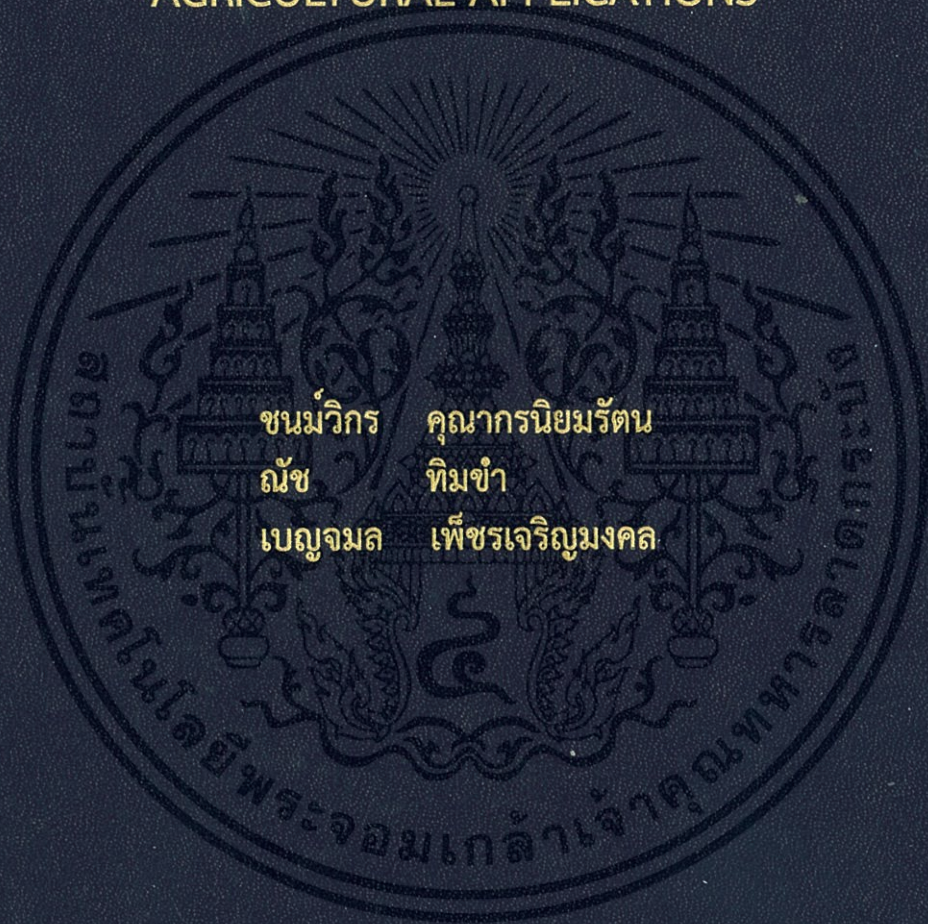


การเตรียมวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอ็บซุ่มด้วย
โพแทสเซียมไนเตรดห่อหุ้มด้วยไคโตซานสำหรับการประยุกต์
ใช้ทางการเกษตร

PREPARATION OF KNO_3 IMPREGNATED
MONTMORILLONITE / CHITOSAN COMPOSITES FOR
AGRICULTURAL APPLICATIONS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การเตรียมวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอิบชุ่มด้วย
โพแทสเซียมไนเตรดห่อหุ้มด้วยไคโตซานสำหรับการประยุกต์
ใช้ทางการเกษตร

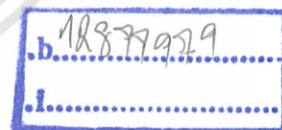
PREPARATION OF KNO_3 IMPREGNATED
MONTMORILLONITE / CHITOSAN COMPOSITES FOR
AGRICULTURAL APPLICATIONS



T148989

ชนม์วิกร คุณากรนิยมรัตน์
ณัช ทิมขำ
เบญจมล เพ็ชรเจริญมงคล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....148989
วัน,เดือน,ปี.....10.S.A.2560



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF KNO_3 IMPREGNATED
MONTMORILLONITE / CHITOSAN COMPOSITES FOR
AGRICULTURAL APPLICATIONS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอ็บซุ่มด้วยโพแทสเซียม-ไนเตรดห่อหุ้มด้วยไคโตซาน สำหรับการประยุกต์ใช้ทางการเกษตร
Preparation of KNO₃ Impregnated Montmorillonite / Chitosan Composites for Agricultural Applications

ชื่อนักศึกษา นายชนม์วิกร คุณากรนิมรัตน์ รหัสนักศึกษา 55050612
นายณัช ทิมขำ รหัสนักศึกษา 55050638
นางสาวเบญจมล เพ็ชรเจริญมงคล รหัสนักศึกษา 55050716

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี กรรมการ	
ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอิบซุ่มด้วยโพแทสเซียมไนเตรตห่อหุ้มด้วยไคโตซาน สำหรับการประยุกต์ใช้ทางการเกษตร		
ชื่อนักศึกษา	นายชนม์วิกร คุณากรนิมรัตน์	รหัสนักศึกษา	55050612
	นายณัช ทิมขำ	รหัสนักศึกษา	55050638
	นางสาวเบญจมล เพ็ชรเจริญมงคล	รหัสนักศึกษา	55050716
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ปยุตมา ศิริพันธ์โนน		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เตรียมวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) ที่เอิบซุ่มด้วยโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) ห่อหุ้มด้วยไคโตซาน (CS) (MMT- KNO_3 /CS) โดยในขั้นแรกทำการเอิบซุ่มแร่ดินเหนียว MMT ด้วยสารละลาย KNO_3 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ MMT จากนั้นนำแร่ MMT ที่เอิบซุ่มด้วย KNO_3 (MMT- KNO_3) ผสมกับสารละลาย CS ในกรดแอสซิติคเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แล้วนำสารผสมมาหยดลงในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (STPP) เพื่อให้ CS เกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิก (Ionic crosslink) ได้เป็นวัสดุประกอบ MMT- KNO_3 /CS เมื่อนำสารผสม MMT- KNO_3 และวัสดุประกอบ MMT- KNO_3 /CS ไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) เครื่องวิเคราะห์การคายรังสีเอ็กซ์ (XRF) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC) และเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (TGA) พบว่า KNO_3 สามารถแทรกสอดเข้าไปภายในช่องว่างระหว่างชั้นโครงสร้างของ MMT เมื่อความเข้มข้นของ KNO_3 ที่ใช้ในขั้นตอนการเอิบซุ่มเพิ่มขึ้น KNO_3 ที่มากเกินไปจะอยู่ภายนอกชั้นโครงสร้างของ MMT และบางส่วนจับตัวอยู่กับ CS อย่างไรก็ตามขั้นตอนการเอิบซุ่มไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างหลักของ MMT การปลดปล่อย KNO_3 จาก MMT- KNO_3 และวัสดุประกอบ MMT- KNO_3 /CS ทดสอบโดยบรรจุตัวอย่างในถุงตาข่ายและนำไปแช่ในน้ำบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนสารละลายใหม่ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ส่วนสารละลายที่แยกออกมาจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี (Ion chromatography, IC) พบว่า การปลดปล่อย KNO_3 จาก MMT- KNO_3 รวดเร็วกว่า MMT- KNO_3 /CS เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ KNO_3 ที่ใช้ในขั้นตอนการเอิบซุ่ม จะเป็นผลให้ปริมาณ

KNO_3 ที่ปลดปล่อยจาก MMT-KNO_3 เพิ่มขึ้น แต่จะไม่ส่งผลในกรณีของวัสดุประกอบ $\text{MMT-KNO}_3/\text{CS}$ จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า CS สามารถชะลอการปลดปล่อย KNO_3 ได้

คำสำคัญ : การเชื่อมโยง การปลดปล่อย การเอิบซุ่ม ไคโตซาน โพลีเอทิลีน ไนเตรต มอนต์มอริลโลไนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Preparation of KNO_3 Impregnated Montmorillonite / Chitosan Composites for Agricultural Applications
Students	Mr. Chonwikorun Kunakornniyomrat Student ID 55050612 Mr. Nut timkham Student ID 55050638 Miss Benjamin Petchareanmongkol Student ID 55050716
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Asst.Prof.Dr. Punnama Siriphannon

Abstract

This research prepared composites of potassium nitrate (KNO_3) impregnated montmorillonite (MMT) coated with chitosan (CS) (MMT- KNO_3 /CS). In the first step, the MMT was impregnated with KNO_3 solution having various concentrations, i.e. 5, 10 and 15 wt% of MMT. The KNO_3 impregnated MMT (MMT- KNO_3) was then mixed with CS solution in 2 vol% acetic acid. This mixture was dropped into sodium tripolyphosphate (STPP) solution in order to ionically crosslink the CS to obtain the MMT- KNO_3 /CS composites. The as-prepared MMT- KNO_3 and MMT- KNO_3 /CS composites were characterized by X-ray diffractometer (XRD), X-ray fluorescence spectrometer (XRF), Scanning electron microscope (SEM), Differential scanning calorimeter (DSC) and Thermogravimetric analysis (TGA). It was found that the KNO_3 could intercalate into the internal spacing between the MMT tactoids. When the concentration of KNO_3 used in the impregnation process was increased, the excess KNO_3 was on the external space of MMT tactoids and partially trapped with CS when it was coated. However, the impregnation process did not affect the main structure of MMT. The KNO_3 releases from MMT- KNO_3 and MMT- KNO_3 /CS composites were tested by packing the samples in mesh bag and then immersing in ultrapure water for 6 hours, in which the solution was refreshed in every hour. The separated solution

was analyzed by Ion chromatography (IC). It was found that the KNO_3 release from the MMT- KNO_3 was faster than that from the MMT- KNO_3/CS . The increase of KNO_3 concentrations used in the impregnation process resulting in the increase of amount of KNO_3 released from the MMT- KNO_3 , but it did not affect in the case of MMT- KNO_3/CS composites. These results indicated that the CS could retard the KNO_3 release.

Keywords : Crosslinking, Releasing, Impregnation, Chitosan, Potassium nitrate, Montmorillonite



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปณณมา ศิริพันธ์โนน เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งเอาใจใส่ดูแลการทำงานมาโดยตลอด จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์ ที่ให้คำแนะนำและช่วยชี้แนะข้อผิดพลาดต่าง ๆ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและให้การช่วยเหลือเกี่ยวกับเครื่องมือต่าง ๆ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (GIT) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบ XRF

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบ DSC

ขอบคุณพี่ที่วิทยาลัยนาโนและสาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมทุกคน ที่ให้คำปรึกษาและช่วยแก้ปัญหา และขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาที่ให้การช่วยเหลือและให้กำลังใจ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมา จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ชนม์วิกร คุณากรนิมรัตน์
ณัช ทิมขำ
เบญจมล เพ็ชรเจริญมงคล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 แร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์.....	3
2.1.1 การดัดแปรโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์.....	4
2.1.2 วัสดุประกอบนาโนเคลย์	4
2.2 ไคโตซาน.....	5
2.2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน	6
2.2.2 ไคโตซานกับความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	7
2.2.3 การประยุกต์การใช้งานของไคโตซาน	7
2.2.4 การเชื่อมโยงไคโตซานแบบไอออนิก.....	8
2.3 ปู๋.....	8
2.3.1 ประเภทของปู๋	8
2.3.2 ตัวอย่างปู๋	9
2.3.3 ปู๋ละลายช้า.....	9
2.3.4 การปลดปล่อยธาตุอาหารจากปู๋ละลายช้า.....	9
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10

สารบัญ (ต่อ)

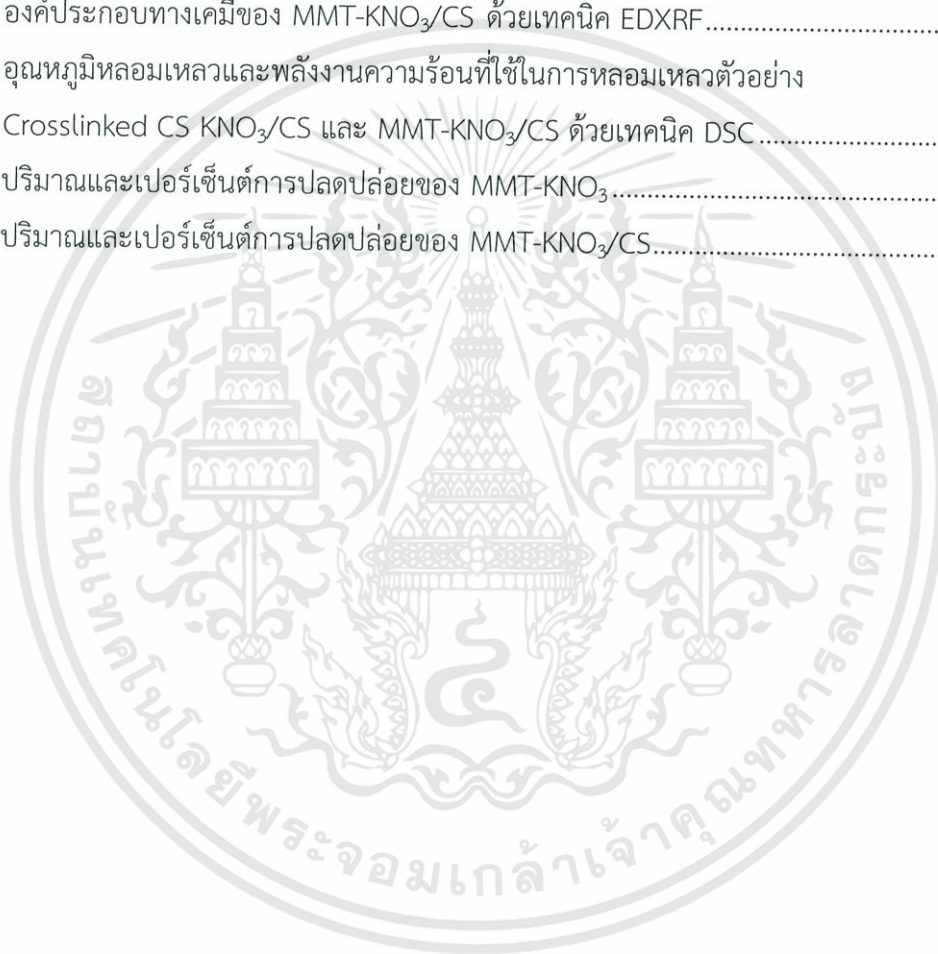
	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	14
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	14
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	14
3.3 วิธีการทดลอง	15
3.3.1 การกำจัดสิ่งเจือปนในแรมอนต์มอริลโลไนต์	15
3.3.2 การดัดแปรโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอ็บซุ่มด้วยโพแทสเซียมไนเตรด ..	15
3.3.3 การเตรียมสารละลายโคโตซาน	18
3.3.4 การเตรียมวัสดุประกอบโพแทสเซียมไนเตรดห่อหุ้มด้วยโคโตซาน.....	18
3.3.5 การเตรียมวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอ็บซุ่มด้วย โพแทสเซียมไนเตรดห่อหุ้มด้วยโคโตซาน	20
3.3.6 การทดสอบการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรด.....	21
3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์.....	21
3.4.1 วิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD).....	21
3.4.2 วิเคราะห์การคายรังสีเอ็กซ์ (XRF).....	22
3.4.3 วิเคราะห์การคายรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (EDXRF).....	22
3.4.4 วิเคราะห์ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC)	22
3.4.5 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (TGA)	22
3.5 การวิเคราะห์ไอออนโครมาโทกราฟี (IC).....	22
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	23
4.1 การดัดแปรโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์	23
4.1.1 วัฏภาคผลึกของ MMT-KNO ₃	23
4.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของ MMT-KNO ₃	25
4.1.3 ทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	26
4.2 การเตรียมวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอ็บซุ่มด้วยโพแทสเซียมไนเตรด ห่อหุ้มด้วยโคโตซาน.....	27
4.2.1 วัฏภาคผลึกของ MMT-KNO ₃ /CS	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของ MMT-KNO ₃ /CS.....	29
4.2.3 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุประกอบ MMT-KNO ₃ /CS.....	31
4.2.4 สมบัติความร้อนของวัสดุประกอบ MMT-KNO ₃ /CS.....	33
4.3 การปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรต (KNO ₃) ของวัสดุประกอบ MMT-KNO ₃ /CS..	35
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	40
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	40
เอกสารอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก.....	44
ภาคผนวก ก.....	45
ภาคผนวก ข.....	46
ภาคผนวก ค.....	48
ภาคผนวก ง.....	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ปริมาณ KNO_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่ใช้ในการเตรียม MMT- KNO_3	16
3.2 ปริมาณ KNO_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบ KNO_3/CS	18
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของ MMT เริ่มต้น และ MMT- KNO_3 ด้วยเทคนิค WDXRF	25
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของ MMT- KNO_3/CS ด้วยเทคนิค WDXRF	29
4.3 องค์ประกอบทางเคมีของ MMT- KNO_3/CS ด้วยเทคนิค EDXRF.....	30
4.4 อุณหภูมิหลอมเหลวและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวตัวอย่าง Crosslinked CS KNO_3/CS และ MMT- KNO_3/CS ด้วยเทคนิค DSC	34
4.5 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยของ MMT- KNO_3	38
4.6 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยของ MMT- KNO_3/CS	39



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์	3
2.2 แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตที่ยึดแผ่นโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์.....	4
2.3 ชนิดของวัสดุประกอบนาโนแบบต่าง ๆ	5
2.4 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน	5
2.5 การเกิดปฏิกิริยาของไคโตซานกับโซเดียมไตรฟอสเฟต	8
3.1 แผนภาพแสดงการกำจัดสิ่งเจือปนในแร่ MMT	16
3.2 แผนภาพแสดงการเตรียมสารประกอบ MMT-KNO ₃	17
3.3 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบ KNO ₃ /CS.....	19
3.4 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบ MMT-KNO ₃ /CS	20
3.5 แผนภาพแสดงการทดสอบการปลดปล่อย KNO ₃	21
4.1 แผนภาพแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ MMT เริ่มต้น.....	23
4.2 แผนภาพการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัสดุประกอบ MMT-KNO ₃ ที่เตรียมโดยใช้ KNO ₃ เข้มข้น 5 10 และ 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT	24
4.3 ภาพแสดงลักษณะการแทรกสอดของ KNO ₃ ในช่องว่างของ MMT	24
4.4 TGA เทอร์โมแกรมของ MMT และ MMT-KNO ₃ ที่เตรียมโดยใช้ KNO ₃ เข้มข้น 5 10 และ 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT	27
4.5 แผนภาพแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัสดุประกอบ MMT-KNO ₃ /CS ที่เตรียมโดยใช้ KNO ₃ เข้มข้น 5 10 และ 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT	28
4.6 แผนภาพแสดงลักษณะการแทรกสอดของ KNO ₃ และ CS ในช่องว่างระหว่างระนาบ 001 ของ MMT	28
4.7 ภาพแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของ K บนพื้นผิวของวัสดุประกอบ MMT-KNO ₃ /CS ที่เตรียมโดยใช้ KNO ₃ เข้มข้น ก) 5 ข) 10 และ ค) 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT	31
4.8 ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางกายภาพของวัสดุประกอบ MMT-KNO ₃ /CS ในสารละลาย STPP ก่อนการอบแห้ง.....	32
4.9 ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางกายภาพของวัสดุประกอบ MMT-KNO ₃ /CS ภายหลังจากการอบแห้ง ที่เตรียมโดยใช้ KNO ₃ เข้มข้น ก) 5 ข) 10 และ ค) 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT.....	32

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 TGA เทอร์โมแกรมวัสดุประกอบ MMT-KNO ₃ /CS ที่เตรียมโดยใช้ KNO ₃ เข้มข้น 5 10 และ 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT	35
4.11 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K ⁺ จาก MMT-KNO ₃ ที่ชั่วโมงต่าง ๆ	36
4.12 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO ₃ ⁻ จาก MMT-KNO ₃ ที่ชั่วโมงต่าง ๆ.....	36
4.13 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K ⁺ จาก MMT-KNO ₃ /CS ที่ชั่วโมงต่าง ๆ.....	37
4.14 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO ₃ ⁻ จาก MMT-KNO ₃ ที่ชั่วโมงต่าง ๆ.....	38



คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
MMT	Montmorillonite
KNO ₃	Potassium nitrate
CS	Chitosan
XRD	X-ray diffractometer
WDXRF	Wavelength dispersive x-ray fluorescence
EDXRF	Energy dispersive x-ray fluorescence
SEM	Scanning electron microscope
SEM-EDX	Scanning electron microscopy with energy dispersive x-ray analysis
DSC	Differential scanning calorimeter
TGA	Thermogravimetric analysis
IC	Ion chromatography

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เกษตรกรรม เป็นแหล่งรายได้หลักที่สำคัญอย่างหนึ่งในระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก แต่เนื่องจากในภาวะปัจจุบันมีการแข่งขันสูงจากประเทศเพื่อนบ้านในกลุ่ม AEC ทำให้มีการเร่งผลผลิตเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลให้มีการสูญเสียธาตุอาหารไปกับผลผลิต สูญเสียจากการชะล้างกัดกร่อนของดิน และสูญเสียจากการเปลี่ยนแปลงสภาพของไนโตรเจน ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง มีการแก้ไขโดยการใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มปริมาณของธาตุอาหารนั้น ๆ เมื่อมีการใช้มากเกินไปส่งผลให้ดินสูญเสียสมบัติทางกายภาพ เช่น อินทรีย์วัตถุลดลง ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการดูดซึมธาตุอาหารลดลง ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย โดยภายในจะประกอบด้วยปุ๋ยเคมีที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง แต่มีการเคลือบผิวไว้ด้วยพอลิเมอร์หรือสารอินทรีย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บปุ๋ยเคมี โดยเมื่อปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยสัมผัสกับน้ำจะเกิดการบวมตัวและเกิดการแพร่ของปุ๋ยที่บรรจุอยู่ภายในออกมาทีละน้อย ส่งผลให้พืชได้รับสารอาหารอย่างสม่ำเสมอและเพียงพอต่อความต้องการ [1]

โครงการพิเศษนี้จึงสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาวัสดุที่ใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยจากวัสดุธรรมชาติที่มีแหล่งวัตถุดิบในประเทศไทย โดยเลือกใช้แร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite, MMT) และไคโตซาน (Chitosan, CS) ทั้งนี้เนื่องจากแร่ MMT มีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นซ้อนกัน โดยที่มีไอออนบวกแทรกอยู่ระหว่างแผ่น ซึ่งไอออนที่อยู่ระหว่างชั้นของแร่ MMT นี้สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ จากลักษณะโครงสร้างดังกล่าวทำให้แร่ MMT มีความสามารถในการกักเก็บไอออนต่าง ๆ ไว้ได้ [2-3] ซึ่งในโครงการพิเศษนี้จะเลือกใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) เป็นตัวแทนของปุ๋ยเคมีเนื่องจากปุ๋ย KNO_3 มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชถึงสองชนิด คือ โพแทสเซียม (K^+) และไนเตรต (NO_3^-) รวมถึงสามารถนำไปใช้เป็นสารเติมแต่งในการถนอมอาหารโดยสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย [4] สำหรับไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ไม่มีความเป็นพิษสกัดได้จากสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง ปัจจุบันมีการนำ CS ไปประยุกต์ใช้งานมากมายหลายด้าน เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้เองและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ในทางเกษตรกรรมได้มีการนำ CS มาใช้เป็นปุ๋ยธรรมชาติและใช้เคลือบเมล็ดพันธุ์พืช เนื่องจาก CS มีสมบัติต่อต้านเชื้อราและแบคทีเรีย สร้างภูมิคุ้มกันทางโรค รวมทั้งช่วยยืดอายุผลผลิตทางการเกษตร ดังนั้นการนำวัสดุธรรมชาติ ทั้งสองชนิดมาใช้ร่วมกันจะช่วยควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้นทุนในการผลิตต่ำ และช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ในดินให้มากขึ้นอีกด้วย [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอิบชุ่มด้วย KNO_3 ห่อหุ้มด้วยไคโตซาน (MMT- KNO_3 /CS)
2. ศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบต่อความสามารถในการปลดปล่อย KNO_3

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอิบชุ่มด้วย KNO_3 ห่อหุ้มด้วยไคโตซาน (MMT- KNO_3 /CS) โดยมีปัจจัยศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของ KNO_3
2. ศึกษาโครงสร้างและสมบัติกายภาพของวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอิบชุ่มด้วย KNO_3 ห่อหุ้มด้วยไคโตซานด้วยเทคนิคต่าง ๆ
3. ศึกษาผลของมอนต์มอริลโลไนต์และไคโตซานต่อความสามารถในการปลดปล่อย KNO_3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

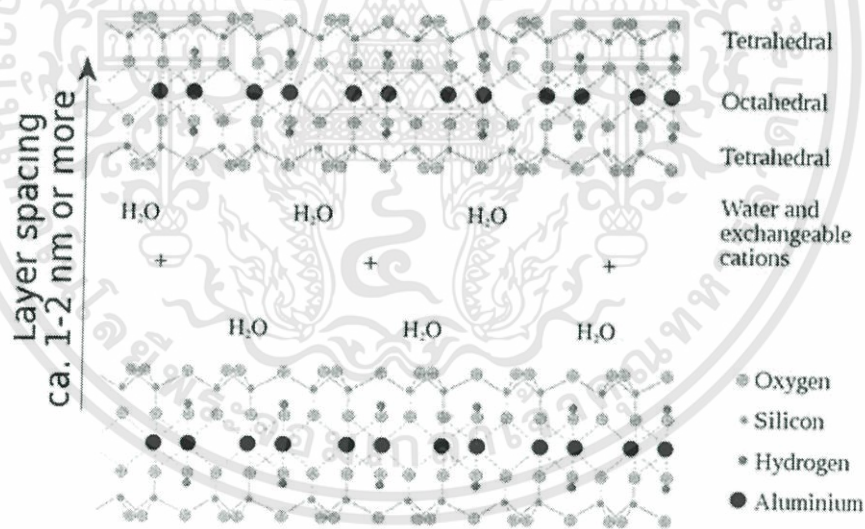
1. สามารถเตรียมวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอิบชุ่มด้วย KNO_3 ห่อหุ้มด้วยไคโตซานที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมปลดปล่อย KNO_3 และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านการเกษตร
2. เป็นการประยุกต์ใช้มอนต์มอริลโลไนต์และไคโตซานซึ่งเป็นวัสดุที่มีอยู่ในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุด
3. เป็นการวิจัยและพัฒนาปุ๋ยเคมีให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์

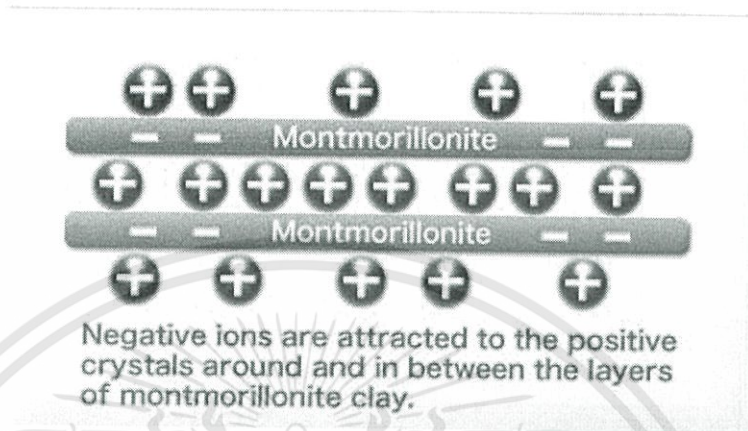
มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite, MMT) [2-3] เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างเป็นชั้นผลึก ซึ่งประกอบด้วยชั้น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นอะลูมินาออกตะฮีดรอล (Octahedral) ซึ่งมีประจุบวก ถูกประกบอยู่ระหว่างชั้นซิลิเกตเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) โดยอัตราส่วนของซิลิกา (SiO_2) ต่ออะลูมินา (Al_2O_3) ในโครงสร้างของ MMT มีค่าเป็น 2:1 ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทำให้ MMT มีประจุสุทธิเป็นลบ จึงมีประจุบวกของ แมกนีเซียม อะลูมิเนียม โซเดียม แคลเซียมและธาตุอื่น ๆ เข้ามาแทรกอยู่ระหว่างชั้นผลึกเพื่อทำให้เกิดสมดุลของประจุ ซึ่งการมีอยู่ของไอออนบวกในระหว่างชั้นผลึกทำให้ MMT สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยไอออนที่มีขนาดใหญ่ทำให้ระยะห่างเพิ่มมากขึ้นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.1 MMT มีความหนาของชั้นผลึกประมาณ 0.7-1.0 nm ในขณะที่ความยาวของผลึกมีค่าประมาณ 30 nm จนถึงระดับ μm MMT จึงเป็นวัสดุที่มีอัตราส่วนของความกว้างต่อความยาว (Aspect ratio) สูง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ [6]

2.1.1 การดัดแปรโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์

MMT มีสมบัติชอบน้ำและแต่ละชั้นของ MMT ที่ซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงทางไฟฟ้า [3] ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตที่ยึดแผ่นโครงสร้างของมอนต์มอริลโลไนต์ [7]

จึงทำให้ MMT สามารถดัดแปรโครงสร้างได้ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) ซึ่งประจุบวกที่ยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่างชั้นของ MMT เป็นพันธะที่ไม่แข็งแรง จึงสามารถมีสารที่เป็นประจุบวกแทนที่ประจุบวกเดิมที่อยู่ระหว่างชั้นผลึกของ MMT ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดการแทรกสอด (Intercalation) หรือเกิดการแยกออกจากกัน (Exfoliation) ของชั้น MMT ได้

2.1.2 วัสดุประกอบนาโนเคลย์

วัสดุประกอบนาโนเคลย์สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทตามลักษณะการกระจายตัวอนุภาคเคลย์ในเนื้อพอลิเมอร์ [3,5] ดังแสดงในรูปที่ 2.3

- วัสดุประกอบทั่วไป (Conventional clay nanocomposite)

วัสดุประกอบนาโนที่ประกอบด้วยอนุภาค MMT กระจายตัวอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ โดยที่ชั้นแต่ละชั้นในโครงสร้าง MMT ยังรวมกลุ่มกันอยู่ไม่แยกออกจากกัน

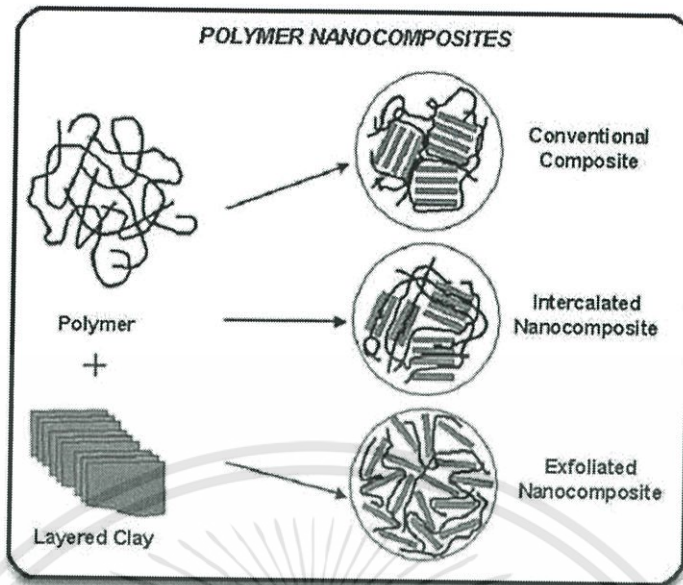
- วัสดุประกอบนาโนแบบแทรกสอด (Intercalated clay nanocomposite)

โครงสร้างของ MMT ถูกแทรกสอดด้วยพอลิเมอร์ตั้งแต่ 1 โมเลกุลขึ้นไป ทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นของโครงสร้างของ MMT เพิ่มขึ้น

- วัสดุประกอบนาโนแบบแยกกันจากกัน (Exfoliated clay nanocomposite)

วัสดุประกอบนาโนแบบแยกจากกันมักเกิดจากมีปริมาณ MMT ต่ำ ซึ่งการแยกของแต่ละชั้นในโครงสร้างขึ้นอยู่กับปริมาณของพอลิเมอร์ในวัสดุประกอบ

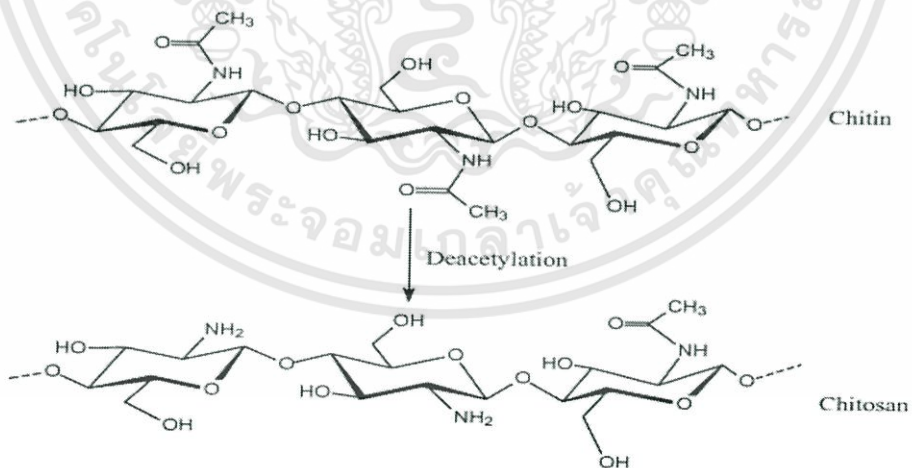
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ชนิดของวัสดุประกอบนาโนแบบต่าง ๆ [8]

