

ศึกษาการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าด้วยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี

A STUDY OF ELECTROCHEMICAL USING  
CYCLIC VOLTAMMETRY



วนัสนันท์ งามทรัพย์มณี

คิษา สระทองขาว

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF ELECTROCHEMICAL USING  
CYCLIC VOLTAMMETRY





A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)  
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ACADEMIC YEAR 2017

หัวข้อโครงการพิเศษ      ศึกษาการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าด้วยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี  
 A Study Of Electrochemical Using Cyclic Voltammetry  
 ชื่อนักศึกษา                    นางสาวนันทน์ งามทรัพย์มณี      รหัสนักศึกษา 57051023  
     นายศิวา สระทองขาว                    รหัสนักศึกษา 57051039  
 ปริญญา                            วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)  
 ภาควิชา                            ฟิสิกส์  
 ปีการศึกษา                        2560  
 อาจารย์ที่ปรึกษา                ดร.ภาณุพล โขลอนกระโทก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)  
 ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.อนุพงศ์ สรงประภา ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี กรรมการ	ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี
อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ กรรมการ	
ดร.ภาณุพล โขลอนกระโทก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในชื่อของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	ศึกษาการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าด้วยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนันทน์ งามทรัพย์มณี รหัสนักศึกษา 57051023 นายศิวา สระทองขาว รหัสนักศึกษา 57051039
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ภาณุพล โขลอนกระโทก

### บทคัดย่อ

ในเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า มีหลายเทคนิคที่ใช้ในปัจจุบัน โครงการพิเศษนี้เป็นเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเทคนิค และทำการสร้างระบบ ขึ้นมาโดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองซึ่งแบ่งเป็น 3 ตอน ตอนที่ 1 เป็นการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม มีการกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ คือ ความเข้มข้นสารละลายตั้งแต่ 2H-C ศักย์ไฟฟ้า 1-5 V<sub>pp</sub> ความถี่ 25-55 kHz ความเข้มข้นของสารละลาย 4 mM ตอนที่ 2 นำผลที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 เราได้ตั้งสมมติฐานขึ้นมาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกับกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โดยในการทดลองตอนที่ 2 นั้น มีความเข้มข้นเป็นตัวแปรต้นและมีกระแสไฟฟ้าเป็นตัวแปรตาม ตอนที่ 3 จากการทดลองตอนที่ 1 เราจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มความถี่เพิ่มขึ้น จะมีการเปลี่ยนตำแหน่งกระแสแอนอดิกจากศักย์ไฟฟ้าบวกไปยังศักย์ไฟฟ้านลบ เราจึงได้ตั้งสมมติฐานขึ้นมาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกับความถี่ที่ทำให้กระแสแอนอดิกและกระแสแคโทดิกเกิดขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกัน ผลงานวิจัยทั้ง 3 ตอน เป็นดังต่อไปนี้ ตอนที่ 1 ให้พารามิเตอร์ดังนี้ ใส่น้ำความเข้มข้น B ศักย์ไฟฟ้า 2 V<sub>pp</sub> ความถี่ 25 kHz ตอนที่ 2 ความเข้มข้นสารละลายแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้า ตอนที่ 3 ความเข้มข้นของสารละลายแปรผันตรงกับความถี่ที่ทำให้กระแสไฟฟ้าแอนอดิกและกระแสไฟฟ้าแคโทดิกเกิดขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกัน

**คำสำคัญ :** เทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าแอนอดิก, กระแสไฟฟ้าแคโทดิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	A Study Of Electrochemical Using Cyclic Voltammetry	
Students	Miss Wanasanan Ngamsapmanee	Student ID 57051023
	Mr. Siwa Srathongkro	Student ID 57051039
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2017	
Advisor	Dr. Bhanupol Klongratog	

### Abstract

In Electrical Analysis Techniques There are many techniques used today. This special project is a Cyclic Voltammetry technique. The researcher studied the technique and constructed the system. The researcher divided the experiment into 3 part. Part 1 is to find the optimal parameter. Parameters are as follows: pencil lead intensity from 2H-C, 1-5 Vp-p, 25-55 kHz, 4 mM. Part 2 from the results of the experiment of Part 1. We hypothesized that the relationship between the concentration of the solution and electric current. In experiment 2, the concentration is the initial variable and the electric current is the dependent variable. Part 3 of part 1, We will notice that when the frequency is increased. The position of the anodic current is changed from the positive potential to the negative potential. We hypothesized that the relationship between the concentration of the solution and the frequency of the anodic current and the cathodic current at the same electric potential. The research results are as follows. Part 1 provides the following parameters : pencil lead intensity B , 2 Vp-p, 25 kHz. Part 2 concentration of the solution varies with the electric current. Part 3 concentration of the solution varies with the frequency of the anodic current and the cathodic current at the same electric potential.

**Keywords :** Electrical Analysis Techniques, Cathodic current, Anodic current.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาและร่วมมือของทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ ดร.ภาณุพล โขลกกระโทก ที่คอยให้คำปรึกษาและให้การดูแลอย่างใกล้ชิดและให้คำแนะนำช่วยเหลือที่ดีในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี อาจารย์ภาควิชาเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ความรู้เรื่องอุปกรณ์

ขอขอบพระคุณ คุณศักรินทร์ บุญล้ำ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องชั่งสารเคมี

ขอขอบพระคุณ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ภาควิชาเคมี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ความรู้เรื่องอุปกรณ์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้คำปรึกษา ให้ทุนทรัพย์ และเป็นแรงผลักดันให้มีความตั้งใจในการทำโครงการพิเศษซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการศึกษาและการทำโครงการพิเศษนี้

วันสนันท์ งามทรัพย์มณี

ศิลา สระทองขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย/ปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณ	3
2.1.1 รูปคลื่นชนิดต่างๆ	3
2.1.2 เครื่องกำเนิดสัญญาณ	4
2.2 Op-Amp	4
2.2.1 วงจรปรับระดับสัญญาณ	4
2.2.2 วงจรขับไฟฟ้า	4
2.2.3 วงจรเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า	6
2.3 Python	6
2.4 เทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า	7
2.4.1 การขนส่งมวลในเซลล์เคมีไฟฟ้า	7
2.4.2 กระบวนการที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า	8
2.4.3 ระบบกำจัดก๊าซออกซิเจนออกจากสารละลาย	9
2.4.4 เทคนิคโวลแทมเมทรี	9
2.4.4.1 การควบคุมศักย์ไฟฟ้าในเทคนิคโวลแทมเมทรี	9
2.4.4.2 เซลล์โวลแทมเมทรีประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าและสารละลายอิเล็กโทรไลต์	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใด  
 2.5 ไชคติกโวลแทมเมทรี

14

15

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 หลักการ	15
2.5.2 เครื่องมือ	15
2.5.3 การประยุกต์	15
2.5.3.1 การตรวจการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาผันกลับ	16
2.5.3.2 การศึกษากลไกของกระบวนการเชิงเคมีไฟฟ้า	16
2.6 สารละลาย	16
2.6.1 การทำละลายของสารในตัวทำละลาย	17
2.6.2 ความเข้มข้นของสารละลาย	17
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	<b>19</b>
3.1 บล็อกไดแกรมระบบการวัด	19
3.2 ระบบการวัด	19
3.2.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณ	19
3.2.2 วงจร Offset	20
3.2.3 ระบบขั้วไฟฟ้า	21
3.2.4 วงจร Current to Voltage	21
3.2.5 คอมพิวเตอร์	22
3.3 การทดสอบระบบ	22
3.3.1 สร้างสัญญาณ	22
3.3.2 ขั้วไฟฟ้า	22
3.4 การทดลอง	22
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย</b>	<b>24</b>
4.1 ผลการทดสอบระบบและการเกิดปฏิกิริยาของสารตัวอย่าง	24
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>69</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	70

### เอกสารอ้างอิง

#### ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดลอง	22
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดลอง (ต่อ)	23
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 1 V <sub>p-p</sub>	24
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 1 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	25
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 2 V <sub>p-p</sub>	25
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 2 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	25
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 3 V <sub>p-p</sub>	26
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 3 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	27
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 4 V <sub>p-p</sub>	28
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 4 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	29
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 5 V <sub>p-p</sub>	29
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 5 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	30
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ H แรงดันไฟฟ้า 1 V <sub>p-p</sub>	30
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ H แรงดันไฟฟ้า 1 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	31
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ H แรงดันไฟฟ้า 2 V <sub>p-p</sub>	31
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ H แรงดันไฟฟ้า 2 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	32
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ H แรงดันไฟฟ้า 3 V <sub>p-p</sub>	33
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ H แรงดันไฟฟ้า 3 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	34
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ H แรงดันไฟฟ้า 4 V <sub>p-p</sub>	34
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ H แรงดันไฟฟ้า 4 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	35

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น H แรงดันไฟฟ้า 5 V <sub>p-p</sub>	35
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น H แรงดันไฟฟ้า 5 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	36
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น HB แรงดันไฟฟ้า 1 V <sub>p-p</sub>	36
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น HB แรงดันไฟฟ้า 1 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	37
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น HB แรงดันไฟฟ้า 2 V <sub>p-p</sub>	38
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น HB แรงดันไฟฟ้า 2 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	39
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น HB แรงดันไฟฟ้า 3 V <sub>p-p</sub>	39
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น HB แรงดันไฟฟ้า 3 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	40
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น HB แรงดันไฟฟ้า 4 V <sub>p-p</sub>	40
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น HB แรงดันไฟฟ้า 4 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	41
ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น HB แรงดันไฟฟ้า 5 V <sub>p-p</sub>	41
ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น HB แรงดันไฟฟ้า 5 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	42
ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น B แรงดันไฟฟ้า 1 V <sub>p-p</sub>	43
ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น B แรงดันไฟฟ้า 1 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	44
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น B แรงดันไฟฟ้า 2 V <sub>p-p</sub>	44
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น B แรงดันไฟฟ้า 2 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	45
ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้น B แรงดันไฟฟ้า 3 V <sub>p-p</sub>	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ B แรงดันไฟฟ้า 3 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	46
ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ B แรงดันไฟฟ้า 4 V <sub>p-p</sub>	46
ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ B แรงดันไฟฟ้า 4 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	47
ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ B แรงดันไฟฟ้า 5 V <sub>p-p</sub>	48
ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ B แรงดันไฟฟ้า 5 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	49
ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 1 V <sub>p-p</sub>	49
ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 1 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	50
ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 2 V <sub>p-p</sub>	50
ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 2 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	51
ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 3 V <sub>p-p</sub>	51
ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 3 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	52
ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 4 V <sub>p-p</sub>	53
ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 4 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	54
ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 5 V <sub>p-p</sub>	54
ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 5 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	55

ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 4B แรงดันไฟฟ้า  
1 V<sub>p-p</sub>  
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 1 $V_{p-p}$ (ต่อ)	56
ตารางที่ 4.27 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 2 $V_{p-p}$	56
ตารางที่ 4.27 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 2 $V_{p-p}$ (ต่อ)	57
ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 3 $V_{p-p}$	58
ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 3 $V_{p-p}$ (ต่อ)	59
ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 4 $V_{p-p}$	59
ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 4 $V_{p-p}$ (ต่อ)	60
ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 5 $V_{p-p}$	60
ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 5 $V_{p-p}$ (ต่อ)	61
ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ C แรงดันไฟฟ้า 1 $V_{p-p}$	61
ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ C แรงดันไฟฟ้า 1 $V_{p-p}$ (ต่อ)	62
ตารางที่ 4.32 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ C แรงดันไฟฟ้า 2 $V_{p-p}$	63
ตารางที่ 4.32 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ C แรงดันไฟฟ้า 2 $V_{p-p}$ (ต่อ)	64
ตารางที่ 4.33 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ C แรงดันไฟฟ้า 3 $V_{p-p}$	64
ตารางที่ 4.33 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ C แรงดันไฟฟ้า 3 $V_{p-p}$ (ต่อ)	65
ตารางที่ 4.34 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ C แรงดันไฟฟ้า 4 $V_{p-p}$	65
ตารางที่ 4.34 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสอ C แรงดันไฟฟ้า 4 $V_{p-p}$ (ต่อ)	66

