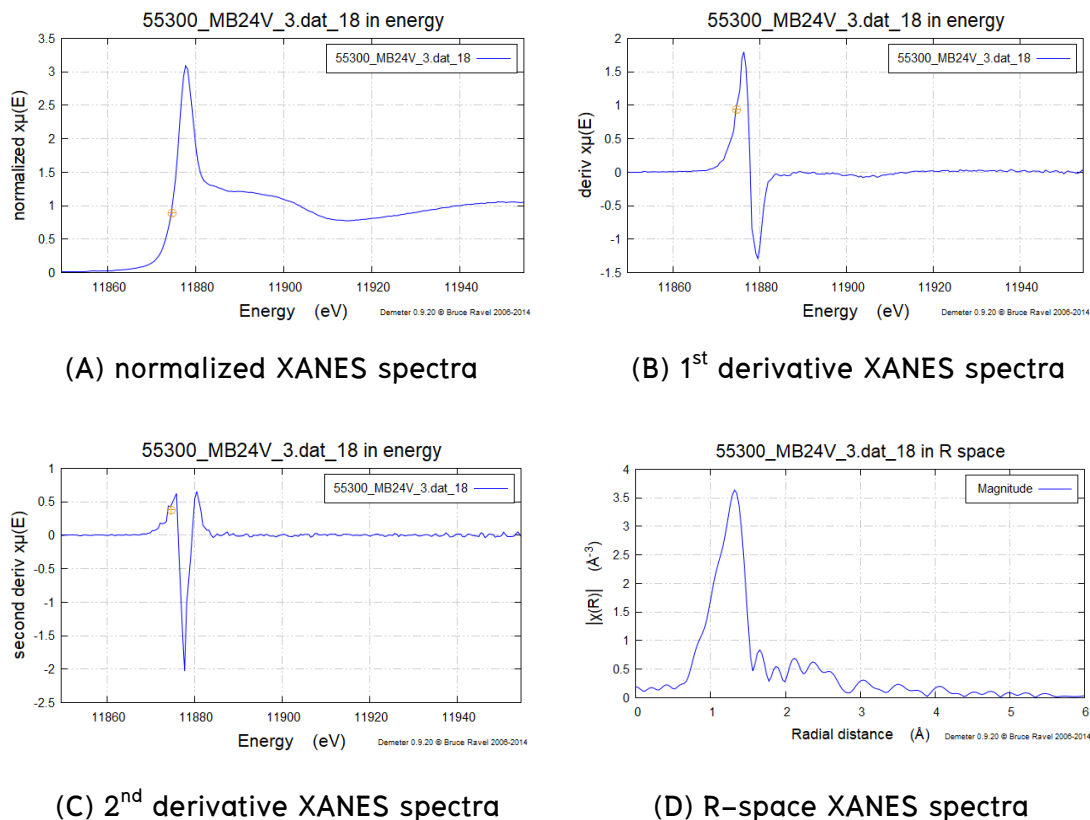
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ของ X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) spectra ของ standard As (V)



ภาพที่ 28 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (V) code (55214_Na_Arsenate_1.dat_8)

ซึ่งภาพ (A) สเปกตรัมของ XANES รูปแบบ normalized (B) สเปกตรัมของ XANES รูปแบบ 1st derivative, (C) สเปกตรัมของ XANES รูปแบบ 2nd derivative, (D) สเปกตรัมของ XANES รูปแบบ R-space และจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) เพื่อศึกษาค่า K-edge energy (°E) ของ standard As (V) code (55214_Na_Arsenate_1.dat_8) (ภาพที่ 28) ได้ผลสเปกตรัมของ XANES ในรูปแบบของ normalized, 1st derivative, 2nd derivative มีค่าพลังงานเท่ากับ 11876.9, 11875.0 และ 11875.9 eV ตามลำดับ และมีระยะห่างระหว่างพันธะของ As (III)-O (R-space) 1.16892 Å

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ของ X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) spectra ของ As (V) ที่ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites



ภาพที่ 29 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) code (55300_MB24V_3.dat_18) ที่ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites

ซึ่งภาพ (A) สเปกตรัมของ XANES รูปแบบ normalized, (B) สเปกตรัมของ XANES รูปแบบ 1st derivative, (C) สเปกตรัมของ XANES รูปแบบ 2nd derivative, (D) สเปกตรัมของ XANES รูปแบบ R-space และจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) เพื่อศึกษาค่า K-edge energy (°E) ของ As (V) ที่ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites code (55300_MB24V_3.dat_18) (ภาพที่ 29) ได้ผลสัญญาณสเปกตรัมของ XANES ในรูปแบบสัญญาณของ normalized, 1st derivative, 2nd derivative มีค่าพลังงานเท่ากับ 11877.7, 11876.4 และ 11877.7 eV ตามลำดับ และมีระยะห่างระหว่างพันธะของ As (III)-O (R-space) 1.31786 Å

ตารางที่ 1 ค่า K-edge energy($^{\circ}E$) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (III)

Standard As (III) code	$^{\circ}E$ (eV)			R-space (\AA)
	normalized	1 st	2 nd	
		derivative	derivative	
55247_ As ₂ O ₃ _1.dat_18	11873.5	11872.4	11873.0	1.40609
55247_ As ₂ O ₃ _1.dat_6	11873.6	11872.2	11873.2	1.41108
55251_ As ₂ O ₃ _3.dat_18	11872.5	11871.0	11873.0	-
55252_ As ₂ O ₃ _4.dat_18	11872.5	11871.0	11872.9	-
55253_ As ₂ O ₃ _5.dat_18	11872.4	11871.0	11872.4	-
55255_ As ₂ O ₃ _7.dat_18	11872.4	11871.0	11872.9	-
Average	11872.8	11871.4	11872.9	1.40859

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) เพื่อศึกษาค่า K-edge energy($^{\circ}E$) ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (III) (ตารางที่ 1) ได้ผลสัญญาณสเปกตรัมของ XANES ในรูปแบบสัญญาณของ normalized, 1st derivative, 2nd derivative มีค่าพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 11872.8, 11871.4 และ 11872.9 eV ตามลำดับ และมีระยะห่างระหว่างพันธะของ As (III)-O (R-space) 1.40859 \AA

ตารางที่ 2 ค่า K-edge energy($^{\circ}E$) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (V)

Standard As (V) code	$^{\circ}E$ (eV)			R-space (Å)
	normalized	1 st	2 nd	
		derivative	derivative	
55214_Na_Arsenate_1.dat_5	11876.9	11874.9	11875.9	1.16892
55214_Na_Arsenate_1.dat_8	11876.9	11875.0	11875.9	1.16892
55219_Na_Arsenate_1.dat_5	11876.5	11874.4	11875.9	1.16452
55219_Na_Arsenate_1.dat_8	11876.5	11874.5	11876.0	1.15621
55221_Na_Arsenate_1.dat_5	11876.5	11874.9	11875.9	1.15182
55221_Na_Arsenate_1.dat_8	11876.5	11875.0	11875.9	1.16012
55222_Na_Arsenate_2.dat_5	11876.4	11874.9	11876.5	1.14302
Average	11876.6	11874.8	11876.0	1.15908

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) เพื่อศึกษาค่า K-edge energy($^{\circ}E$) ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (V) (ตารางที่ 2) ได้ผลสัญญาณสเปกตรัมของ XANES ในรูปแบบสัญญาณของ normalized, 1st derivative, 2nd derivative มีค่าพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 11876.6, 11874.8 และ 11876.0 eV ตามลำดับ และมีระยะห่างระหว่างพันธะของ As (III)-O (R-space) 1.15908 Å

ตารางที่ 3 ค่า K-edge energy($^{\circ}E$) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) ที่ถูกดูดซับอยู่บน TiO_2/Fe_2O_3 bimetallic composites

As (V) MB code	$^{\circ}E$ (eV)			R-space (\AA)
	normalized	1 st derivative	2 nd derivative	
55298_MB24V_1.dat_18	11877.7	11876.4	11877.2	1.25627
55299_MB24V_2.dat_18	11877.7	11876.4	11877.7	1.31786
55300_MB24V_3.dat_18	11877.7	11876.4	11877.7	1.31786
55301_MB24V_4.dat_18	11877.7	11876.4	11877.8	1.28734
55302_MB24V_5.dat_18	11877.8	11876.4	11877.8	1.31786
55303_MB24V_6.dat_18	11877.7	11875.9	11877.3	1.31786
55305_MB24V_2.dat_18	11878.3	11876.4	11878.2	1.31786
55306_MB24V_3.dat_18	11877.7	11876.4	11877.7	1.31786
55307_MB24V_4.dat_18	11877.7	11876.4	11877.7	1.31786
55308_MB24V_5.dat_18	11877.7	11876.4	11877.7	1.31786
Average	11877.8	11876.4	11877.7	1.30865

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) เพื่อศึกษาค่า K-edge energy($^{\circ}E$) ของ As (V) ที่ถูกดูดซับอยู่บน TiO_2/Fe_2O_3 bimetallic composites (ตารางที่ 3) ได้ผลสัญญาณสเปกตรัมของ XANES ในรูปแบบสัญญาณของ normalized, 1st derivative, 2nd derivative มีค่าพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 11877.8, 11876.4 และ 11877.7 eV ตามลำดับ และมีระยะห่างระหว่างพันธะของ As (III)-O (R-space) 1.30865 \AA เมื่อนำข้อมูลของค่าพลังงานเฉลี่ย $^{\circ}E$ ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลของ standard As (V) (ตารางที่ 2) เพื่อตรวจสอบยืนยันชนิดของ As ที่ถูกดูดซับอยู่บน TiO_2/Fe_2O_3 bimetallic composites พบว่ามีค่าพลังงานเฉลี่ย $^{\circ}E$ ที่ใกล้เคียงกัน จากผลการเปรียบเทียบค่า $^{\circ}E$ แสดงว่าเป็นชนิดของ As (V) ที่ถูกดูดซับอยู่บน TiO_2/Fe_2O_3 bimetallic composites

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการสังเคราะห์ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ทั้ง 3 สภาวะ คือ bimetallic clay, bimetallic semi-crystal, bimetallic crystal ที่เตรียมโดยการใช้วิธีตกตะกอนร่วม (co-precipitation)

จากการสังเคราะห์ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic clay, $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic semi-crystal และ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal เป็นการสังเคราะห์โดยการใช้ตัวทำละลาย คือ เอทานอลและน้ำ ในอัตราส่วน 1:1 โดยการสังเคราะห์สารทั้ง 3 สภาวะเป็นการทำตะกอนให้แห้งโดยการให้ความร้อนที่ต่างกัน คือ การสังเคราะห์ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic clay คือ การนำตะกอนที่ได้จากการสังเคราะห์มาทำให้แห้งโดยการตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายระเหยจนแห้งสนิท การสังเคราะห์ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic semi-crystal คือ การนำตะกอนที่ได้จากการสังเคราะห์ นำมาให้ความร้อนบน hot plate จนตะกอนแห้งสนิท และการสังเคราะห์ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal คือ การนำตะกอนที่ได้จากการสังเคราะห์ นำมาให้ความร้อนโดยการเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และเมื่อทำการสังเคราะห์ทั้ง 3 สภาวะแล้ว จึงนำตะกอนที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ

ผลการศึกษาคูณลักษณะด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer : XRD) พบว่าสัญญาณ XRD ของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal มีสัญญาณของสารรบกวนน้อยที่สุด และปรากฏสัญญาณที่แสดงถึง TiO_2 anatase ที่ตำแหน่ง $2\theta = 29.5^\circ, 43.2^\circ, 45.2^\circ, 56.5^\circ, 63.5^\circ$ และปรากฏสัญญาณที่แสดงถึง Fe_2O_3 ที่ตำแหน่ง $2\theta = 28.2^\circ, 38.8^\circ, 41.8^\circ, 47.8^\circ$ และ 58.2° ซึ่งสามารถยืนยันวิธีการสังเคราะห์ในครั้งนี้ได้

ผลการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) จากทั้ง 3 สภาวะที่ทำการสังเคราะห์ คือ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic clay, $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic semi-crystal และ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal พบว่าทั้งหมดมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 370 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นของแสงอัลตราไวโอเล็ต

ดังนั้นวัสดุที่สังเคราะห์มีแนวโน้มที่สามารถนำไปใช้ในปฏิกิริยาทางแสงในช่วงคลื่นของแสงอัลตราไวโอเล็ตได้

ผลการศึกษาสภาวะออกซิเดชันของสารหนูที่ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites ด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) ได้ทราบค่าพลังงานเฉลี่ย $^{\circ}\text{E}$ ของสารหนูที่แสดงสัญญาณสเปกตรัมในรูปแบบของสัญญาณ normalized, 1st derivative, 2nd derivative มีค่าพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 11877.7, 11876.4, และ 11877.7 eV ตามลำดับ และมีระยะห่างระหว่างพันธะของ As(III)-O (R-space) 1.31786 Å จากข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าพลังงานเฉลี่ย $^{\circ}\text{E}$ ของมาตรฐานสารหนู (V) เพื่อตรวจสอบยืนยันชนิดของสารหนูที่ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites พบว่ามีค่าพลังงานเฉลี่ย $^{\circ}\text{E}$ ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นสารหนูที่ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites จึงเป็นสารหนู (V)

5.2 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

- 5.2.1 ศึกษาตัวทำละลายอื่นๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง
- 5.2.2 ศึกษาการประยุกต์ใช้การดูดซับสารหนู และสารพิษชนิดอื่นๆที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยใช้ตัวสังเคราะห์ที่ศึกษาในครั้งนี้นำไปประยุกต์ใช้
- 5.2.3 ขั้นตอนการเตรียม bimetallic clay ในการศึกษาในครั้งนี้มีระยะเวลาที่นาน ควรศึกษาขั้นตอนการเตรียมอื่นที่ใช้สามารถลดระยะเวลาในการเตรียมได้

บรรณานุกรม

- [1] สารหนู(As) ได้จาก : <https://www.siamchemi.com>. สืบค้นเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2562
- [2] ภาพแสดงแผนที่ประเทศที่พบปัญหาสารหนูในแหล่งน้ำ ได้จาก :
<http://www.etm.sc.mahidol.ac.th>. สืบค้นเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2562
- [3] ข่าวประเทศจีน ได้จาก : <https://waymagazine.org>. สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มกราคม 2562
- [4] ประเทศบังคลาเทศมีรายงานข่าว ได้จาก : <http://www.chemtrack.org/News-Detail>. สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มกราคม 2562
- [5] ข่าวมลพิษของประเทศไทย ได้จาก : <http://www.etm.sc.mahidol.ac.th>. สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มกราคม 2562
- [6] การกำหนดให้คุณภาพน้ำผิวดิน ได้จาก : <http://worldchemical.co.th>. สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มกราคม 2562
- [7] ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide : TiO_2) ได้จาก : <http://www.lpnh.go.th>. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 มกราคม 2562
- [8] ไอรอน(II)ซัลเฟต (Iron(II)sulfate : $FeSO_4$) ได้จาก : <https://www.slri.or.th>. สืบค้นเมื่อวันที่ 24 มกราคม 2562
- [9] หลักการของเทคนิคซินโครตรอน (XANES) ได้จาก : <https://www.it.chula.ac.th>. สืบค้นเมื่อวันที่ 24 มกราคม 2562
- [10] เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer : XRD) ได้จาก :
<http://kanchanapisek.or.th>. สืบค้นเมื่อวันที่ 24 มกราคม 2562
- [11] หลักการทำงานของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ได้จาก :
<http://kanchanapisek.or.th>. สืบค้นเมื่อวันที่ 24 มกราคม 2562
- [12] D'Arcy, M.; Weiss, D.; Bluck, M.; Vilar R. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2011, 364, 205–212
- [13] Tang, W.; Li, Q.; Gao, S.; Shang, J.K. *Journal of Hazardous Materials*. 2011, 192, 131–138
- [14] Park, J.Y.; Lee, J.H.; Choi, D.Y.; Hwang, C.H.; Lee, J.W. *Materials Letters*. 2012, 88, 156–159

บรรณานุกรม(ต่อ)

- [15] Lin, S.; Lu, D.; Liu, Z. *Chemical Engineering Journal*. **2012**, 211–212, 46–52
- [16] Andjelkovic, I.; Stankovic, D.; Jovic, M.; Markovic, M.; Krstic, J.; Manojlovic, D.; Roglic, G. *Journal of Saudi Chemical Society*. **2015**, 19, 429–435
- [17] Wei, Z.; Liang, K.; Wu, Y.; Zou, Y.; Zuo, J.; Arriagada, D.C. *Journal of Colloid and Interface Science*. **2016**, 462, 252–259
- [18] Wang, Y.; Xing, Z.; Li, Z.; Wu, X.; Wang, G.; Zhou, W. *Journal of Colloid and Interface Science*. **2017**, 485, 32–38
- [19] Peng, X.; Zhao, Y.; Yang, T.; Yang, Y.; Jiang, Y.; Ma, Z.; Li, X.; Hou, J.; Xi, B.; Liu, H. *Microporous and Mesoporous Materials*. **2018**, 258, 36–32

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาพประกอบวิธีการดำเนินการวิจัย

สารตัวอย่างที่ 1 : TiO_2 mineral



ทำการชั่ง TiO_2 3.0000 กรัม ใส่ลงในขวดพลาสติก



นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์



นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

สารตัวอย่างที่ 2 : TiO_2 calcine



ทำการชั่ง TiO_2 3.0000 กรัม



นำไปเผาในตู้อบอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง



นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์



นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี

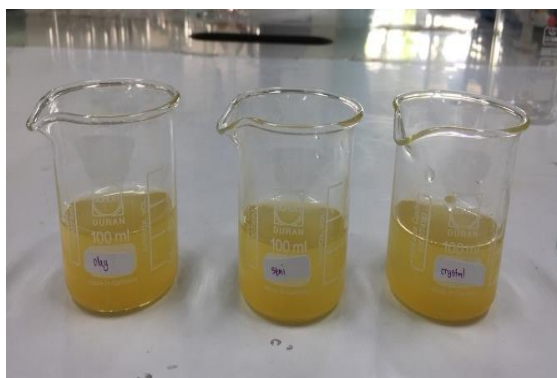
สารตัวอย่างที่ 3 : $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4$ bimetallic clay



ทำการชั่ง TiO_2 3.0000 กรัม ลงในปิกเกอร์ขนาด 10 มิลลิลิตร



ทำการชั่ง FeSO_4 3.0000 กรัม ลงในปิកเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
จากนั้นละลายด้วย เอทานอล : DI (1:1) ปริมาตร 66 มิลลิลิตร



นำ TiO_2 ที่เตรียมไว้เทลงไปในปิกเกอร์ที่มี FeSO_4



นำไป stirrer เป็นเวลา 30 นาที ณ อุณหภูมิห้อง



นำสารไปไซนิเคท ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 30 นาที



เมื่อเกิดการตกตะกอน จะดูดสารละลายส่วนใสออกหมด
และร่อนจนสารละลายระเหยหมด จนได้ตะกอนที่แห้งสนิท



ใช้โกร่งบดสารบดตะกอนที่ได้ให้ละเอียด



นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์



นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องชั่ง-วลิเบลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

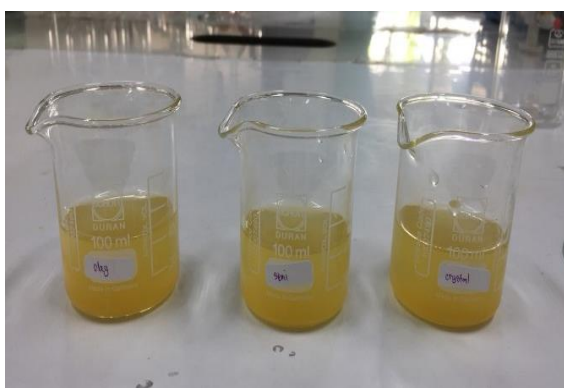
สารตัวอย่างที่ 4 : $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4$ bimetallic semi-crystal



ทำการชั่ง TiO_2 3.0002 กรัม ลงในปิกเกอร์ขนาด 10 มิลลิลิตร



ทำการชั่ง FeSO_4 3.0000 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
จากนั้นละลายด้วย เอทานอล : DI (1:1) ปริมาตร 66 มิลลิลิตร



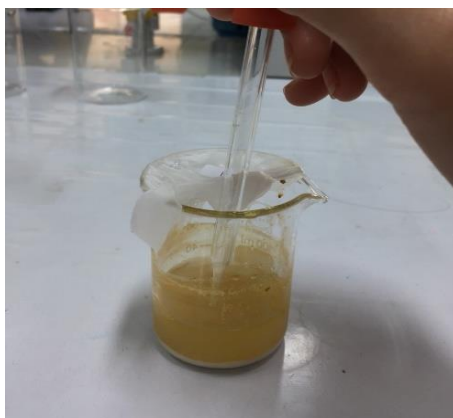
นำ TiO_2 ที่เตรียมไว้เทลงไปในบีกเกอร์ที่มี FeSO_4 ที่ละลายแล้ว