2.2 ไคโตซาน

ไคโตซาน (CS) [9-11] หรือ poly[β -(1,4)-2-amino-2deoxy-D-glucopyranose] เป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะเซทิล (Deacetylation) ของไคตินด้วยสารละลายต่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างของไคตินเปลี่ยนแปลงไปจากหมู่อะซิดามิโด (-NHCOCH₃) เป็นหมู่เอมิโน (-NH₂) ที่ตำแหน่งที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน [12]

2.2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน [10,11]

- การละลาย

CS ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ดีในสารละลายกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิด ที่มีค่าพีเอชน้อยกว่า 6 เช่น กรดแอสติค กรดฟอร์มิก ส่วนกรดอนินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลาย CS ได้เช่นกัน แต่ทำละลายที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง และสารละลาย CS ที่ได้จะมีความเหนียว ใส และมีพฤติกรรมแบบนอนนิวโตเนียน (Non-newtonian)

- ความหนืด

ความหนืดของสารละลาย CS ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น องศาการกำจัดหมู่อะเซทิล (Degree of deacetylation) น้ำหนักโมเลกุล ความแรงไอออน (Ionic strength) พีเอช และอุณหภูมิ โดยทั่วไปความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงพีเอชของสารละลาย CS ส่งผลให้มีความหนืดที่แตกต่างกันได้ เช่น ความหนืดของ CS ในกรดแอสติคจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชลดลง ในขณะที่ความหนืดของ CS ในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น

- การสลายตัว

CS คล้ายกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์ทั่วไป เมื่อเกิดการสลายตัว จะทำให้สายโซ่ของโมเลกุลสั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์หรือโอลิโกแซคคาไรด์ และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่ามอนอเมอร์หรือมอนอแซคคาไรด์ของ CS คือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine

- การสลายตัวทางความร้อน

ความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของ CS จากการวิจัยพบว่า ความร้อนจากเตาอบซึ่งเป็นความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับ 80°C มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลของ CS มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ค่าอุณหภูมิที่สภาวะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ลดลง และทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ส่วนความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีผลทำให้ CS เปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำตาลขึ้นกับอุณหภูมิและเวลา

- การสลายตัวในสภาวะกรดและด่าง

การสลายตัวของสายโซ่โมเลกุลของ CS เนื่องจากกรดจะเกิดขึ้นแบบสุ่มผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ โอลิโกเมอร์ขนาดต่าง ๆ และมอนอเมอร์ขึ้นกับสภาวะที่ใช้ เช่น เวลา ชนิดของกรด อุณหภูมิ ชนิดของพอลิเมอร์ และชนิดพันธะของสายโซ่โมเลกุล ส่วนการสลายตัวของ CS ในสภาวะต่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล

- ความสามารถในการตกตะกอน

CS เป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอนที่ดี เนื่องจากมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อมและพอลิเมอร์อื่น ๆ เป็นต้น นอกจากนี้ CS ยังสามารถจับโลหะหนักได้ โดยไนโตรเจนในหมู่อะมิโนของ CS จะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนของโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อนกับหมู่อะมิโนได้ และยังพบว่าหมู่อะมิโนของ CS ยังมีประสิทธิภาพในการจับไอออนของโลหะได้ดีกว่าหมู่เอซิติลในไคติน ซึ่งความสามารถในการดูดซับไอออนของ CS ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเป็นผลึกและความสามารถในการดึงดูน้ำของ CS

2.2.2 ไคโตซานกับความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

CS เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีสมบัติพื้นฐานเข้ากับธรรมชาติได้ดี สามารถย่อยสลายได้ง่าย ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการที่ CS มีหมู่อะมิโนที่แสดงสมบัติพิเศษหลายประการที่ต่างจากเซลลูโลส เช่น การละลายได้ในกรดอินทรีย์เจือจาง การจับไอออนของโลหะได้ดี และการมีฤทธิ์ทางชีวภาพ เป็นต้น จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้ไม่มีปัญหาในเรื่องของมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ CS [5]

2.2.3 การประยุกต์การใช้งานของไคโตซาน

- ด้านการเกษตร

เนื่องจาก CS มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบจึงเหมาะกับการใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตในพืชและสัตว์ อีกทั้งเป็นสารธรรมชาติที่มีลักษณะโดดเด่นเฉพาะตัว คือ เป็นวัสดุชีวภาพ (Biomaterials) สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์โดยไม่เกิดผลเสียรวมทั้งปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ไม่เกิดการแพ้ ไวไฟและไม่เป็นพิษต่อพืช (Non-phytotoxic) [10]

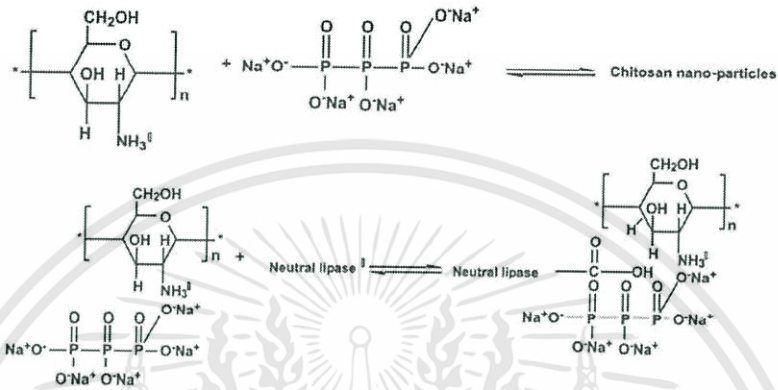
CS สามารถนำมาเคลือบผลผลิตทางการเกษตร เพื่อยืดอายุ และป้องกันการเน่าเสีย ทำให้ผักผลไม้คงความกรอบ ผิวไม่เหี่ยวแห้งและสีผิวไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งพบว่า CS มีประสิทธิภาพดีกว่ายาฆ่าเชื้อราบางชนิด และมีความปลอดภัยมากกว่า

- ด้านการปศุสัตว์

CS มีการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกันและลดการติดเชื้อ ทำให้สัตว์แข็งแรงมากขึ้น [10]

2.2.4 การเชื่อมโยงโคโตซานแบบไอออนิก

การเชื่อมโยง CS แบบไอออนิกอาศัยอันตรกิริยาระหว่างสารที่มีประจุตรงข้ามกับสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) เช่น CS เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีประจุบวกสามารถเกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิกกับโซเดียมไตรฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate, STPP) ที่มีประจุลบ [13] ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเกิดปฏิกิริยาของโคโตซานกับโซเดียมไตรฟอสเฟต [14]

2.3 ปุ๋ย

ปุ๋ย [15,16] คือ สารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่เติมลงในดิน เพื่อให้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโต โดยปุ๋ยที่ใส่ต้องมีชนิดและปริมาณที่เหมาะสมกับความต้องการของพืช ถ้าหากมีการใส่มากเกินไปอาจทำให้ความเป็นกรด-ด่างของดินเกิดการเปลี่ยนแปลง หรืออาจมีการสะสมของโลหะหนักและสารพิษบางชนิด ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต

2.3.1 ประเภทของปุ๋ย

1. แบ่งตามชนิดของสารประกอบ

(1) ปุ๋ยเคมี หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ปุ๋ยอนินทรีย์ เป็นปุ๋ยที่ได้มาจากสารอนินทรีย์ ที่มีตามธรรมชาติ หรือที่มีการสังเคราะห์ขึ้นมาจากกระบวนการทางเคมี

(2) ปุ๋ยอินทรีย์ ประกอบด้วยสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต ซากพืช ซากสัตว์ของเหลือทิ้งจากที่อยู่อาศัย

2. แบ่งตามชนิดของธาตุอาหาร

(1) ปุ๋ยธาตุหลัก เป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักของพืชเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่

- ปุ๋ยไนโตรเจน
- ปุ๋ยฟอสฟอรัส
- ปุ๋ยโพแทสเซียม

(d) ปุ๋ยที่มีธาตุหลักมากกว่าหนึ่งธาตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ปุ๋ยธาตุอาหารรอง เป็นปุ๋ยที่ประกอบด้วยธาตุรองของพืช เช่น แคลเซียม ซัลเฟต ซึ่งมีแคลเซียมและกำมะถัน แมกนีเซียมซัลเฟต มีแมกนีเซียมและกำมะถัน

2.3.2 ตัวอย่างปุ๋ย

1. ปุ๋ยยูเรีย ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) [17]

ปุ๋ยยูเรีย เป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารไนโตรเจนอยู่ 46% หรือเขียนได้ว่า ปุ๋ยยูเรีย 46 - 0 - 0 กล่าวคือในปุ๋ยหนัก 100 kg จะมีไนโตรเจน 46 kg เนื่องจากปุ๋ยยูเรียมีส่วนของธาตุไนโตรเจนที่สูงจึงมีการนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตปุ๋ยชนิดอื่น แต่เมื่อมีการใส่ลงไปในดินแล้วพืชจะไม่สามารถดูดซึมยูเรียได้โดยตรง ต้องเกิดการเปลี่ยนรูปให้เป็นไนเตรตเพื่อให้พืชสามารถดูดซึมได้

2. ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) [18]

ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรต เป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารทั้งโพแทสเซียมและไนโตรเจนในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยในปุ๋ยหนัก 100 kg มีธาตุไนโตรเจน 13 kg และมีธาตุโพแทสเซียมที่ละลายน้ำ (โพแทสเซียมออกไซด์ : K_2O) 46 kg หรือเขียนว่า ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรต 13 - 0 - 46 ซึ่งปุ๋ย KNO_3 สามารถให้ธาตุอาหารแก่พืชได้ 100% ประกอบด้วย NO_3^- 62% และ K^+ 38%

2.3.3 ปุ๋ยละลายช้า [1]

ปุ๋ยละลายช้า (Slow-release fertilizers : SRF) หรือเรียกว่า ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (Control release fertilizers : CRF) เป็นคำที่ใช้เรียกปุ๋ยที่มีความสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารของพืชออกมาช้า ๆ โดยมีการพัฒนามาจากปุ๋ยเคมีเดิมให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

ปุ๋ยละลายช้า คือ ปุ๋ยที่มีความสามารถปลดปล่อยปุ๋ยเคมีออกมาช้ากว่าปุ๋ยเคมีทั่วไป แต่ไม่สามารถควบคุมอัตราและช่วงเวลาในการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ เนื่องจากอัตราการปลดปล่อยขึ้นกับปัจจัยภายนอกด้วย เช่น ความชื้นของดิน

ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย คือ ปุ๋ยที่มีการผลิตให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ และสามารถทราบชัดเจนว่ามีปัจจัยใดที่ส่งผลต่ออัตราและช่วงเวลาที่ย่อยปลดปล่อยธาตุอาหาร โดยมีกลไกที่ควบคุมการปลดปล่อยอยู่แล้วในปุ๋ยที่ผลิตขึ้นมา ภายในของปุ๋ยชนิดนี้จะมีปุ๋ยที่สามารถละลายน้ำได้สูงอยู่ บริเวณที่ผิวด้านนอกจะถูกเคลือบเพื่อควบคุมการปลดปล่อย

2.3.4 การปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยละลายช้า [1]

การปลดปล่อยธาตุอาหารจะมีหลายระยะ ในระยะแรกมีการซึมของน้ำผ่านผิวเคลือบ ถ้าความดันภายในมีค่าสูงกว่าความต้านทานของผิวเคลือบ บริเวณผิวจะแตกออกเกิดการทะลักออกของปุ๋ยที่อยู่ภายใน แต่ถ้าผิวเคลือบสามารถทนต่อความดันภายในได้ ปุ๋ยจะเกิดการแพร่ออกมา เนื่องจากความเข้มข้นภายในมีมากกว่าความเข้มข้นภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Hua, S. และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาการควบคุมปลดปล่อยของ Ofloxacin (OFL) จากวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) กับ โคลโตซาน (CS) ไฮโดรเจล (Hydrogel) ที่เชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (STPP) เริ่มจากการเตรียมตัวอย่าง ซึ่ง MMT 0.2 g กระจายในกรดแอซิติคเข้มข้น 2 wt% 20 mL แล้วเติม OFL 0.2 g ลงไปปั่นจนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำ CS 0.6 g ละลายในสารละลายที่เตรียมไว้พร้อมกับปั่นจนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ไปหยดในสารละลาย STPP โดยหยดผ่านหลอดฉีดยาและนำตัวอย่างที่ได้ไปทำให้แห้ง แล้วนำไปตรวจพิสูจน์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) SEM XRD และทดสอบการปลดปล่อย พบว่าที่สภาวะค่าพีเอช 1.2 วัสดุประกอบสามารถปลดปล่อย OFL ได้เร็วและดีกว่าวัสดุประกอบที่ทดสอบที่สภาวะค่าพีเอช 7.4

งานวิจัยของ Wang, S.F. และคณะ [20] ได้ทำการศึกษารูปร่างและสมบัติของวัสดุประกอบนาโนมอนต์มอริลโลไนต์/โคลโตซาน (MMT/CS) ที่มีการกำจัดและไม่กำจัดกรดแอซิติคเปรียบเทียบกับ CS บริสุทธิ์ โดยเตรียมวัสดุประกอบ HAC-CS/MMT จากการละลาย CS ในกรดแอซิติค (HAC) และเติม MMT ในอัตราส่วนที่ต่างกัน ต่อมาเตรียมวัสดุประกอบ MMT/CS โดยวิธีการเหมือนกับ HAC-CS/MMT แต่ต่างกันตรงที่หลังจากผ่านกระบวนการทำให้แห้งจะนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อกำจัดกรดแอซิติค จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วย XRD TEM FTIR TGA และเทคนิคการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของวัสดุนาโน (Nanoindentation) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ MMT เพิ่มขึ้น วัสดุประกอบมีสมบัติความแข็งแรงเสถียรภาพทางความร้อน และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ดีขึ้น ส่วนกรดแอซิติคส่งผลให้ CS เกิดการสลายตัวทางความร้อนได้ง่ายขึ้นและทำให้ความเป็นผลึกของ CS ลดลง

งานวิจัยของ Fen, Y.W. และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ สมบัติทางแสงและการซึมผ่าน Ionophore ของไอออนของโลหะของแผ่นฟิล์มบาง CS เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจจับไอออนของโลหะ ทำโดยเจือ N,N-dimethylacetamide ใน CS ที่เชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ แล้วนำไปทำเป็นแผ่นฟิล์มบางโดยใช้เทคนิคการหมุนเคลือบ (Spin coating) จากนั้นนำตัวอย่างฟิล์มบาง CS ที่ได้ไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค FTIR เทคนิคยูวี-วิสิเบิล-เนียร์อินฟราเรด สเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-Vis-NIR) เทคนิคอะตอมมิกฟอร์สไมโครสโคปี (Atomic force microscopy, AFM) พบว่าแผ่นฟิล์มบาง CS แสดงค่าช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (Band gap) เท่ากับ 3.177 eV. โดยที่พื้นผิวมีความเรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นตรวจหาไอออนของโลหะด้วยเทคนิคเซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface plasmon

resonance, SPR) พบไอออนของโลหะ ได้แก่ Pb^{2+} Cu^{2+} Hg^{2+} Zn^{2+} และ Mn^{2+} แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มบาง CS ที่เตรียมได้สามารถช่วยเพิ่มการดูดซับและการตรวจสอบไอออนของโลหะได้จริง

งานวิจัยของ Santos, B.R. และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาการตรึงโพแทสเซียมไนเตรด (KNO_3) บนวัสดุประกอบโคโตซานกับมอนมอริลโลไนต์ (ChMMT) และศึกษาการควบคุมการปลดปล่อย KNO_3 ทำโดยเตรียมวัสดุประกอบ ChMMT แล้วนำไปแช่ในสารละลาย KNO_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันจากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทดสอบการปลดปล่อย KNO_3 โดยใช้เทคนิคโดเมนรีฟเลกโตเมทรี (Time-domain reflectometry, TDR) จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD FTIR TGA SEM พบว่า MMT มีความสามารถในการดูดซับ KNO_3 มาก เนื่องจากมีรูพรุนมากและจากการทดสอบการปลดปล่อย พบว่าวัสดุประกอบจะปลดปล่อย KNO_3 ในช่วงแรกที่บริเวณผิวของวัสดุประกอบ หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ปล่อย KNO_3 ที่อยู่ภายในออกมา

งานวิจัยของ Jarosiewicz, A. และ Tomaszewska, M. [23] ศึกษาการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ย N-P-K ที่ห่อหุ้มด้วยพอลิเมอร์ โดยเริ่มจากเตรียมเม็ดปุ๋ยเกรดการค้า N-P-K : 6-20-30 ใช้เคลือบแตกต่างกันคือ Polysulfone (PSF) Polyacrylonitrile (PAN) และเซลลูโลสอะซิเตท (CA) ด้วยเทคนิคแบบพ่นเคลือบได้เป็นเม็ดปุ๋ยเคลือบ PSF PAN และ CA นำเม็ดปุ๋ยที่ได้มาวัดความหนาความเป็นรูพรุนของเคลือบที่เตรียมด้วย Microphotographic และทดสอบการปลดปล่อย พบว่าสมบัติทางกายภาพของเคลือบมีผลต่ออัตราการปลดปล่อยของธาตุอาหารหลักที่อยู่ในเม็ดปุ๋ย ในการทดลองทั้งหมดเกิดการปลดปล่อยที่แตกต่างกันขององค์ประกอบ โดยการปลดปล่อยของโพแทสเซียม (K) ผ่านเคลือบ PSF และ PAN จะช้าที่สุด เกิดขึ้นกับการปลดปล่อยของไนโตรเจน (N) ผ่านเคลือบ CA แนวโน้มเดียวกัน และการปลดปล่อยแร่ธาตุองค์ประกอบที่ช้าที่สุดในกรณีที่ใช้ PSF เคลือบ เนื่องจากมีรูพรุนต่ำมากจึงเก็บกักแร่ธาตุได้ดีที่สุด

งานวิจัยของ Tomaszewska, M. และ Jarosiewicz, A. [24] ศึกษาเม็ดปุ๋ย N-P-K ที่ห่อหุ้มด้วย Polysulfone (PSF) เทคนิคการฉีดยาเคลือบเทียบกับวิธีแบบเปียก โดยเริ่มจากการเตรียมเม็ดปุ๋ย N-P-K : 6-20-30 ที่ห่อหุ้มด้วย PSF ฉีดยาด้วยสารละลายพอลิเมอร์ N,N dimethylformamide ที่ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 15-17 wt% จากนั้นนำวัสดุที่เตรียมได้ไปวัดความหนาและปริมาณรูพรุนของเคลือบด้วย Microphotographic พบว่าความหนาและปริมาณรูพรุนของเคลือบลดลงประมาณ 30% เมื่อเปรียบเทียบกับเคลือบแบบเปียก และตรวจหาปริมาณธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ด้วยเทคนิค AAS ที่ปลดปล่อยออกมา พบว่าการประยุกต์การเตรียมเคลือบแบบฉีดยา ทำให้อัตราการปลดปล่อยของแร่ธาตุลดลง นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของชั้นพอลิเมอร์มีผลต่อการปลดปล่อยลดลง จึงทำให้เม็ดปุ๋ยที่ผ่านการฉีดยาเคลือบสามารถกักเก็บปุ๋ยได้ดีกว่าแบบเคลือบแบบเปียก

งานวิจัยของ Zhang, M. และคณะ [25] ศึกษาการเตรียมปุ๋ยละลายช้าที่หุ้มด้วยแผ่นกราฟีนออกไซด์ (GO) โดยนำสารละลายกราฟีนออกไซด์ความเข้มข้น 2 mg/mL มาเคลือบบนเม็ด KNO_3 (GO-coated KNO_3 pellets) นำไปอบที่อุณหภูมิ 90°C 6 ชั่วโมง (re-GO-coated KNO_3 pellets) จากนั้นศึกษาพฤติกรรมปลดปล่อยของ re-GO-coated KNO_3 pellets โดยใช้เทคนิค Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) พบว่าในช่วงแรก ที่ 0-7 ชั่วโมง อัตราการปลดปล่อยค่อนข้างช้า โดยมีโพแทสเซียมไอออนที่ถูกปลดปล่อยออกมาประมาณ 34.5% เมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 7-8 จะมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมไอออนประมาณ 93.8% เนื่องจากเกิดรอยแตกบนฟิล์ม re-GO หลังจากนั้นการปลดปล่อยค่อย ๆ ช้าลงเหมือนในช่วงแรก

งานวิจัยของ Yadav, M. และ Ahmad, S. [26] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์และสมบัติของวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์/กราฟีนออกไซด์/ไคโตซาน (MMT/GO/CS) โดยเตรียมกราฟไฟต์และโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) ละลายในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4 conc.) ในอ่างน้ำแข็งเพื่อควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นจึงค่อย ๆ เติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ทำเป็นแผ่นกราฟีนออกไซด์ (GO sheet) ด้วยเทคนิค modified Hummers method ต่อมนำ GO sheet เจือด้วย CS ที่ละลายในกรดแอสติคิก ทำเป็นวัสดุประกอบแผ่นฟิล์มบาง MMT/GO/CS และ GO/CS ด้วยเทคนิค Mixing evaporation method จากนั้นนำแผ่นฟิล์มบางที่ได้ตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค FT-IR SEM XRD และเทคนิครามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectroscopy) พบว่าวัสดุประกอบ MMT/GO กระจายตัวได้ดีใน CS ทำให้มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และเทคนิค TGA จากการตรวจสอบพบว่าวัสดุประกอบ MMT/GO/CS มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลด้วย Universal testing device (Instron 8871) พบว่าวัสดุประกอบแผ่นฟิล์มบาง MMT/GO/CS มีค่าความแข็งแรงมากกว่า GO/CS

งานวิจัยของ Wu, L. และ Liu, M. [27] ศึกษาการเตรียมเม็ดปุ๋ยที่ถูกเคลือบด้วยไคโตซานกับสารควบคุมการปลดปล่อยและกักเก็บน้ำ (CFCW) โดยเริ่มจากการเตรียมปุ๋ย (NPK) ให้เป็นเม็ดด้วยถังหมุน (Rotary drum) และทำการพ่นสารละลายไคโตซาน (CTS) เพื่อทำให้เกิดการรวมตัวกันได้เป็นเม็ดปุ๋ยที่ถูกเคลือบด้วยไคโตซาน (CTS-coated NPK fertilizer granules) จากนั้นนำ CTS-coated NPK fertilizer granules มาเคลือบอีกชั้นด้วย Poly(acrylic acid-co-acrylamide) [P(AA-co-AM)] ได้เป็น CFCW นำวัสดุที่เตรียมได้มาตรวจหาปริมาณธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ของ CFCW โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ และเทคนิค AAS พบว่ามีปริมาณของธาตุ N P K อยู่ 8.06 8.14 และ 7.98 wt% ตามลำดับ ต่อมาทำการพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้เทคนิค FTIR กับเทคนิค SEM พบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะเป็น 3 ชั้นโดยภายในมีปุ๋ยที่ถูกห่อหุ้มด้วย CTS และถูกห่อหุ้มด้วย P(AA-co-AM) อีกชั้นหนึ่ง นอกจากนี้ยังศึกษาความสามารถในการ

ควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยและความสามารถในการกักเก็บน้ำของ CFCW พบว่า CFCW มีความสามารถในการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยและความสามารถในการกักเก็บน้ำที่ดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ไคโตซาน (Chitosan, CS) เกรดการค้า บริษัท ไบโอ21 จำกัด
2. มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite, MMT) Mag gel บริษัท Thai Nippon จำกัด
3. โพแทสเซียมไนเตรต (Potassium nitrate, KNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CSRLO ERBA จำกัด
4. กรดแอซติก (Acetic acid, CH_3COOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท LAB-SCAN จำกัด
5. โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate, STPP) เกรดการค้า บริษัท รวมเคมี จำกัด
6. น้ำบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water)
7. น้ำกลั่น (Distilled water)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer, XRD) บริษัท Bruker จำกัด รุ่น D8 Advance
2. เครื่องวิเคราะห์การคายรังสีเอ็กซ์ (X-Ray fluorescence spectrometer, XRF) บริษัท Bruker จำกัด รุ่น SRS 3400
3. เครื่องวิเคราะห์รังสีเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy dispersive x-ray fluorescence spectrometer, EDXRF) บริษัท Mahwah จำกัด รุ่น NJ 7430 USA
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) บริษัท Carl Zeiss จำกัด รุ่น Evo 10
5. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC) บริษัท NETZECH จำกัด รุ่น DSC 204 F1
6. เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA) บริษัท PerkinElmer จำกัด รุ่น Pyris 1 TGA
7. เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatograph, IC) บริษัท Metrohm จำกัด
8. เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic) บริษัท Vibar-cell จำกัด รุ่น CV-334
9. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง บริษัท Denver จำกัด รุ่น SI-234
10. Hot plate stirrer บริษัท IKA จำกัด รุ่น C-MAG HS 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ตู้อบ บริษัท Lab Companion จำกัด รุ่น AAH14026U OF-11E Forced Convection Oven, (100L)
12. ชามระเหย
13. ขวดยาพลาสติกขนาด 30 mL
14. หลอดฉีดยาขนาด 10 mL
15. เข็มฉีดยา เบอร์ 23 ขนาด 0.5 นิ้ว
16. ตะแกรงร่อนความละเอียด 325 เมช
17. ไมโครปิเปต

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การกำจัดสิ่งเจือปนในแร่มอนต์มอริลโลไนต์

1. นำแร่มอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) ผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 g : 10 mL ในบีกเกอร์ขนาด 1000 mL แล้วปั่นจนให้ละลาย
2. นำบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ใส่ในเครื่องอัลตราโซนิก เพื่อแยกขนาดอนุภาคของแร่ MMT และสิ่งเจือปนออกเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำน้ำส่วนบนเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100°C เพื่อระเหยน้ำออก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. นำแร่ MMT ที่เหลือในบีกเกอร์เติมน้ำกลั่น แล้วนำเข้าเครื่องอัลตราโซนิก 2-3 รอบ
4. นำอนุภาคแร่ MMT ที่ได้ บดละเอียดด้วยโกรังบดยา

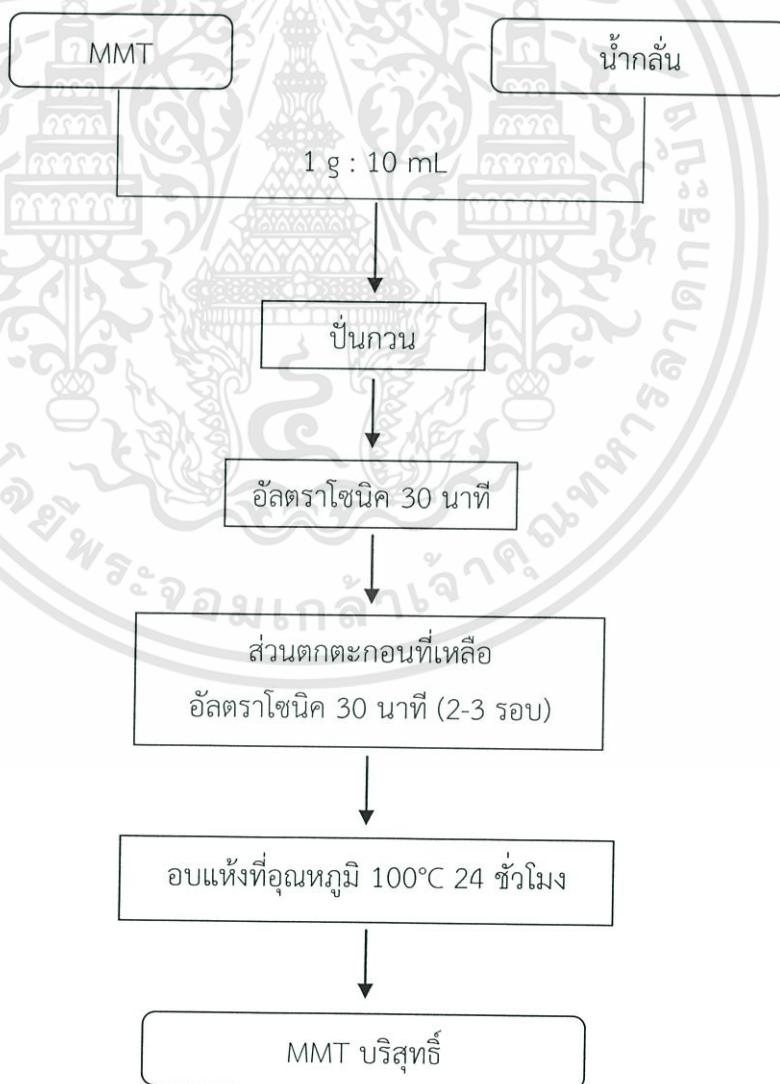
3.3.2 การดัดแปรโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอ็บซุ่มด้วยโพแทสเซียมไนเตรด

1. ชั่งแร่ MMT ที่ผ่านขั้นตอนที่ 3.3.1 จำนวน 5 g กับโพแทสเซียมไนเตรด (KNO_3) ด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.1
2. ละลาย KNO_3 ในน้ำกลั่นปริมาณน้อยที่สุด ในบีกเกอร์ 25 mL
3. นำแร่ MMT ใส่ชามระเหยที่วางบนเครื่องปั่นกวนแบบให้ความร้อน ที่อุณหภูมิประมาณ 100°C พร้อมค่อย ๆ หยดสารละลาย KNO_3 ลงไปพร้อมกับคลุกแร่ MMT กับสารละลายเข้าด้วยกัน
4. นำแร่ MMT ที่ผ่านวิธีการเอ็บซุ่มแล้ว (MMT- KNO_3) เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100°C
5. นำ MMT- KNO_3 มาบดละเอียดอีกครั้งและกรองด้วยตะแกรงขนาด 325 เมช

ปริมาณ KNO_3 ที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้าง MMT ที่เอิบชุ่มด้วย KNO_3 แสดงในตารางที่ 3.1 ขั้นตอนในการกำจัดสิ่งเจือปนในแร่ MMT และขั้นตอนการดัดแปรโครงสร้างของ MMT ด้วย KNO_3 ด้วยวิธีการเอิบชุ่ม แสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2

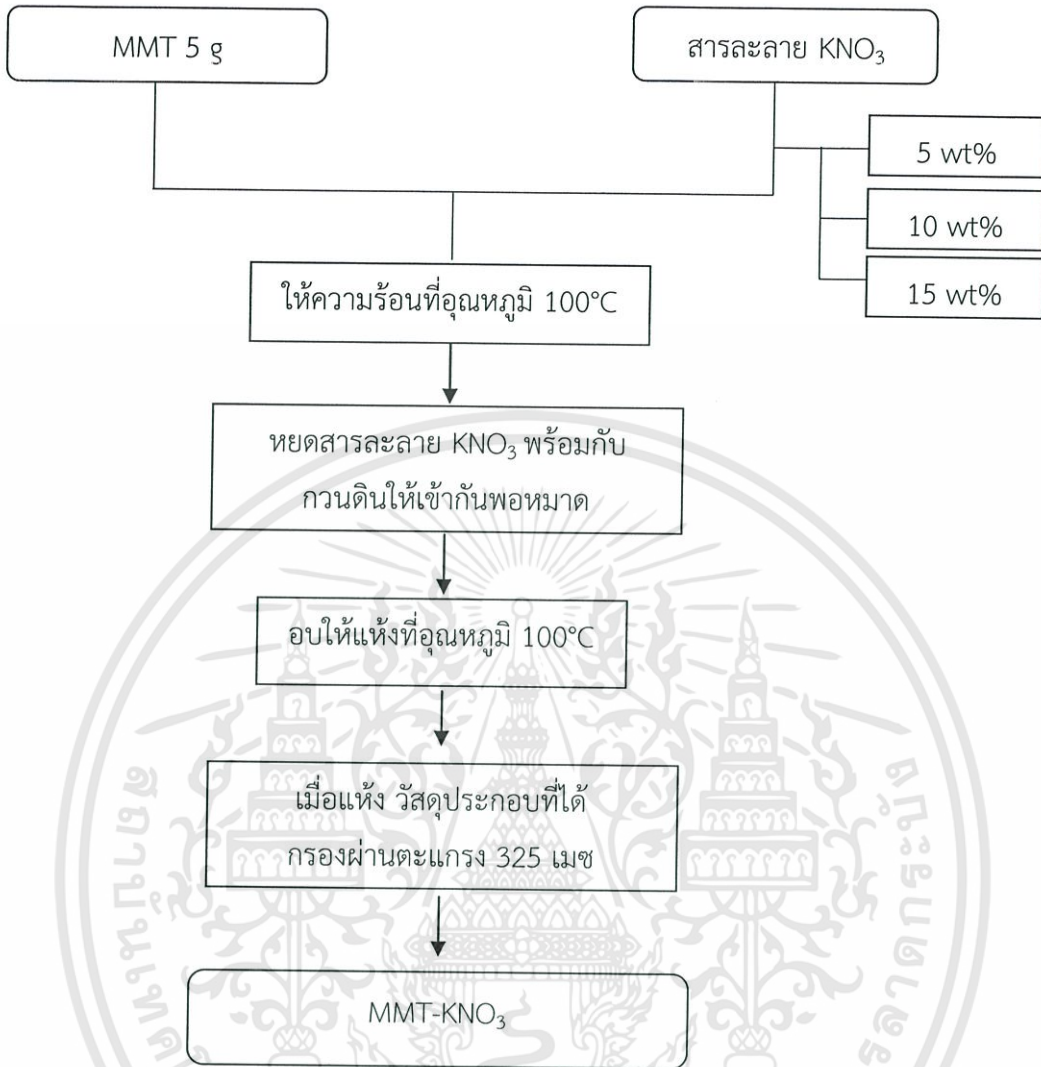
ตารางที่ 3.1 ปริมาณ KNO_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่ใช้ในการเตรียม MMT- KNO_3