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.35 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ C แรงดันไฟฟ้า 5 V <sub>p-p</sub>	66
ตารางที่ 4.35 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ C แรงดันไฟฟ้า 5 V <sub>p-p</sub> (ต่อ)	67
ตารางที่ 4.36 สรุปลดตัวแปรและความถี่ที่เหมาะสม	68
ตารางที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลงของค่า I <sub>pa</sub> ระหว่างความเข้มไส้ดินสอ B ความถี่ 25 kHz และ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 2 V <sub>p-p</sub>	68
ตารางที่ 4.38 ผลการทดลองระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกับความถี่ที่ทำให้ I <sub>pa</sub> และ I <sub>pc</sub> เกิดขึ้นที่จุดเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปคลื่นไซน์	3
รูปที่ 2.2 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม	3
รูปที่ 2.3 รูปคลื่นสามเหลี่ยม	4
รูปที่ 2.4 เครื่องกำเนิดสัญญาณ	4
รูปที่ 2.5 (ก) ออปแอมป์เบอร์ LM741CN (ข) โครงแบบขาเชื่อมต่อ (ค) สัญลักษณ์ออปแอมป์	5
รูปที่ 2.6 วงจรปรับระดับสัญญาณ	5
รูปที่ 2.7 วงจรขั้วไฟฟ้า	5
รูปที่ 2.8 วงจรเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า	6
รูปที่ 2.9 โปรแกรม Python	6
รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่ของไอออน	8
รูปที่ 2.11 กระบวนการที่ขั้วไฟฟ้า	8
รูปที่ 2.12 (ก) รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าความต่างศักย์ (ข) รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับกระแส	10
รูปที่ 2.13 (ก) รูปแสดงโพลารแกรมแบบฟันเลื่อย (ข) รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า	10
รูปที่ 2.14 (ก) รูปแสดงการเกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า (ข) กราฟแสดงการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแอมแปโรเมทรี	11
รูปที่ 2.15 (ก) การให้ศักย์กับวงจรไฟฟ้าในช่วงเวลาสั้น ๆ ต่อทุกหยดของปรอท (ข) พัลส์โวลแทมโมแกรมที่ได้จะคล้ายกับโพลารแกรมจากวิธีเทสท์	11
รูปที่ 2.16 (ก) การเพิ่มศักย์ที่คงที่ในลักษณะของพัลส์ให้กับขั้วไฟฟ้า (ข) พัลส์โวลแทมโมแกรมที่ได้มีลักษณะเป็นพีค	12
รูปที่ 2.17 (ก) รูปแบบสัญญาณกระตุ้นแบบพัลส์สแควร์เวฟ (ข) โวลแทมโมแกรมที่ได้	12
รูปที่ 2.18 (ก) รูปแบบสัญญาณกระตุ้นแบบสทริปปิง (ข) โวลแทมโมแกรมที่ได้	13
รูปที่ 2.19 (ก) สัญญาณกระตุ้นของไซคลิกโวลแทมเมทรี (ข) ไซคลิกโวลแทมโมแกรม	13
รูปที่ 2.20 แผนภาพสัญญาณกระตุ้นในโวลแทมเมทรีแบบรอบ	15
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมเครื่องมือวัด	19
รูปที่ 3.2 ก) agilent dso-x-2002a digital storage oscilloscope ข) สัญญาณรูปไซน์ ค) สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ง) สัญญาณรูปสามเหลี่ยม	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.3 วงจร offset	20
รูปที่ 3.4 ขั้วไฟฟ้า	21
รูปที่ 3.5 วงจร Current to Voltage	21
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มใส่ดินสอ B ความถี่ 25 kHz และความต่าง ศักย์ไฟฟ้า $2 V_{p-p}$ กับ ความเข้มข้นที่เปลี่ยน	68
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าความถี่ที่จุดสมมาตร	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อมีการกล่าวถึงสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของวัสดุ คนส่วนมากจะนึกถึงวัสดุที่มีองค์ประกอบจำพวกโลหะหรือสารอินทรีย์ แท้ที่จริงแล้วสมบัติทางเคมีไฟฟ้าถือว่าเป็นข้อมูลที่สำคัญมากของสารอินทรีย์ ดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าเพื่อทำการทดสอบและศึกษาการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบอินทรีย์

เทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า เป็นเทคนิคที่มีมานานมากและประกอบไปด้วยเทคนิคต่าง ๆ หลายเทคนิค อันเนื่องมาจากความสามารถของแต่ละเทคนิคมีความสามารถที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นเพราะข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้หลายด้าน จึงทำให้มีการพัฒนาและสร้างเครื่องมือมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการ เช่น โพลารोगราฟิ แอมแปโรเมทรี พัลส์โวลแทมเมทรี สทริปปิงโวลแทมเมทรี ซึ่งในปัจจุบันเนื่องจากเทคนิคต่าง ๆ ที่เพิ่มมากขึ้น ในการวิเคราะห์ทางเคมี จึงต้องอาศัยว่าเราต้องการข้อมูลอะไรจากการวิเคราะห์ ซึ่งการวิเคราะห์ต่าง ๆ เหล่านี้ มีบทบาทในด้านอุตสาหกรรม

สำหรับในโครงการพิเศษนี้ เราทำการสร้างระบบและออกแบบการทดลอง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีมาใช้ในการทดลอง เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว โดยมีการป้อนศักย์ไฟฟ้าเข้าไปจาก โปเทนชิโอสแตทไปที่ขั้ว ควบคุมความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าทำงานและขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ซึ่งศักย์ไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ช่วงที่ศักย์ไฟฟ้ามีค่าลดลง การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้ เป็นการป้อนอิเล็กตรอนให้กับสารที่ต้องการวิเคราะห์ จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ซึ่งเราเรียกกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นว่า กระแสแคโทด ในอีกทางหนึ่งเมื่อศักย์ไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ซึ่งเราเรียกกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นว่า กระแสแอนโนด ซึ่งผลของการวิเคราะห์จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ที่ป้อนเข้าไปกับขั้วไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ที่เรียกว่า ไซคลิกโวลแทมโมแกรมซึ่งแสดงค่าความต่างศักย์ที่ตำแหน่งสูงสุด แสดงค่าความต่างศักย์ของปฏิกิริยารีดักชันและกระแสแคโทด และตำแหน่งที่ต่ำที่สุด แสดงค่าความต่างศักย์ของปฏิกิริยาออกซิเดชันและกระแสแอนโนด ซึ่งจะมีการเก็บกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่เป็นกราฟอ้างอิง และกราฟที่ได้จากตัวอย่างต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์กระแสที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเคมี โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี
- 2) ออกแบบการทดลอง
- 3) ทดสอบระบบที่สร้างขึ้น
- 4) หาขีดจำกัดของการทดลอง

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลา										
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ช.	มิ.ย.
ศึกษาหลักการ วิธีการและอุปกรณ์	←→										
เตรียมอุปกรณ์			←→								
ประกอบวงจร				←→							
ออกแบบการทดลอง					←→						
ทำการทดลอง							←→				
วิเคราะห์กราฟที่ได้ จากการทดลอง								←→			
ทำรูปเล่มรายงาน									←→		

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถวัดความเข้มข้นของ  $K_3(Fe)CN_6$  ในน้ำโดยใช้วิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

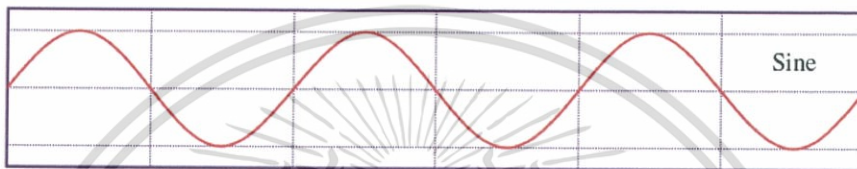
## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณ

#### 2.1.1 รูปคลื่นชนิดต่างๆ

- รูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal) เป็นรูปคลื่นไฟฟ้าที่ส่วนใหญ่พบมากในการทดลอง ซึ่งสามารถพบได้ในลักษณะครึ่งคลื่น (Half wave) หรือเต็มคลื่น (Full wave) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปคลื่นไซน์

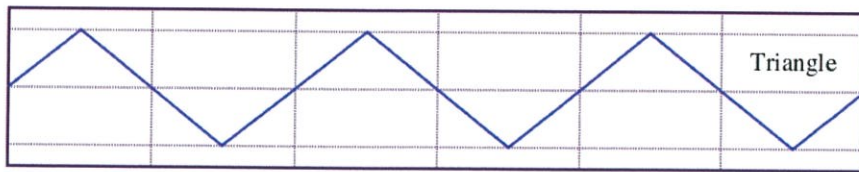
- รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Rectangular) เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนระดับของแรงดันไฟตรง ( $V_{dc}$ ) โดยมีการเปลี่ยนแปลงเป็นขั้น (Step changes) หรือเป็นรูปคลื่นขั้นบันไดสองลักษณะ คือ Positive – going step และ Negative – going step รูปคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงคาบด้านเวลาบวกเท่ากับการเปลี่ยนแปลงด้านคาบเวลาลบ จะเรียกว่ารูป รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

- สัญญาณลาดเอียง (Ramp) เกิดขึ้นจากสัญญาณแรงดันที่มีรูปคลื่นลาดเอียงด้านบวก (Positive – going ramp) และรูปคลื่นที่ลาดเอียงทางด้านลบ (Negative – going ramp) ถ้ามีรูปคลื่นลาดเอียงด้านบวกเท่ากับการที่ลาดเอียงทางด้านลบ จะเรียกว่า รูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular wave) [2] ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 รูปคลื่นสามเหลี่ยม

### 2.1.2 เครื่องกำเนิดสัญญาณ

เครื่องกำเนิดสัญญาณ เป็นเครื่องมือวัดและทดสอบชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่เป็นตัวให้กำเนิดสัญญาณชนิดต่างๆ ขึ้นมา เช่น สัญญาณไซน์(Sine wave) สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square wave) และสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle wave) ดังรูปที่ 2.4

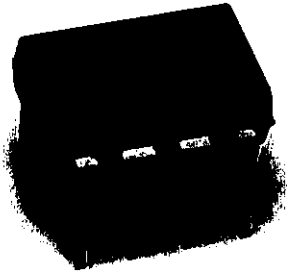


รูปที่ 2.4 เครื่องกำเนิดสัญญาณ

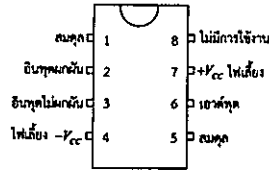
## 2.2 Op-Amp

ออปแอมป์ คือ ฟังก์ชันดำเนินการทางคณิตศาสตร์ของวงจรออปแอมป์เช่น การรวมสัญญาณ การลดขนาด สัญญาณ การกลับเฟสสัญญาณ เป็นต้นคือสิ่งที่สามารถกำหนดได้จากการออกแบบพารามิเตอร์เชื่อมต่อกายนอกออปแอมป์รายละเอียดโดยทั่วไปเกี่ยวกับออปแอมป์สามารถสรุปได้ดังนี้ (Alexander & Sadiku, 2009) ตัวอย่างออปแอมป์ที่นิยมใช้งานโดยทั่วไป และถูกผลิตขึ้นมาเป็นวงจรรวมภายในตัวเดียวกัน แสดงในรูปที่ 2.5(ก) โครงแบบขาเชื่อมต่อและสัญลักษณ์วงจรของ ออปแอมป์แสดงในรูปที่ 2.5(ข) สัญลักษณ์ออปแอมป์ แสดงในรูปที่ 2.5 (ค)

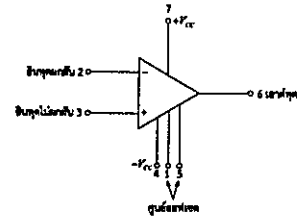
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



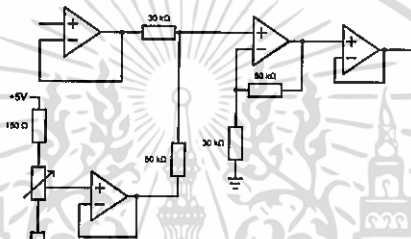
(ข)



(ค)

รูปที่ 2.5 (ก) ออปแอมป์เบอร์ LM741CN (ข) โครงแบบขาเชื่อมต่อ (ค) สัญลักษณ์ออปแอมป์

### 2.2.1 วงจรปรับระดับสัญญาณ

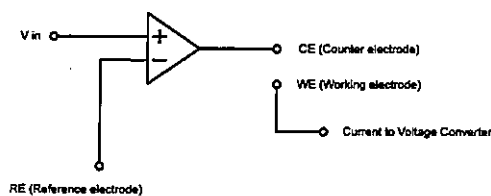


รูปที่ 2.6 วงจรปรับระดับสัญญาณ

เป็นการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหรือระดับของสัญญาณไฟสลัไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยที่ลักษณะของรูปคลื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ

### 2.2.2 วงจรขั้วไฟฟ้า

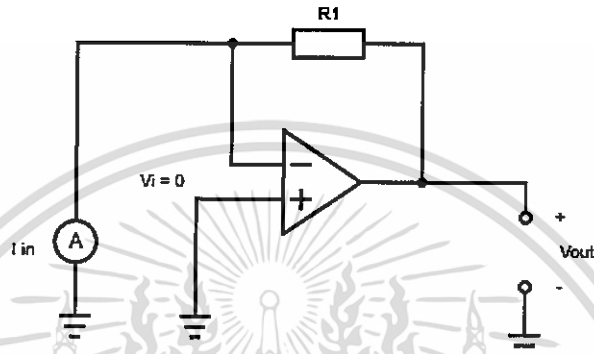
มีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแก่วงจร ซึ่งควบคุมศักย์ไฟฟ้าของขั้วอ้างอิง ทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านส่วนนี้ แรงดันอินพุตจะไปยังเอาต์พุตเพื่อให้ครบวงจรไฟฟ้าและมีกระแสไหลผ่านระหว่างขั้วไฟฟ้าช่วยกับขั้วไฟฟ้าใช้งาน และทำให้เกิดปฏิกิริยากับสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์กับขั้วไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 2.7 วงจรขั้วไฟฟ้า**  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 วงจรเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า (current to voltage conversion)

วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันหรือวงจร I-V นั้นเป็นลักษณะของวงจรแบบแหล่งจ่ายแรงดันควบคุมด้วยกระแส (current-controlled voltage source, CCVs) ซึ่งรับกระแสอินพุทแล้วมาเปลี่ยนให้เป็นแรงดันเอาต์พุทที่มีค่าเท่ากับ  $V_{out} = A \cdot I_{in}$  โดยที่ A คืออัตราขยาย (gain) ของวงจรมีหน่วยเป็นโอห์ม (ohm,  $\Omega$ ) บางครั้งอัตราขยาย A ของวงจรลักษณะนี้นิยมเขียนในรูปของ R (transresistance gain) มากกว่า ดังนั้นวงจร I.V อาจจะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “วงจรขยายค่าความต้านทาน (transresistance amplifier)”



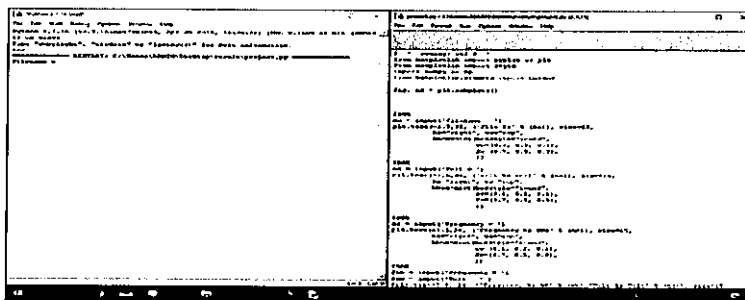
รูปที่ 2.8 วงจรเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า

วงจร I-V พื้นฐาน [3] แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 เมื่ออาศัยคุณสมบัติของออปแอมป์จะได้  $V_i = 0$  และ  $I_{in} = I_R$  ทำให้แรงดันเอาต์พุทของวงจร มีค่าเท่ากับ

$$V_{out} = (R_1)I_{in} \quad (2.1)$$

### 2.3 Python

Python ถูกสร้างขึ้นเพื่อเรียนรู้ได้ไม่ยาก รูปแบบของคำสั่งก็คล้ายๆกับภาษาเบสิก ชนิดของตัวแปรก็ทำการกำหนดและสร้างมาใช้งานได้ด้วยวิธีง่ายๆ การกำหนดเงื่อนไขหรือการวนลูปก็มีคำสั่งไม่มากจนเกินไป แต่สามารถใช้งานได้เท่าภาษาอื่นๆ [4]



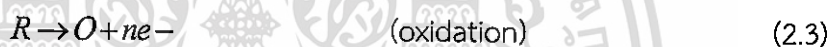
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดรูปที่ 2.9 โปรแกรม Python จากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 เทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า

เคมีไฟฟ้าเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารที่เกิดขึ้นบริเวณขั้วไฟฟ้า ซึ่งเซลล์ไฟฟ้าเคมีประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 - 3 ขั้ว จุ่มอยู่ในสารอิเล็กโทรไลต์เดียวกันหรือต่างกันได้ ซึ่งขั้วไฟฟ้าประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ขั้วไฟฟ้าช่วย

โดยทั่วไปขั้วไฟฟ้าทางเคมี เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยอาศัยคุณสมบัติการเกิดปฏิกิริยาของสารดังต่อไปนี้

1. ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสาร โดยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าสามารถแยกออกเป็นปฏิกิริยาย่อยได้ 2 ปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยาย่อยเรียกว่า “ครึ่งปฏิกิริยา” โดยครึ่งปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอนเรียกว่า “ปฏิกิริยาออกซิเดชัน” (oxidation) และครึ่งปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอนเรียกว่า “ปฏิกิริยารีดักชัน” (reduction) ซึ่งปฏิกิริยาทั้งสองต้องเกิดขึ้นพร้อมกันได้จึงเรียกปฏิกิริยารวมว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันหรือปฏิกิริยารีดอกซ์และสารละลายในปฏิกิริยานี้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังสมการต่อไปนี้



โดย O เป็นสารออกซิไดซ์ และ R เป็นสารรีดิวซ์

2. ปฏิกิริยารวิวิธพันธุ์ (heterogenous reaction) คือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าขั้วไฟฟ้ากับสารที่ละลายในตัวทำละลายด้วยกระบวนการถ่ายเทมวล (mass transfer) และอิเล็กตรอนดังสมการต่อไปนี้



โดย O เป็นสารออกซิไดซ์ และ R เป็นสารรีดิวซ์

### 2.4.1 การขนส่งมวลในเซลล์เคมีไฟฟ้า

การเคลื่อนที่ของไอออน ที่อยู่ในสารละลายในเซลล์เคมีไฟฟ้า เกิดได้ 3 กระบวนการ

คือ การไมเกรชัน (migration) การพาหรือคอนเวกชัน (convection) และการแพร่ (diffusion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไมเกรชัน เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนตามความชันของไฟฟ้า หรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้า เช่น การเคลื่อนที่ของประจุบวกไปยังขั้วไฟฟ้าลบหรือการเคลื่อนที่ของประจุลบไปยังขั้วไฟฟ้าบวก ซึ่งในการวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้าการเคลื่อนที่แบบไมเกรชันไม่มีประโยชน์เท่าใด บางการวิเคราะห์ต้องกำจัดการเคลื่อนที่ชนิดนี้ โดยการเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์อื่นในปริมาณที่สูงมาก ซึ่งทำให้การเคลื่อนที่แบบไมเกรชันเกิดขึ้นน้อยหรือไม่มีเลย

การพาหรือคอนเวกชัน เป็นการเคลื่อนที่ที่เกิดจากแรงทางกายภาพ คือ การคนหรือกวนสาร ซึ่งทำให้เกิดการไหลเวียนของสาร ซึ่งเรียกว่า “การพาโดยแรง” (force convection) ซึ่งถ้าการเคลื่อนที่ที่เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นสารจะเรียกว่า “การพาโดยธรรมชาติ” (natural convection)

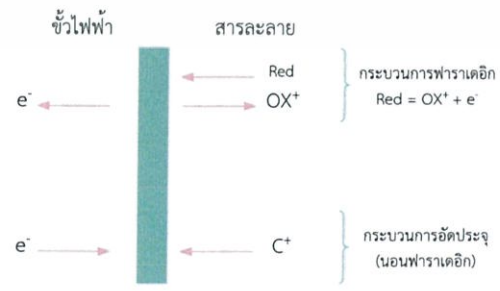
การแพร่ เป็นการเคลื่อนที่ของสารไปตามความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลาย จากความเข้มข้นสูงไปยังสารละลายความเข้มข้นต่ำกว่า



รูป 2.10 การเคลื่อนที่ของไอออน

2.4.2 กระบวนการที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า

ไม่ว่าไอออนของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะถูกนำพาจากสารละลายมายังผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า ด้วยวิธีใดก็ตาม กระบวนการที่เกิดขึ้นที่ตรงผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างขั้วไฟฟ้ากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เป็นไปได้อย่างใดอย่างหนึ่ง ดังแสดงในรูป 2.10 ดังนี้คือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนบุคคลเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูป 2.11 กระบวนการที่ขั้วไฟฟ้า**  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าไอออนหรือประจุที่ตรงผิวหน้าขั้วไฟฟ้า สามารถข้ามรอยต่อระหว่างสารละลาย กับผิวหน้าขั้วไฟฟ้านั้น และมีปฏิกิริยาของการรับและคายอิเล็กตรอนเกิดขึ้น (ปฏิกิริยารีดอกซ์) ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ เรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ว่า “กระบวนการฟาราเดอิก (Faradaic process)” ผลลัพธ์ของการเกิดกระบวนการฟาราเดอิกที่ขั้วไฟฟ้า ทำให้เกิดการไหลของกระแสในวงจรของเซลล์เคมีไฟฟ้านั้นได้ เรียกว่าเกิด กระแสฟาราเดอิก (Faradaic current)
- ถ้าไอออนหรือประจุที่ถูกพาไปยังผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า เพียงแต่ถูกดูดซับไว้ที่บริเวณรอยต่อของสารละลายกับขั้วไฟฟ้า ไม่มีปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้น โดยที่ประจุที่ถูกดูดซับไว้มีการเรียงตัวตรงบริเวณรอยต่อนั้น ในระหว่างการเกิดการเรียงตัวมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสหรือศักย์ไฟฟ้าขึ้นแต่ก็เพียงชั่วขณะที่การเรียงตัวยังไม่ยุติ เรียกกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ว่า “กระบวนการนอนฟาราเดอิก (Nonfaradaic process)” กระแสชั่วขณะที่เกิดขึ้นเรียกว่า กระแสนอนฟาราเดอิก (Nonfaradaic current)

#### 2.4.3 ระบบกำจัดก๊าซออกซิเจนออกจากสารละลาย

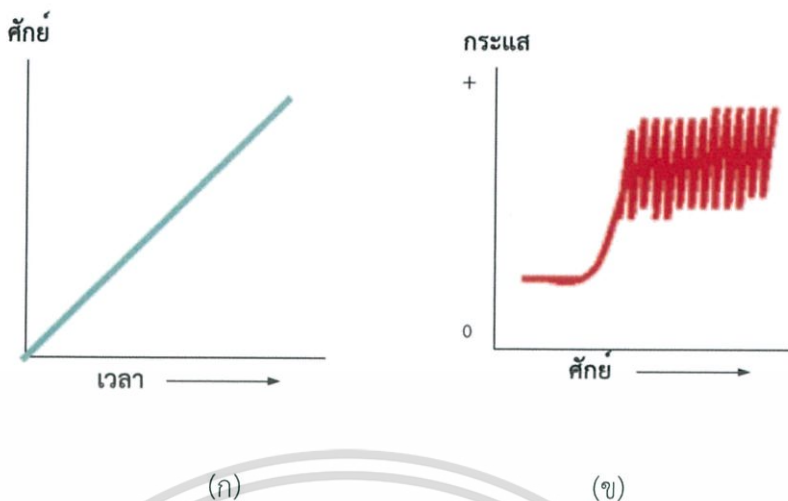
ระบบกำจัดก๊าซออกซิเจนออกจากสารละลาย ในการวิเคราะห์สารโดยวิธีโวลแทมเมทรี ต้องกำจัดก๊าซออกซิเจนออก เพราะว่าก๊าซออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดซ์ สามารถถูกรีดิวซ์ได้นอกจากนี้ก๊าซออกซิเจนและผลิตภัณฑ์จากการถูกรีดิวซ์อาจทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างด้วย สามารถทำได้โดยการผ่านก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซอาร์กอนบริสุทธิ์ลงไปในสารละลายประมาณ 5-20 นาที ก่อนทำการวิเคราะห์และตลอดการวิเคราะห์เพื่อให้สารละลายตัวอย่างอิ่มตัว