นำไป stirrer เป็นเวลา 30 นาที ณ อุณหภูมิห้อง



นำสารไปโซนิคเคท ด้วยเครื่องอัลตราโซนิค เป็นเวลา 30 นาที



เมื่อเกิดการตกตะกอน จะดูดสารละลายส่วนใสออกหมด



นำไปให้ความร้อนด้วย hot plate จนตะกอนแห้งสนิท



ใช้โกร่งบดสารบดตะกอนที่ได้ให้ละเอียด

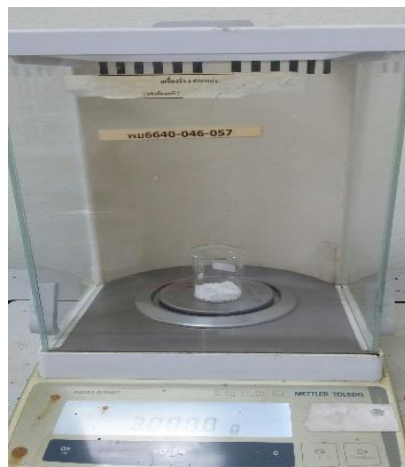


นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์



นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูคี-วิลเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

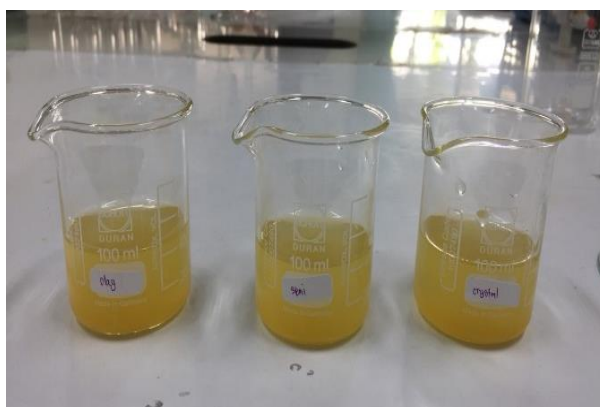
สารตัวอย่างที่ 5 : $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4$ bimetallic crystal



ทำการชั่ง TiO_2 3.0005 กรัม ลงในปิកเกอร์ขนาด 10 มิลลิลิตร



ทำการชั่ง FeSO_4 3.0000 กรัม ลงในปิกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
จากนั้นละลายด้วย เอทานอล : DI (1:1) ปริมาตร 66 มิลลิลิตร



นำ TiO_2 ที่เตรียมไว้เทลงไปในปิกเกอร์ที่มี FeSO_4 ที่ละลายแล้ว



นำไป stirrer เป็นเวลา 30 นาที ณ อุณหภูมิห้อง



นำสารไปโซนิคเตท ด้วยเครื่องอัลตราโซนิค เป็นเวลา 30 นาที



เมื่อเกิดการตกตะกอน จะดูดสารละลายส่วนใสออกหมด



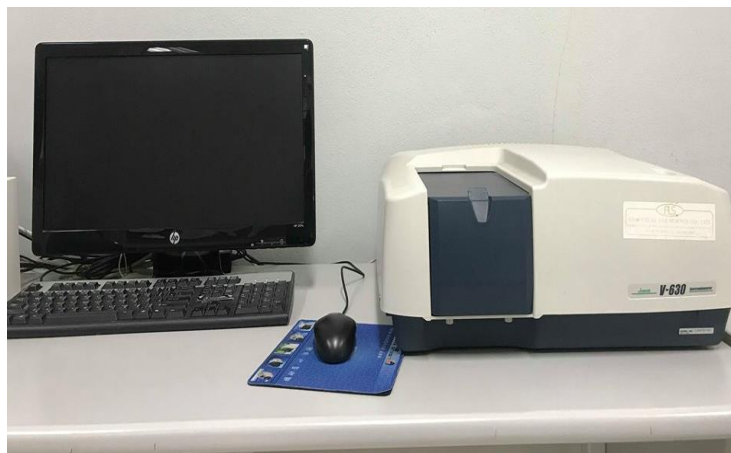
นำตะกอนที่ได้เผาในตู้อบอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง



ใช้โกร่งบดสารบดตะกอนให้ละเอียด



นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์

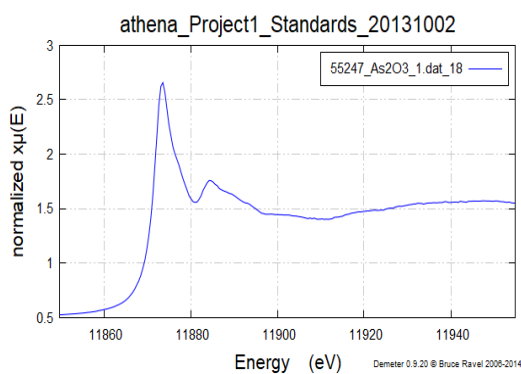


นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

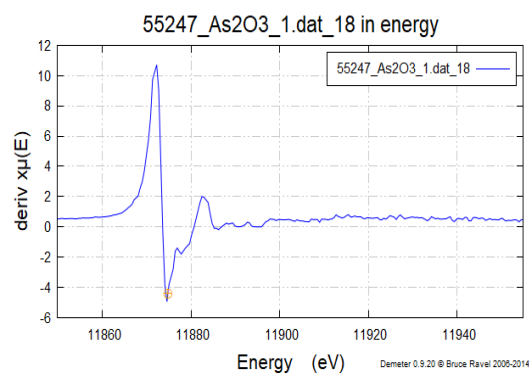
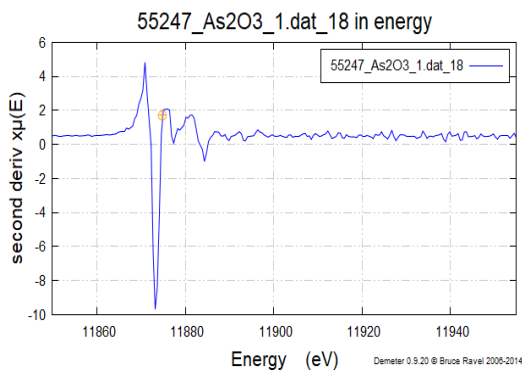
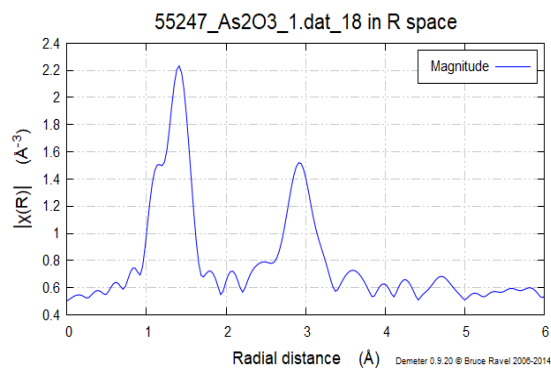
ภาคผนวก ข

ภาพการศึกษาผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) ของ standard As (III)

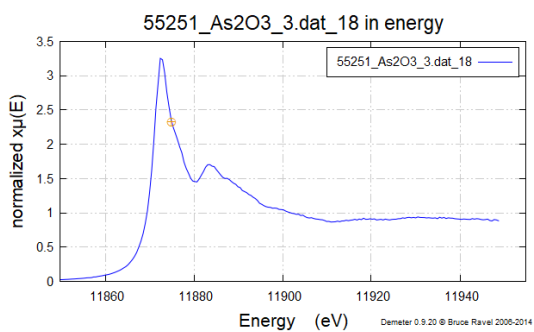


normalized XANES spectra

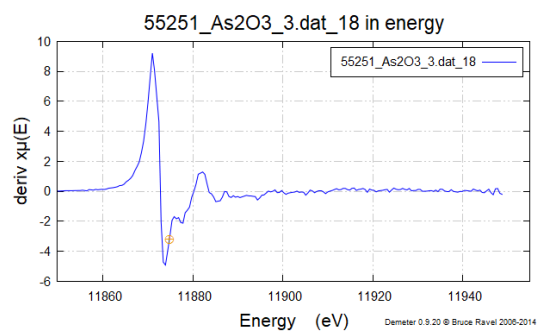
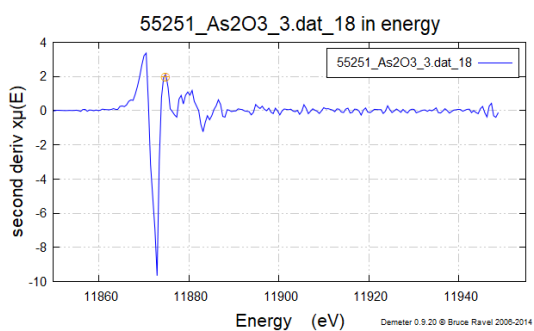
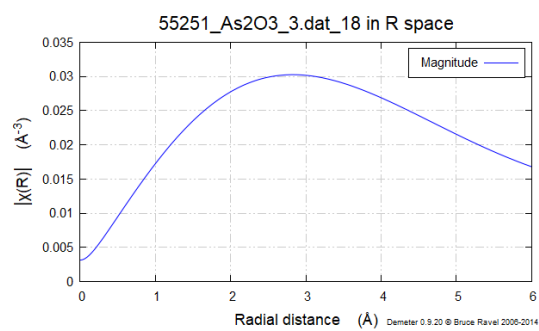
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (III) code (55247_As₂O₃_1.dat_18)

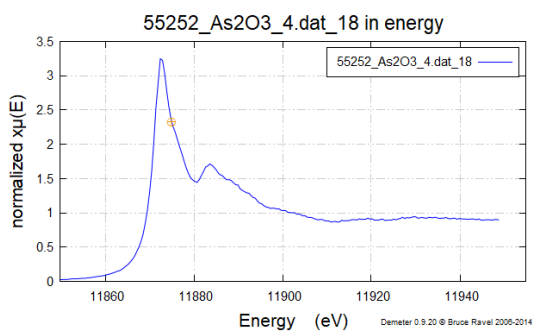


normalized XANES spectra

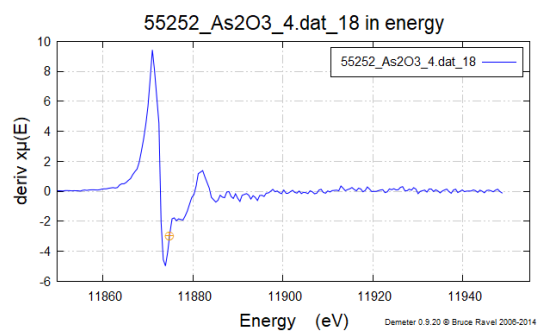
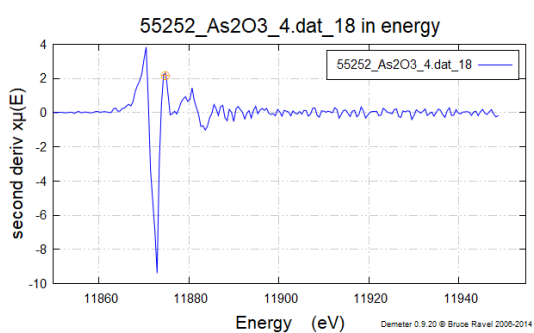
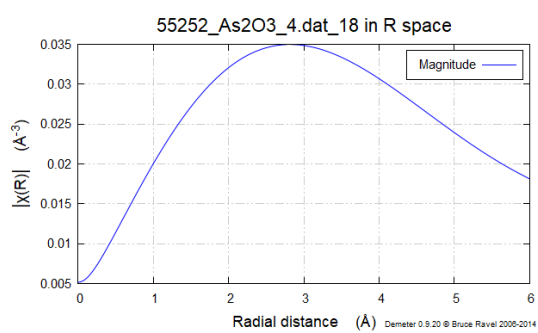
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (III) code (55251_As₂O₃_3.dat_18)