ชื่อสารตัวอย่าง	แรมอนต์มอริลโลไนต์ (g)	ความเข้มข้น KNO_3 (wt%)	ปริมาณ KNO_3 ที่ใช้ (g)
MMT- KNO_3 5 wt%	5	5	0.6481
MMT- KNO_3 10 wt%	5	10	1.2962
MMT- KNO_3 15 wt%	5	15	1.9443



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการกำจัดสิ่งเจือปนในแร่ MMT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการเตรียมสารประกอบ MMT-KNO₃

3.3.3 การเตรียมสารละลายโคโตซาน

1. ชั่งโคโตซาน (CS) 1.2 g ละลายในกรดแอสซิติค 2 vol% 20 mL ลงในบีกเกอร์ ขนาด 50 mL
2. ใส่แท่งแม่เหล็กปั่นกวนลงในบีกเกอร์ พร้อมปั่นกวนตลอดเวลา

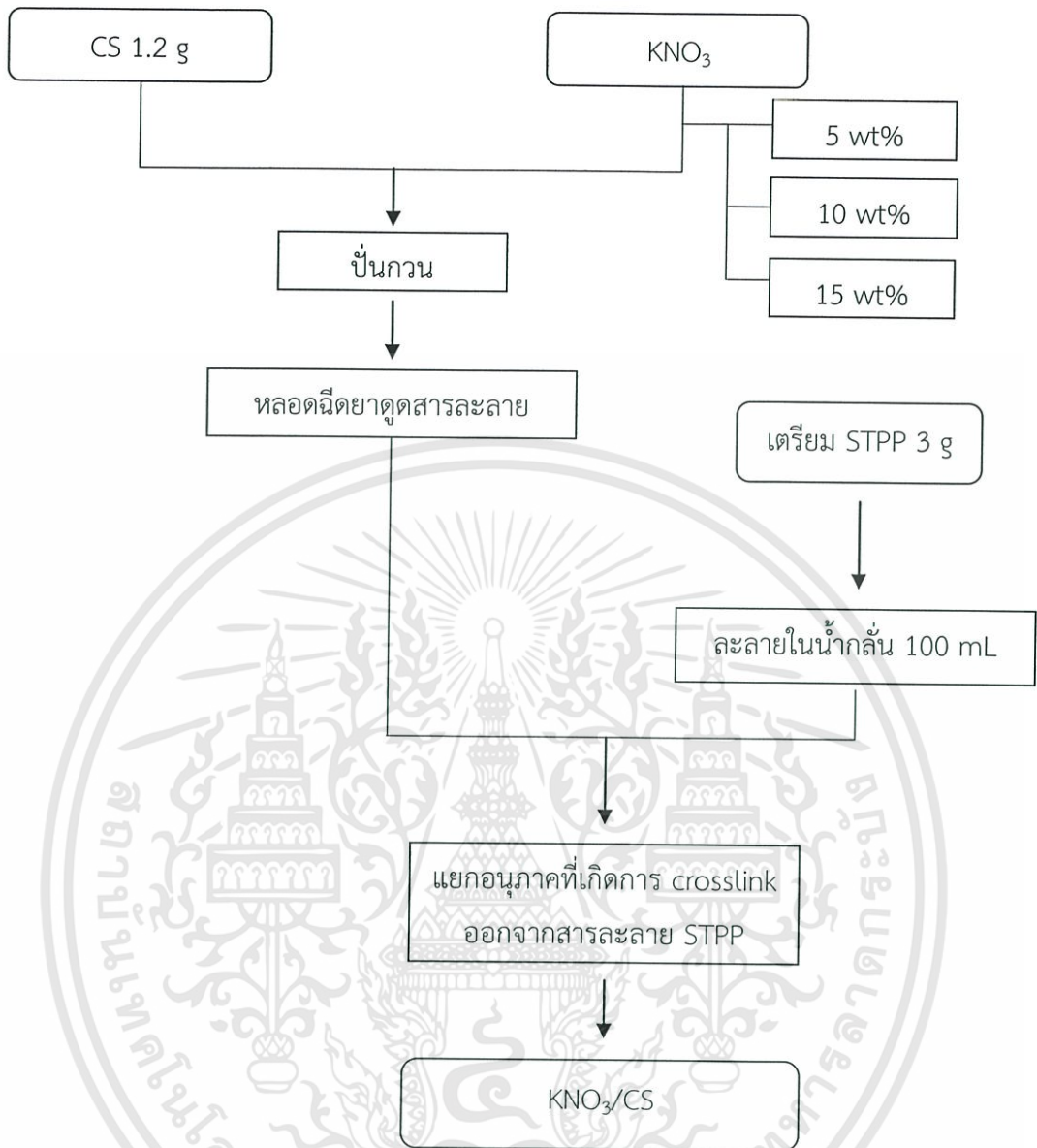
3.3.4 การเตรียมวัสดุประกอบโพแทสเซียมไนเตรดห่อหุ้มด้วยโคโตซาน

1. ชั่ง KNO_3 ที่ความเข้มข้น 5 10 และ 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT ตาม ตารางที่ 3.2 ละลายใน CS ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.3.3 ในบีกเกอร์พร้อมกับปั่นกวน
2. เตรียมโซเดียมไตรฟอสเฟต (STPP) 3 g ละลายในน้ำกลั่น 100 mL
3. นำหลอดฉีดยาดูดสารละลายที่เตรียมได้หยดลงในบีกเกอร์ของ STPP
4. แยกอนุภาคของวัสดุประกอบโพแทสเซียมไนเตรดห่อหุ้มด้วยโคโตซานที่ได้ (KNO_3/CS) ออกจากสารละลาย STPP และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C

ปริมาณ KNO_3 ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบ KNO_3/CS ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และ ขั้นตอนในการเตรียมวัสดุประกอบ KNO_3/CS แสดงในรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ปริมาณ KNO_3 ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่ใช้ในการเตรียมวัสดุประกอบ KNO_3/CS

ชื่อสารตัวอย่าง	โคโตซาน (g)	ความเข้มข้น KNO_3 (wt%)	ปริมาณ KNO_3 ที่ใช้ (g)
KNO_3/CS 5 wt%	1.2	5	0.1555
KNO_3/CS 10 wt%	1.2	10	0.3111
KNO_3/CS 15 wt%	1.2	15	0.4666

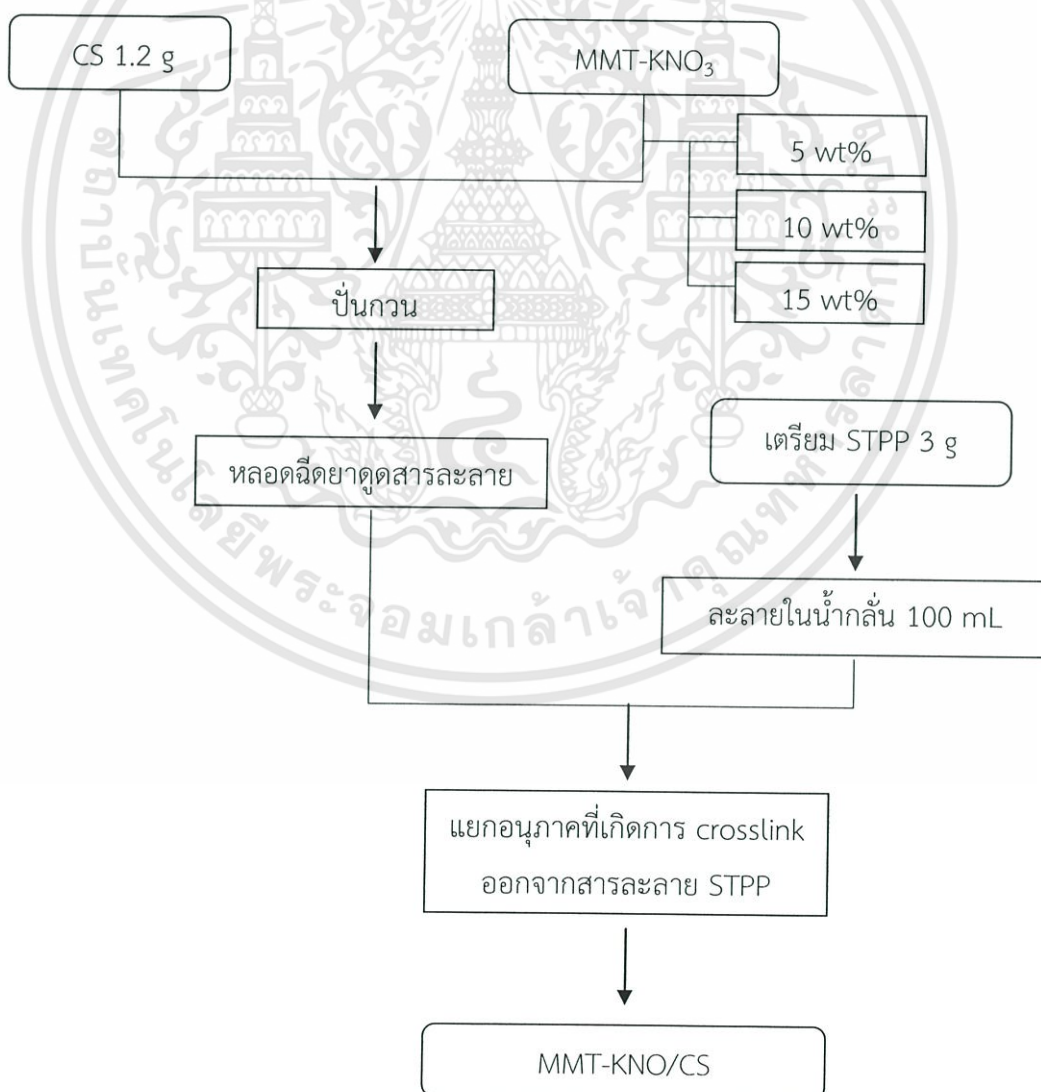


รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบ KNO₃/CS

3.3.5 การเตรียมวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอิบซุ่มด้วยโพแทสเซียมไนเตรดห่อหุ้มด้วยไคโตซาน

1. ชั่ง MMT KNO_3 ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.3.2 มา 0.6 g ละลายในสารละลาย CS ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.3.2 ในบีกเกอร์ขนาด 100 mL พร้อมกับปั่นกววน
2. เตรียม STPP 3 g ละลายในน้ำกลั่น 100 mL
3. นำหลอดฉีดยาขนาด 10 mL ดูดสารละลายที่เตรียมได้หยดลงในบีกเกอร์ของ STPP
4. แยกวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอิบซุ่มด้วยโพแทสเซียมไนเตรดห่อหุ้มด้วยไคโตซาน (MMT- KNO_3 /CS) ที่ได้ออกจากสารละลาย STPP และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C

ขั้นตอนการเตรียมวัสดุประกอบ MMT- KNO_3 /CS แสดงในรูปที่ 3.4



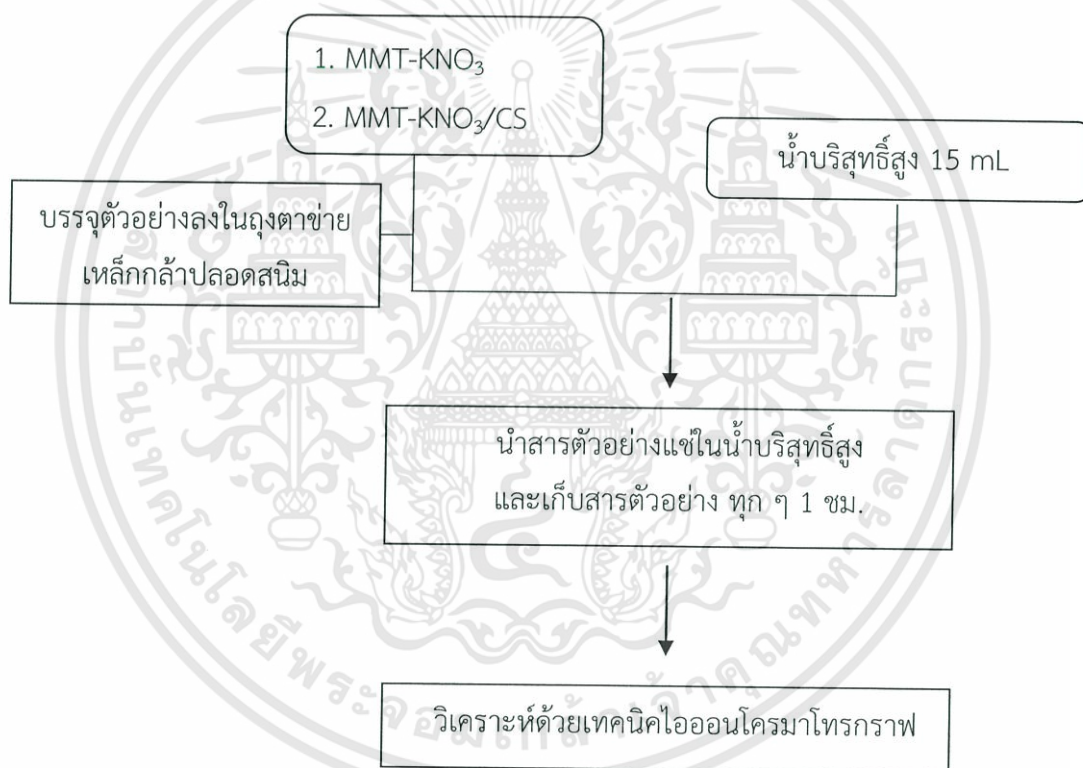
รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงการเตรียมวัสดุประกอบ MMT- KNO_3 /CS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การทดสอบการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรต

1. เตรียมน้ำบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) 15 mL ในบีกเกอร์ขนาด 30 mL
2. ชั่งน้ำหนักถุงตาข่ายเหล็กกล้าปลอดสนิม และบรรจุตัวอย่างลงในถุงตาข่าย จากนั้นชั่งน้ำหนักและนำไปแช่ในน้ำบริสุทธิ์ที่เตรียมไว้
3. เก็บสารละลายตัวอย่างจากระบบทดสอบ และเติมน้ำบริสุทธิ์สูง 15 mL แทนสารละลายเดิม
4. ทำการเก็บตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง
5. นำสารตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

ขั้นตอนการทดสอบการปลดปล่อยของโพแทสเซียม (K^+) และไนเตรต (NO_3^-) ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงการทดสอบการปลดปล่อย KNO_3

3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์

3.4.1 วิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)

นำ MMT เริ่มต้น และ MMT- KNO_3/CS ที่เตรียมได้ในขั้นตอนที่ 3.3.5 ไปวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ด้วยเครื่อง XRD โดยใช้มุม 2θ เริ่มต้นตั้งแต่ $5^\circ - 60^\circ$ Step size 0.04° Step time 1 วินาที ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ $25^\circ C$

3.4.2 วิเคราะห์การคายรังสีเอ็กซ์ (XRF)

นำ MMT เริ่มต้น และ MMT-KNO₃/CS ที่เตรียมได้ในขั้นตอนที่ 3.3.5 ซึ่ง 1 g นำมาบดผสมกับกรดบอริก 4 g นำเข้าเครื่องผสมสารและอัดสารด้วยเครื่องลดความดัน นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี

3.4.3 วิเคราะห์การคายรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (EDXRF)

นำ MMT-KNO₃ และ MMT-KNO₃/CS บดและนำไปอัดเป็นเม็ดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 1 cm ปริมาณ 0.2 g ไปตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีบริเวณพื้นผิวของตัวอย่าง

3.4.4 วิเคราะห์ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC)

นำ CS KNO₃/CS และ MMT-KNO₃/CS วิเคราะห์การเชื่อมโยง โดยอุณหภูมิที่ใช้วิเคราะห์คือ 40 – 400°C อัตราการให้ความร้อน 5°C ต่อนาที ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน

3.4.5 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (TGA)

นำ MMT เริ่มต้น MMT-KNO₃ และ MMT-KNO₃/CS วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน โดยสภาวะที่ใช้ในการทดสอบ คือที่อุณหภูมิ 50 - 700°C อัตราการให้ความร้อน 10°C ต่อนาที ทดสอบภายใต้บรรยากาศแก๊สออกซิเจน

3.5 การวิเคราะห์ไอออนโครมาโทกราฟี (IC)

นำ MMT-KNO₃ และ MMT-KNO₃/CS บรรจุลงในถุงตาข่ายเหล็กกล้าปลอดสนิมและแช่ลงในน้ำบริสุทธิ์สูง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมไอออน (K⁺) และไนเตรตไอออน (NO₃⁻) ที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุประกอบ

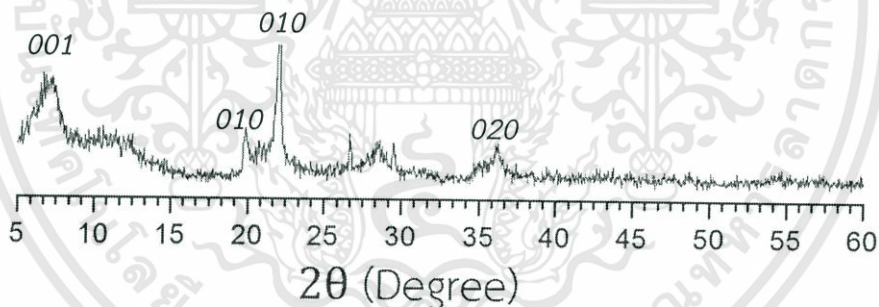
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การดัดแปรโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์

การดัดแปรโครงสร้างมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไนเตรด (KNO_3) ด้วยวิธีการเอ็บซุ่ม (Impregnation) โดยค่อย ๆ หยดสารละลาย KNO_3 ลงบนผง MMT จนเปียกชุ่ม โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย KNO_3 เป็น 5 10 และ 15 wt% เทียบกับน้ำหนักของ MMT ซึ่งวิธีการนี้ KNO_3 จะแทรกเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างรูพรุนของ MMT ได้เป็นมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอ็บซุ่มด้วยโพแทสเซียมไนเตรด (MMT- KNO_3) โดย MMT- KNO_3 ที่เตรียมได้จะถูกตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์เทียบกับ MMT เริ่มต้น

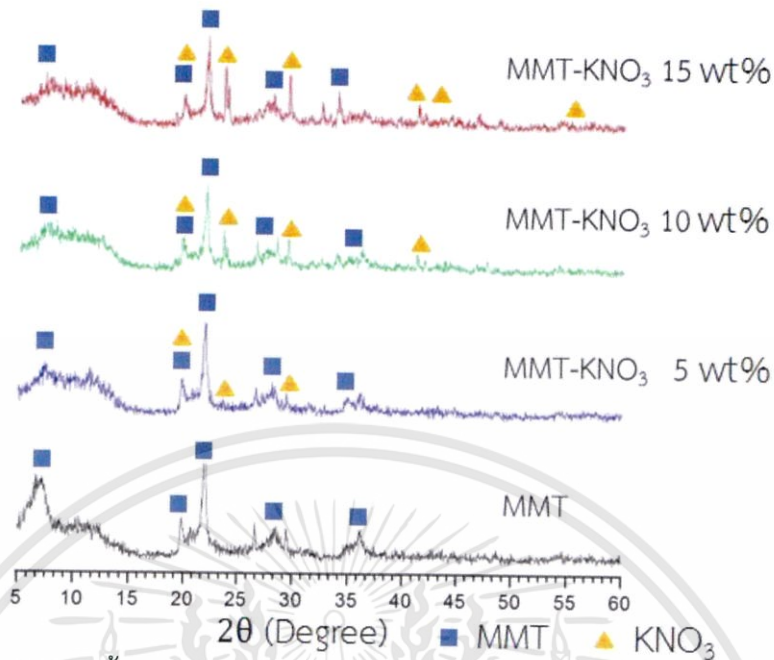
4.1.1 ภูมิภาคผลึกของ MMT – KNO_3

เมื่อนำ MMT เริ่มต้นและ MMT- KNO_3 ที่เตรียมได้ไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ที่มุม 2θ ตั้งแต่ 5° ถึง 60° ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



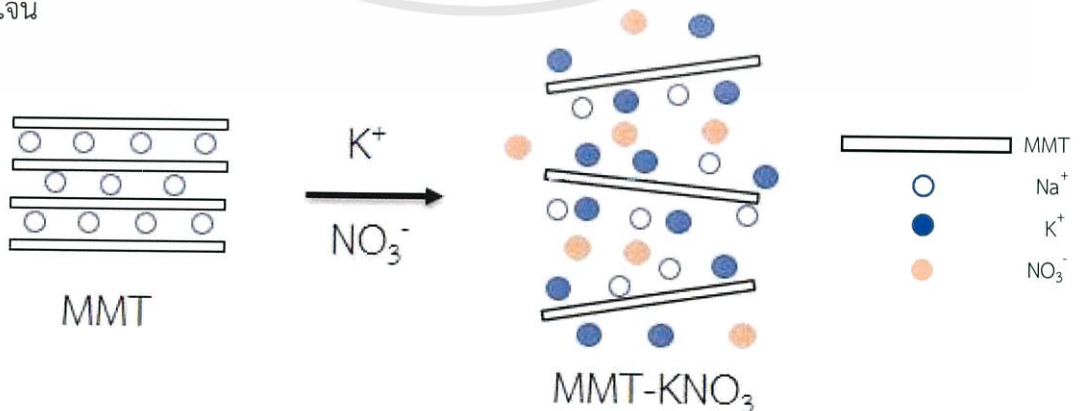
รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ MMT เริ่มต้น

จากรูปที่ 4.1 พบว่า MMT เริ่มต้นปรากฏพีกของระนาบ 001 ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 7.16° ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ได้จากสมการ $n\lambda = 2d\sin\theta$ ($\lambda = 5.14 \text{ \AA}$) พบว่าระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ของ MMT เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 14.84 \AA นอกจากนี้ยังพบพีกเอกลักษณ์ของ MMT ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 20° ซึ่งเป็นพีกของระนาบ 010 ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 22° ซึ่งเป็นพีกของระนาบ 010 และตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 36.04° ซึ่งเป็นพีกของระนาบ 020 ระนาบเหล่านี้เป็นระนาบของโครงสร้างผลึกบนแผ่น MMT การดัดแปรโครงสร้างจึงไม่ส่งผลต่อระนาบดังกล่าว



รูปที่ 4.2 แผนภาพการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃ ที่เตรียมโดยใช้ KNO₃ เข้มข้น 5 10 และ 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการดัดแปรโครงสร้าง MMT ด้วย KNO₃ เข้มข้น 5 10 และ 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT ส่งผลต่อระยะห่างระหว่างระนาบ 001 ภายในโครงสร้างของ MMT โดยจะเห็นได้จากการลดลงของความเข้มของพีคระนาบ 001 ของ MMT เริ่มต้น ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเกิดการแทรกสอด (Intercalation) ของ KNO₃ เป็นผลให้ระยะห่างระหว่างระนาบดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพีคที่ตำแหน่ง 20° และ 22° ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแสดงว่าการเอบซึมด้วย KNO₃ ไม่ส่งผลต่อโครงสร้างของแผ่นผลึก MMT เมื่อความเข้มข้นของ KNO₃ ที่ใช้ในขั้นตอนเอบซึมเพิ่มขึ้น จะพบพีคผลึกของ KNO₃ ชัดเจน แสดงว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นต่ำ KNO₃ จะแทรกสอดอยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างระนาบ 001 ภายในโครงสร้างของ MMT แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น KNO₃ บางส่วนจะอยู่ภายนอกชั้นโครงสร้างของ MMT จึงพบพีคของผลึก KNO₃ ได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงลักษณะการแทรกสอดของ KNO₃ ในช่องว่างของ MMT

รูปที่ 4.3 แสดงแผนภาพการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างของ MMT เมื่อเอิบซุ่มด้วย KNO_3 จะเกิดการแทรกสอดของไอออน K^+ และ NO_3^- ในช่องว่างระหว่างระนาบ 001 ภายในโครงสร้าง MMT ซึ่งมี Na^+ แทรกสอดอยู่ภายในก่อนการเอิบซุ่มการแทรกสอดของ K^+ และ NO_3^- ทำให้ความเป็นระเบียบของแผ่นโครงสร้าง MMT ในแนวระนาบ 001 ลดลง เนื่องจากเกิดการขยายตัวของช่องว่างดั่งนั้นฟีกของระนาบ 001 ในวัสดุประกอบ MMT- KNO_3 จึงมีความเข้มลดลง

4.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของ MMT- KNO_3

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ MMT กับ MMT- KNO_3 ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค Wavelength dispersive x-ray fluorescence (WDXRF) ที่ศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ภาพรวมของทั้งตัวอย่าง โดยบดผสมสารตัวอย่างกับกรดบอริกที่อัตราส่วน สารตัวอย่าง 1 g : กรดบอริก 4 g ซึ่งการวิเคราะห์อาศัยเทคนิคการเจือจางสารตัวอย่าง (Dilution method) ซึ่งชนิดและปริมาณของธาตุที่วิเคราะห์ได้จะแสดงถึงองค์ประกอบโดยรวมของสารตัวอย่าง พบว่าเมื่อดัดแปรโครงสร้าง MMT ด้วย KNO_3 โดยวิธีการเอิบซุ่มได้ผล ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของ MMT เริ่มต้น และ MMT- KNO_3 ด้วยเทคนิค WDXRF

ชื่อสารตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (wt%)			อัตราส่วนโดย โมลของ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	อัตราส่วน โดยโมลของ $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$
	SiO_2	Al_2O_3	K_2O		
MMT	78.5	11.1	-	0.14	-
MMT- KNO_3 5 wt%	78.6	10.9	-	0.14	-
MMT- KNO_3 10 wt%	78.4	11.1	0.23	0.14	0.0029
MMT- KNO_3 15 wt%	77.4	10.9	0.34	0.14	0.0045
MMT- KNO_3 10 wt%*	31.30	8.11	60.59	0.26	1.93

หมายเหตุ* ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ MMT- KNO_3 10 wt% ด้วยเทคนิค Energy dispersive x-ray fluorescence (EDXRF) ที่สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้น KNO_3 ที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้าง MMT ค่าอัตราส่วนโดยโมลของ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ค่าอัตราส่วนโดยโมลของ $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีหลักของ MMT ไม่เปลี่ยนแปลงจากการเอิบซุ่มด้วย KNO_3 และปริมาณของ KNO_3 ที่แทรกสอดเข้าไปในโครงสร้างของ MMT เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้น

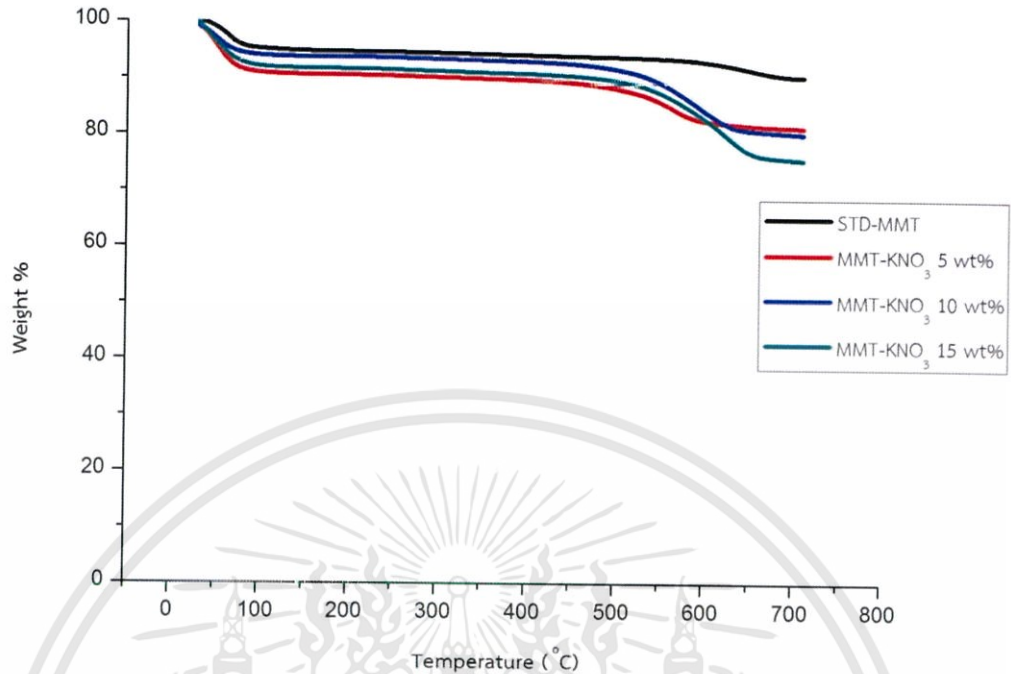
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ KNO_3 ในขั้นตอนเอ็บซุ่มเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ใช้ KNO_3 เริ่มต้น 5 wt% พบว่าไม่สามารถตรวจพบ K_2O ในตัวอย่าง MMT- KNO_3 5 wt% เนื่องจากปริมาณของ KNO_3 ที่ใช้มีปริมาณน้อยมากเมื่อโดยน้ำหนักของ MMT อีกทั้งสารตัวอย่างยังถูกเจือจางด้วยกรดบอริกในการเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์ จึงอาจเป็นผลให้ไม่สามารถตรวจพบสัญญาณของ K_2O อาจถูกบดบังด้วยสัญญาณของ MMT แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ KNO_3 พบว่าสามารถตรวจพบ K_2O ได้มากขึ้น ผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ XRD จึงสามารถสรุปได้ว่า KNO_3 สามารถแทรกสอดอยู่ระหว่างช่องว่างโครงสร้างของ MMT ได้และเมื่อความเข้มข้น KNO_3 มีค่าสูงขึ้น KNO_3 บางส่วนจะอยู่ภายนอกช่องว่างระหว่างโครงสร้าง MMT

ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษารูปแบบการประกอบทางเคมีที่บริเวณพื้นผิวของ MMT- KNO_3 ด้วยเทคนิค EDXRF ที่ศูนย์อัญมณี โดยทำการสุมตัวอย่าง MMT- KNO_3 ที่ใช้ความเข้มข้นของ KNO_3 10 wt% โดยน้ำหนักของ MMT มาเตรียมตัวอย่างโดยอัดเป็นเม็ดตัวอย่างแล้วนำไปวิเคราะห์ ดังแสดงผลวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1 (MMT- KNO_3 10 wt%*) ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์สัญญาณ XRF จากพื้นผิวตัวอย่างไปสู่หน่วยตรวจวัดค่าดังกล่าวจึงแสดงธาตุองค์ประกอบบนพื้นผิวตัวอย่างเท่านั้น ปริมาณ K_2O ที่ตรวจวิเคราะห์ในเทคนิคนี้ และค่าอัตราส่วนโดยโมลของ $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จากเทคนิค WDXRF ที่ศูนย์เครื่องมือเป็นการวิเคราะห์ภาพรวมของทั้งตัวอย่าง พบว่าผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามี KNO_3 สามารถแทรกสอดเข้าไปภายในช่องว่างระหว่างชั้นโครงสร้างของ MMT และอยู่บริเวณภายนอกของโครงสร้าง MMT ได้