#### 2.4.4 เทคนิคโวลแทมเมทรี

2.4.4.1 การควบคุมศักย์ไฟฟ้าในเทคนิคโวลแทมเมทรี การให้ศักย์ไฟฟ้าแก่เซลล์ไฟฟ้าและวัดปริมาณกระแส ซึ่งจะต่างจากเทคนิคโพเทนชิอเมทรี คือ มีการใช้ขั้วไฟฟ้าช่วย (Auxiliary electrode) มักเป็นขั้วไฟฟ้าแพลตินัม (platinum wire auxiliary electrode) นอกจากนี้ขั้วไฟฟ้าใช้งานสำหรับเทคนิคนี้มักเป็นขั้วไฟฟ้าจุลภาค (microelectrode) เพื่อให้เกิดโพลาไรเซชันที่ขั้วไฟฟ้าใช้งาน เทคนิคที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้โวลแทมเมทรี คือ

1. โพลารอกราฟี (Polarography) เป็นเทคนิคของกลุ่มโวลแทมเมทรี และเป็นเทคนิคแรกของการวิเคราะห์โดยโวลแทมเมทรี ที่มีการใช้ขั้วไฟฟ้าแบบหยดปรอทเป็นขั้วไฟฟ้าใช้งาน เทคนิคนี้เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย และเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด สำหรับการวิเคราะห์โดยโพลารอกราฟีนี้ ศักย์ที่ให้กับขั้วไฟฟ้าจะเป็นแบบ linear-scan นั่นคือ ให้ศักย์กับวงจรในอัตราเร็วที่คงที่หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการเพิ่มศักย์อย่าง เป็นเส้นตรงตามเวลา ดังรูป 2.11(ก) สำหรับศักย์ที่ให้กับวงจร จะต้องเลือกให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม รวมถึงวัดกระแสที่เกิดขึ้นด้วย โพลารแกรมของวิธีโพลารอกราฟี แสดงได้ดังรูป 2.11(ข)

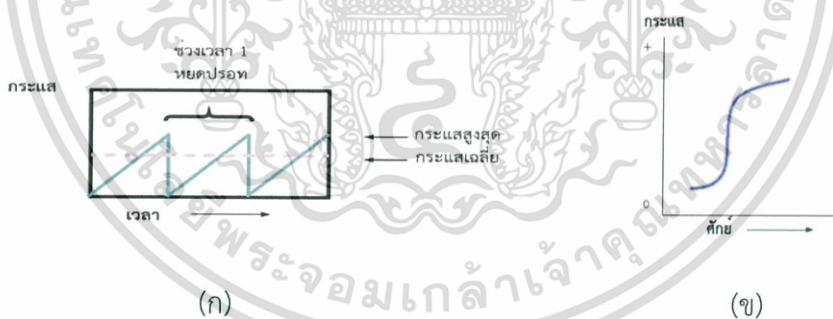
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานหรือองค์กรอื่นนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต พึงสัน อิกทังห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.12 (ก) รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าความต่างศักย์

(ข) รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับกระแส

สาเหตุที่โพลารแกรมที่ได้เป็นแบบฟันเลื่อย ก็เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของกระแส ระหว่างการหยุดปรอทเกิดการแกว่งกวัดของกระแสขึ้น โดยกระแสเริ่มเกิดเมื่อมีการปล่อยปรอทจากปลายหลอดรูเล็กและกระแสขึ้นสูงสุด เมื่อปรอทถูกปล่อยออกมาเต็มหยุดพร้อมที่จะหยุดลงในสารละลาย ดังรูป 2.12(ก)



รูปที่ 2.13 (ก) รูปแสดงโพลารแกรมแบบฟันเลื่อย

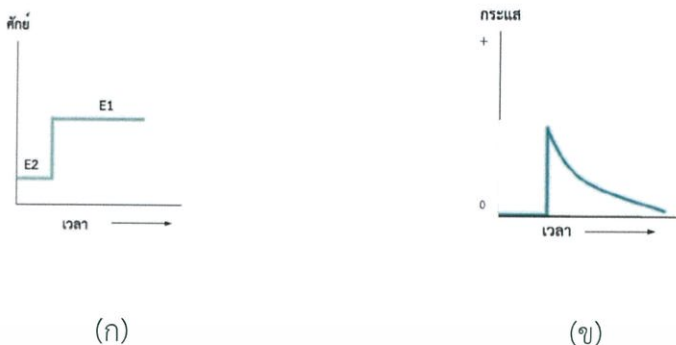
(ข) รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า

อย่างไรก็ตาม เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงมีการพัฒนาวิธีโพลารกราฟีแบบใหม่ที่เรียกว่า การทำแอสท์ โพลารกราฟีโดยการควบคุมบันทึกกระแส ก่อนที่จะหยุดออกมาจากปลายหลอดรูเล็กในแต่ละหยุด ทำให้โพลารแกรมที่ได้ไม่เกิดสภาพของฟันเลื่อย ดังรูป 2.12 (ข)

2.แอมแปโรเมทรี (Amperometry) เทคนิคแอมแปโรเมทรีเป็นเทคนิคการวิเคราะห์

โดยให้ศักย์คงที่แก่ขั้วไฟฟ้าใช้งานโดยค่าศักย์ที่ ให้แก่วงจรนั้นต้องมีค่าที่เพียงพอที่จะทำให้สาร  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างสามารถเกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าได้สำหรับค่าศักย์ที่ให้แก่วงจร แสดงได้ดังรูป 2.13 (ก) และกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค แอมแปโรเมทรี แสดงได้ดังรูป 2.13 (ข)



รูปที่ 2.14 (ก) รูปแสดงการเกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า  
(ข) กราฟแสดงการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแอมแปโรเมทรี

จากรูป จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปกระแสจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง หรืออาจไม่มีสารตั้งต้นเหลืออยู่เลยก็เป็นได้ความสัมพันธ์ของค่ากระแสที่ลดลงต่อเวลาที่เพิ่มขึ้น แสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ

$$i(t) = kt^{\frac{1}{2}} \tag{2.7}$$

โดยที่  $i$  = กระแส  $t$  = เวลา  $k$  = ค่าคงที่

3.พัลส์โวลแทมเมทรี

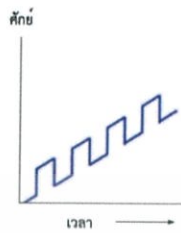
- พัลส์ปกติ (normal pulse) เป็นการให้ศักย์กับวงจรวัดไฟฟ้าในช่วงเวลาสั้น ๆ ต่อทุกหยดของปรอทโดยศักย์ที่ให้นี้ มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอกับเวลาสำหรับการวัดกระแสต่อวัดในช่วงเวลาที่หยดปรอทใกล้จะหยดออกจากปลายแก้วดังรูป 2.14(ก) พัลส์โวลแทมโมแกรมที่ได้จะคล้ายกับโพลารแกรมจากวิธีแทลท์ ดังรูป 2.14(ข)



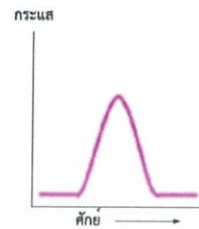
รูปที่ 2.15 (ก) การให้ศักย์กับวงจรวัดไฟฟ้าในช่วงเวลาสั้น ๆ ต่อทุกหยดของปรอท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ (ข) พัลส์โวลแทมโมแกรมที่ได้จะคล้ายกับโพลารแกรมจากวิธีแทลท์ ซึ่งด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ (differential-pulse voltammetry) เป็นเทคนิคที่มีประโยชน์อย่างมากใน การตรวจวัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีปริมาณน้อย ๆ สำหรับสัญญาณกระตุ้นในลักษณะของ ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์เป็นการเพิ่มศักย์ที่คงที่ในลักษณะของพัลส์ให้กับ ขั้วไฟฟ้าที่รับศักย์ปกติใน รูป ลิเนียร์-สแกนอยู่แล้ว ดังรูป 2.15(ก) และพัลส์โวลแทมโมแกรมที่ได้ มี ลักษณะเป็นพีค ดังรูป 2.15(ข)



(ก)



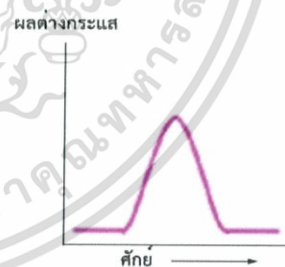
(ข)

รูปที่ 2.16 (ก) การเพิ่มศักย์ที่คงที่ในลักษณะของพัลส์ให้กับขั้วไฟฟ้า  
(ข) พัลส์โวลแทมโมแกรมที่ได้ มีลักษณะเป็นพีค

- สแควร์-เวฟโวลแทมเมตรี (square-wave voltammetry) คือการให้สัญญาณกระตุ้น (ศักย์ที่ต่างจากพัลส์ทั้งสอง แบบที่กล่าวมาคือให้สัญญาณกระตุ้นกับวงจรไฟฟ้าเป็นช่วง ๆ สำหรับวิธีนี้ใช้หยดปรอทแค่นั้นหยดเป็นขั้วไฟฟ้าใช้งานและเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นช่วงเวลาสั้นๆ รูปแบบสัญญาณ กระตุ้นแบบพัลส์สแควร์เวฟ แสดงได้ดังรูป 2.16(ก) และโวลแทมโมแกรมที่ได้ แสดงได้ดังรูป 2.16(ข)



(ก)

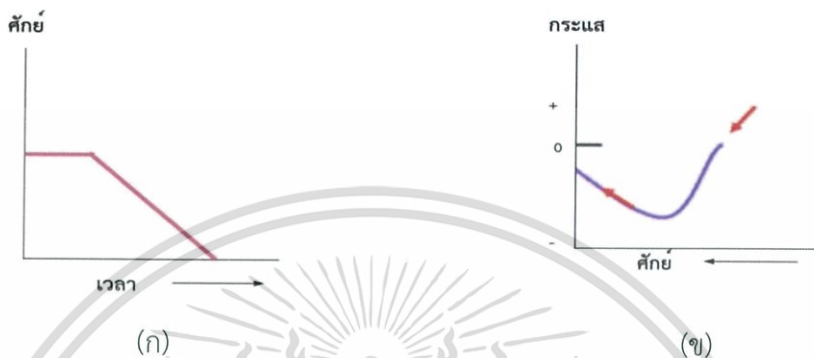


(ข)

รูปที่ 2.17 (ก) รูปแบบสัญญาณ กระตุ้นแบบพัลส์สแควร์เวฟ  
(ข) โวลแทมโมแกรมที่ได้

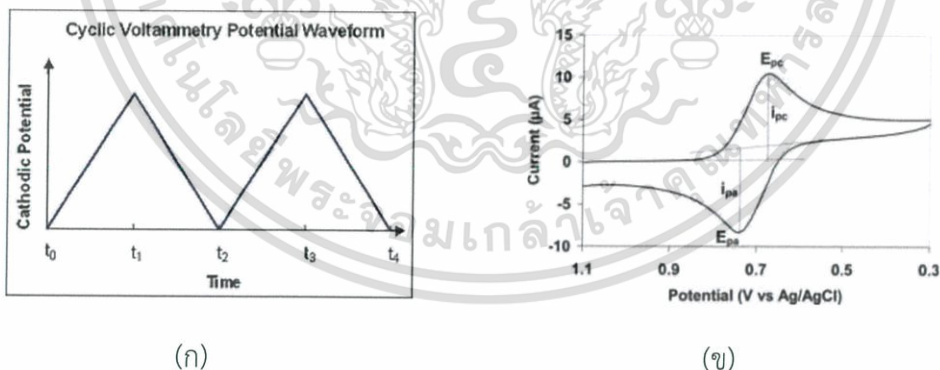
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สทริปปิงโวลแทมเมตรี (stripping voltammetry) เป็นเทคนิคที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าสูงมากนั่นคือ สามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างโลหะปริมาณน้อย ๆ ได้โดยเทคนิคนี้จะเพิ่มขึ้นตอนที่ทำให้สารตัวอย่าง มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นก่อนที่จะทำการวิเคราะห์โดยวิธีโวลแทมเมตรีต่อไปรูปแบบสัญญาณกระตุ้นแบบสทริปปิง แสดงได้ดังรูป 2.17(ก) และ โวลแทมโมแกรมที่ได้ แสดงได้ดังรูป 2.17(ข) เทคนิคสทริปปิงโวลแทมเมตรีถูกนำมาประยุกต์ใช้ทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์



รูปที่ 2.18 (ก) รูปแบบสัญญาณกระตุ้นแบบสทริปปิง  
(ข) โวลแทมโมแกรมที่ได้

5. ไชคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammetry) เป็นการให้ศักย์ไฟฟ้าแบบคลื่นรูปสามเหลี่ยม แล้ววัดกระแสที่เกิดขึ้นกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้ เป็นการศึกษาเชิงกลของระบบรีดอกซ์