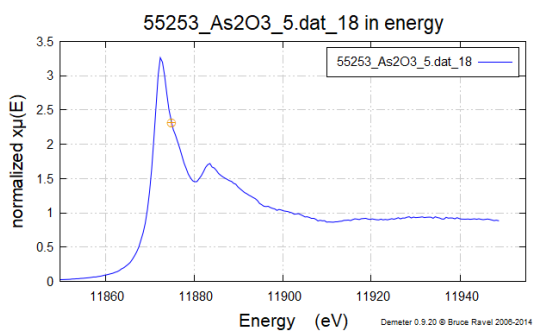


normalized XANES spectra

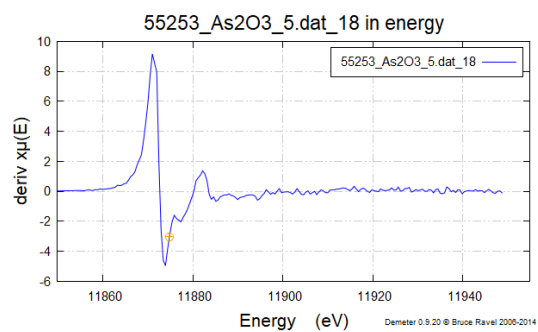
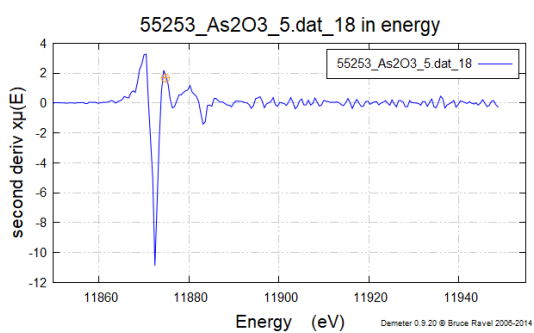
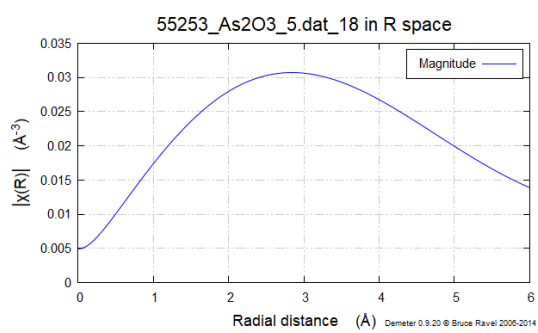
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (III) code (55252_As₂O₃_4.dat_18)

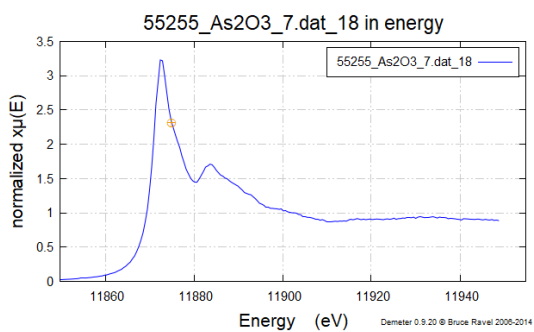


normalized XANES spectra

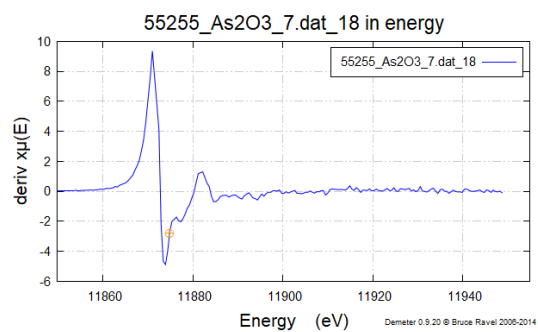
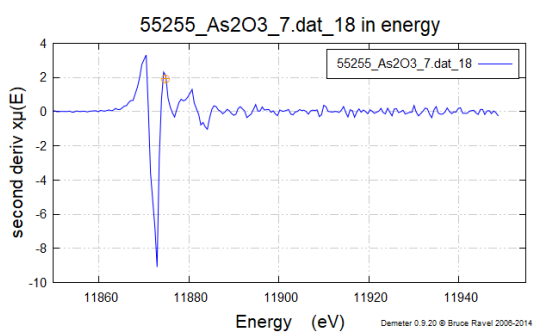
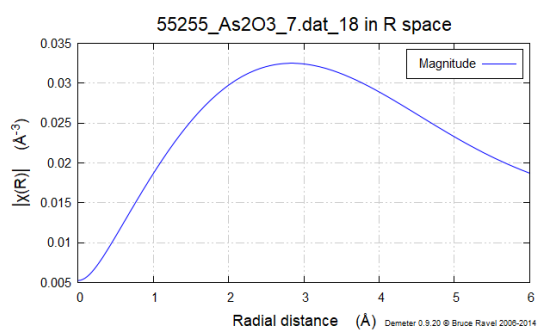
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (III) code (55253_As₂O₃_5.dat_18)



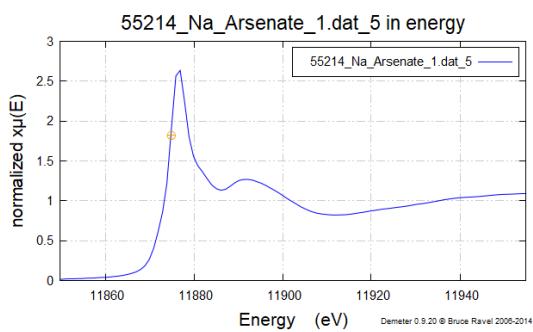
normalized XANES spectra

1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

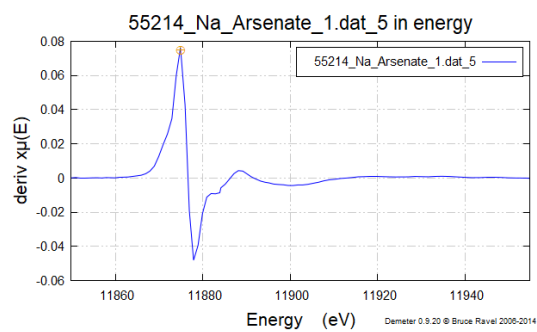
R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (III) code (55255_As₂O₃_7.dat_18)

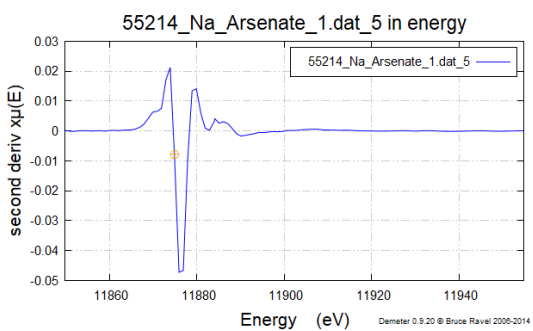
ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) ของ standard As (V)



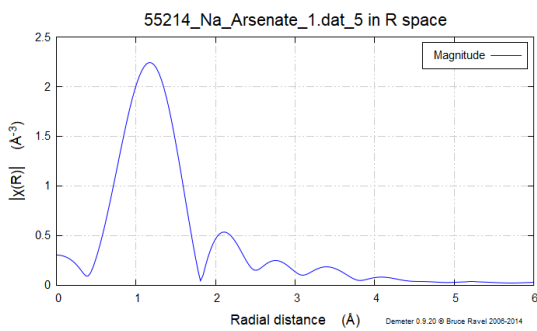
normalized XANES spectra



1st derivative XANES spectra

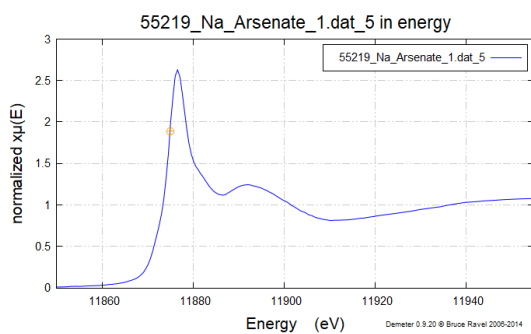


2nd derivative XANES spectra

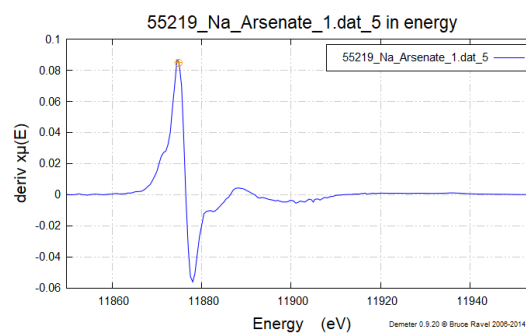
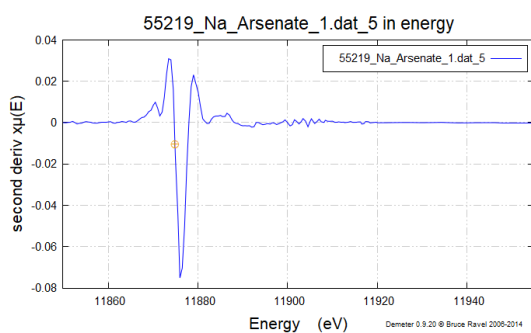
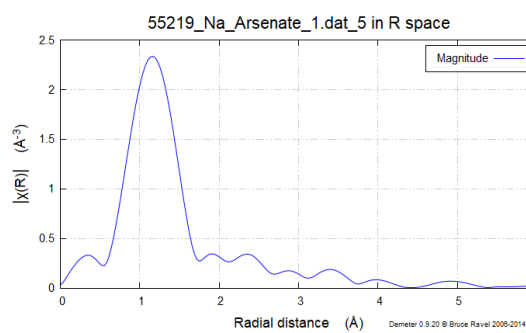


R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (V) code
(55214_Na_Arsenate_1.dat_5)