4.1.3 ทดสอบสมบัติทางความร้อน

เมื่อนำ MMT และ MMT- KNO_3 มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน ด้วยเทคนิค TGA โดยวิเคราะห์ที่ช่วงอุณหภูมิ 50 ถึง 700°C ในบรรยากาศออกซิเจน ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าทั้ง MMT เริ่มต้นและ MMT- KNO_3 มีช่วงการสลายตัว 2 ช่วงคือช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 100°C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างรูพรุนและช่องว่างระหว่างโครงสร้างของ MMT และช่วงที่สองคือช่วงอุณหภูมิ 580 ถึง 700°C ใน MMT เริ่มต้น ซึ่งเป็นการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนอยู่ในวัตถุดิบ MMT ธรรมชาติ ส่วนใน MMT- KNO_3 ช่วงอุณหภูมิการสลายตัวช่วงที่สองเกิดในช่วงกว้างตั้งแต่ 400 ถึง 700°C เนื่องจากการสลายตัวของ NO_3^- ร่วมกับสารอินทรีย์จาก MMT เริ่มต้นร้อยละของน้ำหนักของแข็งที่เหลือภายหลังการสลายตัวที่อุณหภูมิ 700°C แสดงถึงปริมาณ MMT และเกลือออกไซด์ของโพแทสเซียม โดยจะเห็นได้ว่าปริมาณของ NO_3^- ที่สลายไปมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ KNO_3 ที่ใช้ในขั้นตอนเอ็บซุ่ม



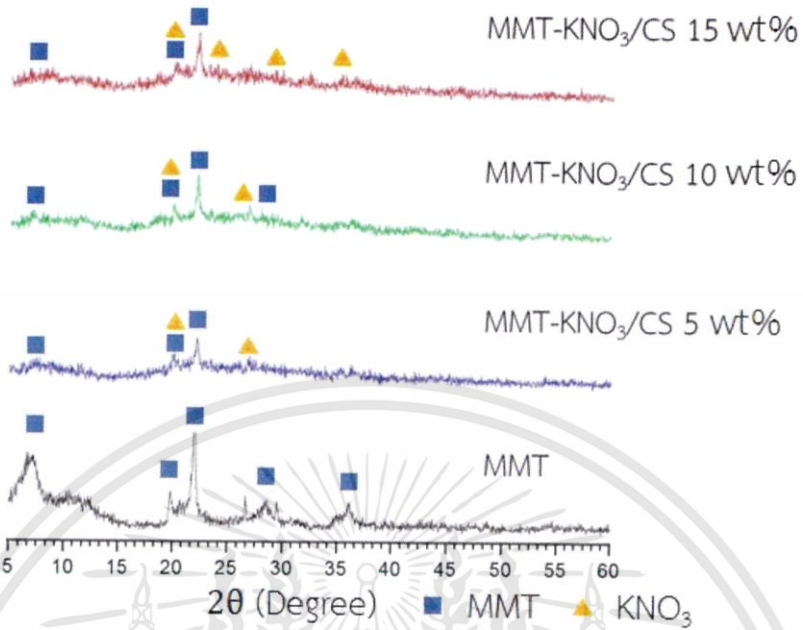
รูปที่ 4.4 TGA เทอร์โมแกรมของ MMT และ MMT-KNO₃ ที่เตรียมโดยใช้ KNO₃ เข้มข้น 5 10 และ 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT

4.2 การเตรียมวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอ็บซุ่มด้วยโพแทสเซียมไนเตรดห่อหุ้มด้วยไคโตซาน

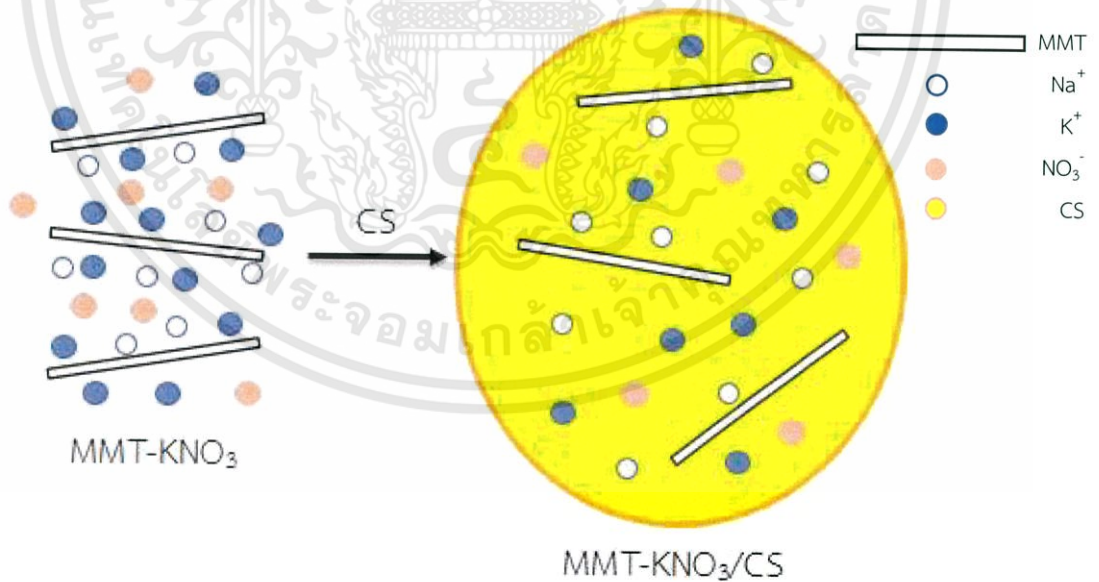
เมื่อนำ MMT-KNO₃ ที่เตรียมได้มาผสมกับสารละลายไคโตซาน (CS) จากนั้น ทำให้เกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิกระหว่าง CS กับสารละลายโซเดียมไตรฟอสเฟต (STPP) ได้เป็นวัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอ็บซุ่มด้วยโพแทสเซียมห่อหุ้มด้วยไคโตซาน (MMT-KNO₃/CS)

4.2.1 ภูมิภาคผลึกของ MMT-KNO₃/CS

รูปที่ 4.5 แสดงภูมิภาคผลึกของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS ที่เตรียมได้ พบว่าพีกระนาบ 001 ของ MMT ในวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS หายไปและความเข้มของพีคที่ 20° และ 22° มีค่าลดลง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจาก CS เกิดการแทรกสอดเข้าไปในช่องว่างระหว่างระนาบ 001 ของ MMT เป็นผลให้เกิดการแยกตัวหลุดออกของแผ่นผลึก MMT นอกจากนี้ภูมิภาค MMT-KNO₃ ยังถูกห่อหุ้มด้วย CS จึงเป็นผลให้เกิดการบดบังพีคเอกลักษณ์ของ MMT และ KNO₃ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS ที่เตรียมโดยใช้ KNO₃ เข้มข้น 5 10 และ 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT



รูปที่ 4.6 แผนภาพแสดงลักษณะการแทรกสอดของ KNO₃ และ CS ในช่องว่างระหว่างระนาบ 001 ของ MMT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แสดงแผนภาพลักษณะแทรกสอดของ KNO_3 และ CS ให้เห็นว่า เมื่อเพิ่ม CS เข้าไปในวัสดุประกอบ MMT- KNO_3 ตัว CS แทรกสอดเข้าไปในโครงสร้างระหว่างชั้นโครงสร้างของ MMT ซึ่งมีทั้ง K^+ Na^+ และ NO_3^- อยู่ภายใน อีกทั้งยังห่อหุ้มทั้งวัสดุประกอบ MMT- KNO_3 ได้ เป็นวัสดุประกอบ MMT- KNO_3 /CS

4.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของ MMT- KNO_3 /CS

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประกอบของ MMT- KNO_3 /CS ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค Wavelength dispersive x-ray fluorescence (WDXRF) ที่ศูนย์เครื่องมือ โดยทำการบดผสมสารตัวอย่างกับกรดบอริกที่อัตราส่วน สารตัวอย่าง 1 g : กรดบอริก 4 g พบว่าเมื่อเตรียมวัสดุประกอบ MMT- KNO_3 /CS อัตราส่วนโดยโมลของ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ของวัสดุประกอบมีค่าใกล้เคียงกับค่าของ MMT เริ่มต้น ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการผสม MMT- KNO_3 กับ CS เพื่อทำให้เกิดเป็นวัสดุประกอบโดยวิธีการเชื่อมโยงแบบไอออนิกไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีหลักของ MMT

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของ MMT- KNO_3 /CS ด้วยเทคนิค WDXRF

ชื่อสารตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (wt%)			อัตราส่วนโดยโมลของ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	อัตราส่วนโดยโมลของ $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$
	SiO_2	Al_2O_3	K_2O		
MMT- KNO_3 /CS 5 wt%	35.0	5.51	-	0.15	-
MMT- KNO_3 /CS 10 wt%	28.8	4.46	-	0.15	-
MMT- KNO_3 /CS 15 wt%	30.5	4.17	-	0.14	-

อย่างไรก็ตามผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 ไม่สามารถตรวจพบ K_2O ในวัสดุประกอบ MMT- KNO_3 /CS ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเนื่องจากวิธีเตรียมสารตัวอย่างที่ใช้ปริมาณสารน้อยและถูกเจือจางด้วย CS และกรดบอริก ส่งผลให้ปริมาณของ KNO_3 ในตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์มีค่าต่ำ จึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ได้

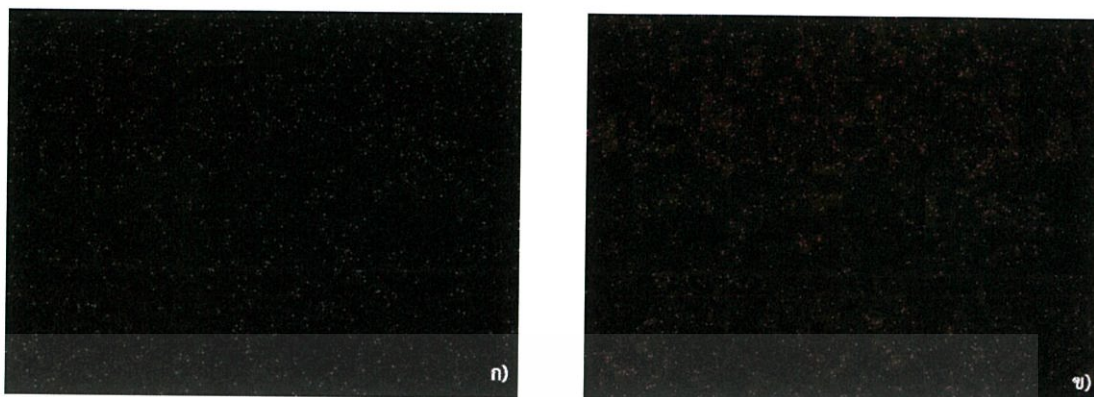
ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีบริเวณพื้นผิวของวัสดุประกอบ MMT- KNO_3 /CS โดยการอัดตัวอย่างเป็นเม็ดแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDXRF ที่ศูนย์อัญมณี โดยทำการเลือกสเปกตรัมวิเคราะห์ที่บริเวณพื้นผิวของตัวอย่างเพื่อดูการกระจายพลังงานของธาตุ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ KNO_3 ที่ใช้ในขั้นตอนการเอ็บซุ่มส่งผลให้มี K_2O และอัตราส่วนโดยโมลของ $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ เพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงผลวิเคราะห์ในตารางที่ 4.3

จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เตรียมในลักษณะดังกล่าวจะตรวจพบ KNO_3 ได้ดี เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างด้วยเทคนิค WDXRF ต้องเจือจางด้วยกรดบอริก อีกทั้ง KNO_3 นอกจากจะแทรกสอดอยู่ระหว่างชั้นโครงสร้าง MMI แล้วยังอาจแพร่ออกมาจับตัวอยู่กับ CS ที่บริเวณพื้นผิวภายนอก จึงทำให้วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDXRF ที่ทำการสุ่มวิเคราะห์บริเวณพื้นผิวดังกล่าว พบปริมาณ K_2O ได้มากกว่าเทคนิคก่อนหน้านี้

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของ MMT- KNO_3 /CS ด้วยเทคนิค EDXRF

ชื่อสารตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (wt%)			อัตราส่วน โดยโมลของ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	อัตราส่วน โดยโมลของ $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$
	SiO_2	Al_2O_3	K_2O		
MMT- KNO_3 /CS 5 wt%	56.05	18.74	25.21	0.33	0.4498
MMT- KNO_3 /CS 10 wt%	52.05	17.33	30.62	0.33	0.5883
MMT- KNO_3 /CS 15 wt%	52.99	12.34	34.66	0.23	0.6540

นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุ K บนพื้นผิววัสดุประกอบ MMT- KNO_3 /CS ที่เตรียมได้ โดยถ่ายภาพแสดงการกระจายตัวของธาตุจากสัญญาณรังสีเอ็กซ์ด้วย SEM ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ KNO_3 ที่ใช้ในขั้นตอนการเอ็บซุ่มส่งผลให้มีการกระจายตัวของ K บนพื้นผิวดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น



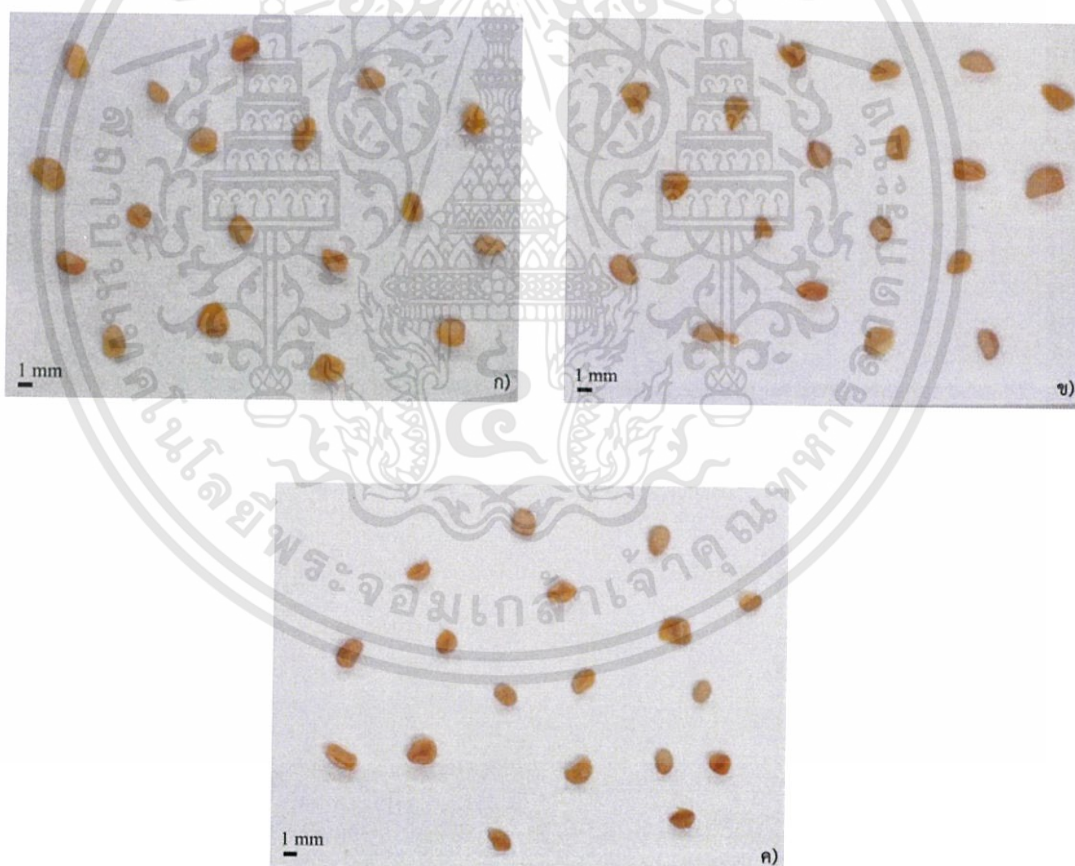
รูปที่ 4.7 ภาพแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของ K บนพื้นผิวของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS ที่เตรียมโดยใช้ KNO₃ เข้มข้น ก) 5 ข) 10 และ ค) 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT

4.2.3 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะทางกายภาพของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS ที่เตรียมได้ก่อนการอบแห้ง และรูปที่ 4.9 แสดงลักษณะทางกายภาพของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS ที่อบแห้งด้วยความร้อน โดยถ่ายภาพวัสดุด้วยกล้อง Digital single lens reflex (DSLR) พบว่าอนุภาควัสดุประกอบมีลักษณะเป็นเม็ดของแข็งสีเหลืองค่อนข้างกลม ในขั้นตอนการเตรียมวัสดุประกอบเมื่อทำการฉีดสารละลายผสมระหว่าง MMT-KNO₃ กับ CS ลงในสารละลาย STPP จะเกิดการเชื่อมโยงของ CS ได้อนุภาคในลักษณะทรงกลม แต่เมื่อนำอนุภาควัสดุประกอบที่ได้ไปผ่านกระบวนการทำให้แห้งด้วยความร้อน อนุภาคเกิดการยุบตัวเนื่องจากน้ำภายในระเหยออกไป และขนาดของอนุภาคที่เตรียมได้ในทุกความเข้มข้นมีขนาดใกล้เคียงกัน โดยมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 1.6 ± 0.3 mm ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางกายภาพของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS ในสารละลาย STPP ก่อนการอบแห้ง



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางกายภาพของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS ภายหลังจากการอบแห้ง ที่เตรียมโดยใช้ KNO₃ เข้มข้น ก) 5 ข) 10 และ ค) 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT

4.2.4 สมบัติความร้อนของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS

เมื่อนำโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย STPP (Crosslinked CS) โคโตซานที่ผสม KNO₃ ที่เชื่อมโยงด้วย STPP (KNO₃/CS) และวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC ได้ผลการวิเคราะห์ที่ซึ่งแสดงค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) และค่าพลังงานความร้อน (ΔH) ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณความร้อนที่ใช้เพื่อให้ตัวอย่างเกิดการหลอมเหลวแสดงในภาคผนวก ก ดังแสดงในตารางที่ 4.4

จากตารางที่ 4.4 พบว่า Crosslinked CS มีค่า T_m ประมาณ 227°C โดยมีค่า ΔH เท่ากับ 94.68 J/g ส่วนสารตัวอย่าง KNO₃/CS พบว่ามีค่า T_m ประมาณ 221°C โดยมีค่า ΔH เท่ากับ 63.50 J/g ในซึ่งค่า T_m และค่า ΔH ของ KNO₃/CS มีค่าลดลงเนื่องจากการผสม KNO₃ กับสารละลายโคโตซานจะมีผลเข้าไปขัดขวางการทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่าง STPP กับโคโตซาน

เมื่อพิจารณาค่า T_m และ ΔH วัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS พบว่าวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS ที่ผสม KNO₃ 5 wt% มีค่า T_m 228°C โดยมีค่า ΔH เท่ากับ 7.69 J/g และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ KNO₃ เป็น 15 wt% พบว่าวัสดุประกอบมีค่า T_m 229°C โดยมีค่า ΔH เท่ากับ 13.62 J/g

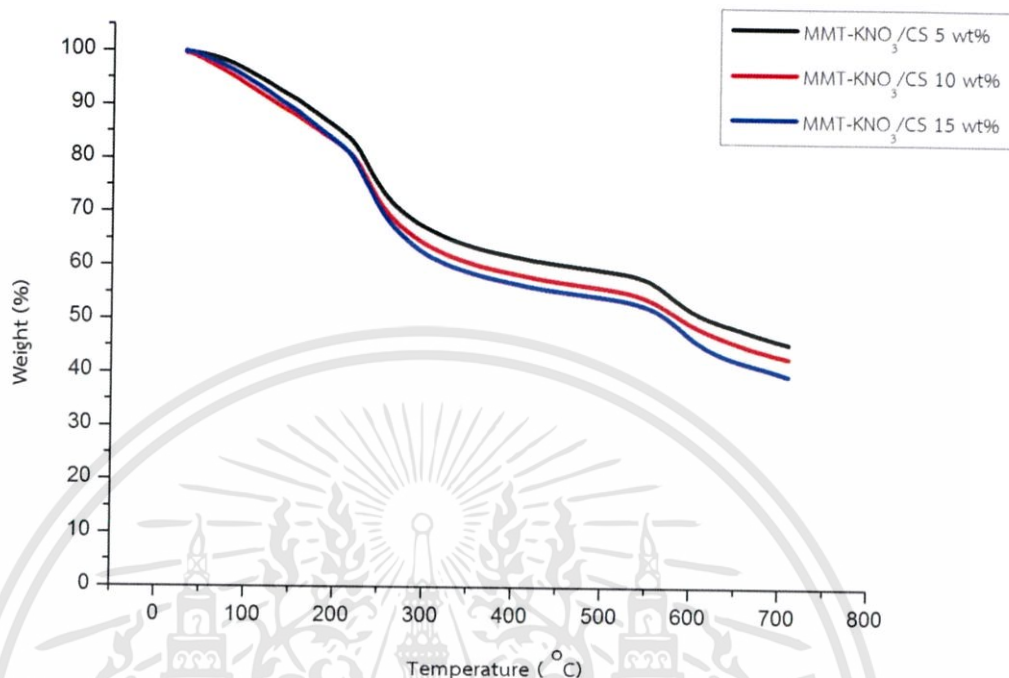
เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าการผสมอนุภาคของ MMT-KNO₃ ไม่ส่งผลให้ค่า T_m ของ CS เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ส่งผลต่อค่า ΔH ของการหลอมเหลว CS โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ KNO₃ ทำให้ค่า ΔH มีค่าลดลง ซึ่งการลดลงของค่า ΔH เป็นผลเนื่องจาก เมื่อความเข้มข้นของ KNO₃ ในระบบเพิ่มและมีอนุภาคของ MMT ผสมอยู่ภายในจะก่อให้เกิดการขัดขวางปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่าง CS กับ STPP ทำให้การเชื่อมโยงลดลง นอกจากนี้คาดว่าโคโตซานบางส่วนเข้าไปแทรกสอดภายในระหว่างชั้นโครงสร้างของ MMT จึงเกิดการเชื่อมโยงลดลงด้วย ส่งผลให้ ΔH ที่ใช้ในการหลอมเหลวของ CS ลดลง อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่มี KNO₃ เข้มข้น 10 wt% มีผลการวิเคราะห์ที่คลาดเคลื่อนนั้น ทั้งนี้เป็นผลจากความไม่สม่ำเสมอของการเชื่อมโยงและการกระจายตัวของอนุภาค MMT-KNO₃ ในวัสดุประกอบที่เตรียมได้จึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการสุ่มตัวอย่างไปวิเคราะห์

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิหลอมเหลวและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวตัวอย่าง Crosslinked CS KNO₃/CS และ MMT-KNO₃/CS ด้วยเทคนิค DSC

ชื่อสารตัวอย่าง	T _m (°C)	ΔH (J/g)
Crosslinked CS	227	94.68
KNO ₃ /CS	221	63.50
MMT-KNO ₃ /CS 5 wt%	228	7.69
MMT-KNO ₃ /CS 15 wt%	229	13.62

หมายเหตุ* วัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS 10 wt% มีผลการวิเคราะห์ที่คลาดเคลื่อนจึงไม่สามารถนำผลวิเคราะห์ DSC มาแสดง

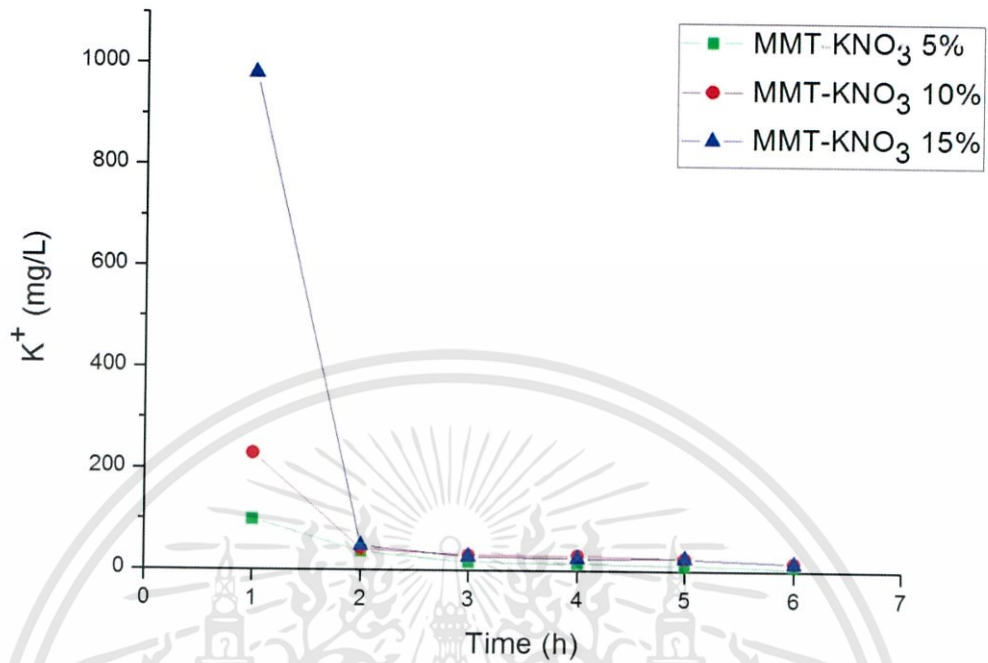
เมื่อนำวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS มาศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน ด้วยเทคนิค TGA ตั้งแต่อุณหภูมิ 50 ถึง 700°C ภายใต้บรรยากาศออกซิเจน ได้ผลวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.9 พบว่าวัสดุประกอบมีช่วงการสลายตัว 3 คือช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 190°C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างรูพรุนและช่องว่างระหว่างโครงสร้างของ MMT ช่วงที่สอง คือ ช่วงอุณหภูมิ 210 ถึง 340°C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของ CS และช่วงที่สาม คือ ช่วงอุณหภูมิ 550 ถึง 700°C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของ NO₃⁻ ร่วมกับสารอินทรีย์ที่แทรกอยู่ในโครงสร้าง MMT ร้อยละของน้ำหนักของแข็งที่เหลือภายหลังการสลายตัวที่อุณหภูมิ 700°C แสดงถึงอนุภาค MMT และโพแทสเซียมค่าน้ำหนักที่หายไปของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS ซึ่งมีปริมาณ KNO₃ ที่แตกต่างกันเมื่อเพิ่มปริมาณ KNO₃ ที่ใช้ในขั้นตอนเอ็บซุ่ม จะส่งผลให้ค่าน้ำหนักที่สลายไปมีค่ามากขึ้น



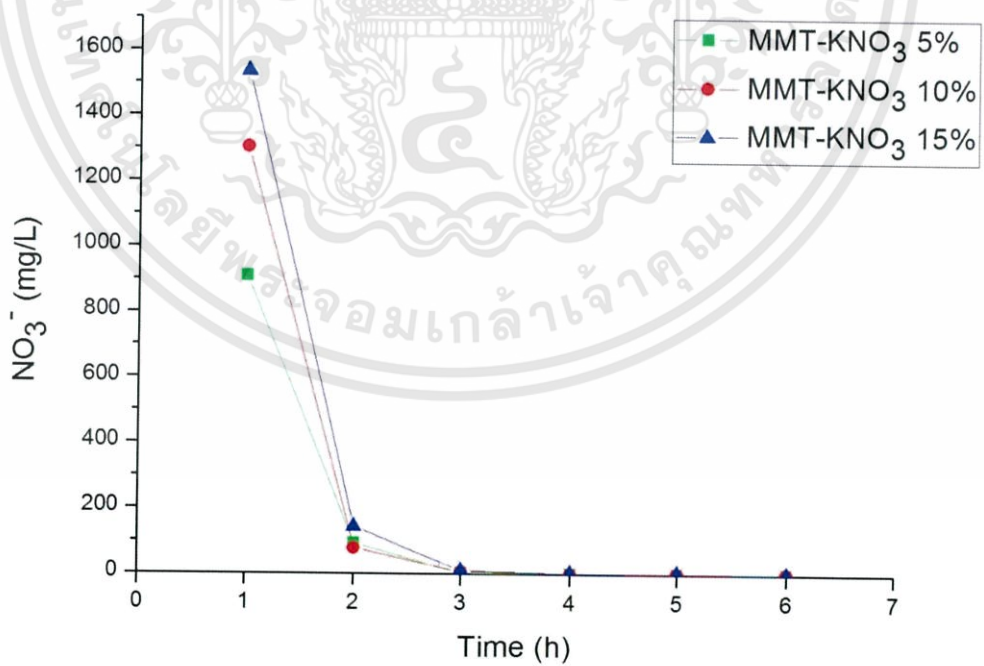
รูปที่ 4.10 TGA เทอร์โมแกรมวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS ที่เตรียมโดยใช้ KNO₃ เข้มข้น 5 10 และ 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT

4.3 การปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรต (KNO₃) ของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS

ในการทดลองการปลดปล่อย KNO₃ จากตัวอย่าง MMT-KNO₃ และ MMT-KNO₃/CS ที่มีความเข้มข้นของ KNO₃ 5 10 15 wt% โดยน้ำหนักของ MMT ทำโดยนำ MMT-KNO₃ และ MMT-KNO₃/CS ที่เตรียมได้บรรจุตัวอย่างในถุงตาข่ายเหล็กกล้าปลอดสนิมและนำไปแช่ในน้ำบริสุทธิ์สูง (Ultrapure water) เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง โดยจะทำการเก็บตัวอย่างและเปลี่ยนน้ำใหม่ทุก ๆ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำที่แยกออกมาไปทำการตรวจวัด pH พบว่ามีค่า pH ของน้ำที่ผ่านการแช่ตัวอย่างที่มีความเข้มข้น KNO₃ ที่แตกต่างกันจะมีค่าอยู่ในช่วง 6.3 - 7.0 และเมื่อนำสารละลายดังกล่าวทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไอออน K⁺ และ NO₃⁻ โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีนำผลที่ได้เทียบกับกราฟความเข้มข้นมาตรฐานของ K⁺ และ NO₃⁻ แสดงในภาคผนวก ข ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.11 ถึง 4.14 กราฟการปลดปล่อยของ MMT-KNO₃ และ MMT-KNO₃/CS แสดงในภาคผนวก ค และ ง



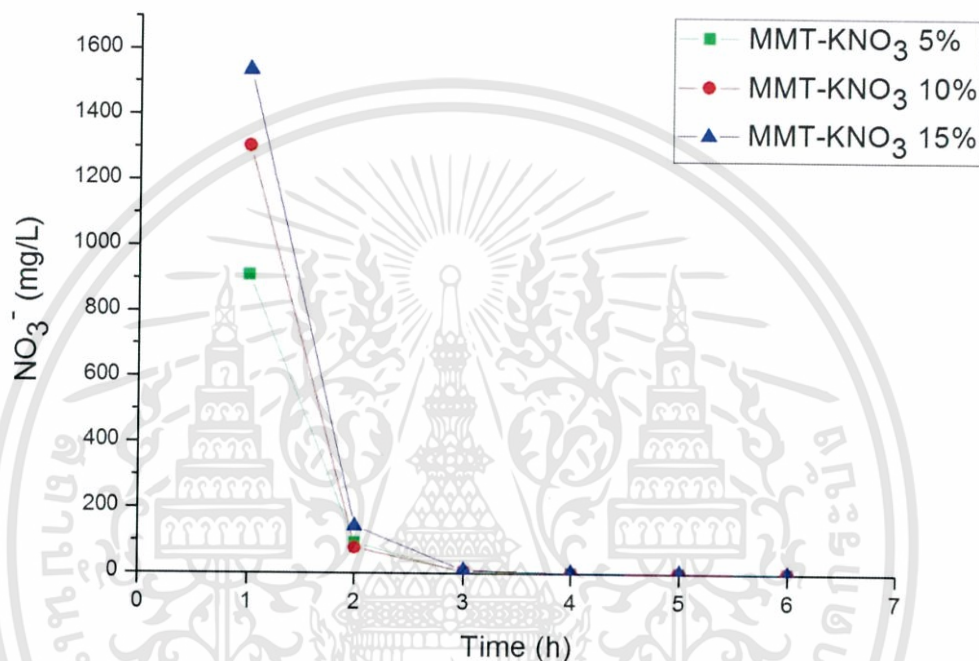
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ จาก MMT-KNO₃ ที่ชั่วโมงต่าง ๆ