รูปที่ 2.19 (ก) สัญญาณกระตุ้นของไชคลิกโวลแทมเมตรี  
(ข) ไชคลิกโวลแทมโมแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.4.2 เซลล์โวลแทมเมตรีประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าและสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกือบแห้ง

สารละลายอิเล็กโทรไลต์เกือบแห้ง สารละลายในเซลล์โวลแทมเมทรินอกจากจะมีสารละลายตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์แล้ว ยังมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกือบแห้ง ซึ่งมากกว่าสารละลายตัวอย่าง 50-100 เท่า เพื่อทำให้เกิดการแพร่ของไอออนที่ผิดขั้วไฟฟ้ามากที่สุดและให้เกิดไมเกรชันของไอออนที่ผิดขั้วไฟฟ้าน้อยที่สุดหรือไม่เกิดขึ้นเลย

ซึ่งมีหน้าที่ดังนี้

- ช่วยลดความต้านทานของสารละลาย
- ช่วยนำไฟฟ้าในกรณีสารตัวอย่างนำไฟฟ้าได้น้อย
- ช่วยขจัดโลหะไอออนแทรกซ้อนที่ปนมาในสารตัวอย่าง
- ช่วยป้องกันการเกิดไมเกรชัน
- ช่วยทำหน้าที่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ (ช่วยปรับหรือรักษา pH ของสารละลายให้คงที่)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์เกือบแห้งเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ เพื่อให้เกิดเป็นไอออนได้ในสารละลาย และควรรณีต่อปฏิกิริยา

ขั้วไฟฟ้า ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าใช้งาน ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงและขั้วไฟฟ้าช่วย ขั้วทั้งหมดจุ่มอยู่ในสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์

ขั้วไฟฟ้าใช้งาน (Working electrode , WE) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ศักย์ไฟฟ้าขึ้นกับกระแส มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารละลายน้อยที่สุด ทำให้ขั้วไฟฟ้ามีขนาดเล็ก นิยมเรียกว่า ขั้วไฟฟ้าจุลภาค (microelectrode) ส่วนสำคัญคือใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งอาจจะทำจากโลหะที่นำไฟฟ้า เช่น แพลทินัม ทองแดง แกรไฟต์ หรือกลาสซิคาร์บอน (glassy carbon) มาอัดเป็นแผ่นแบนเล็กๆ เรียกว่า ดิสก์อิเล็กโทรด

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode , RE) เป็นขั้วไฟฟ้าที่มีศักย์ไฟฟ้าแน่นอน และคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ให้ผลการวัดซ้ำเท่าเดิมตลอดเวลา เมื่อมีกระแสผ่านเล็กน้อย เช่น ซิลเวอร์ซิลเวอร์คลอไรด์ (silver/silver chloride electrode) ซึ่งขั้วไฟฟ้าอ้างอิงมีหน้าที่ควบคุมศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าใช้งาน

ขั้วไฟฟาร่วมหรือขั้วไฟฟ้าช่วย (Auxiliary or Counter electrode , AE) เป็นขั้วไฟฟ้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าแต่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาจะต่ออยู่กับขั้วไฟฟ้าใช้งาน ซึ่งช่วยนำกระแสจากขั้วไฟฟ้าอ้างอิงผ่านสารละลายไปยังขั้วไฟฟ้าใช้งาน เช่น แพลทินัมหรือแท่งแกรไฟต์

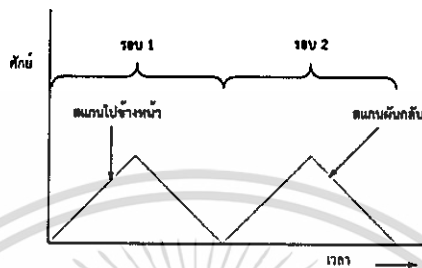
สำหรับกระแสที่วัดได้จะอยู่ระหว่างขั้ว AE และขั้ว WE ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จะอยู่ระหว่างขั้ว RE และขั้ว WE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ไชคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammetry)

### 2.5.1 หลักการ

ไชคลิกโวลแทมเมตรีมีการทำงานโดยเริ่มสแกนศักย์ไฟฟ้าเชิงเส้นในรูปแบบสามเหลี่ยมดังรูป 2.19 ให้กับขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ในสารละลาย ซึ่งขณะที่มีการกวาดศักย์ไฟฟ้าจะสามารถวัดได้ไม่จำกัดจำนวนรอบ หรือเพียงแค่อบเดียวขึ้นอยู่กับข้อมูลที่เราต้องการตรวจหา



รูปที่ 2.20 แผนภาพสัญญาณกระตุ้นในโวลแทมเมตรีแบบรอบ

### 2.5.2 เครื่องมือ

เครื่องมือสำหรับไชคลิกโวลแทมเมตรี ประกอบไปด้วย เซลล์เคมีไฟฟ้าที่ใช้ทั่วไปเป็นแบบสามขั้ว โปเทนชิออสแตทที่มีหน้าที่ควบคุมศักย์ไฟฟ้าและวัดกระแสที่เกิดขึ้นจากศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับเซลล์

เครื่องมือสำหรับไชคลิกโวลแทมเมตรีประกอบด้วย

- (1) เซลล์อิเล็กโทรไลติก หรือขั้วไฟฟ้า เป็นเซลล์ชนิดสามขั้ว ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วไฟฟ้าช่วย
- (2) แหล่งกำเนิดสัญญาณ มีหน้าที่สร้างสัญญาณศักย์ไฟฟ้าเป็นรอบให้กับขั้วไฟฟ้าที่ต้องการศึกษา
- (3) โปเทนชิออสแตท มีหน้าที่ควบคุมศักย์ไฟฟ้าให้คงที่ในช่วงของศักย์ไฟฟ้าที่ต้องการ
- (4) แอมมิเตอร์ มีหน้าที่วัดกระแสที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเครื่องบันทึก มีหน้าที่ทำการบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปและกระแสที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยา เรียกว่า โวลแทมโมแกรม

### 2.5.3 การประยุกต์ใช้ประโยชน์

ไชคลิกโวลแทมเมตรีมีการใช้งานอย่างกว้างขวางมากที่สุดสำหรับการตรวจหาข้อมูลเชิงกายภาพของปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ซึ่งไชคลิกโวลแทมเมตรีมีความสามารถในการให้ข้อมูลอย่างรวดเร็วเกี่ยวกับอุณหภูมิวัดศาสตร์ของกระบวนการรีดอกซ์ และจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาที่มีการถ่าย

โอนอิเล็กตรอนที่แตกต่างกัน และปฏิกิริยาเคมีแบบคู่หรือกระบวนการดูดซับ แต่ไซคลิกโวลแทมเมทรีมีการใช้งานน้อยมากในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

### 2.5.3.1 การตรวจการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาผันกลับ

ไซคลิกโวลแทมเมทรีเป็นเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์ลักษณะของกระบวนการเชิงเคมีไฟฟ้า ภายใต้สภาวะหลายแบบ โดยในระบบที่มีการผันกลับอย่างสมบูรณ์ของคู่ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ไม่มีความซับซ้อนทางจลนศาสตร์มาเกี่ยวข้อง สามารถใช้สมการ

$$\Delta E_p = \frac{0.0591}{n} \quad (2.8)$$

$$E = \frac{E_{pa} + E_{pc}}{2} \quad (2.9)$$

$$\frac{i_{pa}}{i_{pc}} = 1 \quad (2.10)$$

นั่นคือ ศักย์ไฟฟ้าครึ่งคลื่นมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของศักย์ไฟฟ้าของพีคคาโทดิกและพีคแอนอดิก และปฏิกิริยาที่มีการผันกลับอย่างสมบูรณ์ขนาดของพีคคาโนดิกจะมีค่าเท่ากับพีคคาโทดิก ซึ่งปฏิกิริยานี้จะมีกระแสที่พีคคาโทดิกและพีคแอนอดิกมีค่าเท่ากันโดยประมาณในรูปค่าสมบูรณ์ แต่มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกัน และความแตกต่างระหว่างศักย์ไฟฟ้าที่พีคคาโทดิกและพีคคาโนดิกมีค่าเท่ากับ  $0.0591/n$  โวลต์ โดยที่  $n$  คือจำนวนของอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องกับครึ่งปฏิกิริยา

ในระบบที่เกิดปฏิกิริยาผันกลับแบบครึ่ง (quasi-reversible) หรือปฏิกิริยาแบบไม่ผันกลับ เกิดจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังขั้วไฟฟ้าเกิดช้า ทำให้เกิดการแยกระหว่างพีคสูงสุดมากกว่า  $0.0591/n$  โวลต์ และศักย์ไฟฟ้าที่พีคจะแปรผันตรงกับอัตราการสแกน

### 2.5.3.2 การศึกษากลไกของกระบวนการเชิงเคมีไฟฟ้า

การประยุกต์ที่สำคัญที่สุดของไซคลิกโวลแทมเมทรี คือ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดกระบวนการรีดอกซ์ ซึ่งไซคลิกโวลแทมเมทรีเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการศึกษา กลไกและอัตราเร็วของการเกิดกระบวนการออกซิเดชันหรือรีดักชัน โดยไซคลิกโวลแทมเมทรีเป็นวิธีแรกที่ถูกเลือกใช้ในระบบเคมีไฟฟ้าที่สนใจ โดยทั่วไปนิยมใช้ขั้วแพลตินัมในเทคนิคนี้ [5]

## 2.6 สารละลาย (Solution)

สารละลายนั้นถือเป็นสารเนื้อเดียว โดยเกิดจากการผสมสาร 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า สารละลายแบ่งเป็น 2 ส่วน ไม่ว่าจะเป็นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.ตัวทำละลาย (Solvent) หมายถึง สารที่มีความสามารถในการทำให้สารต่างๆละลายได้

2.ตัวถูกละลาย (Solute) หมายถึง สารที่ถูกละลายด้วยตัวทำละลาย เช่น สารละลายน้ำเกลือ เรียกเกลือว่าเป็นตัวถูกละลาย และถ้าเป็นสารละลายสถานะเดียวกันทั้งสองชนิดให้สารชนิดที่มีปริมาณมากกว่าเป็นตัวทำละลาย

### 2.6.1 การทำละลายของสารในตัวทำละลาย

การละลายของสารในตัวทำละลาย สามารถรู้ได้ว่าสารละลายแต่ละชนิดนั้นมีสารใดเป็นตัวทำละลาย และสารใดเป็นตัวถูกละลายโดยมีการแยกดังนี้

1) ใช้สถานะของสารเป็นเกณฑ์ คือ ถ้าสารนั้นเกิดจากสารที่มีสถานะต่างกันละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และถ้าสารใดที่มีสถานะเหมือนกันกับสารละลายถือได้ว่าสารนั้นเป็นตัวทำละลาย น้ำเกลือ ประกอบด้วยน้ำเป็นตัวทำละลายและเกลือเป็นตัวถูกละลาย หรือน้ำเชื่อม ประกอบด้วยน้ำเป็นตัวทำละลายและน้ำตาลเป็นตัวถูกละลาย

2) ใช้ปริมาตรของสารแต่ละชนิดเป็นเกณฑ์ คือ ถ้าสารละลายนั้นเกิดจากสารที่มีสถานะเดียวกันละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วสารใดที่มีปริมาณมากกว่าก็ถือว่าสารนั้นเป็นตัวทำละลาย เช่น ทองเหลือง ประกอบด้วยทองแดงเป็นตัวทำละลายและสังกะสีเป็นตัวถูกละลาย หรือนาก ประกอบด้วยทองแดงเป็นตัวทำละลายและทองคำเป็นตัวถูกละลาย

### 2.6.2 ความเข้มข้นของสารละลาย

ความเข้มข้นของสารละลาย คือ ปริมาตรของสารที่เป็นตัวละลายอยู่ในสารละลาย ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายนั้นสามารถบอกให้รู้ได้ว่าในสารละลายนั้นๆ มีปริมาณตัวถูกละลายจำนวนเท่าไร และการบอกความเข้มข้นของสารละลายนั้นมีหลายรูปแบบ ดังนี้

1. ร้อยละ (Percent)
2. โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร หรือโมลาริตี ( $mol/dm^3$  or Molarity)
3. โมลต่อกิโลกรัม หรือโมแลริตี้ ( $mol/kg$  molality) หรือเรียกว่า โมแลล
4. ส่วนในล้าน ( $ppm$ )
5. เศษส่วนโมล (mole fraction)