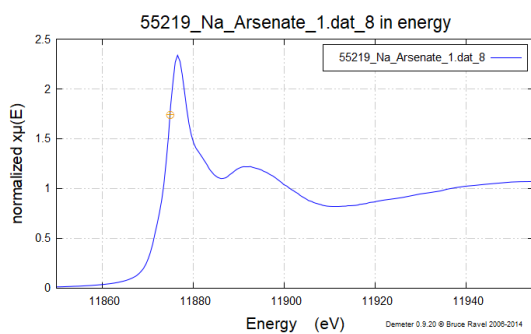


normalized XANES spectra

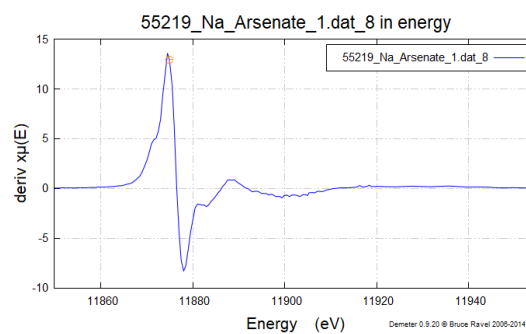
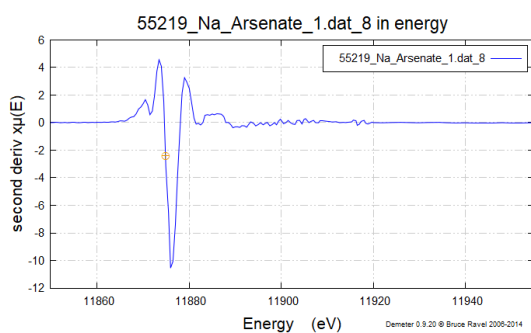
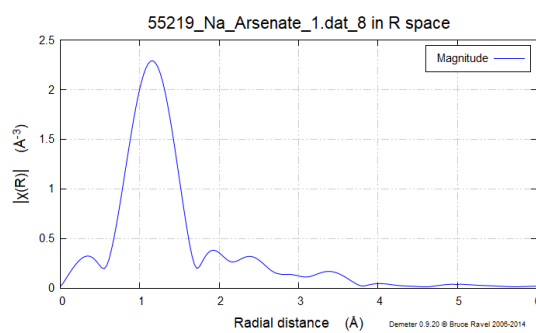
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (V) code
(55219_Na_Arsenate_1.dat_5)

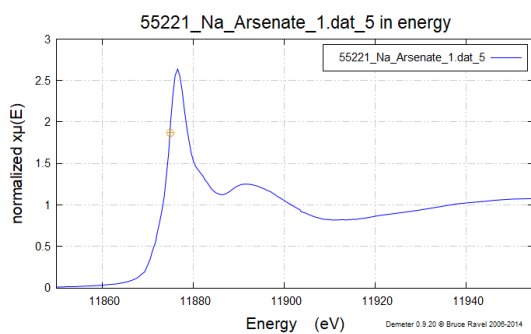


normalized XANES spectra

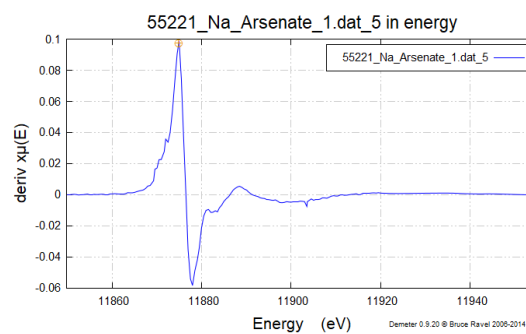
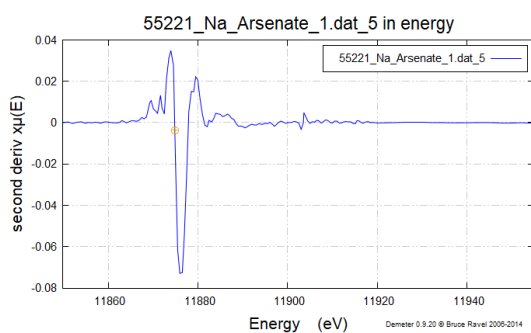
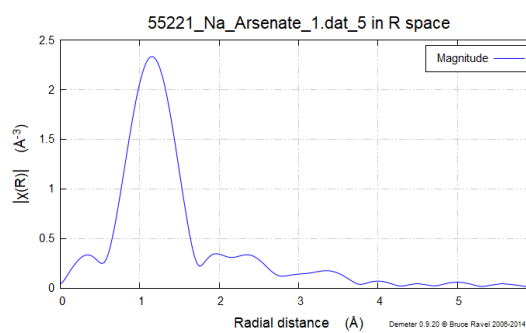
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (V) code
(55219_Na_Arsenate_1.dat_8)

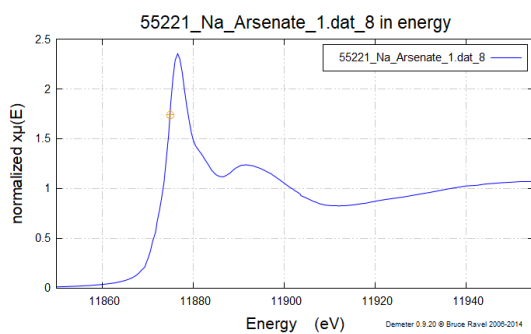


normalized XANES spectra

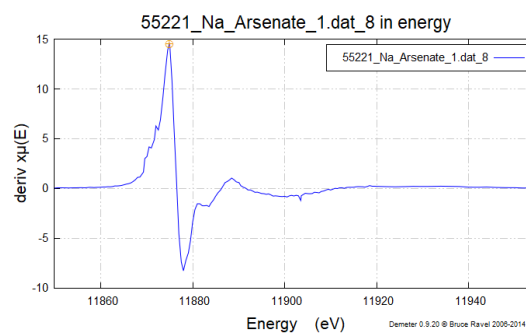
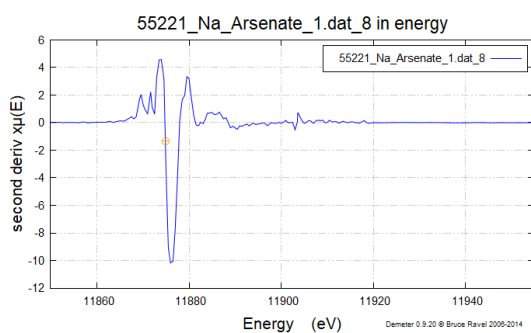
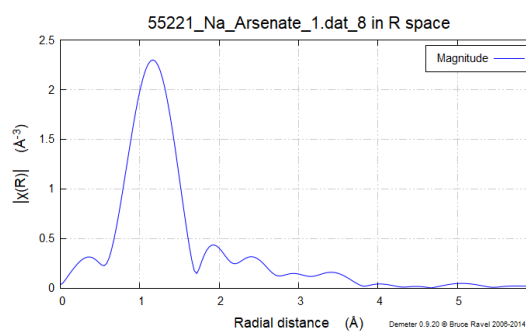
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (V) code
(55221_Na_Arsenate_1.dat_5)

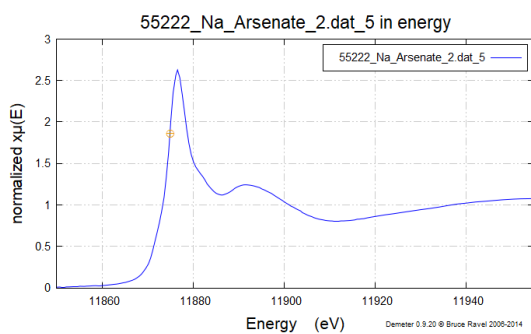


normalized XANES spectra

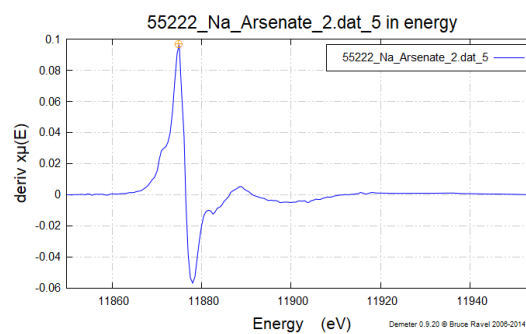
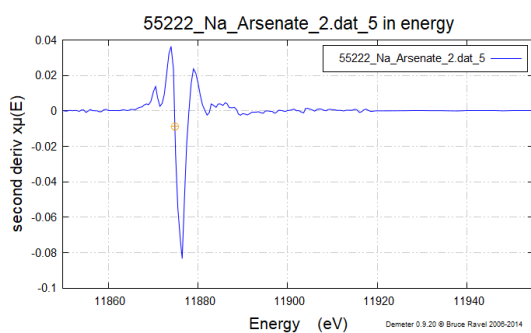
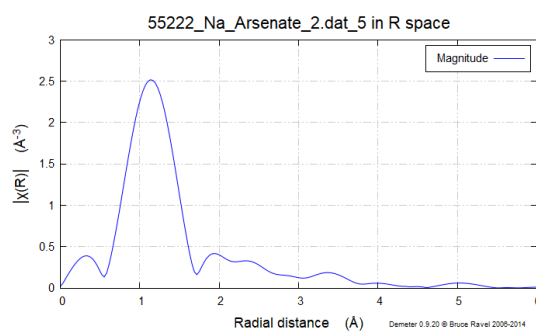
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (V) code
(55221_Na_Arsenate_1.dat_8)



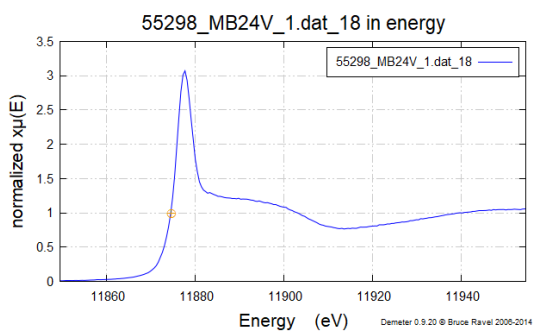
normalized XANES spectra

1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

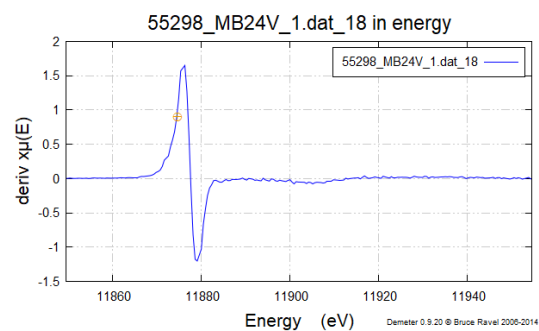
R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ standard As (V) code
(55222_Na_Arsenate_2.dat_5)

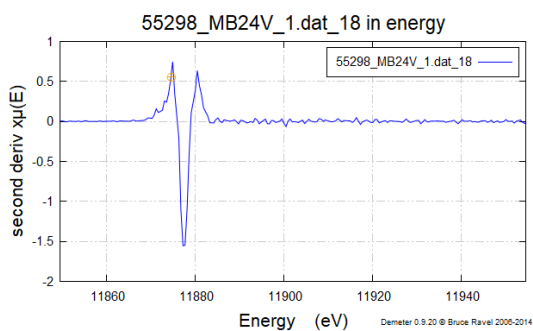
ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Absorption Near Edge Structure (XANES) ของ As (V) ที่ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites



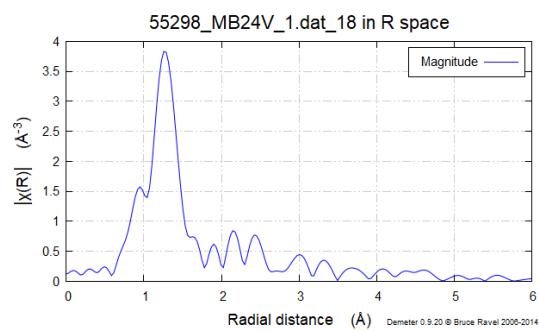
normalized XANES spectra



1st derivative XANES spectra

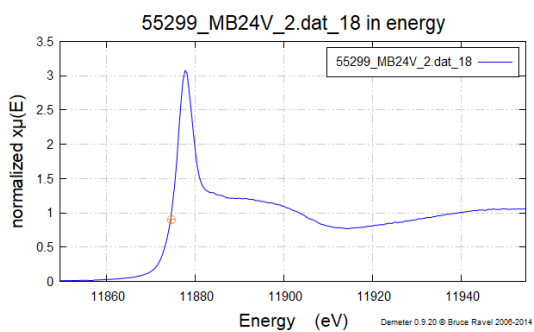


2nd derivative XANES spectra

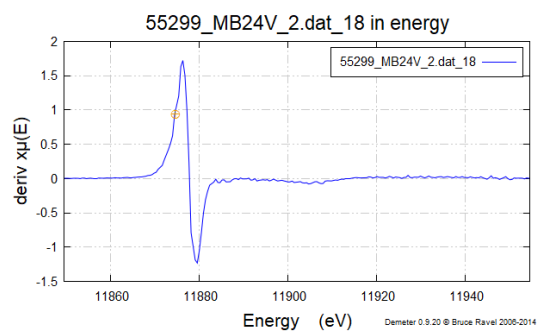
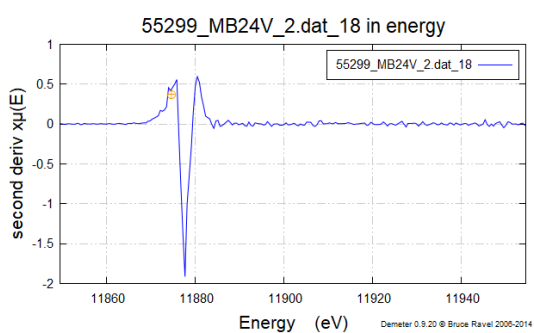
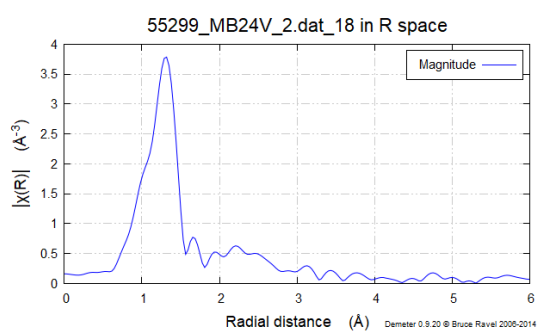


R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) code (55298_MB24V_1.dat_18) ที่ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites

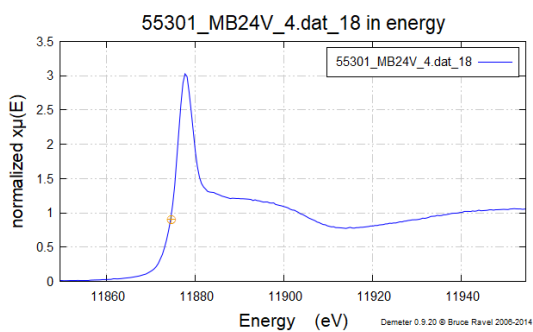


normalized XANES spectra

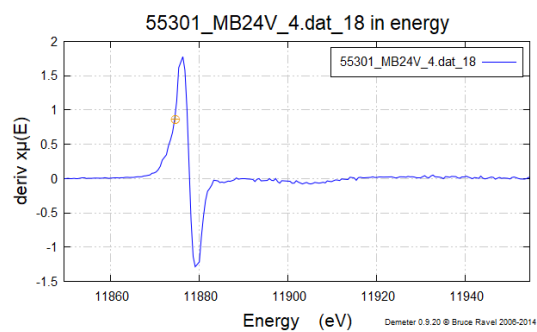
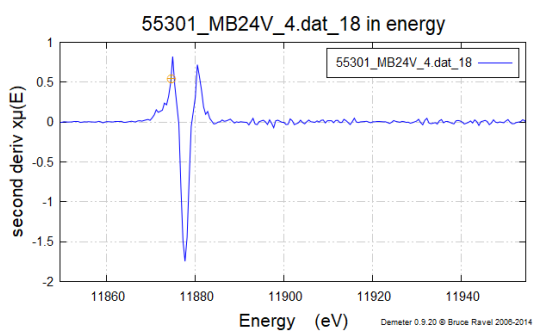
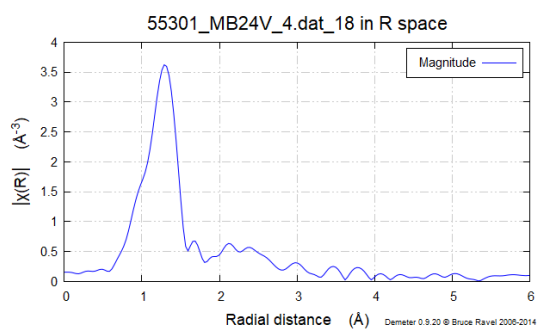
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) code (55299_MB24V_2.dat_18) ที่
ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites

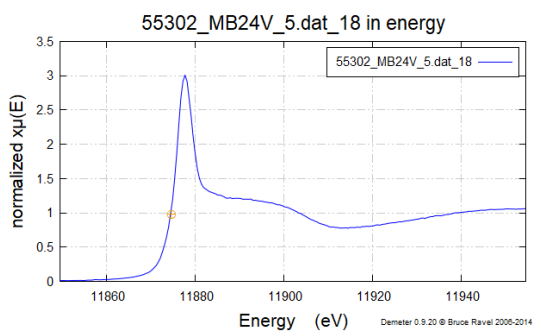


normalized XANES spectra

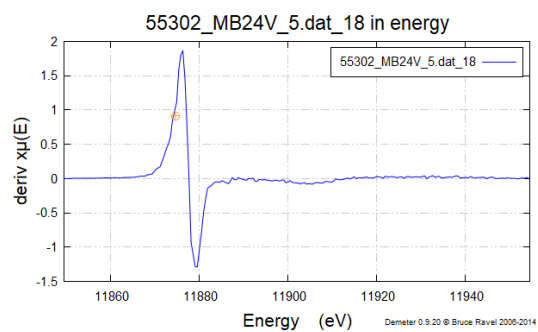
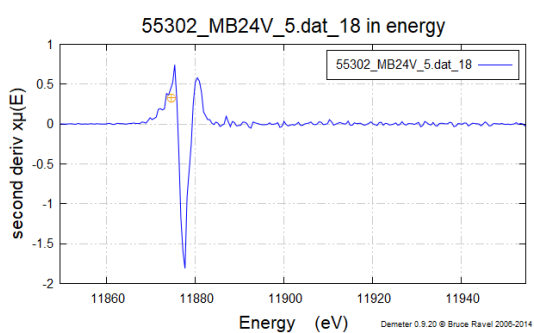
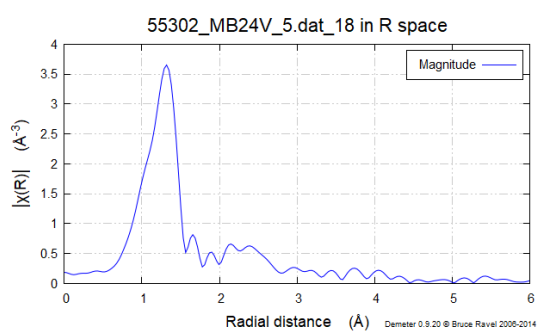
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) code (55301_MB24V_4.dat_18) ที่
ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites

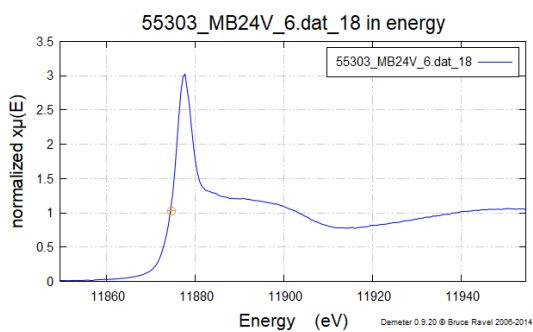


normalized XANES spectra

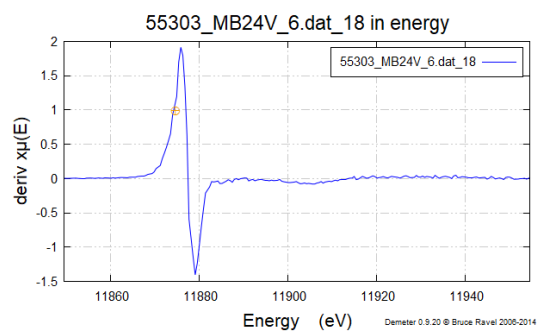
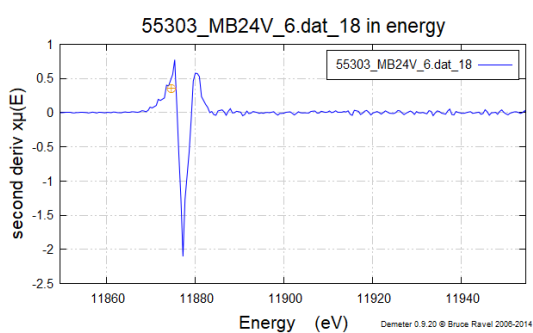
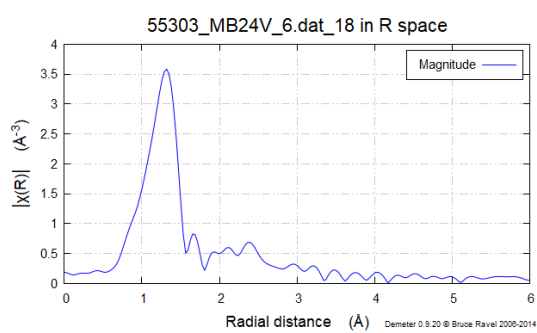
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) code (55302_MB24V_5.dat_18) ที่
ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites

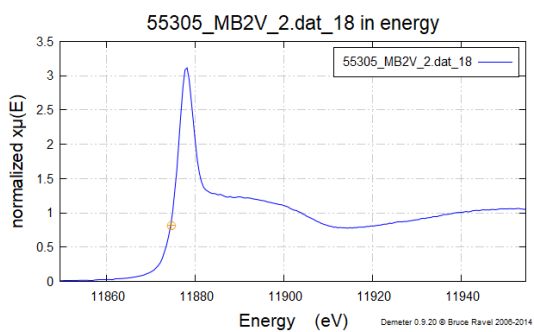


normalized XANES spectra

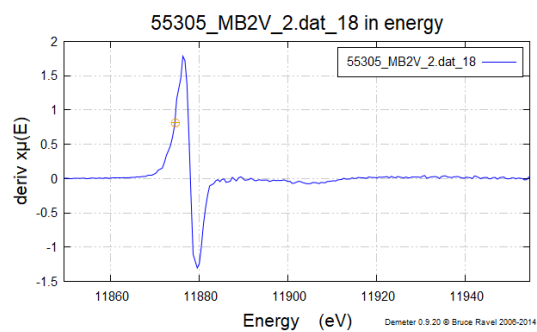
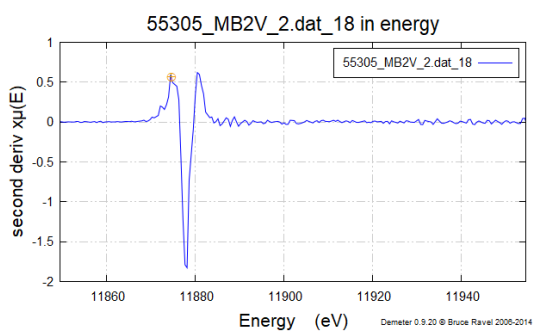
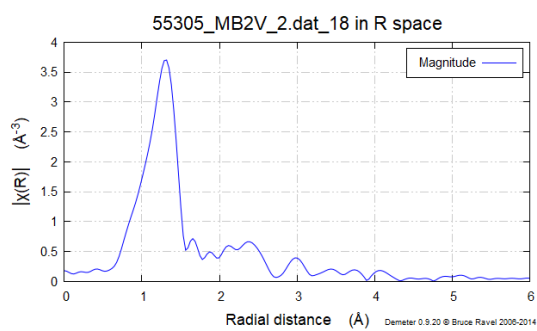
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) code (55303_MB24V_6.dat_18) ที่
ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites

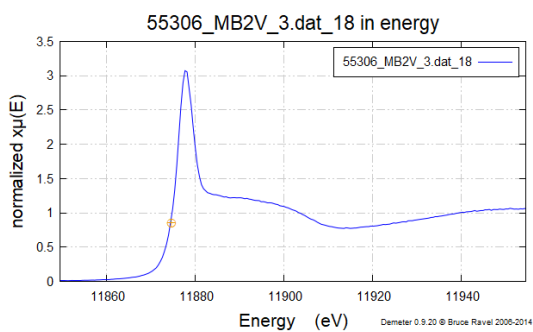


normalized XANES spectra

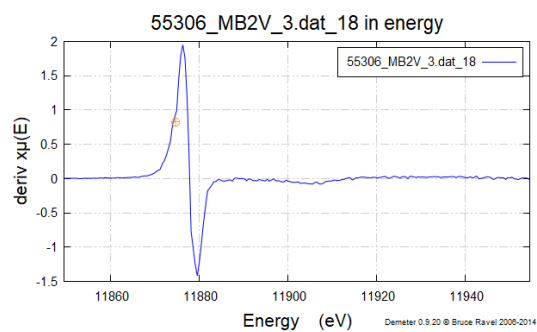
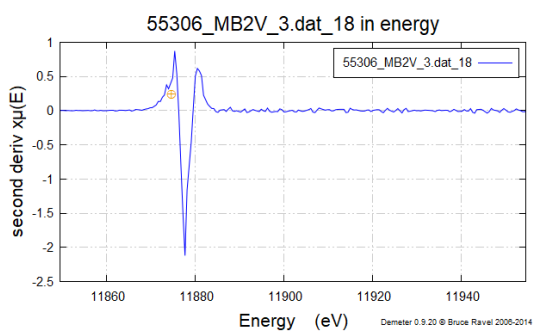
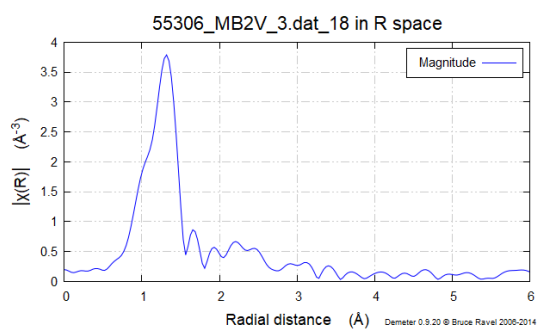
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) code (55305_MB24V_2.dat_18) ที่
ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites

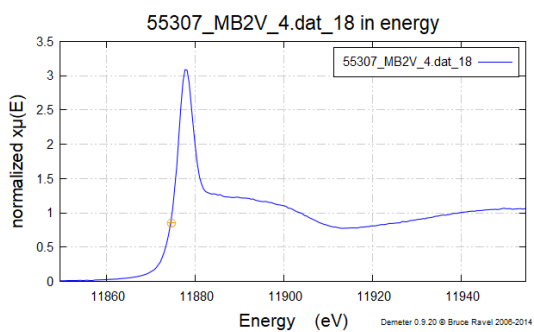


normalized XANES spectra

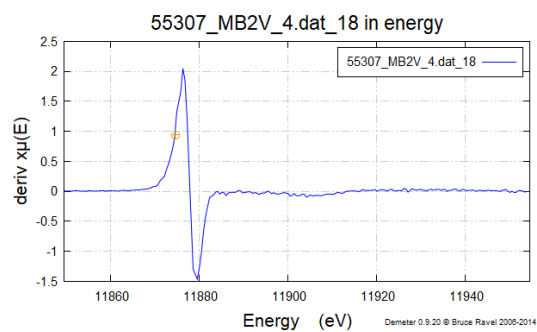
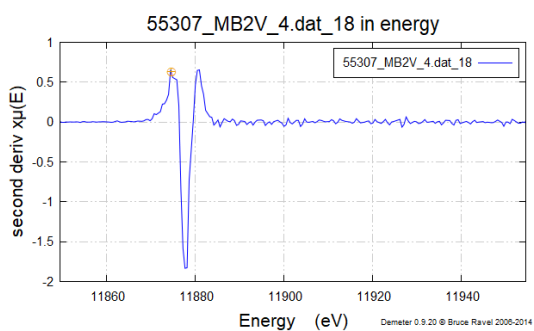
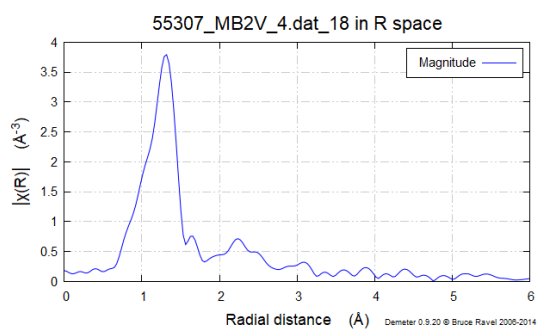
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) code (55306_MB24V_3.dat_18) ที่
ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites

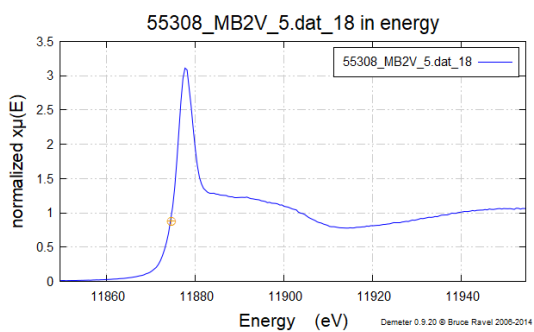


normalized XANES spectra

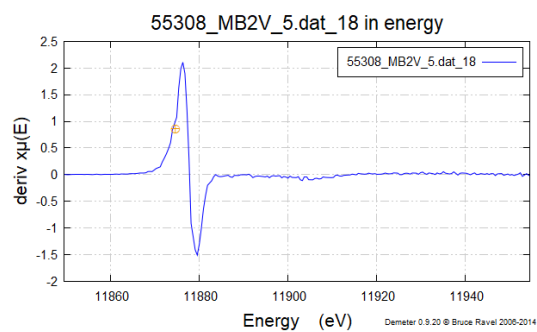
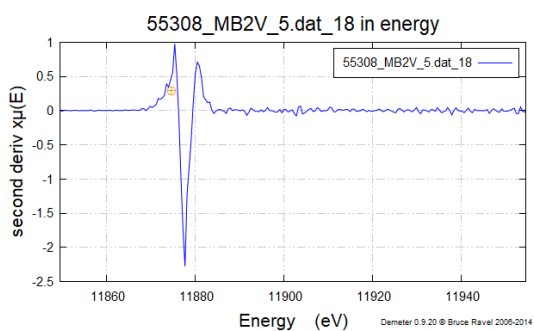
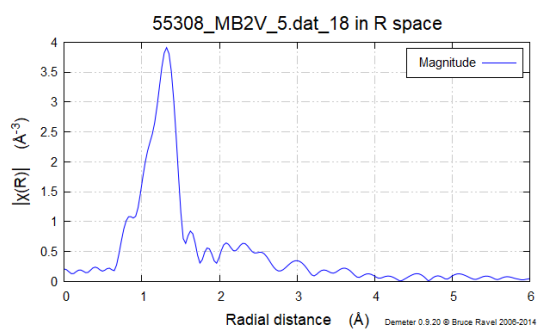
1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) code (55307_MB2V_4.dat_18) ที่
ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites



normalized XANES spectra

1st derivative XANES spectra2nd derivative XANES spectra

R-space XANES spectra

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XANES ของ As (V) code (55308_MB24V_5.dat_18) ที่
ถูกดูดซับอยู่บน $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic composites

ภาคผนวก ค

การคำนวณการเตรียมสารตัวอย่าง

การคำนวณการเตรียมสารประกอบ bimetallic ที่ได้จากการสังเคราะห์ $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4$

1. การเตรียมสารตัวอย่าง bimetallic composites ของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ในสภาวะ bimetallic clay จาก TiO_2 และ 0.6 M FeSO_4 ละลายด้วย เอทานอล : DI (1:1) สามารถคำนวณหาปริมาณอัตราส่วนที่ใช้ได้จากสมการ

$$\frac{\text{น้ำหนักสาร (g)}}{\text{มวลโมเลกุล (g/mol)}} = \frac{\text{ความเข้มข้นสาร (mol/L)} \times \text{ปริมาตรตัวทำละลาย (mL)}}{1000 \text{ (mL)} \times 1 \text{ (L)}}$$