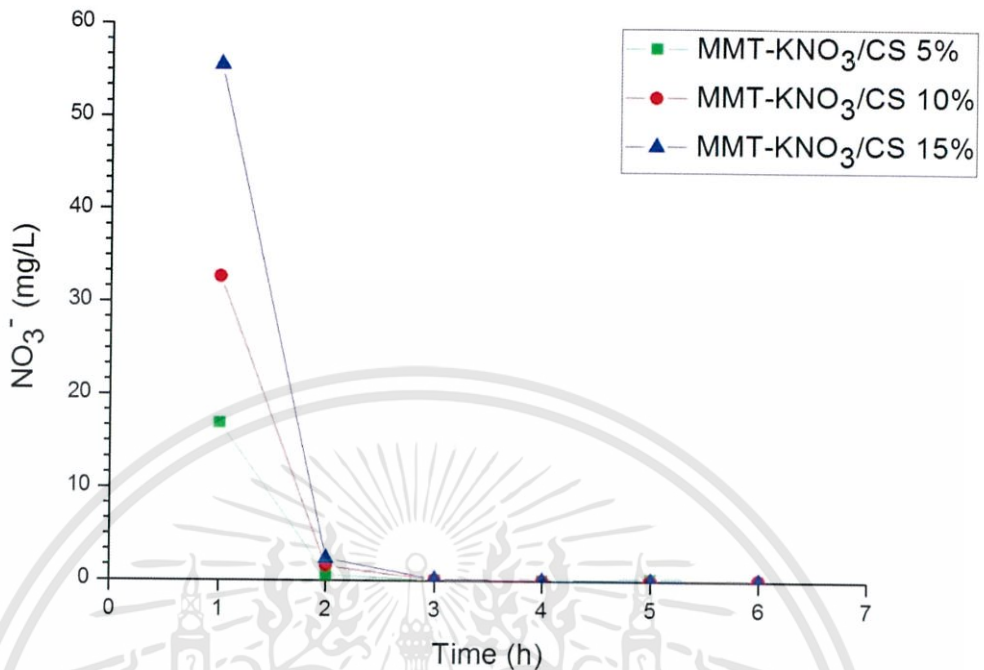
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- จาก MMT-KNO₃ ที่ชั่วโมงต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าในช่วงแรกมีปริมาณการปลดปล่อยของ K^+ และ NO_3^- มากที่สุด แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีการปลดปล่อย K^+ และ NO_3^- มีค่าลดลงอย่างมาก โดยหลังจากชั่วโมงที่ 3 ความเข้มข้นของ K^+ และ NO_3^- ที่ปลดปล่อยออกมามีค่าเข้าใกล้ศูนย์ สันนิษฐานได้ว่า K^+ และ NO_3^- ที่บรรจุอยู่ภายใน MMT- KNO_3 ถูกปลดปล่อยออกมาน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ จาก MMT- KNO_3 /CS ที่ชั่วโมงต่าง ๆ



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- จาก MMT-KNO_3 ที่ชั่วโมงต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 พบว่าในชั่วโมงแรกมีปริมาณการปลดปล่อยของ K^+ และ NO_3^- สูงที่สุดแต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่าการปลดปล่อย K^+ และ NO_3^- มีค่าลดลงอย่างมาก โดยหลังจากชั่วโมงที่ 3 ความเข้มข้นของ K^+ และ NO_3^- ที่ปลดปล่อยออกมามีค่าเข้าใกล้ศูนย์ สันนิษฐานได้ว่า K^+ และ NO_3^- ที่บรรจุอยู่ภายใน $\text{MMT-KNO}_3/\text{CS}$ ถูกปลดปล่อยออกมาน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้ แสดงให้เห็นว่า CS มีความสามารถในการกักเก็บ K^+ และ NO_3^- ส่งผลให้มีการปลดปล่อยน้อยลงในชั่วโมงแรกอีกด้วย และเมื่อทำการสังเกตจากการเปลี่ยนน้ำทุกชั่วโมง พบว่าในชั่วโมงแรกและชั่วโมงที่สองมีตะกอนสีเหลืองเกิดขึ้น คาดว่าเกิดจากการกร่อนของ CS

ตารางที่ 4.5 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อย K^+ และ NO_3^- ของ MMT-KNO_3 ที่มี KNO_3 ความเข้มข้นต่าง ๆ

ชื่อสารตัวอย่าง	เริ่มต้น (mg)		ปริมาณ K^+ ที่ปลดปล่อย		ปริมาณ NO_3^- ที่ปลดปล่อย	
	K^+	NO_3^-	mg	%	mg	%
MMT-KNO_3 5%	15.9	16.3	2.68	16	15.06	92
MMT-KNO_3 10%	51.9	32.6	5.52	10	20.82	64
MMT-KNO_3 15%	77.8	48.9	16.74	21	25.33	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ปริมาณและเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อย K^+ และ NO_3^- ของ MMT-KNO₃/CS ที่มี KNO₃ ความเข้มข้นต่าง ๆ

ชื่อสารตัวอย่าง	เริ่มต้น (mg)		ปริมาณ K^+ ที่ปลดปล่อย		ปริมาณ NO_3^- ที่ปลดปล่อย	
	K^+	NO_3^-	mg	%	mg	%
MMT-KNO ₃ 5%	8.6	4	0.28	3	0.26	6
MMT-KNO ₃ 10%	17.2	8.1	0.53	3	0.51	6
MMT-KNO ₃ 15%	25.9	12.2	0.75	3	0.86	7

ข้อมูลจากรูปที่ 4.10 – 4.13 ถูกนำมาคำนวณและแสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7 โดยจะเห็นได้ว่า MMT-KNO₃ มีการปลดปล่อยที่รวดเร็ว โดย K^+ ปลดปล่อยออกมาในช่วง 16 - 21% ของปริมาณเริ่มต้น ในขณะที่ NO_3^- ปลดปล่อยออกมามากถึง 51 - 92% จากปริมาณเริ่มต้น ส่วนการปลดปล่อย KNO₃ จากวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS ปลดปล่อยในปริมาณที่ต่ำกว่า โดย K^+ ปลดปล่อยออกมาเพียง 3% จากปริมาณเริ่มต้น และ NO_3^- ปลดปล่อยออกมา 6 - 7% ซึ่งปริมาณการปลดปล่อยไอออนทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโครงสร้างของ MMT มีประจุลบ จึงจับ K^+ ได้ดี ส่งผลให้ K^+ ถูกปลดปล่อยออกจาก MMT-KNO₃/CS น้อยมาก อย่างไรก็ตามการปลดปล่อย K^+ และ NO_3^- จากวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ สันนิษฐานว่าเนื่องจาก CS แทรกสอดเข้าไปใน MMT และห่อหุ้ม MMT-KNO₃ ไว้ และ CS ยังสามารถจับ KNO₃ ได้อีกด้วย

ทำการเปรียบเทียบปริมาณ KNO₃ ที่ปลดปล่อยออกมาระหว่าง MMT-KNO₃ กับ MMT-KNO₃/CS พบว่ามีการปลดปล่อยแตกต่างกันในช่วง 3 ชั่วโมงแรก แสดงให้เห็นว่า CS สามารถช่วยในการกักเก็บและลดปริมาณการปลดปล่อย K^+ และ NO_3^- ได้จริง โดยหลังจากชั่วโมงที่ 3 พบว่าความเข้มข้นที่ปลดปล่อยออกมามีค่าเข้าใกล้ศูนย์ สันนิษฐานได้ว่า KNO₃ ที่บรรจุภายในวัสดุประกอบทั้งสองอาจหมดไป หรือมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถวัดค่าได้

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

- การสังเคราะห์วัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์ที่เอิบชุ่มด้วยโพแทสเซียมไนเตรตห่อหุ้มด้วยไคโตซาน

งานวิจัยนี้สามารถสังเคราะห์วัสดุประกอบมอนต์มอริลโลไนต์เอิบชุ่มด้วยโพแทสเซียมไนเตรตห่อหุ้มด้วยไคโตซาน (MMT-KNO₃/CS) ได้โดยใช้ KNO₃ เข้มข้น 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เติรียมกับ MMT ในการตัดแปรโครงสร้างสร้าง MMT เมื่อ KNO₃ แทรกสอดอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นโครงสร้างและพื้นผิวภายนอกของ MMT เมื่อปริมาณ KNO₃ ที่ใช้ในขั้นตอนการเอิบชุ่มเพิ่มขึ้น KNO₃ จะพบที่พื้นผิวภายนอกมากขึ้น เมื่อนำมาผสม CS และเชื่อมโยงด้วย STPP ได้เป็นวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS CS จะแทรกสอดเข้าไปในช่องว่างระหว่างชั้นโครงสร้างและห่อหุ้ม MMT ที่เอิบชุ่มด้วย KNO₃ ทำให้ชั้นโครงสร้างของ MMT เกิดการขยายตัวและแยกออก KNO₃ บางส่วนจึงเกิดการจับตัวกับ CS เมทริกซ์ เป็นผลให้การเชื่อมโยงของ CS ลดลง

- การปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรต (KNO₃) ของวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS

วัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS สามารถลดการปลดปล่อย KNO₃ ได้ และวัสดุประกอบ MMT-KNO₃/CS เกิดการกร่อนร่วมกับการปลดปล่อย KNO₃ เมื่อเวลาที่ใช้ในการปลดปล่อยมากขึ้นจะเห็นได้ว่าปริมาณการปลดปล่อยที่ความเข้มข้น 5 10 15 wt% ของทั้ง MMT-KNO₃ และ MMT-KNO₃/CS ไม่แตกต่างกัน สันนิษฐานได้ว่า CS สามารถช่วยกักเก็บปุ๋ยได้ และสาเหตุที่ทำให้การปลดปล่อยแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการเกิดการเชื่อมโยงของ CS กับ MMT และวิธีการอบแห้งด้วยความร้อนทำให้เนื้อวัสดุแน่น จึงปลดปล่อยออกมาในปริมาณน้อยหรือไม่แตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปรับเปลี่ยนปริมาณสารเชื่อมโยงหรือวิธีการผสมสาร โดยผสม MMT-KNO₃/CS กับสารเชื่อมโยงเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงที่สม่ำเสมอในทุกบริเวณ
2. ปรับเปลี่ยนวิธีการแห้งจากอบแห้งด้วยความร้อนซึ่งส่งผลทำให้การปลดปล่อยปุ๋ยเกิดได้ช้า เป็นวิธีทำแห้งแบบเยือกแข็ง ซึ่งได้อนุภาคที่มีความพรุนตัวสูง
3. ทำศึกษาการปลดปล่อยปุ๋ยที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นหรือเปลี่ยนระบบการปลดปล่อยเป็นแบบต่อเนื่องเพื่อจำลองสภาวะจริงของการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2554. *ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] ศิริลักษณ์ ศรีสุข และสุเมธ เทพคำ. 2551. “การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างพอลิอะครีเลตกับไคโตซานที่ดัดแปรโครงสร้างด้วยมอนตม์อริลโลไนต์.” *โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.
- [3] ศิริพันธ์ เหล่าชูชัยสกุล. 2556. “การเตรียมวัสดุประกอบนาโนระหว่างแป้งแคทไอออนและมอนตม์อริลโลไนต์เพื่อประยุกต์ใช้ในการดูดซับสี้อม.” *วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.
- [4] Orisa. 2552. *ประโยชน์และปัญหาของไนเตรต*. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.hydroponicssme.blogspot.com/2009/04/blog-post_7075.html. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ตุลาคม 2558
- [5] ชุติมา แกมกิจ. 2555. “การเตรียมนาโนเคลย์ระหว่างไคโตซานละลายน้ำกับมอนตม์อริลโลไนต์สำหรับประยุกต์ใช้ในงานดูดซับสี้อม.” *วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.
- [6] พวงรัตน์ ขจิตวิชานุกุล และจิรภัทร์ อนันต์ภัทรชัย. 2558. *ลักษณะสมบัติเฉพาะนาโนเคลย์ (Nanoclay)*. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/cei/nanodatabase/info2.php?cat_id=15&p_id=418. เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2558
- [7] นาซากรูป. 2558. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://nazagroup2008.com/index.aspx?pid=b3313e64-027c-4b27-a1d11ac97b76da40&ctid=c2c051c4-038d-4f8eac6111fb90f7d2e7>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2558
- [8] Schlanbu. 2009. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://nanowiki.no/wiki/Applications_of_nanotechnology_for_the_food_sector. เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม 2015
- [9] มาริสสา สัจพันธ์, วาทีณี คุณเผือก และสุ โพธิบาตร. 2548. “การผลิตแผ่นฟิล์มไคโตซานผสมแป้งสำหรับปิดแผล.” *โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.

- [10] ญัฐกานต์ เจริญทรัพย์, วิสา บินมะหะหมัด และสุวิตตรา แซ่มชื่น. 2548. “การผลิตแผ่นฟิล์มไคโตซานสำหรับปิดแผล.” โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [11] ฐิติมา โชติกสถิตย์, ญัฐธินัน ปรีวัตรอัครีมา และญัฐริกา อภิรักษ์เสนา. 2555. “การสังเคราะห์วัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ (II) ออกไซด์ ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล.” โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [12] Nygaard, J.N. Strand, S.P. Vårum, K.M. Draget, K.I. and Nordgård, C.T. 2015. “Chitosan: Gels and Interfacial Properties.” *Polymers*. 7(3) : 552-579.
- [13] วรายุทธ สะโจอมแสง. 2559. การเตรียมและการประยุกต์ใช้นอนุภาคนาโนจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ. [Online]. เข้าถึงจาก : <https://plus.google.com/100853594922273742503/posts>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2559
- [14] Zhaol, L. Shill, L. Zhangll, Z. Chenll, Jian. Shill, D. Yangll, J. and Tangl, Z. 2011. “Preparation and Application of Chitosan Nanoparticles and Nanofibers.” *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 28. : 353-362.
- [15] มุกดา สุขสวัสดิ์. 2547. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ ฯ : โอเดียนสโตร์.
- [16] อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2548. ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [17] Thafertilizer. 2558. ปุ๋ยยูเรีย [Online]. เข้าถึงจาก : <http://www.thaifertilizer.com/urea-fertilizer>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2558
- [18] Unchalee. 2558. ปุ๋ยเคมี [Online]. เข้าถึงจาก : <http://www.siamchemi.com/ปุ๋ยเคมี/>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2558
- [19] Hua, S. Yang, H. Wang, W. and Wang, A. 2010. “Controlled Release of Ofloxacin from Chitosan–Montmorillonite Hydrogel.” *Applied Clay Science*. 50 : 112–117.
- [20] Wang, S.F. Shen, L. Tong, Y.J. Chen, L. Phang, I.Y. Lim, P.Q. and Liu, T.X. 2005. “Biopolymer Chitosan/Montmorillonite Nanocomposites : Preparation and Characterization.” *Polymer Degradation and Stability*. 90 : 123-131.

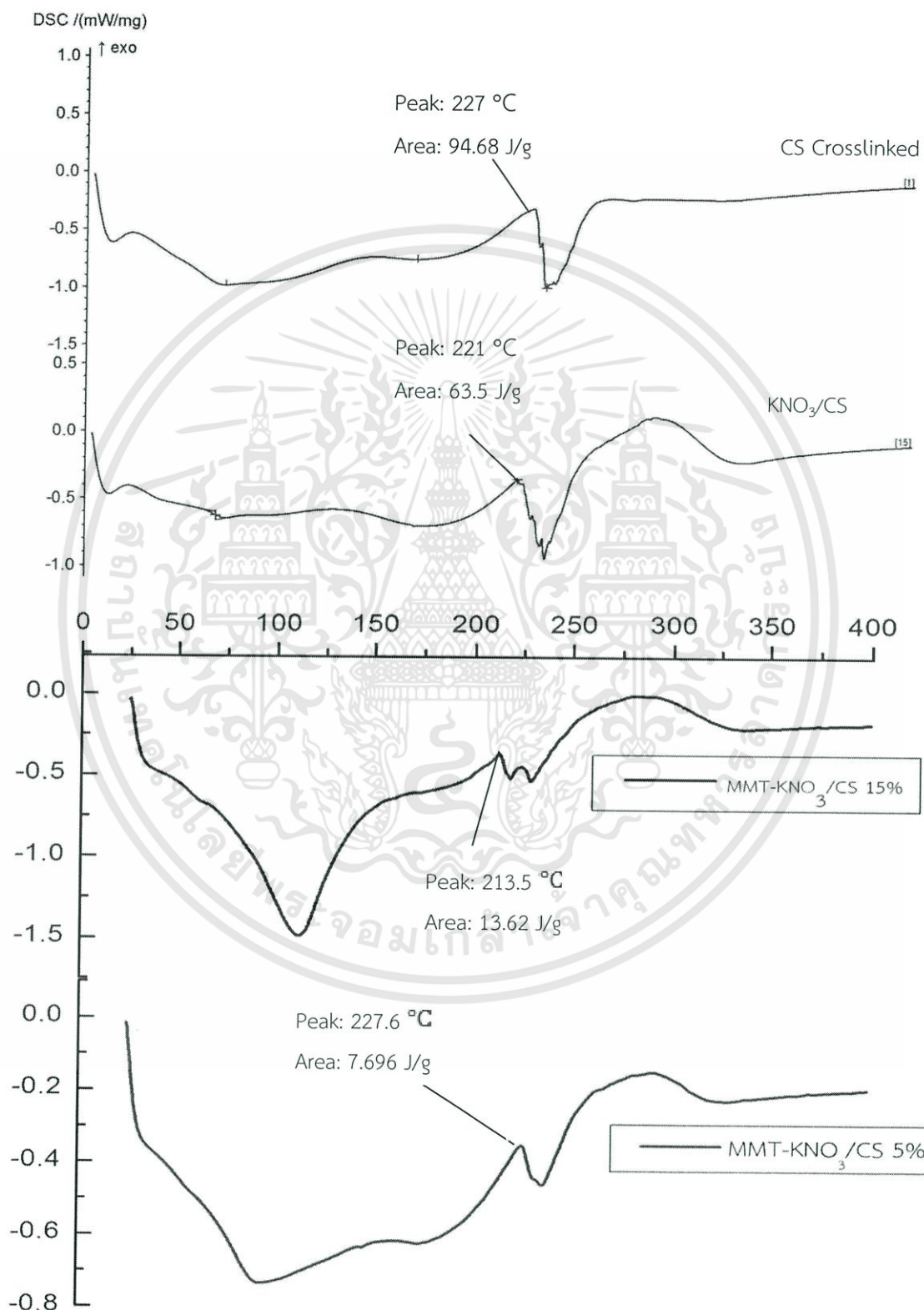
- [21] Fen, Y.W. Yunus, W.M.M. Yusof, N.A. Ishak, N.S. Omar, N.A.S. and Zainudin, A.A. 2015. "Preparation, Characterization and Optical Properties of Ionophore doped Chitosan Biopolymer Thin Film and its Potential Application for Sensing Metal Ion." *Journal of Optik.* 126 : 4688-4692.
- [22] Santos, B.R. Bacalhau, F.B. Pereira, T.S. Souza, C.F. and Faez, R. 2015. "Chitosan-Montmorillonite Microspheres : A Sustainable Fertilizer Delivery System." *Carbohydrate Polymers.* 127 : 340-346.
- [23] Jarosiewicz, A. and Tomaszewska, M. 2003. "Controlled-Release NPK Fertilizer Encapsulated by Polymeric Membranes." *Journal of Agriculture and Food Chemistry.* 51 : 413-417.
- [24] Tomaszewska, M. and Jarosiewicz, A. 2006. "Encapsulation of Mineral Fertilizer by Polysulfone using a Spraying Method." *Desalination.* 198 : 346-352.
- [25] Zhang, M. Gao, B. Chen, J. Li, Y. Creamer, A.E. and Chen, H. 2014. "Slow-Release Fertilizer Encapsulated by Graphene Oxide Films." *Chemical Engineering Journal.* 255 : 107-113.
- [26] Yadav, M. and Ahmad, S. 2015. "Montmorillonite/Graphene Oxide/Chitosan Composite : Synthesis, Characterization and Properties." *International Journal of Biological Macromolecules.* 79 : 923-933.
- [27] Wu, L. and Liu, M. 2008. "Preparation and Properties of Chitosan-Coated NPK Compound Fertilizer with Controlled-Release and Water-Retention." *Carbohydrate Polymers.* 72 : 240-247.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เทอร์โมแกรมของ CS KNO₃/CS และ MMT-KNO₃/CS จากเทคนิค DSC



รูปที่ ก.1 เทอร์โมแกรมของ CS KNO₃/CS และ MMT-KNO₃/CS จากเทคนิค DSC

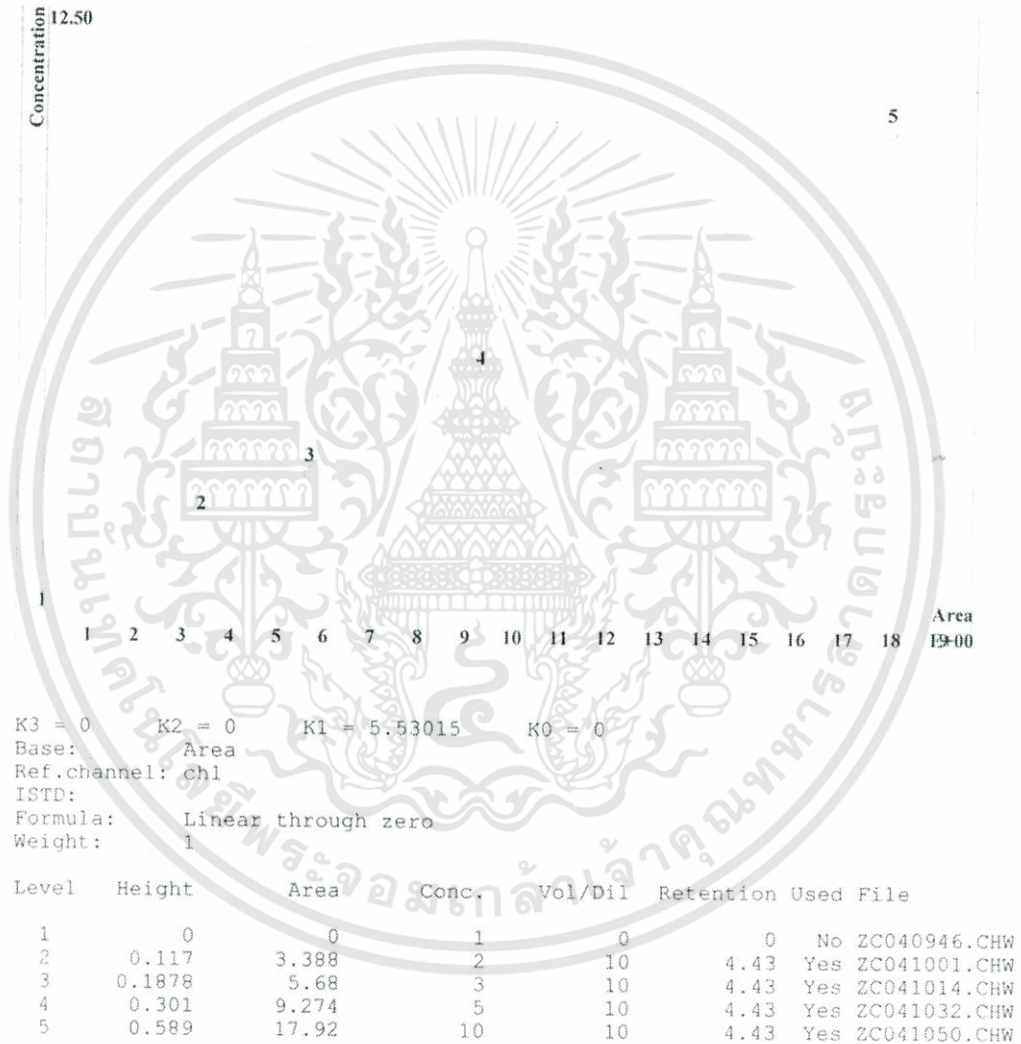
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

กราฟความเข้มข้นมาตรฐานของ K^+ และ NO_3^-

CALIBRATION OF COMPONENT potassium

Method: Std K 1-10 ppm Dream 4-12-58.mtw
 Equation: $Q = 5.53015 \cdot A$
 RSD: 2.820 %
 Correlation coefficient: 0.999248



รูปที่ ข.1 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน K^+

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CALIBRATION OF COMPONENT nitrate

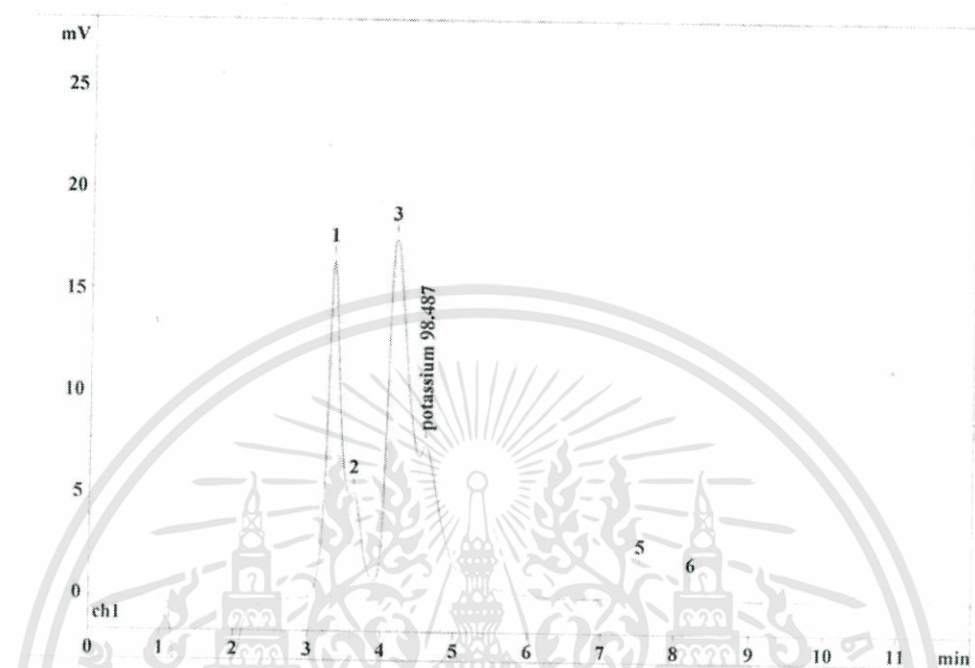
Method: std Anion NO3 SO4 Pranee 9-10-58.mtw
 Equation: $Q = 0.37876 \cdot A$
 RSD: 2.683 %
 Correlation coefficient: 0.999931

รูปที่ ข.2 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน NO_3^-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

กราฟแสดงการปลดปล่อย K^+ และ NO_3^- ของ MMT-KNO₃

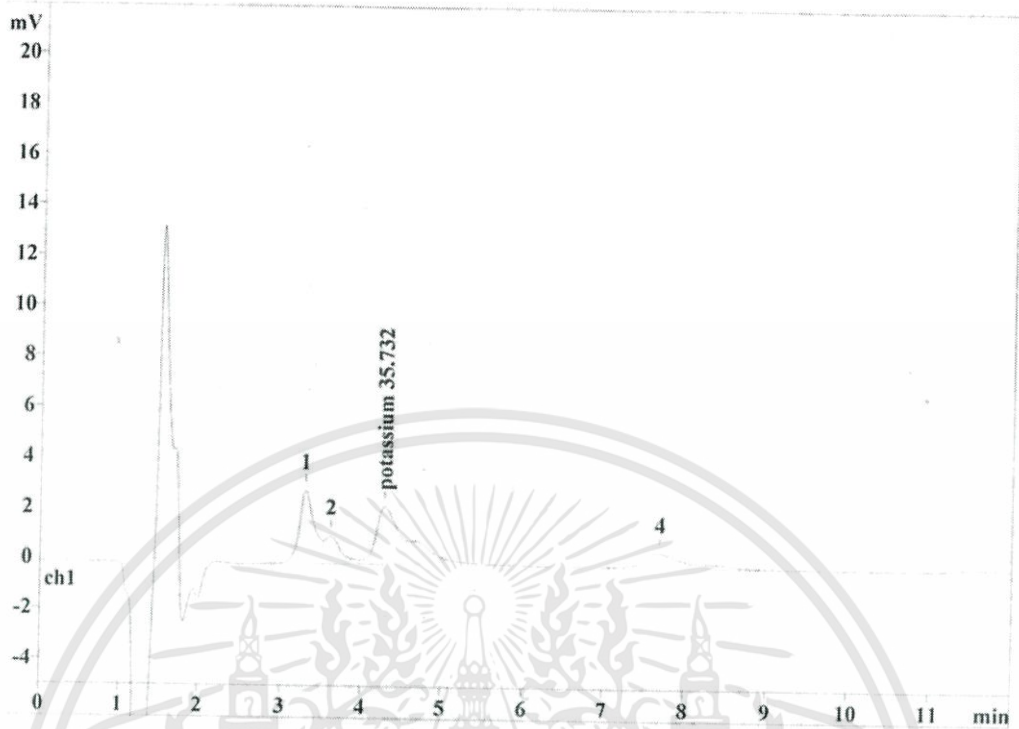


รูปที่ ค.1 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT-KNO₃ 5% ในชั่วโมงที่ 1



รูปที่ ค.2 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT-KNO₃ 5% ในชั่วโมงที่ 1

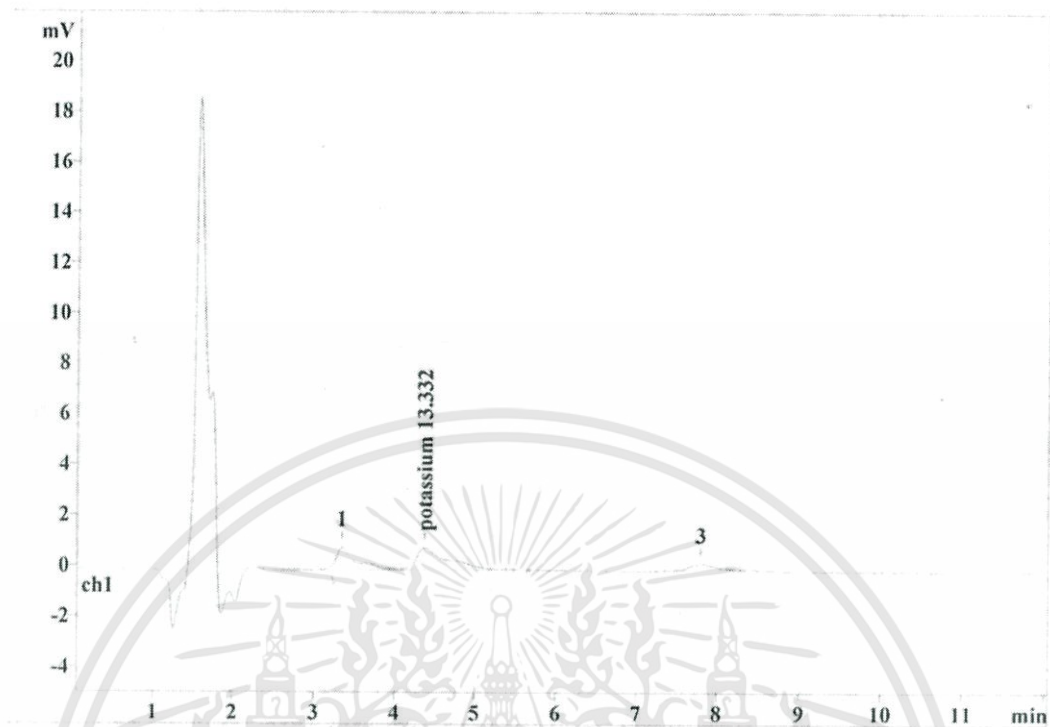
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 5% ในชั่วโมงที่ 2



รูปที่ ค.4 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 5% ในชั่วโมงที่ 2

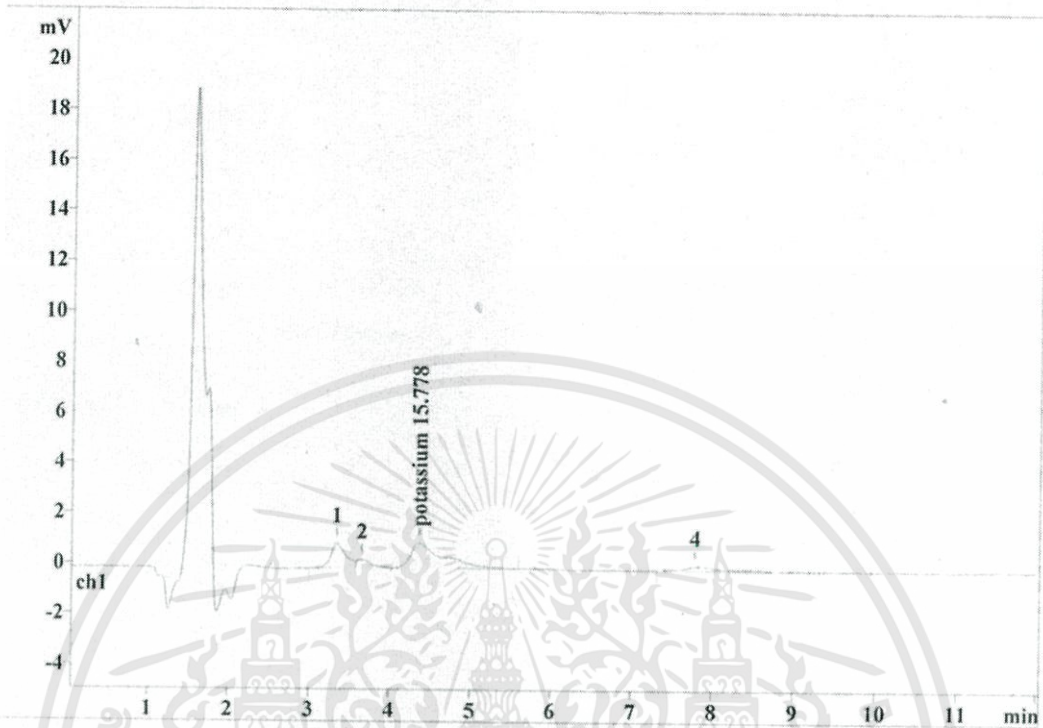


รูปที่ ค.5 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 5% ในชั่วโมงที่ 3