ความเข้มข้นของสารละลายรูปแบบร้อยละ (percent) แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

ก) ร้อยละโดยมวลต่อมวล (%w/w) หรือเรียกสั้นๆว่า ร้อยละโดยมวล ซึ่งเป็นหน่วยที่บอกมวลของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลายได้ เช่น สารละลายน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล นั้นหมายความว่าในสารละลายน้ำเกลือ 100 กรัม มีเกลืออยู่ 10 กรัม หรือในสารละลายน้ำเกลือ 100 กิโลกรัม มีเกลืออยู่ 10 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ร้อยละโดยมวล} = \frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลของสารละลาย}} \times 100 \quad (2.11)$$

ข) ร้อยละโดยปริมาตรต่อปริมาตร (%v/v) หรือเรียกสั้นๆว่า ร้อยละโดยปริมาตรของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลาย 100 หน่วยปริมาตรเดียวกัน เช่น สารละลายเอทานอลในน้ำเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร นั้นหมายถึงสารละลาย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีเอทานอลอยู่ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\text{ร้อยละโดยปริมาตร} = \frac{\text{ปริมาตรของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}} \times 100 \quad (2.12)$$

ค) ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร (w/v) คือหน่วยที่บ่งบอกมวลของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลาย 100 หน่วยปริมาตร เช่นสารละลายกลูโคสเข้มข้นร้อยละ 30 โดยมวลต่อปริมาตร นั้นหมายความว่า ในสารละลาย 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรมีกลูโคสละลายอยู่ 30 กรัม หรือในสารละลาย 100 ลูกบาศก์เดซิเมตร มีกลูโคสละลายอยู่ 30 กิโลกรัม

$$\text{ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร} = \frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}} \times 100 \quad (2.13)$$



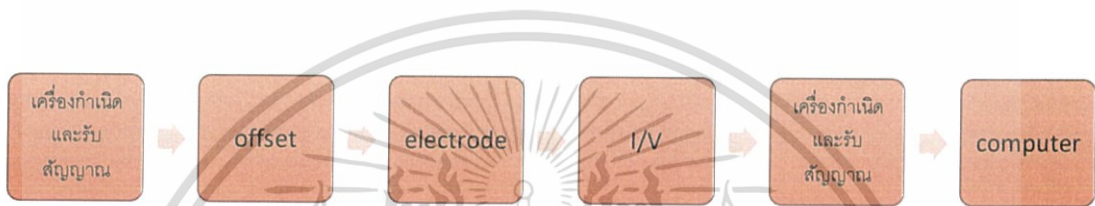
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้ได้มีการแบ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ระบบการวัด ส่วนที่ 2 ออกแบบการทดลอง ส่วนที่ 3 การทดลองเครื่องมือด้วยการวัดความเข้มข้นของ  $K_3(Fe)Cl_6$  ความเข้มข้นดินสอ และความถี่ของสัญญาณ

### 3.1 บล็อกไดอะแกรมระบบการวัด



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมเครื่องมือวัด

จากบล็อกไดอะแกรมที่ 3.1 แสดงขั้นตอนในการทำงานของเครื่องมือวัดที่ใช้งาน โดยประกอบด้วย เครื่องกำเนิดสัญญาณ วงจร offset วงจร push-pull electrode วงจร Current to voltage converter oscilloscope และ คอมพิวเตอร์

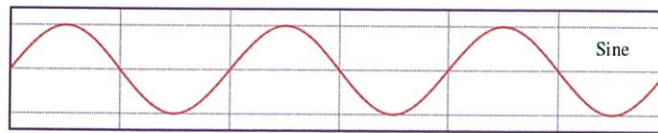
### 3.2 ระบบการวัด

#### 3.2.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณ

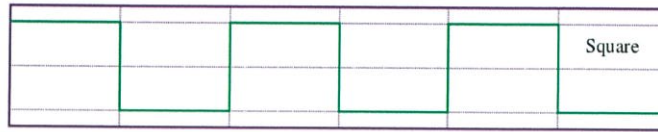
เครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องออสซิลโลสโคป ซึ่งสามารถสร้างรูปสัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นรูปคลื่นได้อย่างน้อย 3 เอ้าท์พุท คือ สัญญาณไซน์ (Sinusoidal Wave) สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) สัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave) โดยสัญญาณที่ใช้เป็นสัญญาณสามเหลี่ยม และใช้อ่านสัญญาณที่ได้จากขั้วไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.2



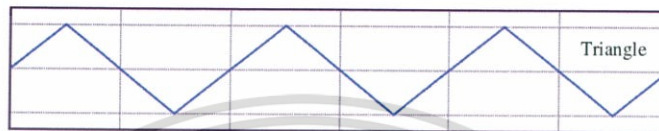
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข)



ค)



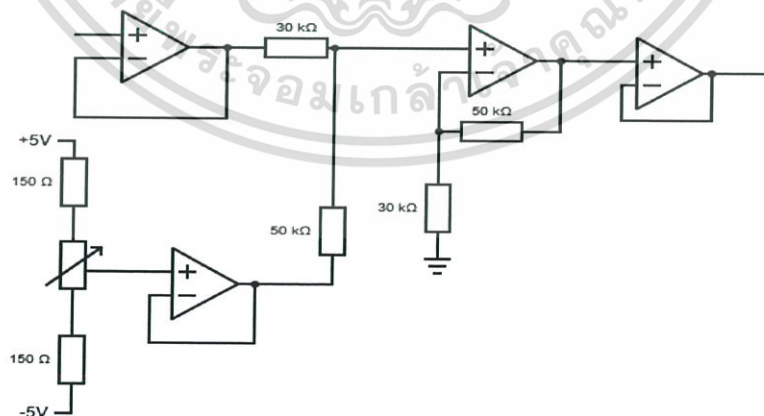
ง)

รูปที่ 3.2 ก) agilent dso-x-2002a digital storage oscilloscope ข) สัญญาณรูปไซน์

ค) สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ง) สัญญาณรูปสามเหลี่ยม

### 3.2.2 วงจร Offset

Dc Offset ทำหน้าที่ปรับระดับสัญญาณไฟฟ้า เนื่องจากสัญญาณที่ออกมาจาก DAC เป็นสัญญาณในไซเคิลบวก แต่เราต้องแรงดันต่ำสุด  $-2$  โวลต์ แรงดันสูงสุดที่  $2$  โวลต์ ซึ่งเป็นสัญญาณในครึ่งไซเคิลบวกและลบ ดังนั้นจึงมีการใช้ DC Offset เพื่อปรับระดับสัญญาณลง และส่งต่อไปยังส่วนต่อไป ดังรูปที่ 3.3

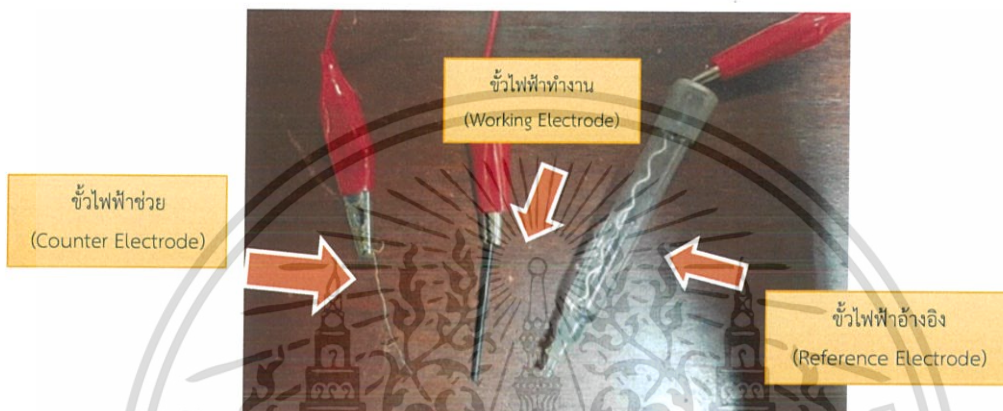


รูปที่ 3.3 วงจร offset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 ระบบขั้วไฟฟ้า

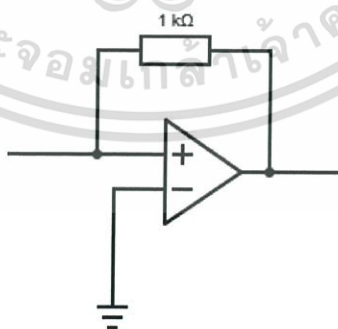
ขั้วไฟฟ้า แบ่งเป็น 3 ขั้วหลักๆ ด้วยกัน คือ ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ขั้วไฟฟ้าทำงาน และ ขั้วไฟฟ้าช่วยโดยที่มีการป้อนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทำงานและขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ซึ่งเป็นการป้อน อิเล็กตรอนให้กับสารที่ต้องการวิเคราะห์บริเวณขั้วไฟฟ้าทำงาน ผลของการวิเคราะห์โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีจะได้เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขั้วไฟฟ้าโดยวัดได้จากขั้วไฟฟ้าอ้างอิงและขั้วไฟฟ้าใช้งาน และกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยวัดได้จากขั้วไฟฟ้าช่วยและขั้วไฟฟ้าใช้งาน



รูป 3.4 ขั้วไฟฟ้า

### 3.2.4 วงจร Current to Voltage Converter

วงจรเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า (Current to Voltage Converters) เป็นวงจรที่รับกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากขั้วไฟฟ้า แล้วทำการแปลงจากกระแสไฟฟ้าไปเป็นแรงดันไฟฟ้าแล้วใช้ oscilloscope วัดค่าแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจร Current to Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 คอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ ใช้ในการวิเคราะห์และแสดงผลการทดลองที่ได้จากเครื่องกำเนิดและรับสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม python ในการแสดงกราฟที่ได้จากการทดลอง

## 3.3 การทดสอบระบบ

3.3.1 สร้างสัญญาณ โดยใช้ agilent dso-x-2002a digital storage oscilloscope เพื่อสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่ ตั้งแต่ 25-55 kHz และแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 1-5 V<sub>pp</sub>

3.3.2 ขั้วไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 3 ขั้ว คือ

1. ขั้วไฟฟ้าทำงาน (working electrode) ใช้ไส้ดินสอด่แกนกุดและเปลี่ยนความเข้มข้นของไส้ดินสอด่แกนกุดเพื่อเปรียบเทียบปฏิกิริยาที่เกิด
2. ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode) ใช้ Ag/AgCl จุ่มใน HCl
3. ขั้วไฟฟ้าช่วย (auxiliary หรือ counter electrode) ใช้แพลตตินัม

## 3.4 การทดลอง

ตอนที่ 1 การหาตัวแปรความถี่สัญญาณและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมที่จ่ายให้กับขั้วไฟฟ้าทำงานโดยใช้แท่งกลาสสิคาร์บอน และจุ่มอยู่ในสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้น K<sub>3</sub>(Fe)Cl<sub>6</sub> 4mM

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดลอง

ความเข้มข้นไส้ดินสอด	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>pp</sub> )	ความถี่ (kHz)	ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง
2H	1	25	4 mM
H	2	26	
HB	3	27	
B	4	28	
2B	5	29	
4B		30	
C		31	
		32	
		33	
		34	
		35	
		36	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดลอง (ต่อ)

ความเข้มใส่ดินสอด	ความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_{p-p}$ )	ความถี่ (kHz)	ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง
		37	4 mM
		38	
		39	
		40	
		41	
		42	
		43	
		44	
		45	
		46	
		47	
		48	
		49	
		50	
		51	
		52	
		53	
		54	
		55	

ตอนที่ 2 นำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 1 มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

ตอนที่ 3 นำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 1 มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับความถี่ที่ทำให้กระแสแอนดิกและกระแสแคโทดิกเกิดขึ้นที่จุดเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

การทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดลองของโครงงานพิเศษ ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลเทมเมทรี เพื่อตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของสารตัวอย่าง โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดสัญญาณให้กับขั้วไฟฟ้าที่แช่อยู่ในสารตัวอย่าง และทำการวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้าทำงาน