คำนวณได้จาก 0.6 M FeSO_4

$$\frac{3.0000 \text{ (g)}}{151.908 \text{ (g/mol)}} = \frac{0.6 \text{ (mol/L)} \times \text{ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ (mL)}}{1000 \text{ (mL)} \times 1 \text{ (L)}}$$

$$\text{ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้} = \frac{3.0000 \text{ (g)} \times 1000 \text{ (mL)} \times 1 \text{ (L)}}{0.6 \text{ (mol/L)} \times 151.908 \text{ (g/mol)}}$$

$$\text{ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้} = 32.915 \text{ mL}$$

ดังนั้น ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ละลาย 0.6 M FeSO_4 เท่ากับ 33.00 มิลลิลิตร

ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ละลาย TiO_2 เท่ากับ 33.00 มิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ในการเตรียม bimetallic composites $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ในสภาวะ bimetallic clay ทั้งหมด 66.00 มิลลิลิตร ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้คือ เอทานอล : DI ในอัตราส่วน 1:1

2. การเตรียมสารตัวอย่าง bimetallic composites ของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic semi-crystal จาก TiO_2 และ 0.6 M FeSO_4 ละลายเอทานอล : DI (1:1) สามารถคำนวณหาปริมาณอัตราส่วนที่ใช้ได้จากสมการ

$$\frac{\text{น้ำหนักสาร (g)}}{\text{มวลโมเลกุล (g/mol)}} = \frac{\text{ความเข้มข้นสาร (mol/L)} \times \text{ปริมาตรตัวทำละลาย (mL)}}{1000 \text{ (mL)} \times 1 \text{ (L)}}$$

คำนวณได้จาก 0.6 M FeSO_4

$$\frac{3.0000 \text{ (g)}}{151.908 \text{ (g/mol)}} = \frac{0.6 \text{ (mol/L)} \times \text{ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ (mL)}}{1000 \text{ (mL)} \times 1 \text{ (L)}}$$

$$\text{ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้} = \frac{3.0000 \text{ (g)} \times 1000 \text{ (mL)} \times 1 \text{ (L)}}{0.6 \text{ (mol/L)} \times 151.908 \text{ (g/mol)}}$$

$$\text{ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้} = 32.915 \text{ mL}$$

ดังนั้น ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ละลาย 0.6 M FeSO_4 เท่ากับ 33.00 มิลลิลิตร

ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ละลาย TiO_2 เท่ากับ 33.00 มิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ในการเตรียม bimetallic composites $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ในสภาวะ bimetallic semi-crysta ทั้งหมด 66.00 มิลลิลิตร ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้คือ เอทานอล : DI ในอัตราส่วน 1:1

3. การเตรียมสารตัวอย่าง bimetallic composites ของ $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ bimetallic crystal จาก TiO_2 และ 0.6 M FeSO_4 ละลายเอทานอล : DI (1:1) สามารถคำนวณหาปริมาณอัตราส่วนที่ใช้ได้จากสมการ

$$\frac{\text{น้ำหนักสาร (g)}}{\text{มวลโมเลกุล (g/mol)}} = \frac{\text{ความเข้มข้นสาร (mol/L)} \times \text{ปริมาตรตัวทำละลาย (mL)}}{1000 \text{ (mL)} \times 1 \text{ (L)}}$$

คำนวณได้จาก 0.6 M FeSO_4

$$\frac{3.0000 \text{ (g)}}{151.908 \text{ (g/mol)}} = \frac{0.6 \text{ (mol/L)} \times \text{ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ (mL)}}{1000 \text{ (mL)} \times 1 \text{ (L)}}$$

$$\text{ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้} = \frac{3.0000 \text{ (g)} \times 1000 \text{ (mL)} \times 1 \text{ (L)}}{0.6 \text{ (mol/L)} \times 151.908 \text{ (g/mol)}}$$

$$\text{ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้} = 32.915 \text{ mL}$$

ดังนั้น ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ละลาย 0.6 M FeSO_4 เท่ากับ 33.00 มิลลิลิตร

ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ละลาย TiO_2 เท่ากับ 33.00 มิลลิลิตร

เพราะฉะนั้น ปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ในการเตรียม bimetallic composites $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ในสถานะ bimetallic crystal ทั้งหมด 66.00 มิลลิลิตร ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้คือ เอทานอล : DI ในอัตราส่วน 1:1

การคำนวณการเตรียมสารประกอบ bimetallic ที่ได้จากการสังเคราะห์ $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4$ ละลายด้วย เอทานอล:DI (1:1) และข้อมูลต่างๆ สำหรับวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี

การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นในอัตราส่วน 1:1 หรือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (100 ppm) ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร คำนวณน้ำหนักของสารได้จากสมการ

$$\text{จากสูตร ppm (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}$$

$$100 \text{ (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 100 \text{ (mg/L)} \times 25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 2.5 \text{ mg}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 0.0025 \text{ g}$$

ดังนั้น ซึ่งตัวถูกละลาย 0.0025 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร

1. การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นในอัตราส่วน 2:1 หรือ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (200 ppm) ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร คำนวณน้ำหนักของสารได้จากสมการ

$$\text{จากสูตร ppm (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}$$

$$200 \text{ (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 200 \text{ (mg/L)} \times 25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 5.0 \text{ mg}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 0.0050 \text{ g}$$

ดังนั้น ชั่งตัวถูกละลาย 0.0050 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นในอัตราส่วน 3:1 หรือ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร (300 ppm) ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร คำนวณน้ำหนักของสารได้จากสมการ

$$\text{จากสูตร ppm (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}$$

$$300 \text{ (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 300 \text{ (mg/L)} \times 25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 7.5 \text{ mg}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 0.0075 \text{ g}$$

ดังนั้น ชั่งตัวถูกละลาย 0.0075 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร

3. การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นในอัตราส่วน 4:1 หรือ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (400 ppm) ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร คำนวณน้ำหนักของสารได้จากสมการ

$$\text{จากสูตร ppm (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}$$

$$400 \text{ (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 400 \text{ (mg/L)} \times 25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 10 \text{ mg}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 0.0100 \text{ g}$$

ดังนั้น ชั่งตัวถูกละลาย 0.0100 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร

4. การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นในอัตราส่วน 5:1 หรือ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (500 ppm) ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร คำนวณน้ำหนักของสารได้จากสมการ

$$\text{จากสูตร ppm (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}$$

$$500 \text{ (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 500 \text{ (mg/L)} \times 25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 12.5 \text{ mg}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 0.0125 \text{ g}$$

ดังนั้น ชั่งตัวถูกละลาย 0.0125 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร

การคำนวณการเตรียมสารประกอบ bimetallic ที่ได้จากการสังเคราะห์ $\text{TiO}_2/\text{FeSO}_4$ โดยมี 0.5% กรดไนตริก เป็นตัวทำละลาย และข้อมูลต่างๆ สำหรับวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี

1. การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นในอัตราส่วน 1:1 หรือ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (100 ppm) ละลายด้วย 0.5% กรดไนตริก ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร คำนวณน้ำหนักของสารได้จากสมการ

$$\text{จากสูตร ppm (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}$$

$$100 \text{ (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 100 \text{ (mg/L)} \times 25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 2.5 \text{ mg}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 0.0025 \text{ g}$$

ดังนั้น ชั่งตัวถูกละลาย 0.0025 กรัม ละลายด้วย 0.5% กรดไนตริก ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นในอัตราส่วน 2:1 หรือ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (200 ppm) ละลายด้วย 0.5% กรดไนตริก ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร คำนวณน้ำหนักของสารได้จากสมการ

$$\text{จากสูตร ppm (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}$$

$$200 \text{ (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 200 \text{ (mg/L)} \times 25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 5.0 \text{ mg}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 0.0050 \text{ g}$$

ดังนั้น ชั่งตัวถูกละลาย 0.0050 กรัม ละลายด้วย 0.5% กรดไนตริก ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร

3. การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นในอัตราส่วน 3:1 หรือ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร (300 ppm) ละลายด้วย 0.5% กรดไนตริก ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร คำนวณน้ำหนักของสารได้จากสมการ

$$\text{จากสูตร ppm (mg/L) = } \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}$$

$$300 \text{ (mg/L) = } \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg) = } 300 \text{ (mg/L)} \times 25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg) = } 7.5 \text{ mg}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg) = } 0.0075 \text{ g}$$

ดังนั้น ชั่งตัวถูกละลาย 0.0075 กรัม ละลายด้วย 0.5% กรดไนตริก ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร

4. การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นในอัตราส่วน 4:1 หรือ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (400 ppm) ละลายด้วย 0.5% กรดไนตริก ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร คำนวณน้ำหนักของสารได้จากสมการ

$$\text{จากสูตร ppm (mg/L) = } \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}$$

$$400 \text{ (mg/L) = } \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg) = } 400 \text{ (mg/L)} \times 25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg) = } 10 \text{ mg}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg) = } 0.0100 \text{ g}$$

ดังนั้น ชั่งตัวถูกละลาย 0.0100 กรัม ละลายด้วย 0.5% กรดไนตริก ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร

5. การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นในอัตราส่วน 5:1 หรือ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (500 ppm) ละลายด้วย 0.5% กรดไนตริก ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร คำนวณน้ำหนักของสารได้จากสมการ

$$\text{จากสูตร ppm (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}$$

$$500 \text{ (mg/L)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)}}{25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 500 \text{ (mg/L)} \times 25 \text{ (mL)} \times 10^{-3} \text{ (L)}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 12.5 \text{ mg}$$

$$\text{น้ำหนักของตัวถูกละลาย (mg)} = 0.0125 \text{ g}$$

ดังนั้น ชั่งตัวถูกละลาย 0.0125 กรัม ละลายด้วย 0.5% กรดไนตริก ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ นามสกุล	นางสาวกาญจนา สอนวดี
วัน เดือน ปีเกิด	02 มิถุนายน 2540
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเสรีศึกษา อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ ปีที่จบ 2554 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเสรีศึกษา อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ ปีที่จบ 2557 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยพะเยา ปีที่ จบ 2562
ที่อยู่ปัจจุบัน	43 หมู่5 ตำบลซับเปิบ อำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ 67240
อีเมล	caantacin.kanjana@gmail.com

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ นามสกุล	นายกรวุฒิ จำเริญพัฒน์
วัน เดือน ปีเกิด	13 มิถุนายน 2539
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร จบปีที่ 2554 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนกำแพงเพชรพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร จบปีที่ 2557 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยพะเยา ปีที่ จบ 2562
ที่อยู่ปัจจุบัน	8 ซอย37 ถนนเทศบาล2 ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000
อีเมล	korawut.wa@gmail.com