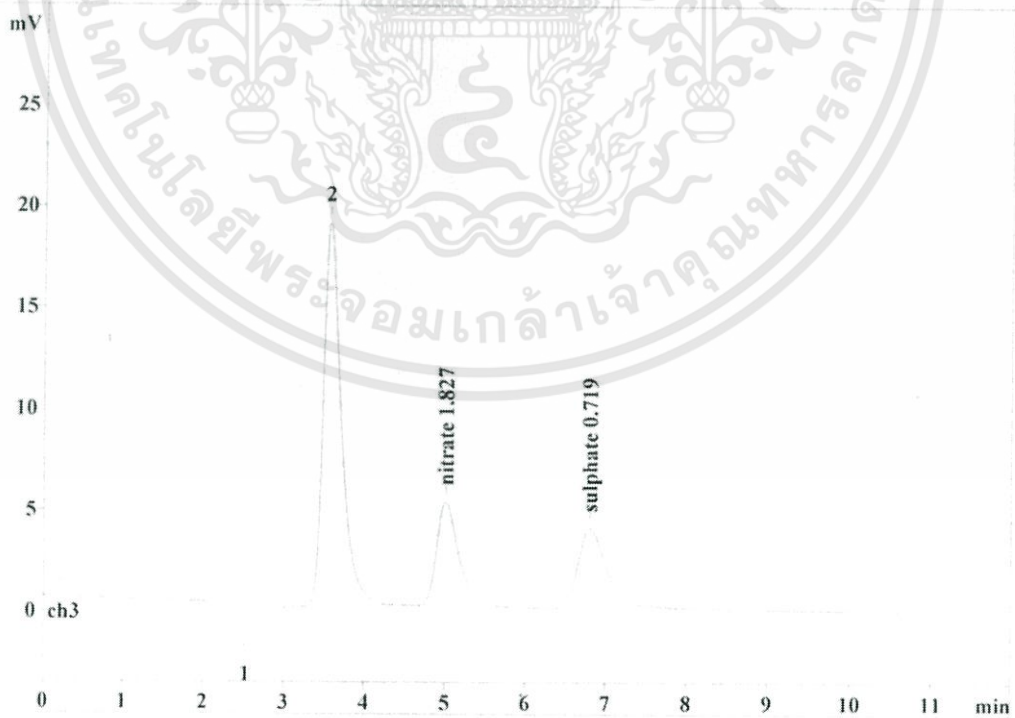


รูปที่ ค.6 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 5% ในชั่วโมงที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

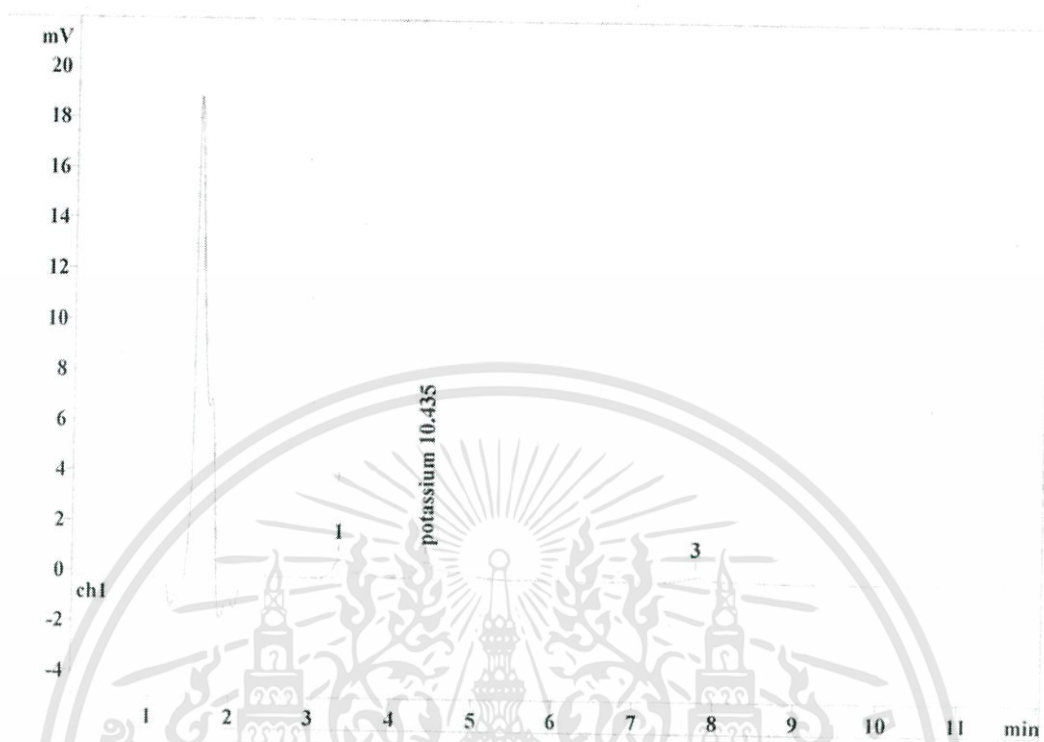


รูปที่ ค.7 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 5% ในชั่วโมงที่ 4



รูปที่ ค.8 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 5% ในชั่วโมงที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

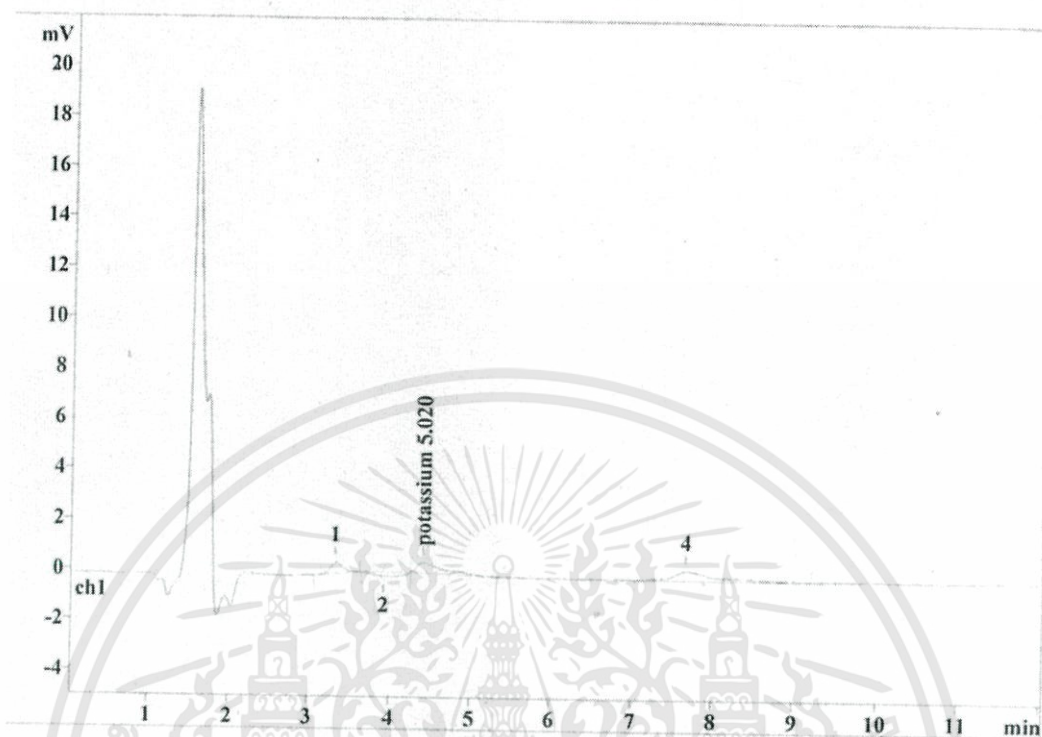


รูปที่ ค.9 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 5% ในชั่วโมงที่ 5

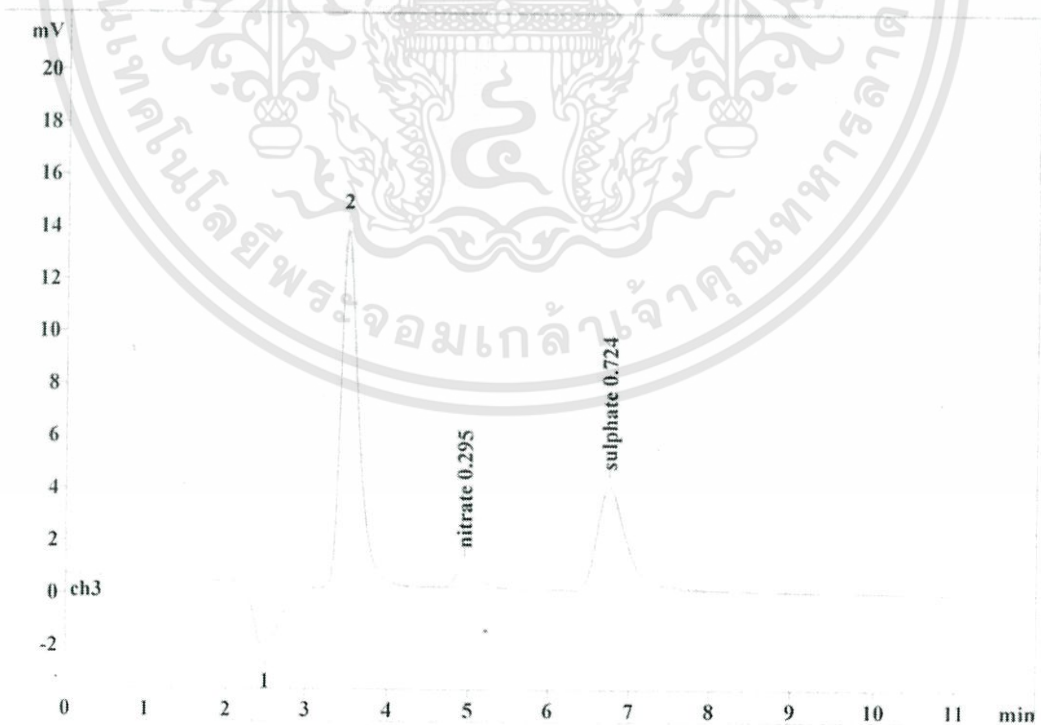


รูปที่ ค.10 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 5% ในชั่วโมงที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

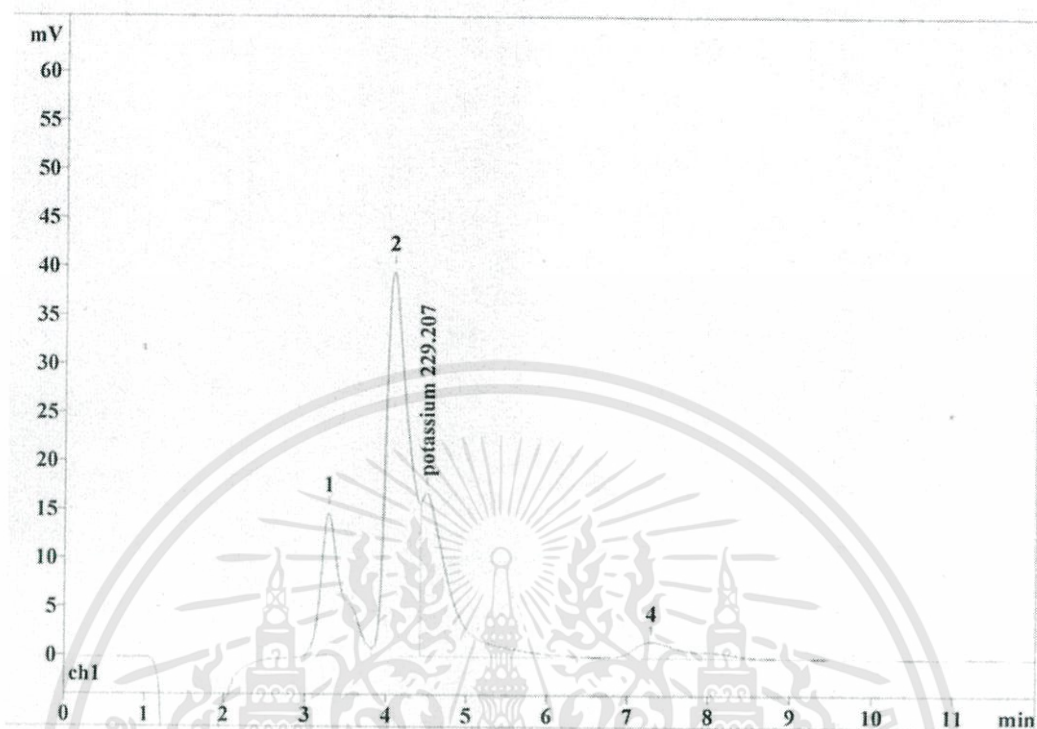


รูปที่ ค.11 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 5% ในชั่วโมงที่ 6



รูปที่ ค.12 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 5% ในชั่วโมงที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

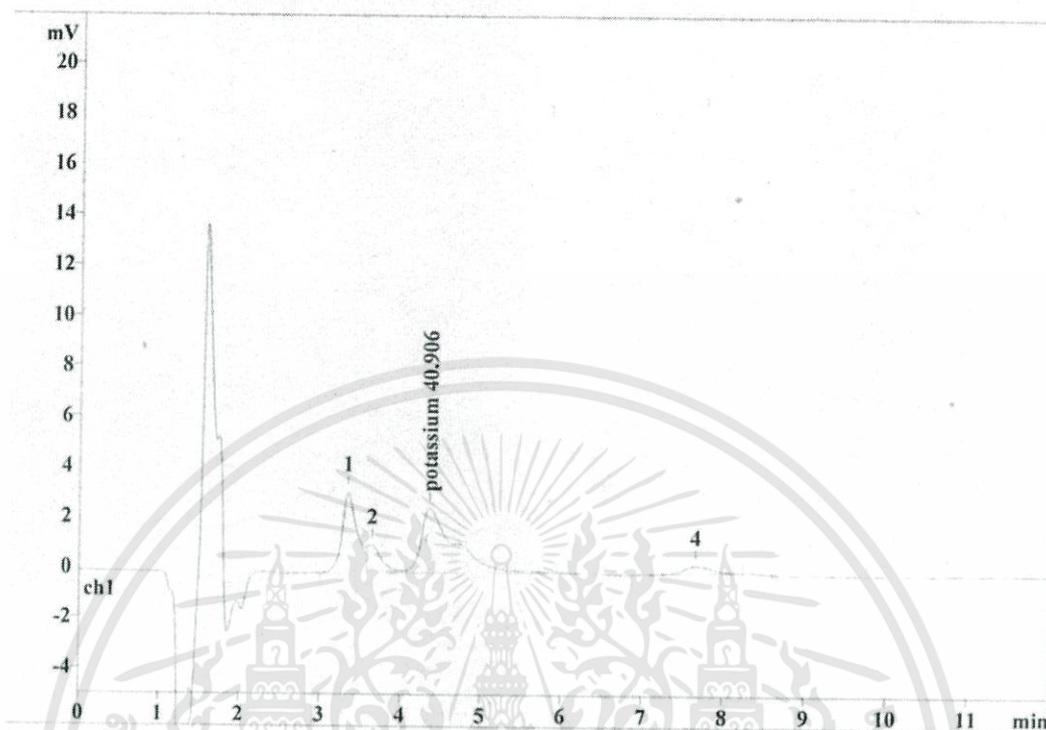


รูปที่ ค.13 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 10% ในชั่วโมงที่ 1



รูปที่ ค.14 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 10% ในชั่วโมงที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

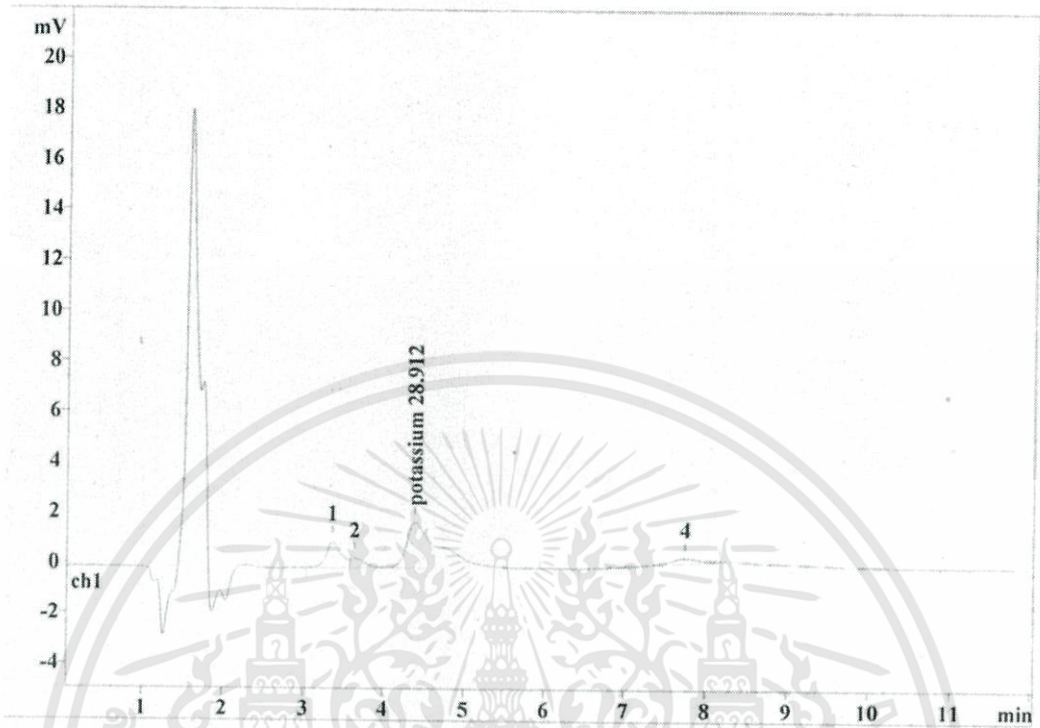


รูปที่ ค.15 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K⁺ ของ MMT-KNO₃ 10% ในชั่วโมงที่ 2

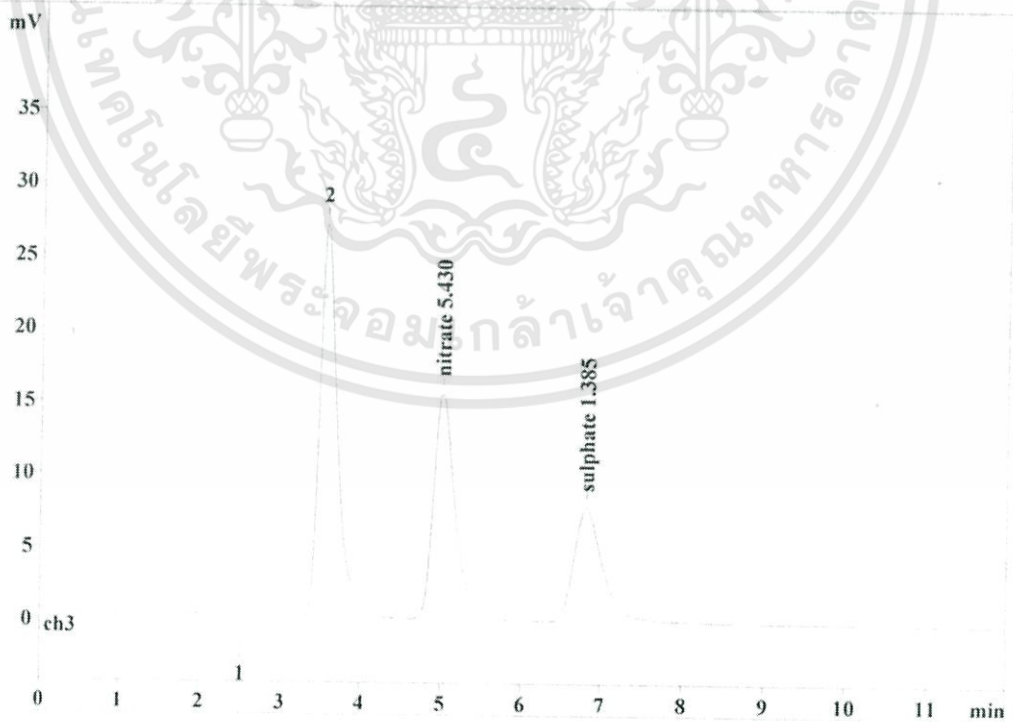


รูปที่ ค.16 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO₃⁻ ของ MMT-KNO₃ 10% ในชั่วโมงที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

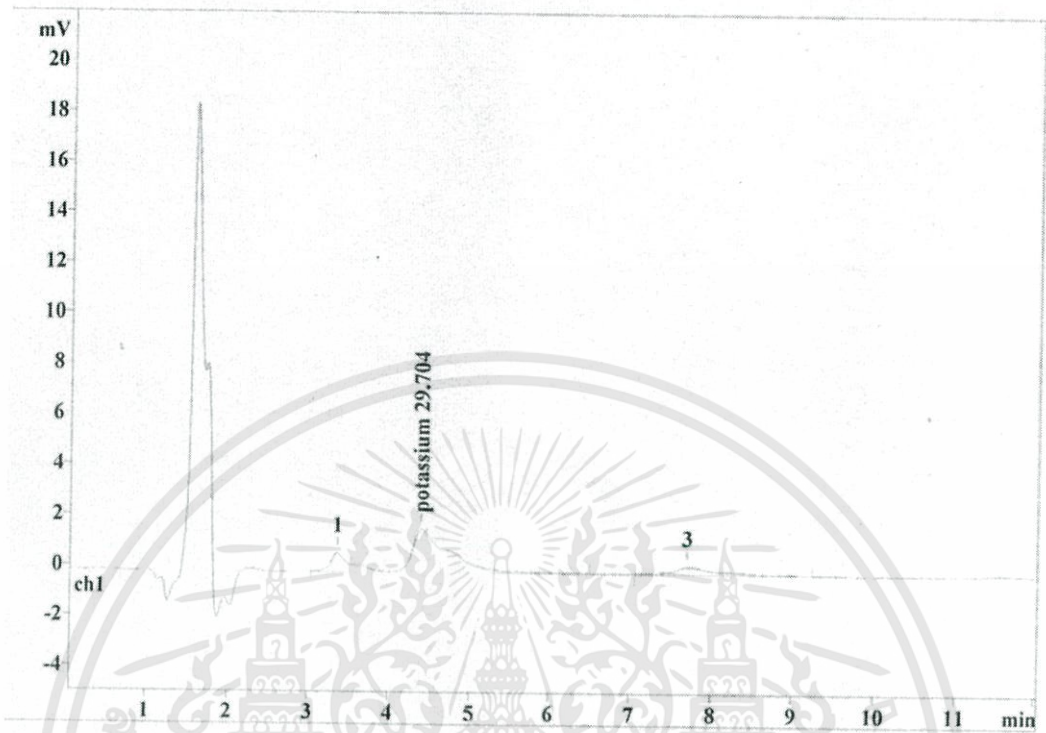


รูปที่ ค.17 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 10% ในชั่วโมงที่ 3



รูปที่ ค.18 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 10% ในชั่วโมงที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

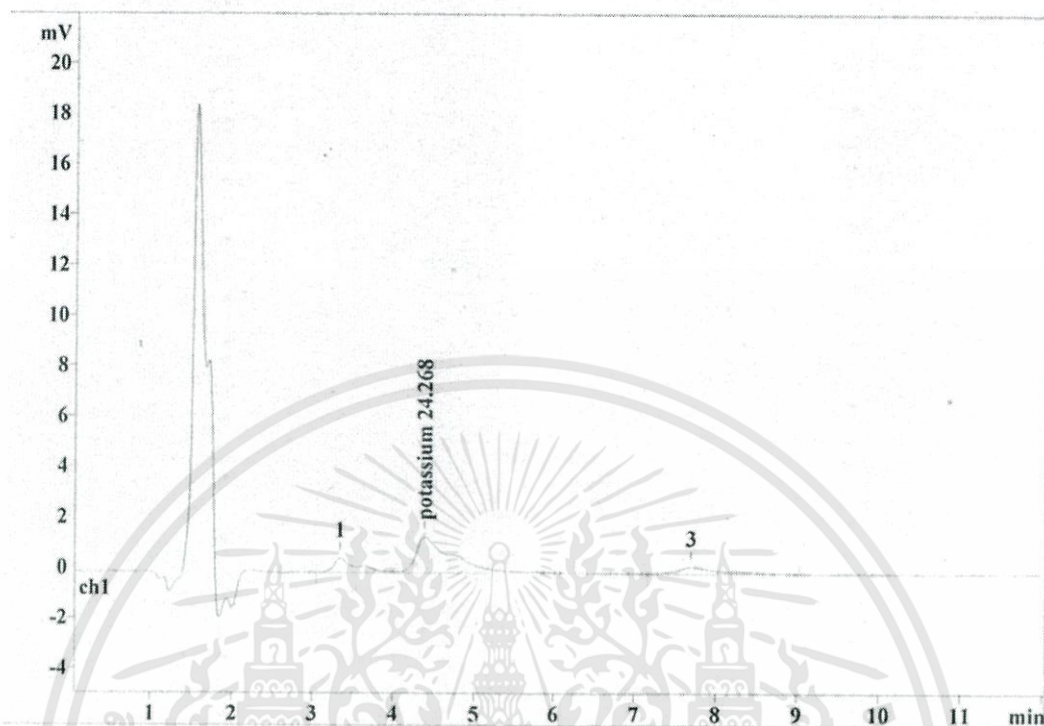


รูปที่ ค.19 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 10% ในชั่วโมงที่ 4



รูปที่ ค.20 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 10% ในชั่วโมงที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

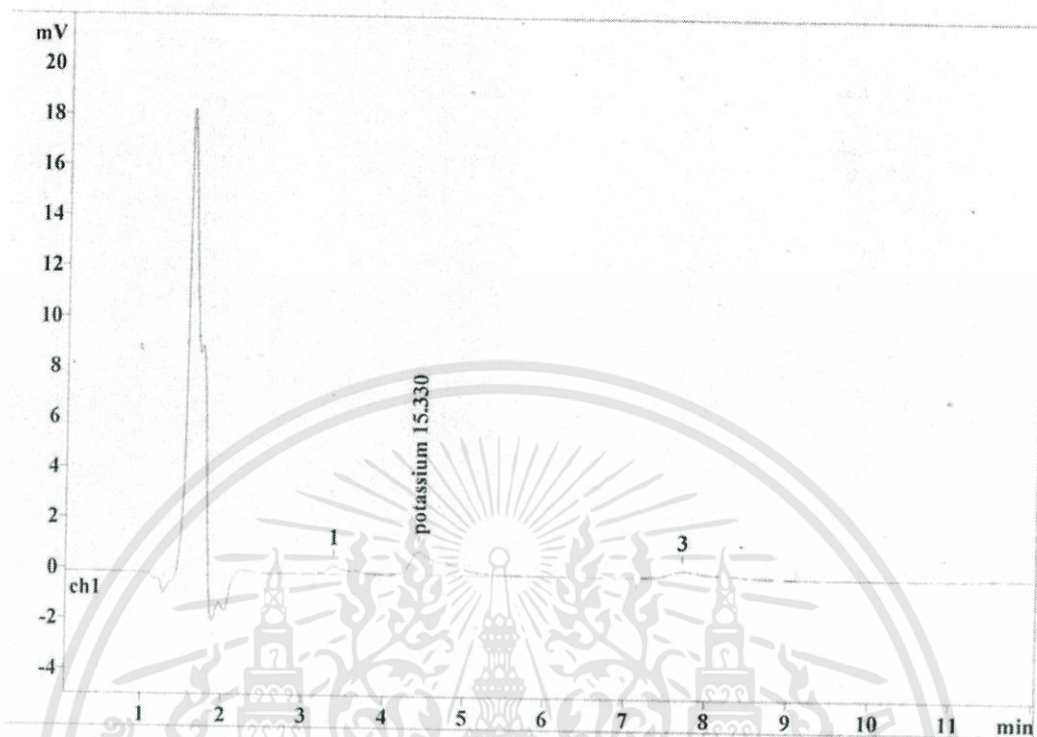


รูปที่ ค.21 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 10% ในชั่วโมงที่ 5



รูปที่ ค.22 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 10% ในชั่วโมงที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

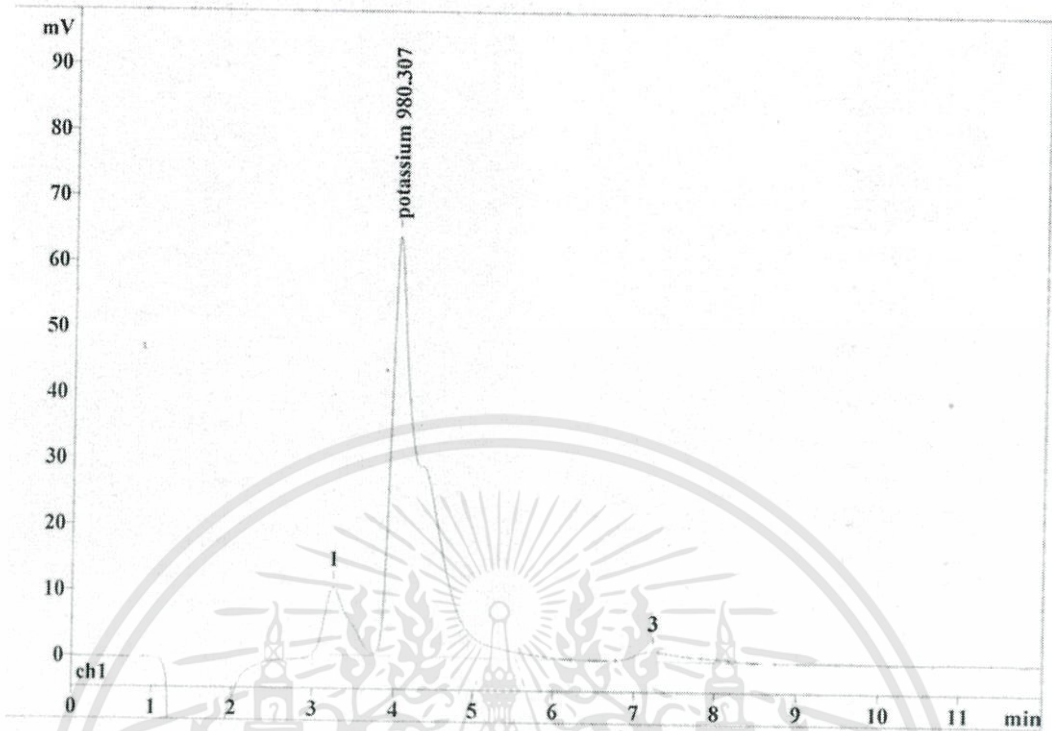


รูปที่ ค.23 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 10% ในชั่วโมงที่ 6



รูปที่ ค.24 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 10% ในชั่วโมงที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

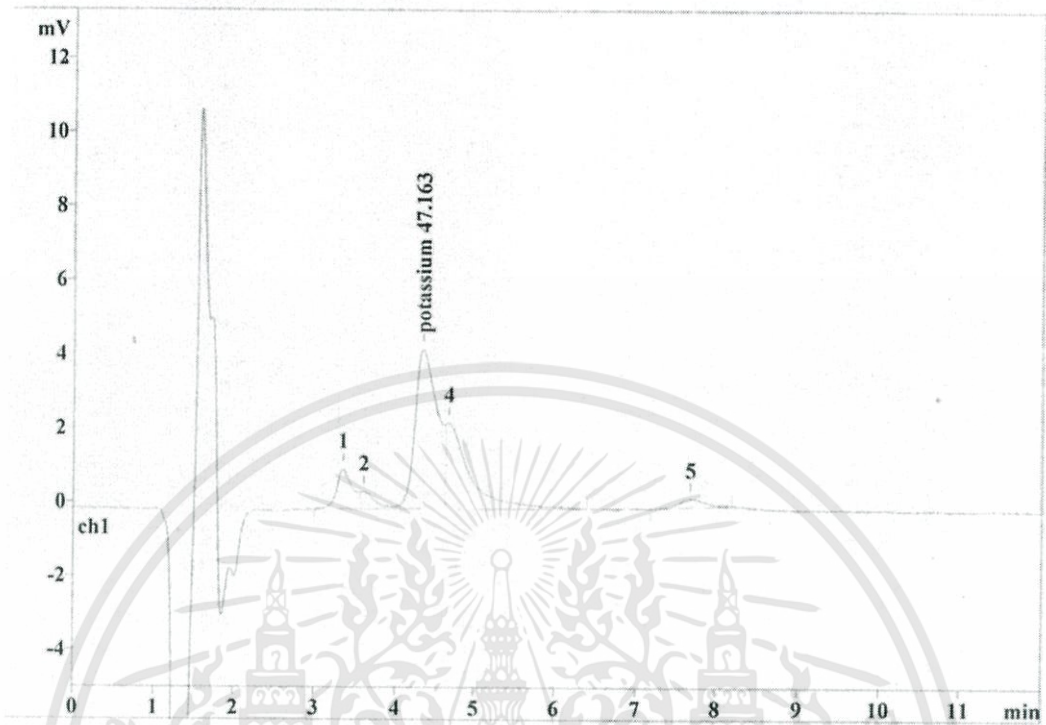


รูปที่ ค.25 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 15% ในชั่วโมงที่ 1