#### 4.1 ผลการทดสอบระบบและการเกิดปฏิกิริยาของสารตัวอย่าง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอด 2H แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ดินสอด	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2H	1	25	29.910	-27.417	57.327
		26	28.663	-27.417	56.080
		27	27.739	-24.965	52.704
		28	27.739	-26.814	54.553
		29	26.814	-24.965	51.779
		30	25.889	-24.965	50.854
		31	24.040	-22.191	46.231
		32	25.889	-21.266	47.155
		33	21.266	-23.116	44.382
		34	23.116	-21.266	44.382
		35	21.266	-17.568	38.834
		36	22.191	-17.568	39.759
		37	20.342	-19.417	39.759
		38	18.492	-17.568	36.060
		39	19.417	-18.492	37.909
		40	19.417	-16.643	36.060
		41	18.492	-14.794	33.286
		42	19.417	-14.794	34.211
		43	18.492	-16.643	35.135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อาจนำข้อมูลไปใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2H	1	44	16.643	-13.869	30.512
		45	17.568	-14.794	32.362
		46	17.568	-13.869	31.437
		47	14.794	-17.568	32.362
		48	19.417	-12.945	32.362
		49	15.719	-11.095	26.814
		50	15.719	-10.171	25.89
		51	14.794	-12.02	26.814
		52	14.794	-12.945	27.739
		53	13.869	-11.095	24.964
		54	13.869	-10.171	24.04
		55	13.869	-11.095	24.964

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 2 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2H	2	25	37.910	-36.060	73.970
		26	36.985	-35.136	72.121
		27	34.211	-35.136	69.347
		28	34.211	-33.286	67.497
		29	34.211	-31.437	65.648
		30	30.513	-32.362	62.875
		31	28.663	-27.739	56.402
		32	28.663	-26.814	55.477
		33	27.739	-27.739	55.478
		34	25.889	-24.040	49.929
		35	28.663	-24.965	53.628

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำเพื่อประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่สามารถถือลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2H แรงดันไฟฟ้า  $2 V_{p-p}$  (ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_{p-p}$ )	ความถี่ (kHz)	$I_{pa}$ (mA)	$I_{pc}$ (mA)	$I_{p-p}$ (mA)
2H	2	36	25.889	-23.116	49.005
		37	24.965	-20.342	45.307
		38	22.191	-23.116	45.307
		39	22.191	-19.417	41.608
		40	22.191	-21.266	43.457
		41	20.342	-19.417	39.759
		42	21.266	-17.568	38.834
		43	20.342	-20.342	40.684
		44	23.116	-18.492	41.608
		45	19.417	-15.719	35.136
		46	16.643	-16.643	33.286
		47	16.643	-14.794	31.437
		48	19.417	-12.945	32.362
		49	15.719	-13.869	29.588
		50	15.719	-14.794	30.513
		51	15.719	-12.945	28.664
		52	14.794	-12.945	27.739
		53	14.794	-12.945	27.739
54	15.719	-10.171	25.890		
55	13.869	-11.095	24.964		

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2H แรงดันไฟฟ้า  $3 V_{p-p}$

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_{p-p}$ )	ความถี่ (kHz)	$I_{pa}$ (mA)	$I_{pc}$ (mA)	$I_{p-p}$ (mA)
2H	3	25	38.834	-38.834	77.668
		26	37.910	-38.834	76.744
		27	37.910	-36.060	73.970
		28	35.136	-36.985	72.121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 3 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2H	3	29	36.060	-33.286	69.346
		30	34.211	-32.362	66.573
		31	33.286	-32.362	65.648
		32	32.362	-27.739	60.101
		33	31.437	-27.739	59.176
		34	27.739	-28.663	56.402
		35	27.739	-26.814	54.553
		36	26.814	-24.965	51.779
		37	26.814	-24.965	51.779
		38	24.965	-23.116	48.081
		39	24.040	-22.191	46.231
		40	23.116	-21.266	44.382
		41	23.116	-19.417	42.533
		42	22.191	-19.417	41.608
		43	20.342	-19.417	39.759
		44	21.266	-18.492	39.758
		45	20.342	-17.568	37.910
		46	20.342	-17.568	37.910
		47	15.719	-16.643	32.362
		48	16.643	-15.719	32.362
		49	15.719	-16.643	32.362
		50	15.719	-14.794	30.513
		51	17.568	-12.020	29.588
		52	14.794	-13.869	28.663
		53	15.719	-14.794	30.513
		54	14.794	-12.945	27.739
		55	12.945	-12.020	24.965

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2H	4V	25	38.834	-40.683	79.517
		26	38.834	-38.834	77.668
		27	38.834	-36.985	75.819
		28	37.910	-36.985	74.895
		29	35.136	-35.136	70.272
		30	32.362	-33.286	65.648
		31	32.362	-32.362	64.724
		32	30.513	-30.513	61.026
		33	31.437	-28.663	60.100
		34	30.513	-27.739	58.252
		35	27.739	-26.814	54.553
		36	28.663	-25.889	54.552
		37	27.739	-23.116	50.855
		38	24.040	-24.965	49.005
		39	23.116	-22.191	45.307
		40	24.040	-23.116	47.156
		41	21.266	-20.342	41.608
		42	21.266	-20.342	41.608
		43	20.342	-18.492	38.834
		44	19.417	-19.417	38.834
		45	18.492	-19.417	37.909
		46	19.417	-20.342	39.759
		47	19.417	-16.643	36.060
		48	19.417	-15.719	35.136
		49	17.568	-14.794	32.362
		50	17.568	-14.794	32.362
		51	17.568	-13.869	31.437

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2H	4	52	16.643	12.945	3.698
		53	17.568	-13.869	31.437
		54	12.945	-12.945	25.890
		55	16.643	-12.020	28.663

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2H	5	25	38.834	-41.608	80.442
		26	38.834	-38.834	77.668
		27	38.834	-37.91	76.744
		28	37.91	-36.985	74.895
		29	36.985	-34.211	71.196
		30	36.985	-33.286	70.271
		31	33.286	-31.437	64.723
		32	30.513	-30.513	61.026
		33	31.437	-29.588	61.025
		34	31.437	-27.739	59.176
		35	28.663	-25.889	54.552
		36	27.739	-24.04	51.779
		37	26.814	-25.889	52.703
		38	25.889	-22.191	48.08
		39	24.965	-21.266	46.231
		40	23.116	-23.116	46.232
		41	24.965	-22.191	47.156
		42	21.266	-20.342	41.608

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2H แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2H	5	43	22.191	-20.342	42.533
		44	23.116	-20.342	43.458
		45	20.342	-18.492	38.834
		46	19.417	-16.643	36.06
		47	18.492	-17.568	36.06
		48	18.492	-14.794	33.286
		49	17.568	-16.643	34.211
		50	17.568	-12.945	30.513
		51	15.719	-13.869	29.588
		52	17.568	-15.719	33.287
		53	15.719	-13.869	29.588
		54	13.869	-12.945	26.814
		55	15.719	-12.02	27.739

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ H แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
H	1	25	27.015	-25.889	52.904
		26	24.764	-23.638	48.402
		27	24.764	-23.638	48.402
		28	24.764	-23.638	48.402
		29	24.764	-23.638	48.402
		30	23.638	-23.638	47.276
		31	24.764	-22.513	47.277
		32	23.156	-20.068	43.224
		33	20.84	-20.84	41.68
		34	20.84	-19.296	40.136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ H แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
H	1	35	20.068	-16.981	37.049
		36	21.612	-19.296	40.908
		37	20.84	-19.296	40.136
		38	22.384	-16.209	38.593
		39	20.068	-19.296	39.364
		40	17.753	-16.209	33.962
		41	20.068	-13.122	33.19
		42	17.753	-16.981	34.734
		43	18.525	-16.209	34.734
		44	13.893	-16.981	30.874
		45	21.612	-14.665	36.277
		46	15.437	-14.665	30.102
		47	15.437	-13.893	29.33
		48	17.753	-10.806	28.559
		49	18.525	-10.806	29.331
		50	16.209	-13.893	30.102
		51	14.665	-11.578	26.243
		52	16.209	-11.578	27.787
		53	13.893	-10.806	24.699
		54	15.437	-8.49	23.927
55	17.753	-10.034	27.787		

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ H แรงดันไฟฟ้า 2 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
H	2	25	36.663	-34.734	71.397
		26	34.734	-34.734	69.468
		27	35.698	-32.804	68.502
		28	33.769	-32.804	66.573

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึง

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ H แรงดันไฟฟ้า 2 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
		29	33.769	-28.945	62.714
		30	28.945	-27.98	56.925
		31	30.874	-27.015	57.889
		32	29.91	-27.015	56.925
		33	27.015	-27.015	54.03
		34	26.05	-24.121	50.171
		35	27.015	-22.191	49.206
		36	24.121	-21.226	45.347
		37	24.121	-21.226	45.347
		38	21.226	-20.261	41.487
		39	22.191	-19.296	41.487
		40	21.226	-18.332	39.558
		41	21.226	-18.332	39.558
		42	20.261	-19.296	39.557
		43	21.226	-17.367	38.593
		44	20.261	-16.402	36.663
		45	16.402	-15.437	31.839
		46	17.367	-15.437	32.804
		47	19.296	-16.402	35.698
		48	18.332	-14.472	32.804
		49	16.402	-12.543	28.945
		50	14.472	-12.543	27.015
		51	15.437	-15.437	30.874
		52	16.402	-10.613	27.015
		53	16.402	-12.543	28.945
		54	16.402	-9.468	25.87
		55	15.437	-9.468	24.905

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ H แรงดันไฟฟ้า 3 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
		25	38.593	-39.558	78.151
		26	38.593	-37.628	76.221
		27	37.628	-35.698	73.326
		28	36.663	-33.769	70.432
		29	35.698	-32.804	68.502
		30	33.769	-31.839	65.608
		31	30.874	-31.839	62.713
		32	32.804	-27.98	60.784
		33	28.945	-27.015	55.96
		34	28.945	-26.05	54.995
		35	27.98	-26.05	54.03
		36	26.05	-26.05	52.1
		37	25.085	-25.085	50.17
		38	27.015	-21.226	48.241
		39	23.156	-21.226	44.382
		40	23.156	-21.226	44.382
		41	20.261	-19.296	39.557
		42	21.226	-20.261	41.487
		43	21.226	-18.332	39.558
		44	18.332	-17.367	35.699
		45	21.226	-17.367	38.593
		46	17.367	-15.437	32.804
		47	19.296	-20.261	39.557
		48	19.296	-13.508	32.804
		49	16.402	-14.472	30.874
		50	18.332	-12.543	30.875
		51	15.437	-13.508	28.945

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ H แรงดันไฟฟ้า 3 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
H	3	52	18.332	-12.543	30.875
		53	18.332	-14.472	32.804
		54	14.472	-11.578	26.05
		55	12.543	-12.543	25.086

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ H แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
H	4	25	38.633	-41.126	79.759
		26	38.633	-38.633	77.266
		27	38.633	-37.387	76.02
		28	36.141	-37.387	73.528
		29	36.141	-34.894	71.035
		30	34.894	-33.648	68.542
		31	34.894	-29.91	64.804
		32	33.648	-31.156	64.804
		33	31.156	28.663	2.493
		34	31.156	-27.417	58.573
		35	28.663	-26.171	54.834
		36	27.417	-26.171	53.588
		37	26.171	-23.678	49.849
		38	23.678	-26.171	49.849
		39	23.678	-23.678	47.356
		40	23.678	-22.432	46.11
		41	22.432	-18.693	41.125
		42	21.186	-17.447	38.633
		43	21.186	-19.94	41.126
		44	18.693	-18.693	37.386

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ H แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
H	4	45	17.447	-17.447	34.894
		46	19.94	-14.955	34.895
		47	19.94	-16.201	36.141
		48	21.168	-13.409	34.577
		49	17.447	-16.201	33.648
		50	14.955	-16.201	31.156
		51	14.955	-13.709	28.664
		52	13.709	-14.955	28.664
		53	14.955	-13.709	28.664
		54	13.709	-14.955	28.664
		55	13.709	-13.709	27.418

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ H แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
H	5	25	38.633	-42.372	81.005
		26	38.633	-42.372	81.005
		27	38.633	-39.879	78.512
		28	38.633	-36.141	74.774
		29	36.141	-37.387	73.528
		30	33.648	-34.894	68.542
		31	33.648	-33.648	67.296
		32	32.402	-31.156	63.558
		33	31.156	-31.156	62.312
		34	31.156	-28.663	59.819
		35	29.91	-26.171	56.081
		36	26.171	-27.417	53.588

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ H แรงดันไฟฟ้า 5  $V_{p-p}$   
(ต่อ)