รูปที่ ค.26 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 15% ในชั่วโมงที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

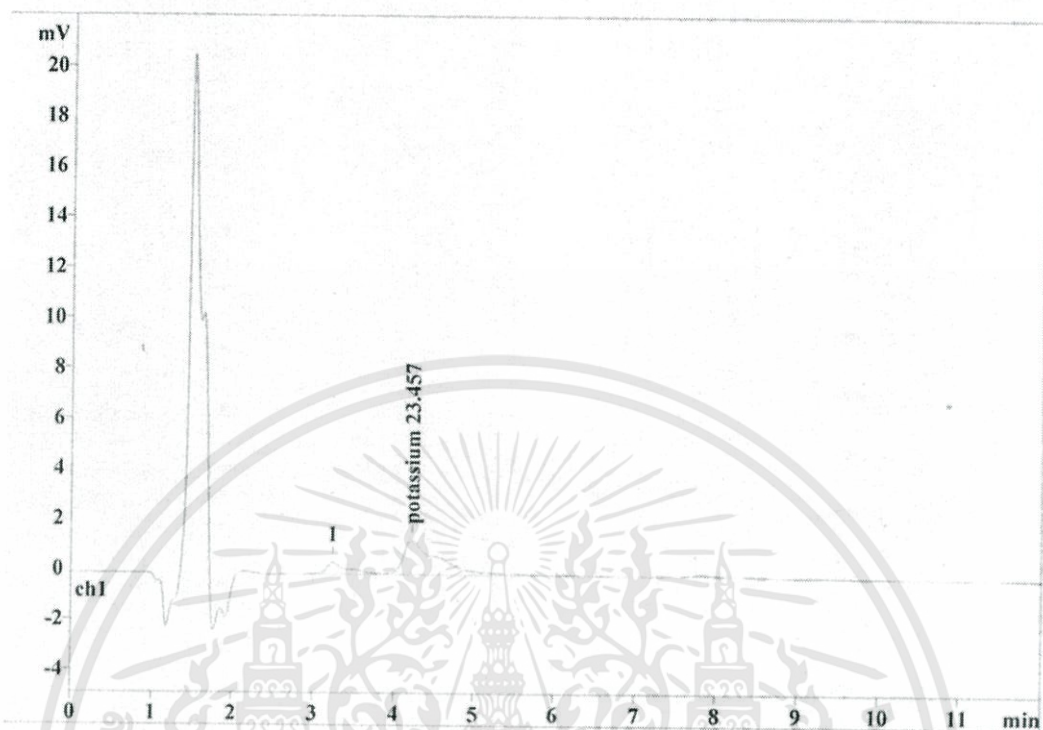


รูปที่ ค.27 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 15% ในชั่วโมงที่ 2

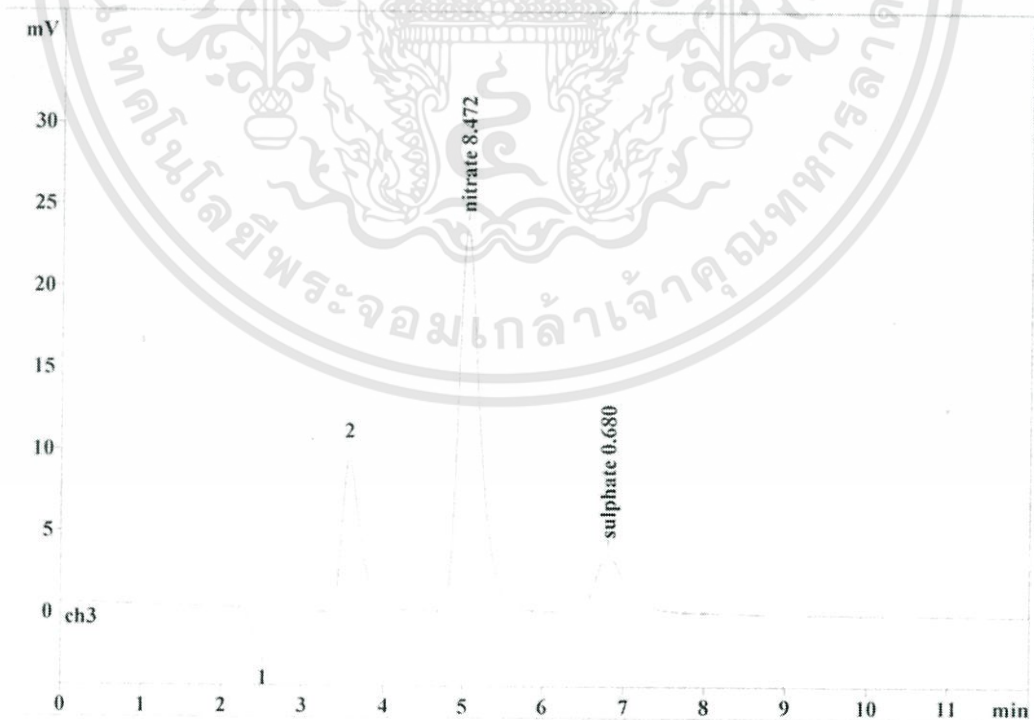


รูปที่ ค.28 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 15% ในชั่วโมงที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

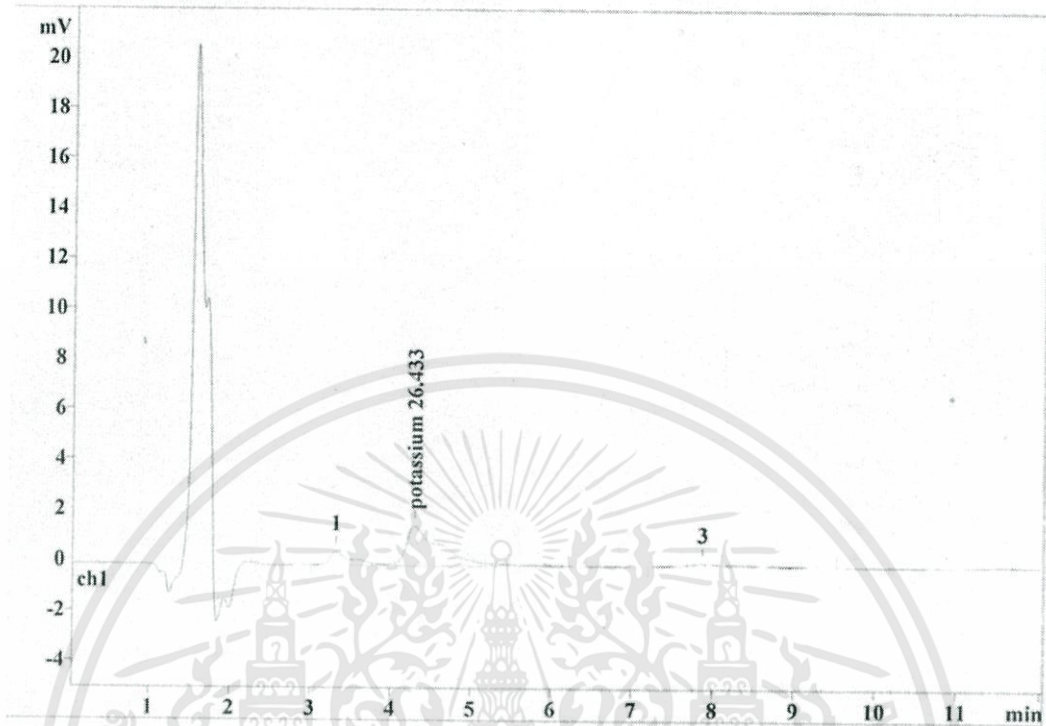


รูปที่ ค.29 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 15% ในชั่วโมงที่ 3



รูปที่ ค.30 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 15% ในชั่วโมงที่ 3

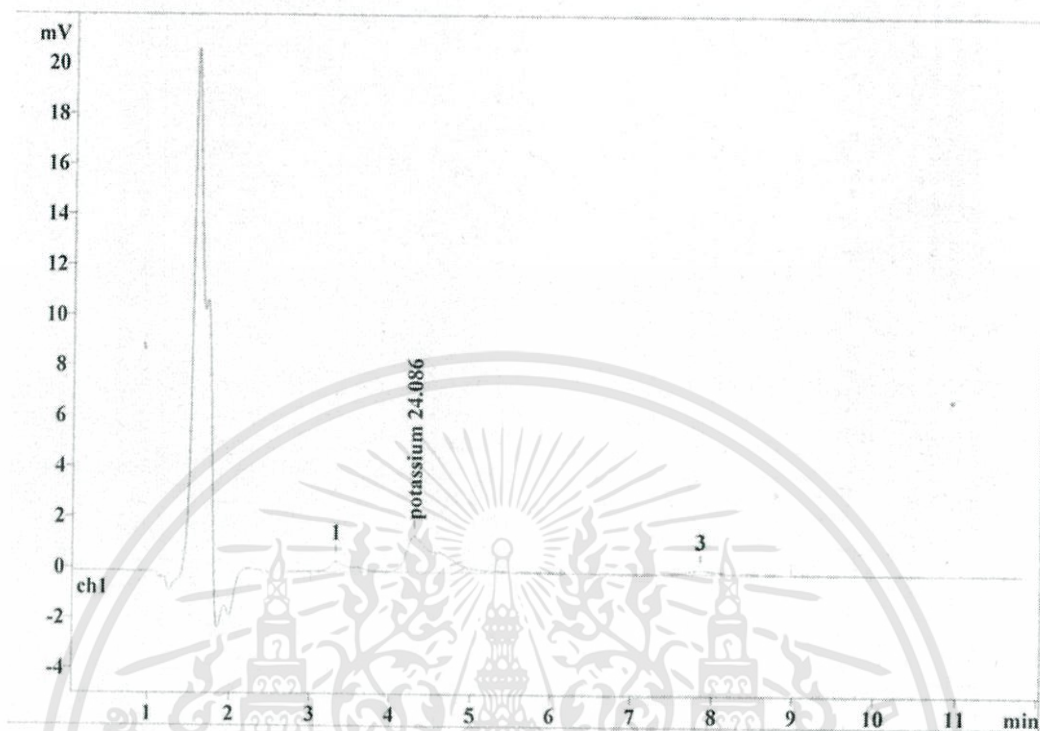
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



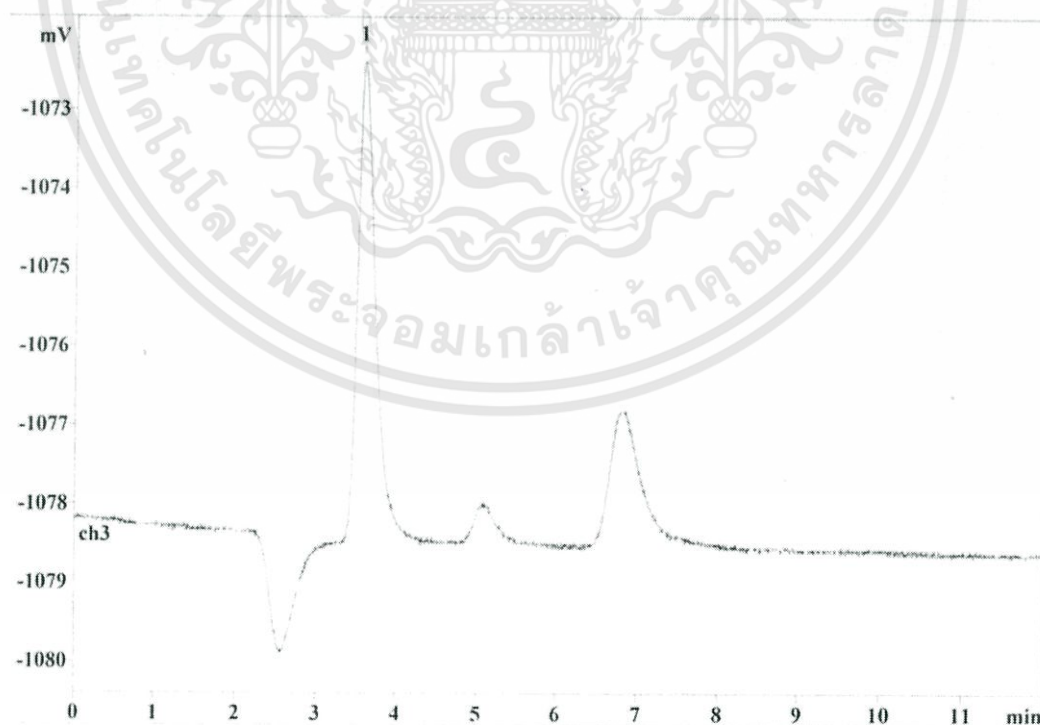
รูปที่ ค.31 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 15% ในชั่วโมงที่ 4



รูปที่ ค.32 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 15% ในชั่วโมงที่ 4

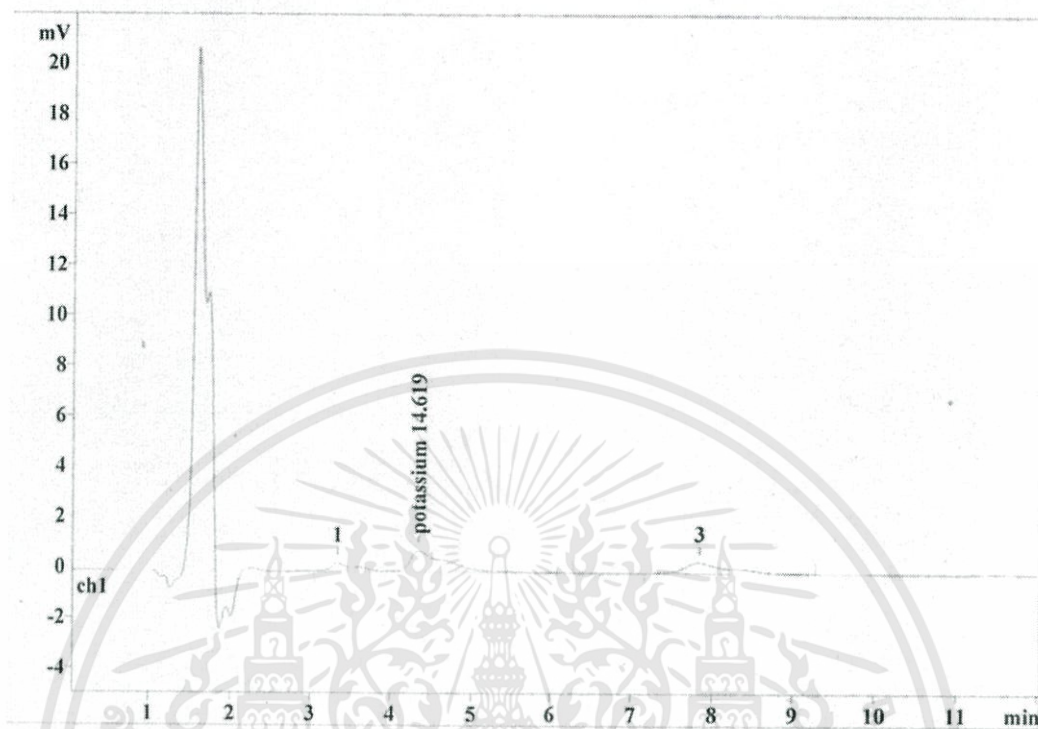


รูปที่ ค.33 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 15% ในชั่วโมงที่ 5



รูปที่ ค.34 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 15% ในชั่วโมงที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.35 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 15% ในชั่วโมงที่ 6

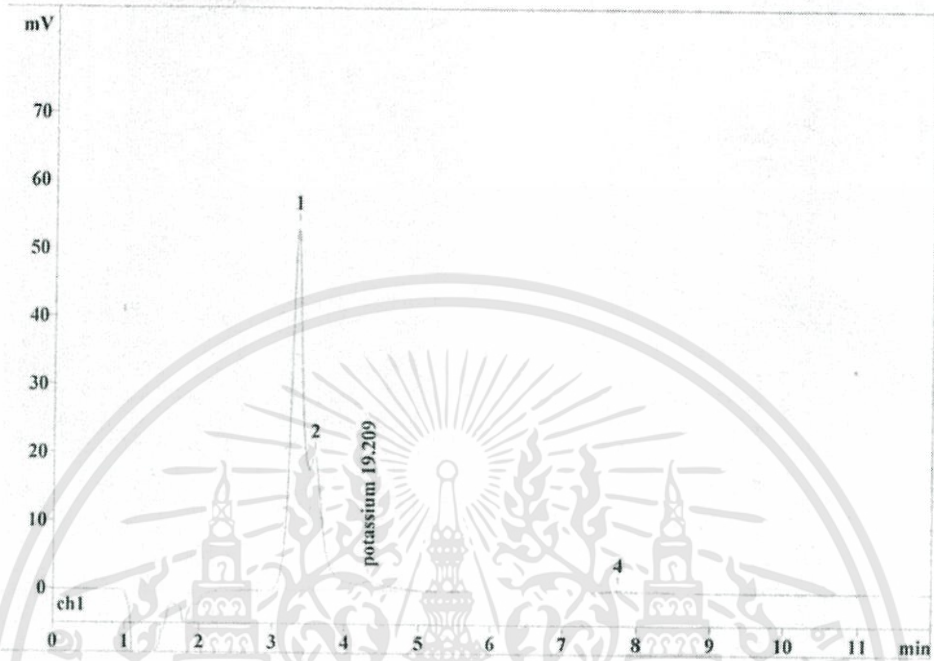


รูปที่ ค.36 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 15% ในชั่วโมงที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

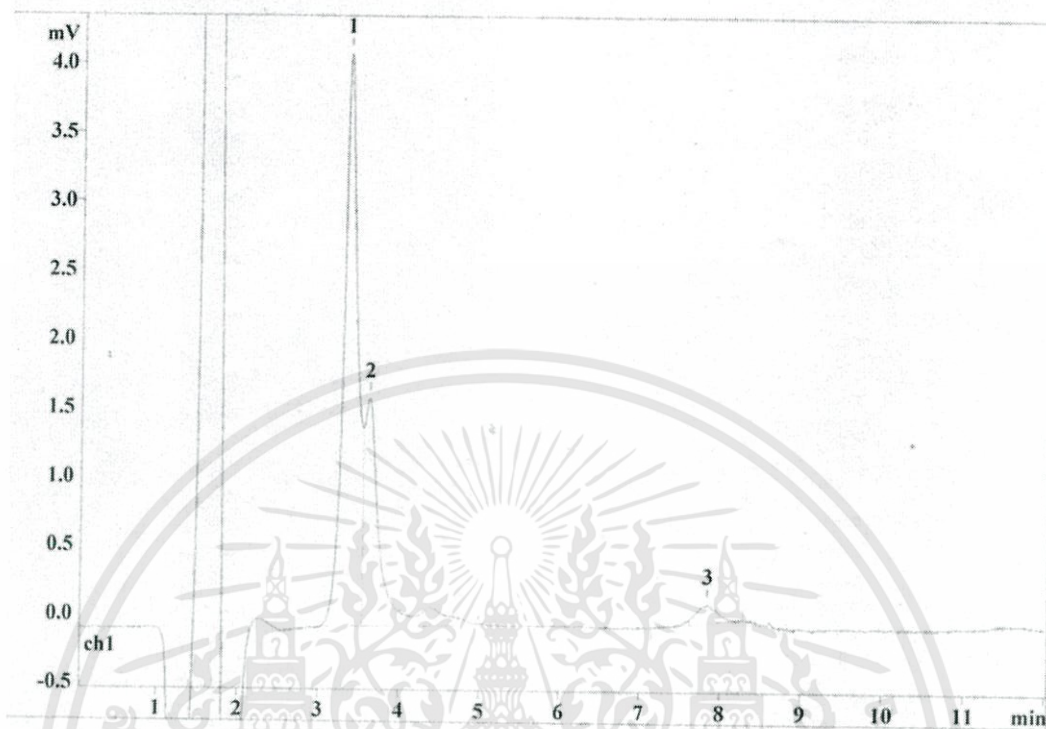
กราฟแสดงการปลดปล่อย K^+ และ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS



รูปที่ ง.1 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 5% ในชั่วโมงที่ 1



รูปที่ ง.2 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 5% ในชั่วโมงที่ 1

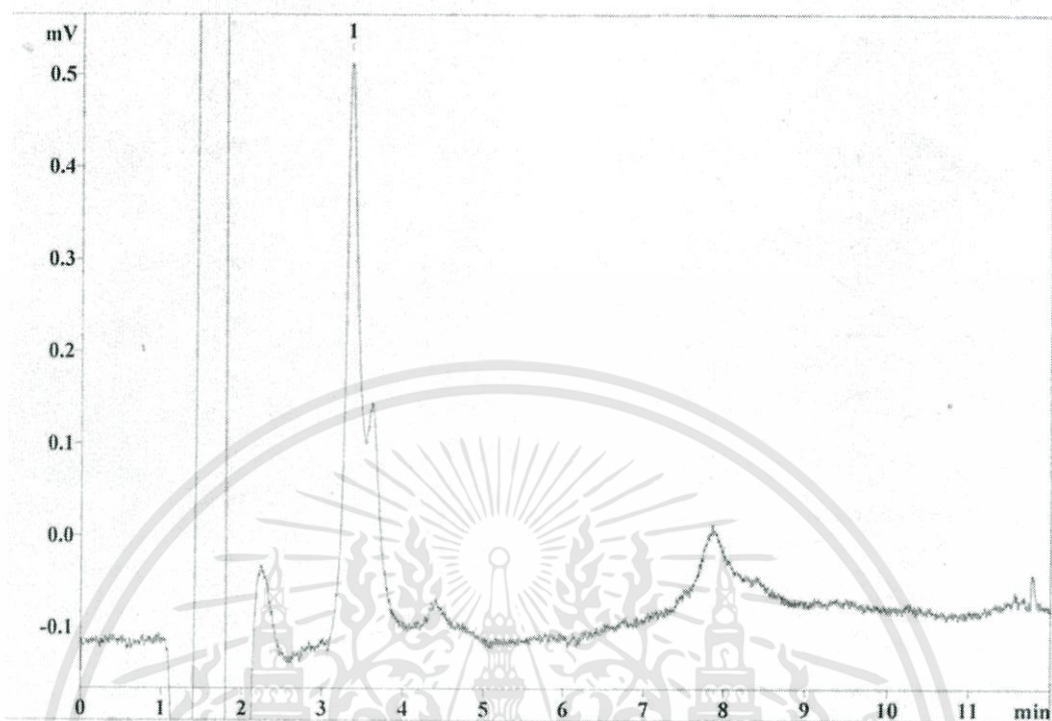


รูปที่ ง.3 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 5% ในชั่วโมงที่ 2



รูปที่ ง.4 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 5% ในชั่วโมงที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

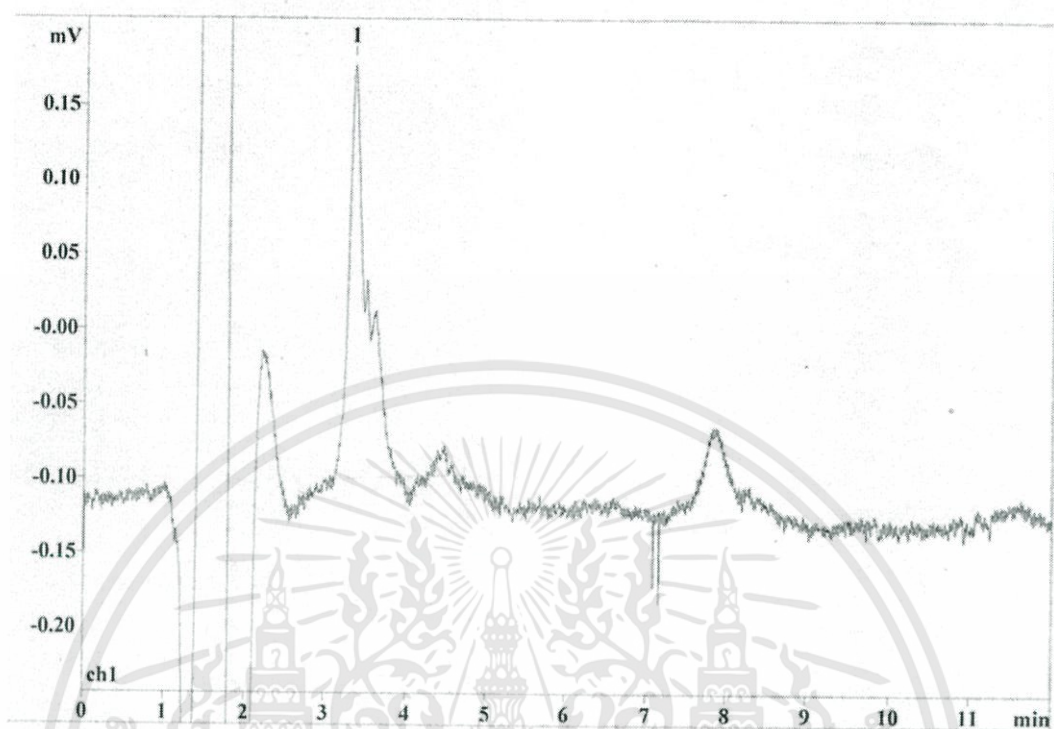


รูปที่ ๕.5 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 5% ในชั่วโมงที่ 3



รูปที่ ๕.6 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 5% ในชั่วโมงที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

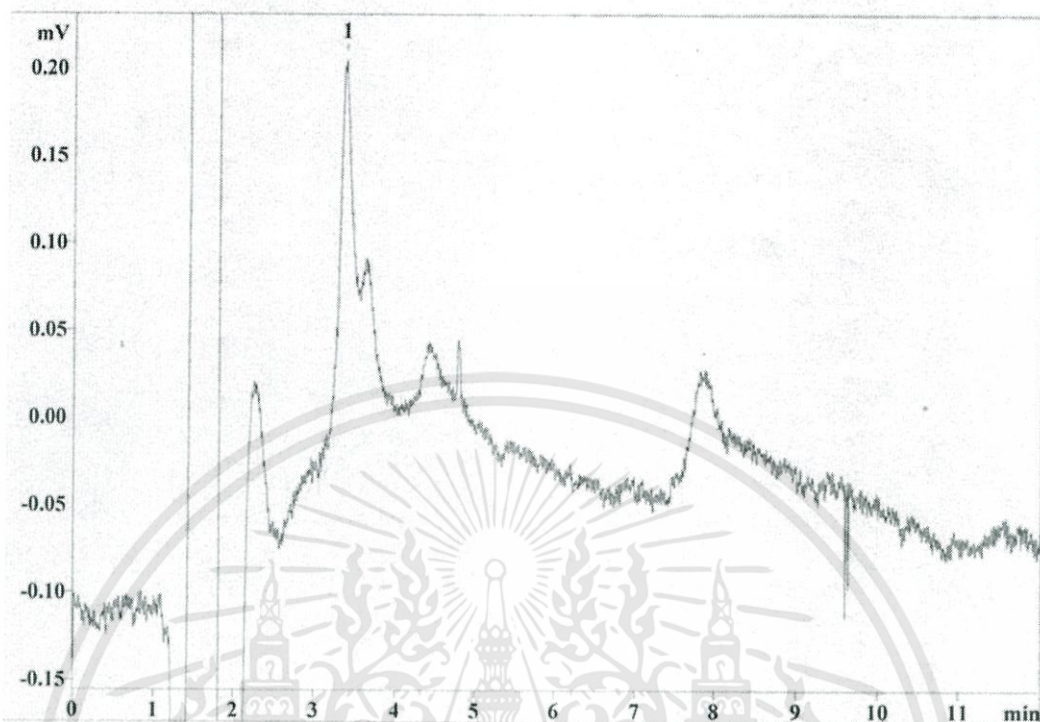


รูปที่ ง.7 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 5% ในชั่วโมงที่ 4



รูปที่ ง.8 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 5% ในชั่วโมงที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

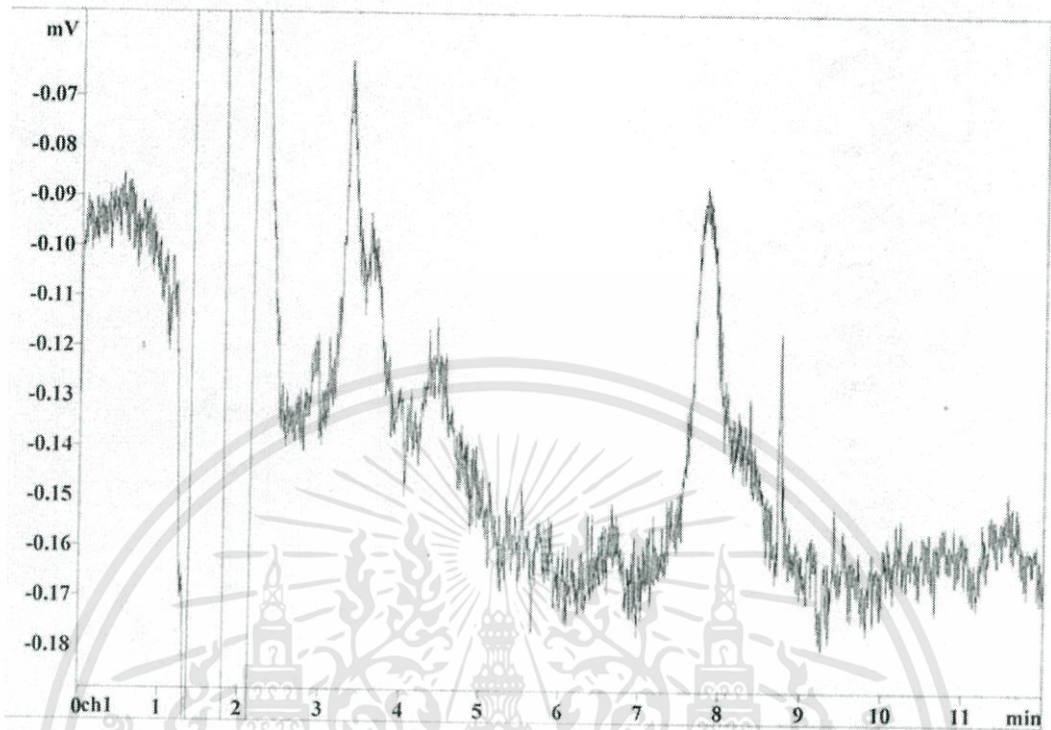


รูปที่ ๙.๙ กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 5% ในชั่วโมงที่ 5



รูปที่ ๙.๑๐ กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 5% ในชั่วโมงที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

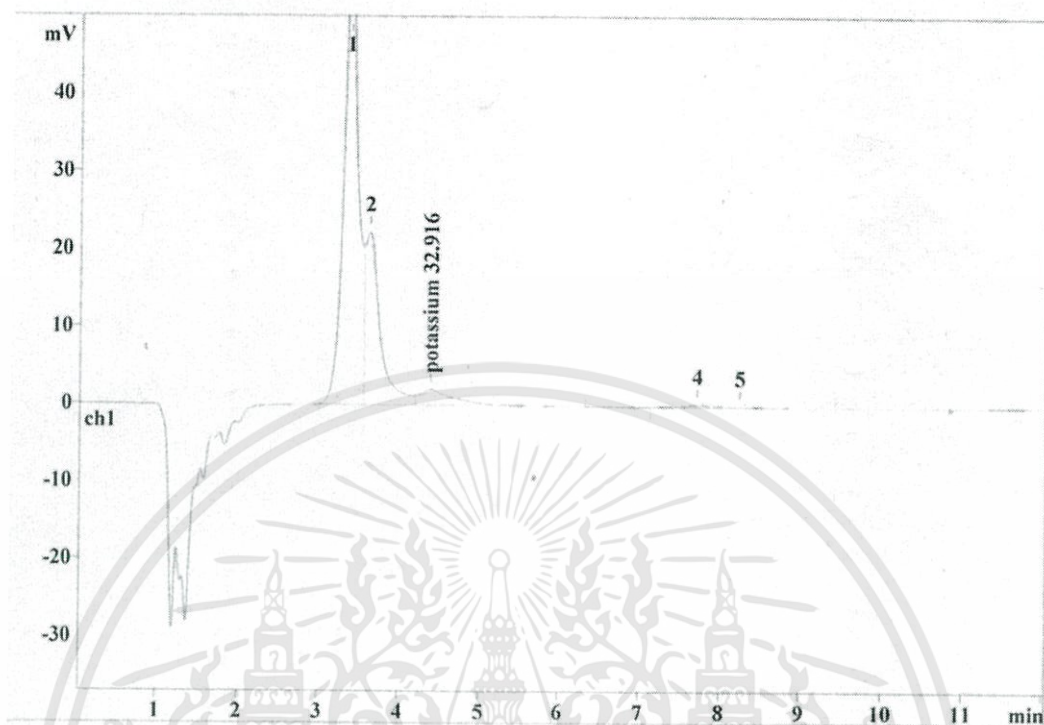


รูปที่ 11.11 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 5% ในชั่วโมงที่ 6



รูปที่ 11.12 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 5% ในชั่วโมงที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

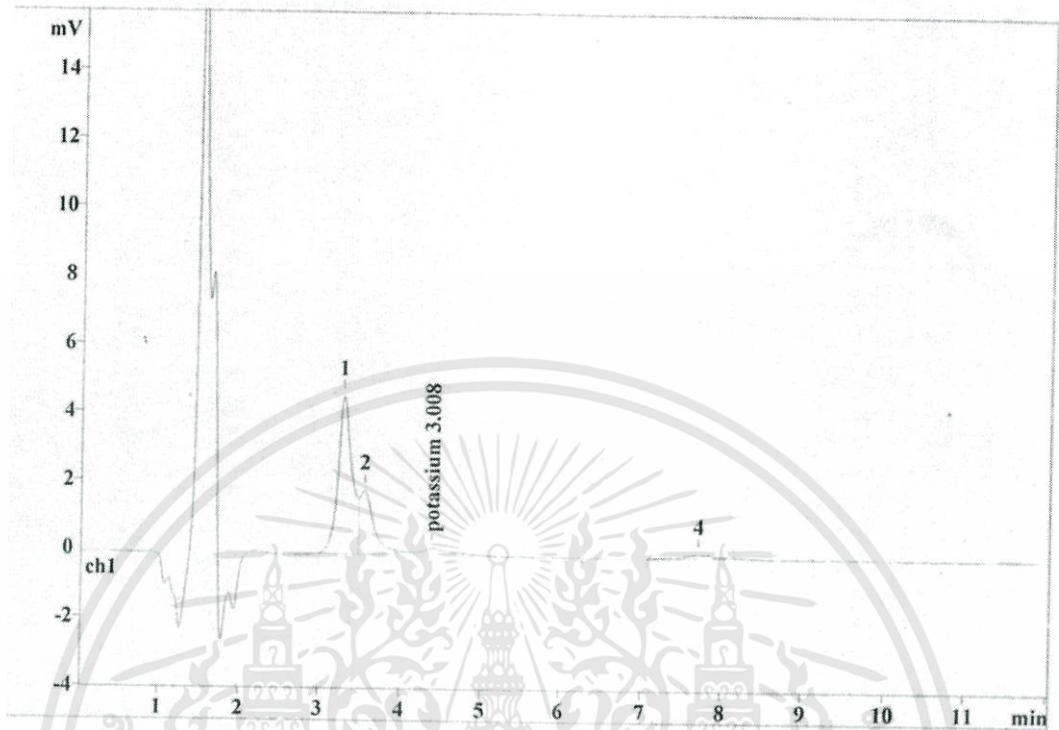


รูปที่ ง.13 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 10% ในชั่วโมงที่ 1

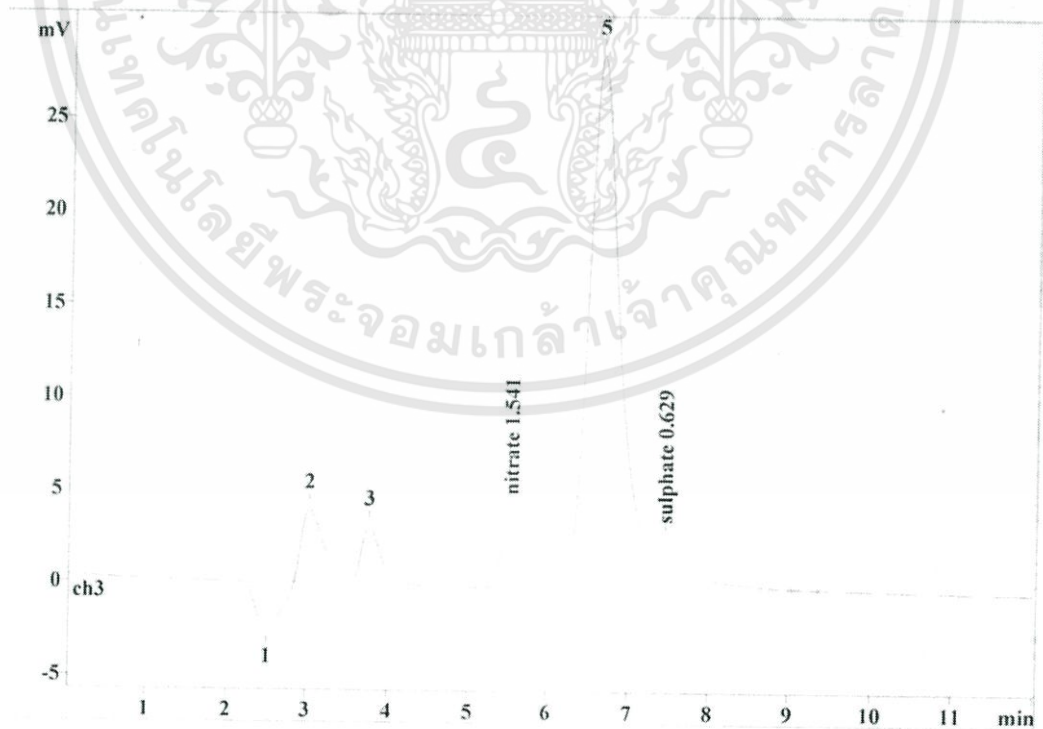


รูปที่ ง.14 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 10% ในชั่วโมงที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

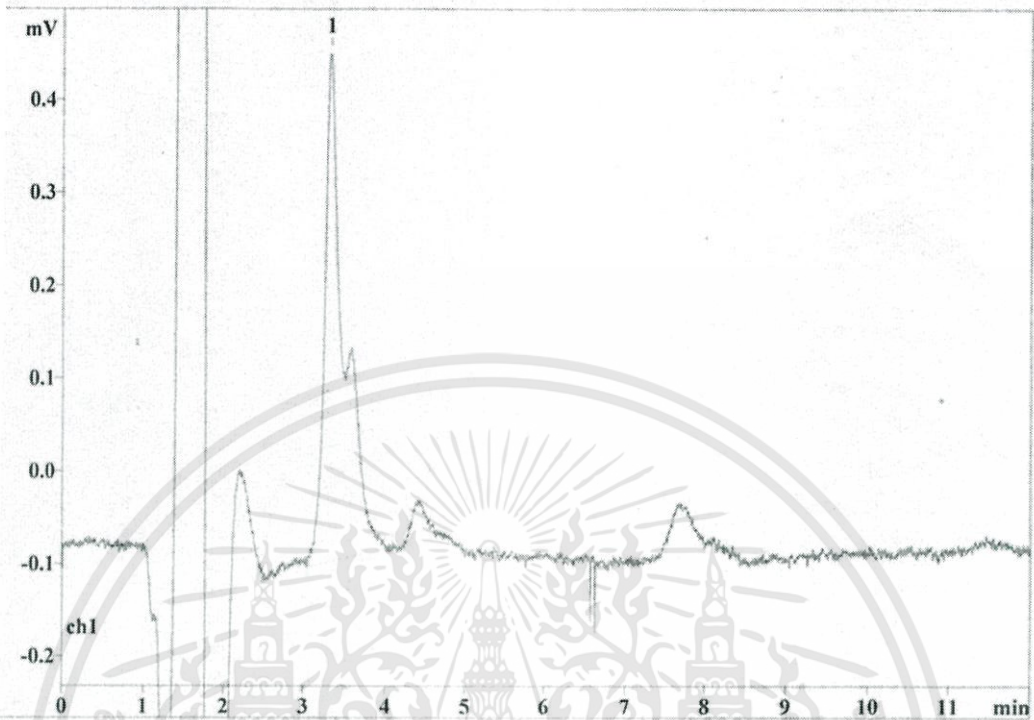


รูปที่ ง.15 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 10% ในชั่วโมงที่ 2

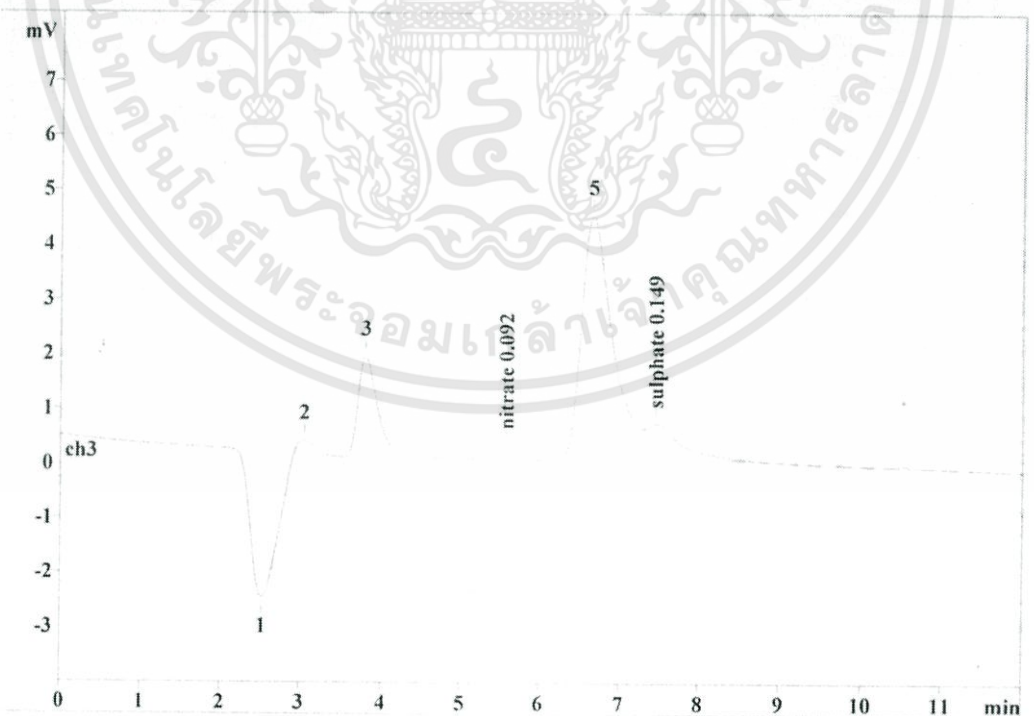


รูปที่ ง.16 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 10% ในชั่วโมงที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

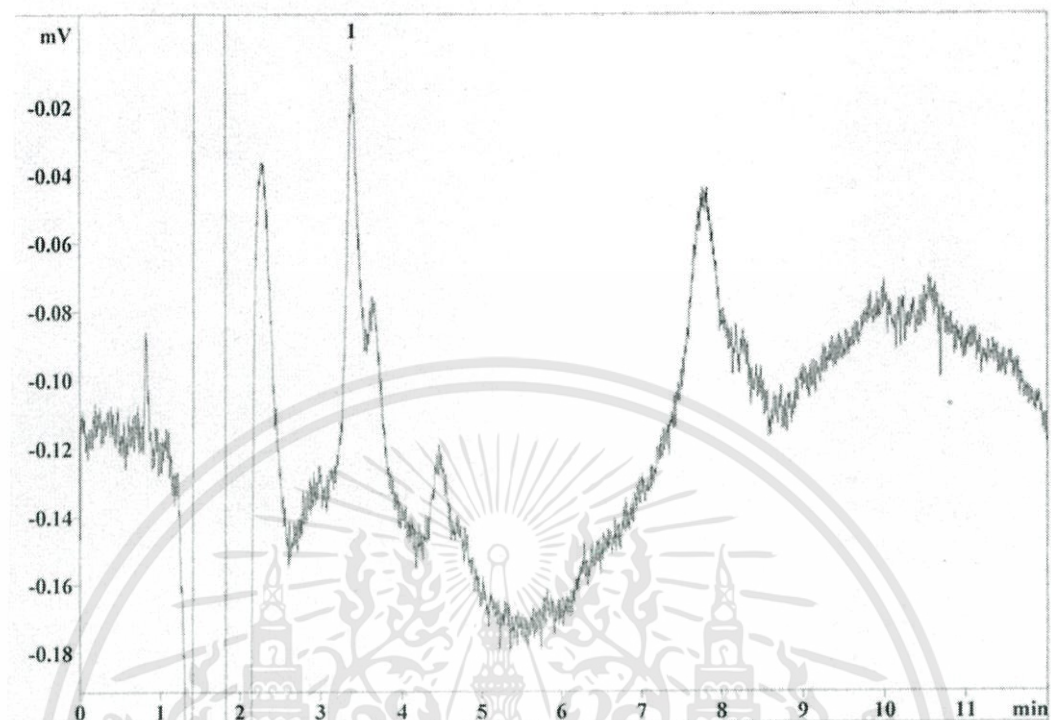


รูปที่ ๑.17 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 10% ในชั่วโมงที่ 3



รูปที่ ๑.18 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 10% ในชั่วโมงที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

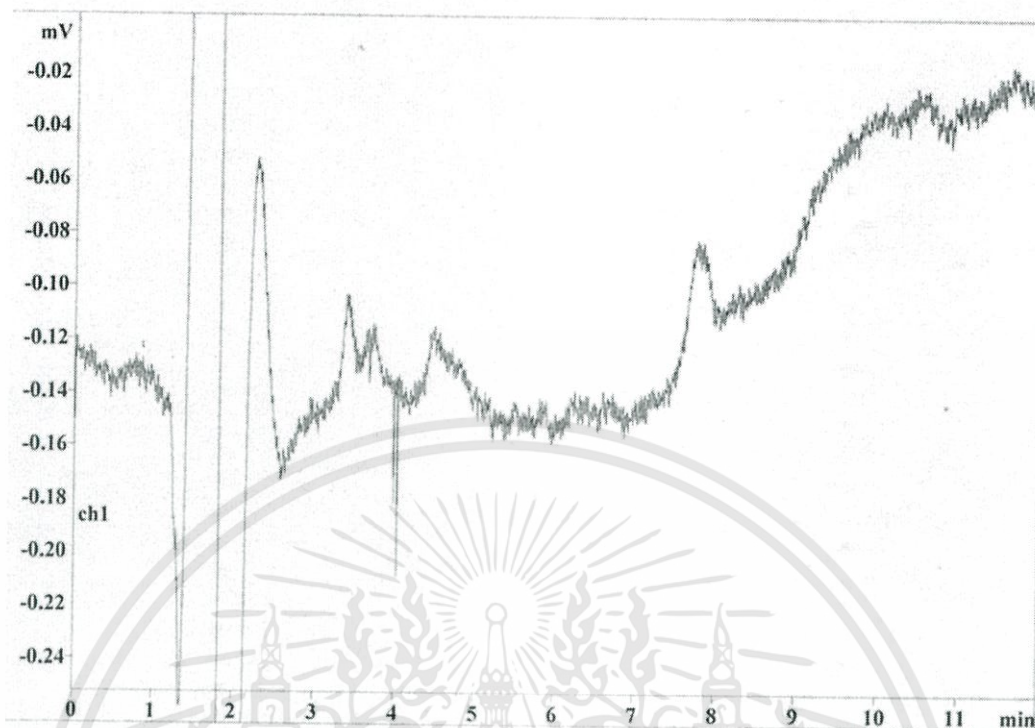


รูปที่ ง.19 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 10% ในชั่วโมงที่ 4



รูปที่ ง.20 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 10% ในชั่วโมงที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

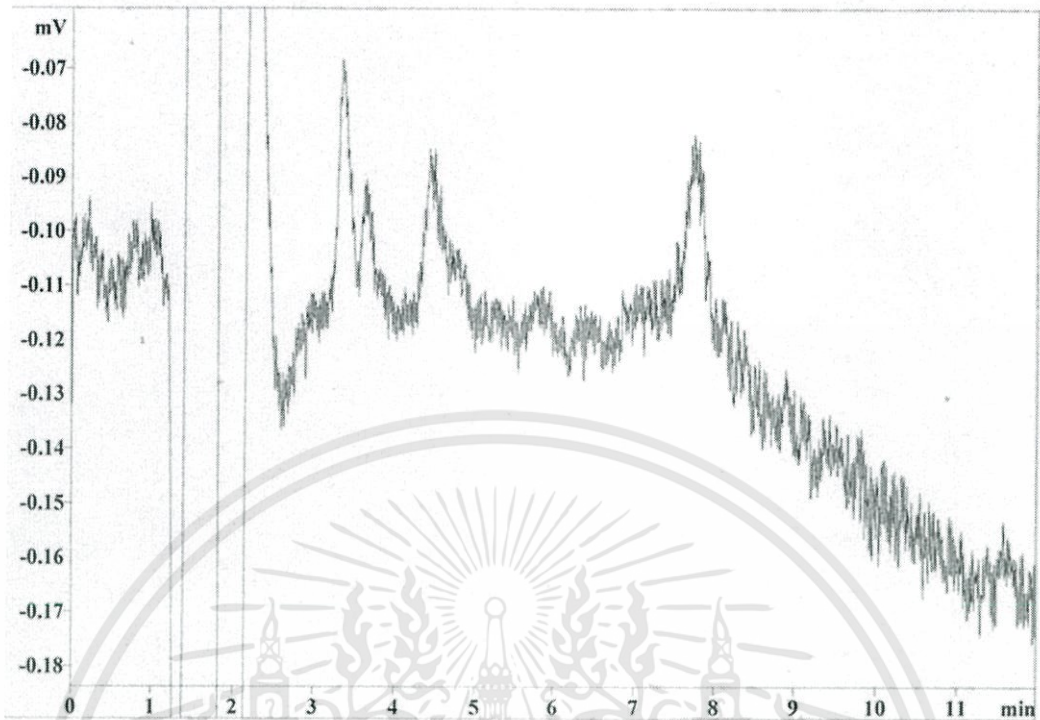


รูปที่ ง.21 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 10% ในชั่วโมงที่ 5



รูปที่ ง.22 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 10% ในชั่วโมงที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

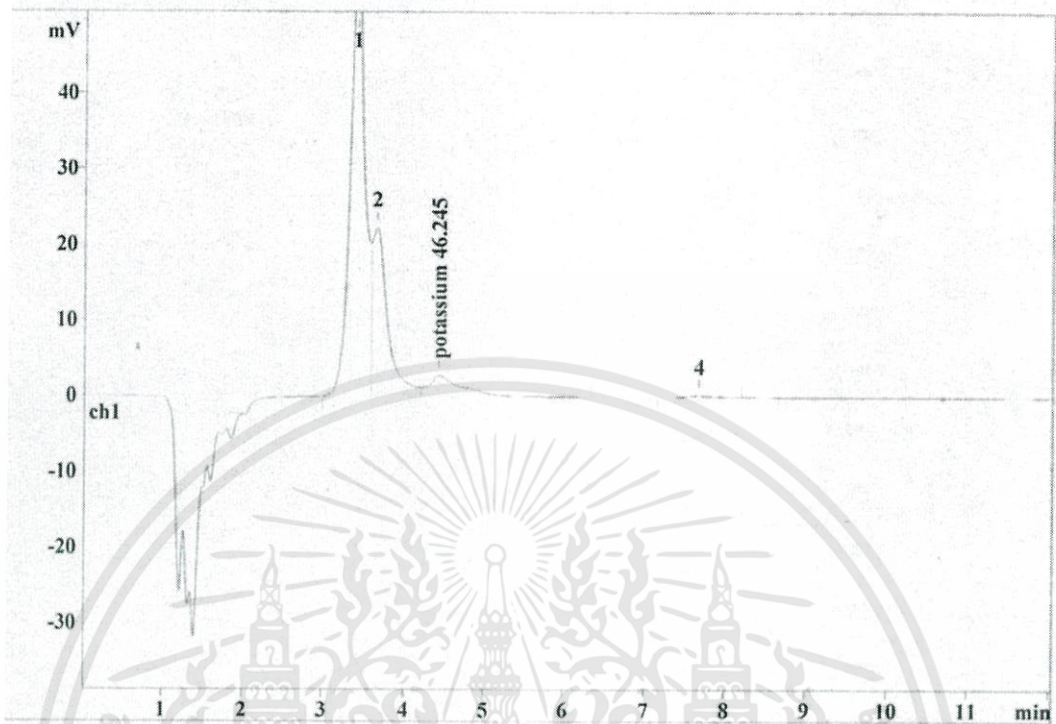


รูปที่ ง.23 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 10% ในชั่วโมงที่ 6



รูปที่ ง.24 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 10% ในชั่วโมงที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

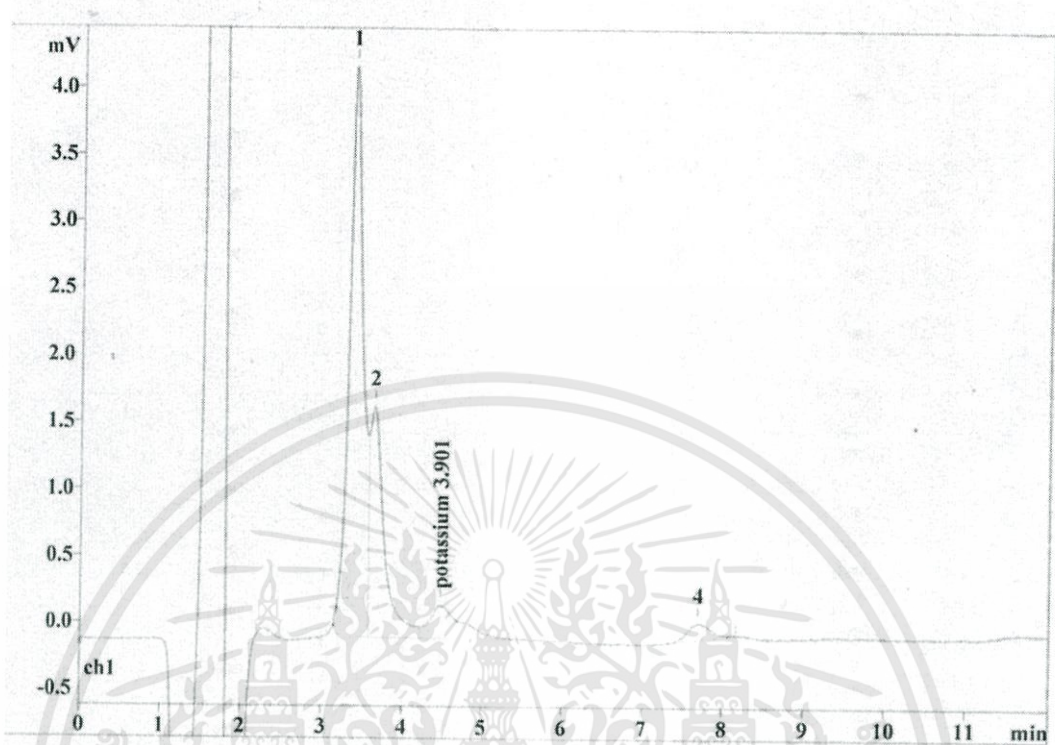


รูปที่ ง.25 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 15% ในชั่วโมงที่ 1



รูปที่ ง.26 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 15% ในชั่วโมงที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

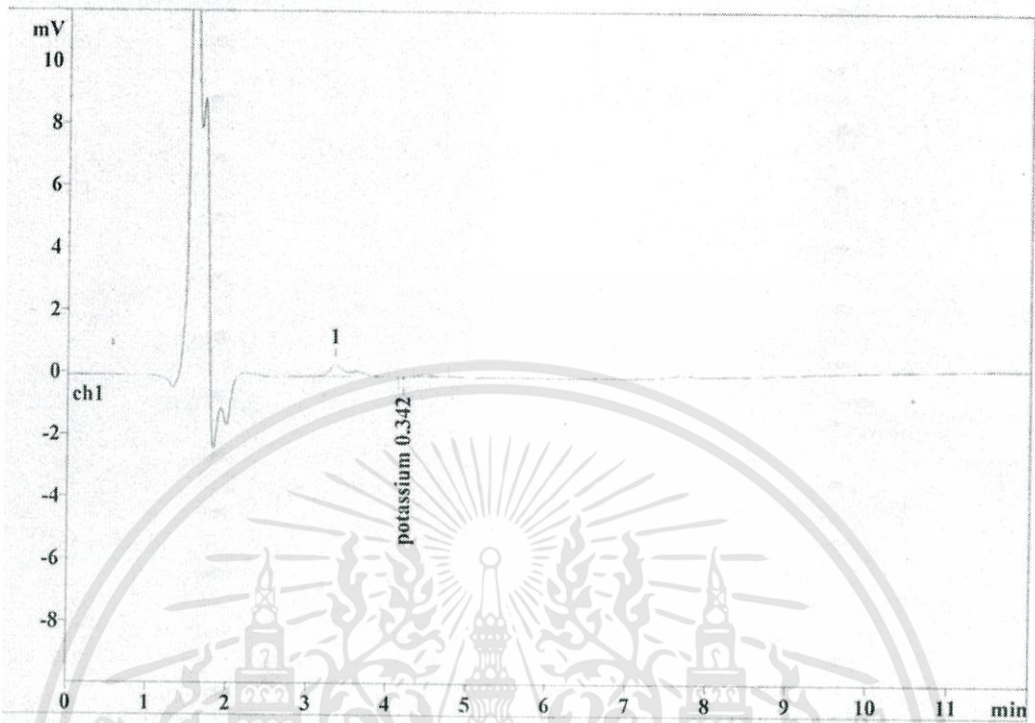


รูปที่ ๒.๒๗ กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 15% ในชั่วโมงที่ 2



รูปที่ ๒.๒๘ กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 15% ในชั่วโมงที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

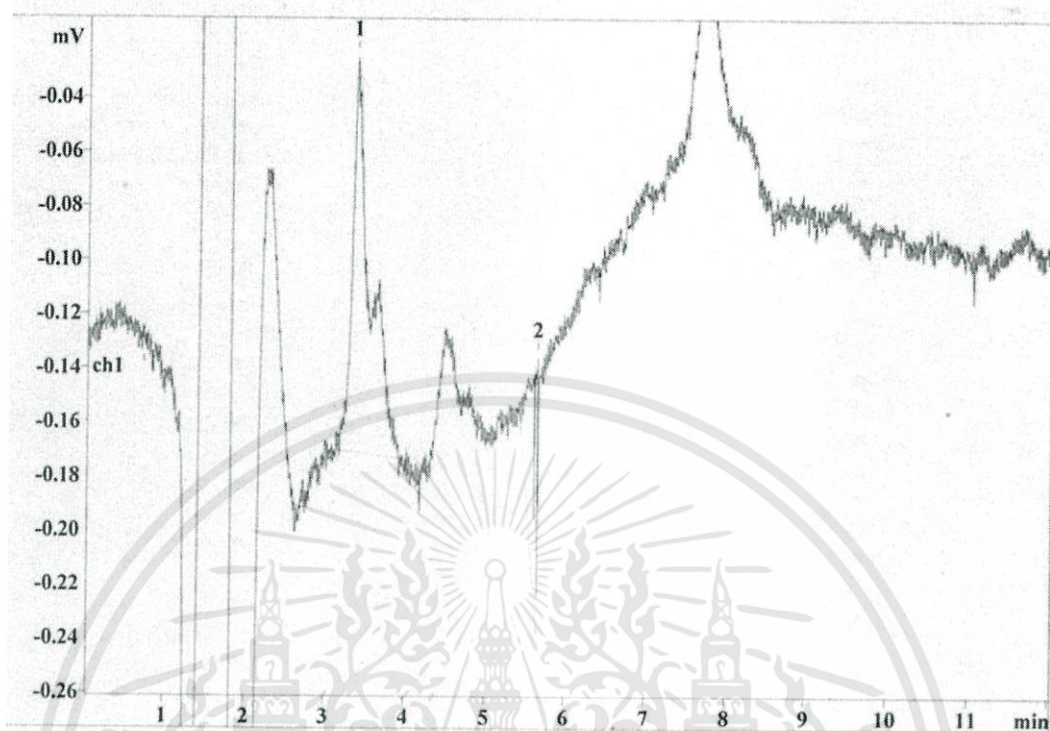


รูปที่ ง.29 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 15% ในชั่วโมงที่ 3



รูปที่ ง.30 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 15% ในชั่วโมงที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

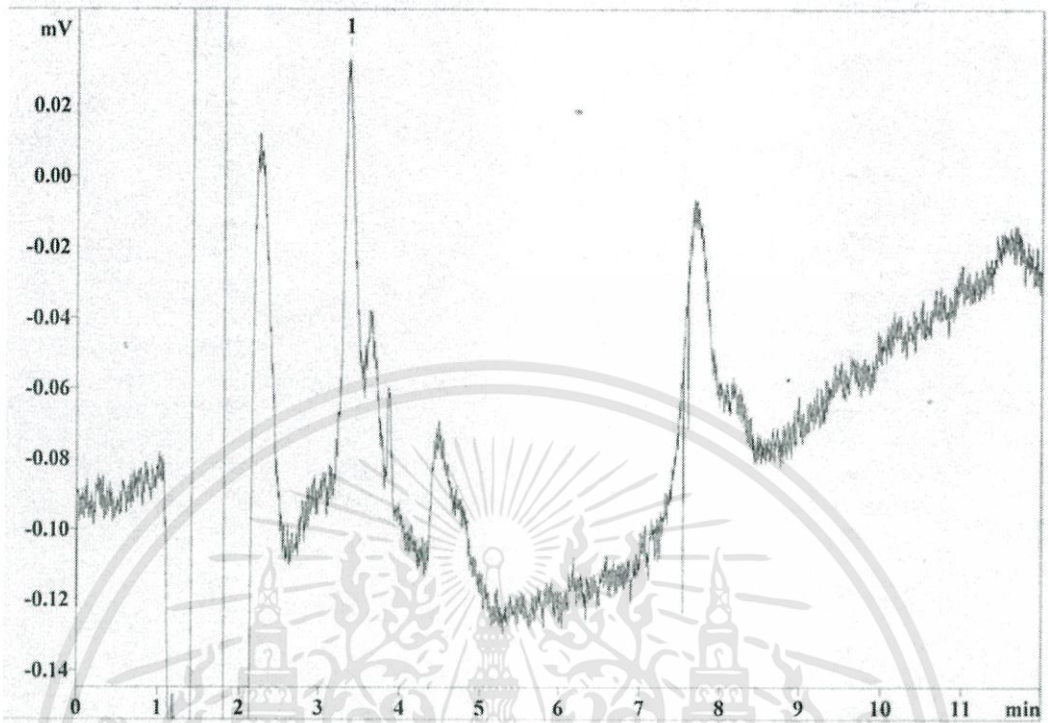


รูปที่ 3.31 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 15% ในชั่วโมงที่ 4



รูปที่ 3.32 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 15% ในชั่วโมงที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

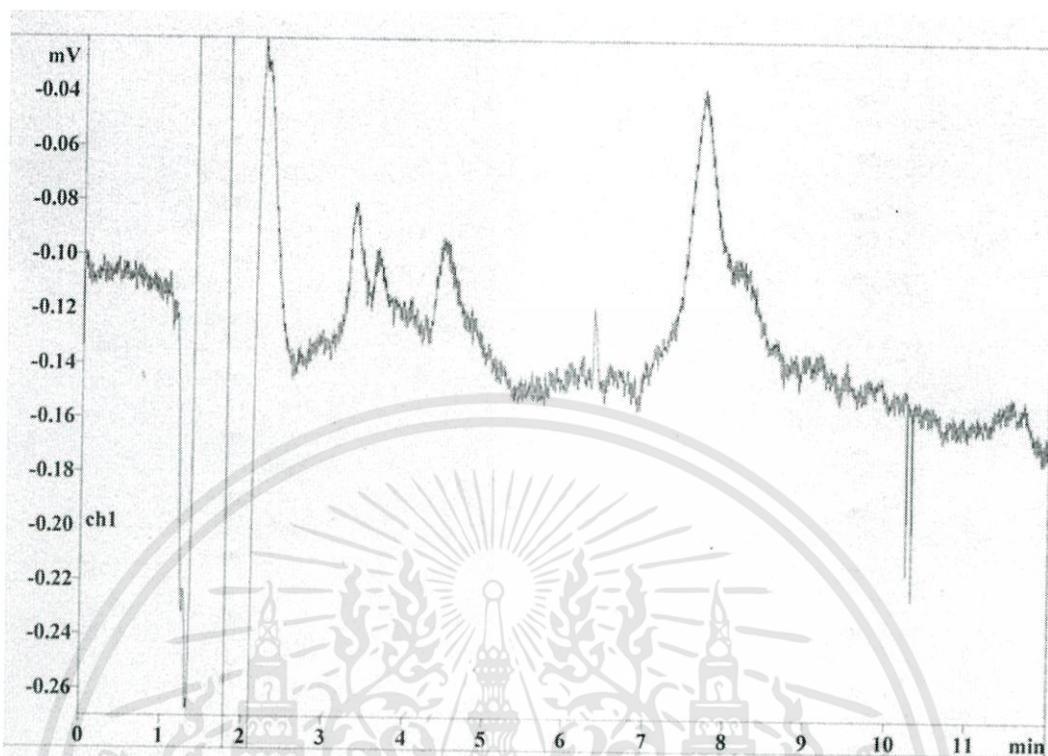


รูปที่ ๓.33 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 15% ในชั่วโมงที่ 5



รูปที่ ๓.34 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 15% ในชั่วโมงที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ K^+ ของ MMT- KNO_3 /CS 15% ในชั่วโมงที่ 6



รูปที่ 3.36 กราฟแสดงการปลดปล่อยของ NO_3^- ของ MMT- KNO_3 /CS 15% ในชั่วโมงที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้