ความเข้มได้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_{p-p}$ )	ความถี่ (kHz)	$I_{pa}$ (mA)	$I_{pc}$ (mA)	$I_{p-p}$ (mA)
H	5	37	27.417	-22.432	49.849
		38	23.678	-23.678	47.356
		39	22.432	-22.432	44.864
		40	23.678	-18.693	42.371
		41	26.171	-18.693	44.864
		42	22.432	-18.693	41.125
		43	22.432	-18.693	41.125
		44	22.432	-19.94	42.372
		45	17.447	-18.693	36.14
		46	16.201	-18.693	34.894
		47	21.186	-19.94	41.126
		48	18.693	-14.955	33.648
		49	16.201	-17.447	33.648
		50	19.94	-14.955	34.895
		51	18.693	-11.216	29.909
		52	17.447	-17.447	34.894
		53	17.447	-14.955	32.402
		54	16.201	-9.97	26.171
55	14.955	-11.216	26.171		

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ HB แรงดันไฟฟ้า 1  $V_{p-p}$

ความเข้มได้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_{p-p}$ )	ความถี่ (kHz)	$I_{pa}$ (mA)	$I_{pc}$ (mA)	$I_{p-p}$ (mA)
HB	1	25	22.416	-20.438	42.854
		26	25.053	-19.12	44.173
		27	23.075	-18.46	41.535
		28	23.735	-19.12	42.855
		29	21.757	-17.801	39.558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอาไปใช้ประโยชน์ทางด้านการค้า  
ไม่ว่าโดยวิธีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารด้วยทุกครั้ง

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ HB แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มได้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
HB	1	30	20.438	-19.12	39.558
		31	20.438	-19.12	39.558
		32	17.801	-19.12	36.921
		33	17.142	-18.46	35.602
		34	19.12	-15.823	34.943
		35	15.164	-17.801	32.965
		36	14.505	-17.801	32.306
		37	13.845	-17.142	30.987
		38	14.505	-17.142	31.647
		39	15.164	-15.164	30.328
		40	14.505	-14.505	29.01
		41	13.684	-14.874	28.558
		42	1.684	-14.279	15.963
		43	16.064	-12.494	28.558
		44	13.684	-11.305	24.989
		45	13.089	-13.089	26.178
		46	11.305	-11.899	23.204
		47	10.71	-12.494	23.204
		48	16.659	-9.52	26.179
		49	10.115	-11.899	22.014
		50	15.469	-7.735	23.204
		51	14.279	-8.33	22.609
		52	8.925	-13.089	22.014
		53	15.469	-4.76	20.229
		54	10.71	-10.71	21.42
55	13.089	-8.925	22.014		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความถี่ดินสอ HB แรงดันไฟฟ้า 2 V<sub>p-p</sub>

ความถี่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
HB	2	25	32.643	-32.643	65.286
		26	32.643	-30.392	63.035
		27	31.518	-28.141	59.659
		28	30.392	-764.24	55.156
		29	30.392	-889.25	56.281
		30	29.266	-764.24	54.03
		31	29.266	-638.23	52.904
		32	27.015	-387.21	48.402
		33	25.889	-387.21	47.276
		34	22.513	-387.21	43.9
		35	25.889	-261.20	46.15
		36	23.638	-387.21	45.025
		37	22.513	-01.18	40.523
		38	19.136	-136.19	38.272
		39	18.01	-136.19	37.146
		40	20.261	-884.16	37.145
		41	20.261	-759.15	36.02
		42	18.01	-759.15	33.769
		43	15.759	-01.18	33.769
		44	16.884	-884.16	33.768
		45	19.136	-382.12	31.518
		46	19.136	-256.11	30.392
		47	13.508	-633.14	28.141
		48	15.759	-633.14	30.392
		49	15.759	-382.12	28.141
		50	15.759	-508.13	29.267
		51	15.759	-256.11	27.015
		52	11.256	-508.13	24.764

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ HB แรงดันไฟฟ้า 2 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
HB	2	53	13.508	-131.10	23.639
		54	10.508	-256.11	21.764
		55	11.256	-13.508	24.764

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ HB แรงดันไฟฟ้า 3 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
HB	3	25	38.271	-34.894	65.286
		26	34.894	-36.02	70.914
		27	34.894	-30.392	65.286
		28	31.518	-31.518	63.036
		29	31.518	-28.141	59.659
		30	28.141	-29.266	57.407
		31	28.141	-28.141	56.282
		32	27.015	-27.015	54.03
		33	25.889	-24.764	50.653
		34	24.764	-25.889	50.653
		35	23.638	-23.638	47.276
		36	25.889	-21.387	47.276
		37	23.638	-22.513	46.151
		38	22.513	-21.387	43.9
		39	23.638	-19.136	42.774
		40	20.261	-20.261	40.522
		41	22.513	-15.759	38.272
		42	20.261	-15.759	36.02
		43	19.136	-15.759	34.895
		44	19.136	-16.884	36.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ HB แรงดันไฟฟ้า 3 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
HB	3	45	20.261	-16.884	37.145
		46	16.01	-15.759	31.769
		47	18.01	-21.387	39.397
		48	19.136	-11.256	30.392
		49	16.884	-11.256	28.14
		50	15.759	-11.256	27.015
		51	15.759	-12.382	28.141
		52	13.508	-12.382	25.89
		53	12.382	-13.508	25.89
		54	13.508	-10.131	23.639
		55	11.256	-12.382	23.638

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ HB แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
HB	4	25	37.146	-38.271	75.417
		26	38.02	-36.02	74.04
		27	33.769	-33.769	67.538
		28	31.518	-33.769	65.287
		29	34.894	-29.266	64.16
		30	32.643	-31.518	64.161
		31	31.518	-27.015	58.533
		32	29.266	-25.889	55.155
		33	24.764	-29.266	54.03
		34	28.141	-24.764	52.905
		35	30.392	-24.764	55.156
		36	25.889	-23.638	49.527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อาจเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ HB แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มได้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
HB	4	37	25.889	-20.261	46.15
		38	25.889	-18.01	43.899
		39	22.513	-18.01	40.523
		40	19.136	-21.387	40.523
		41	21.387	-19.136	40.523
		42	19.136	-16.884	36.02
		43	22.513	-14.633	37.146
		44	20.261	-15.759	36.02
		45	19.136	-15.759	34.895
		46	16.884	-19.136	36.02
		47	14.633	-16.884	31.517
		48	14.633	-15.759	30.392
		49	13.508	-16.884	30.392
		50	14.633	-14.633	29.266
		51	14.633	-11.256	25.889
		52	12.382	-13.508	25.89
		53	13.508	-14.633	28.141
		54	11.256	-12.382	23.638
55	13.508	-11.256	24.764		

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ HB แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มได้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
HB	5	25	38.271	-39.397	77.668
		26	36.02	-38.271	74.291
		27	36.02	-39.397	75.417
		28	34.894	-33.769	68.663

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ HB แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
HB	5	29	34.894	-32.643	67.537
		30	34.894	-28.141	63.035
		31	33.769	-30.392	64.161
		32	27.015	-30.392	57.407
		33	29.266	-28.141	57.407
		34	29.266	-27.015	56.281
		35	25.889	-25.889	51.778
		36	28.141	-20.261	48.402
		37	22.638	-24.764	47.402
		38	24.764	-22.513	47.277
		39	24.764	-21.387	46.151
		40	19.136	-22.513	41.649
		41	22.513	-16.884	39.397
		42	19.136	-20.261	39.397
		43	22.513	-15.759	38.272
		44	19.136	-21.387	40.523
		45	19.136	-20.261	39.397
		46	22.513	-19.759	42.272
		47	16.884	-27.015	43.899
		48	18.01	-14.633	32.643
		49	14.633	-16.884	31.517
		50	14.633	-16.884	31.517
		51	12.382	-15.759	28.141
		52	12.382	-15.759	28.141
		53	13.508	-15.759	29.267
		54	13.884	-9.005	22.889
		55	18.01	-10.131	28.141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อาจทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอด B แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มใส่ ดินสอด	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
B	1	25	23.831	-25.053	48.884
		26	23.220	-25.053	48.273
		27	22.609	-21.998	44.607
		28	23.220	-23.831	47.051
		29	19.554	-21.387	40.941
		30	20.165	-20.776	40.941
		31	18.943	-18.943	37.886
		32	20.776	-17.721	38.497
		33	21.998	-17.114	39.112
		34	18.332	-16.498	34.830
		35	18.943	-17.721	36.664
		36	18.332	-15.276	33.608
		37	20.776	-15.276	36.052
		38	19.554	-12.832	32.386
		39	16.498	-15.887	32.385
		40	17.721	-12.221	29.942
		41	16.209	-12.157	28.366
		42	13.508	-13.958	27.466
		43	16.209	-14.858	31.067
		44	16.209	-16.209	32.418
		45	15.309	-9.455	24.764
		46	13.958	-13.057	27.015
		47	12.607	-13.057	25.664
		48	13.958	-13.508	27.466
		49	13.958	-12.157	26.115
		50	13.057	-9.005	22.062
		51	13.958	-7.204	21.162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ B แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
B	1	50	13.057	-9.005	22.062
		51	13.958	-7.204	21.162
		52	9.906	-10.356	20.262
		53	15.309	-7.654	22.963
		54	11.707	-9.906	21.613
		55	9.906	-9.906	19.812

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ B แรงดันไฟฟ้า 2 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
B	2	25	33.286	-31.839	65.125
		26	30.392	-33.769	64.161
		27	32.804	-30.392	63.196
		28	33.286	-27.497	60.783
		29	30.392	-25.568	55.960
		30	28.462	-27.980	56.442
		31	24.603	-25.568	50.171
		32	28.462	-23.156	51.618
		33	27.015	-22.673	49.688
		34	24.121	-24.603	48.724
		35	26.533	-19.296	45.829
		36	23.638	-21.226	44.864
		37	20.744	-22.673	43.417
		38	21.226	-20.261	41.487
		39	22.673	-16.884	39.557
		40	20.744	-17.367	38.111
		41	21.226	-15.920	37.146
		42	18.814	-18.332	37.146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอด B แรงดันไฟฟ้า  $2 V_{p-p}$  (ต่อ)

ความเข้มใส่ดินสอด	ความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_{p-p}$ )	ความถี่ (kHz)	$I_{pa}$ (mA)	$I_{pc}$ (mA)	$I_{p-p}$ (mA)
B	2	43	22.191	-16.402	38.593
		44	17.849	-16.402	34.251
		45	17.849	-17.367	35.216
		46	19.779	-14.955	34.734
		47	18.332	-13.508	31.840
		48	13.025	-15.437	28.462
		49	18.332	-12.060	30.392
		50	17.849	-11.095	28.944
		51	17.849	-11.578	29.427
		52	12.543	-15.437	27.980
		53	13.025	-14.472	27.497
		54	18.332	-12.543	30.875
		55	16.884	-15.437	32.321

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอด B แรงดันไฟฟ้า  $3 V_{p-p}$

ความเข้มใส่ดินสอด	ความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_{p-p}$ )	ความถี่ (kHz)	$I_{pa}$ (mA)	$I_{pc}$ (mA)	$I_{p-p}$ (mA)
B	3	25	35.698	-38.593	74.291
		26	33.769	-36.663	70.432
		27	34.734	-33.286	68.020
		28	30.874	-33.286	64.160
		29	36.663	-30.392	67.055
		30	28.945	-35.216	64.161
		31	32.804	-30.874	63.678
		32	31.357	-25.568	56.925
		33	29.427	-27.980	57.407
		34	26.050	-27.980	54.030
		35	25.568	-25.568	51.136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ B แรงดันไฟฟ้า 3 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
B	3	36	25.085	-21.709	46.794
		37	25.085	-20.261	46.346
		38	23.638	-24.603	48.241
		39	21.226	-19.296	40.522
		40	23.638	-16.402	40.040
		41	19.779	-19.779	39.558
		42	21.709	-19.779	41.488
		43	23.156	-16.402	39.558
		44	17.849	-19.779	37.628
		45	23.156	-17.367	40.523
		46	23.638	-18.332	41.970
		47	18.814	-15.437	34.251
		48	15.920	-18.814	34.734
		49	19.884	-14.955	34.839
		50	18.814	-15.920	34.734
		51	19.296	-15.920	35.216
		52	13.025	-16.884	29.909
		53	17.367	-11.578	28.945
54	19.779	-10.131	29.910		
55	15.437	-11.095	26.532		

ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ B แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
B	4	25	36.261	-34.283	70.544
		26	34.283	-30.328	64.611
		27	30.978	-29.009	59.987
		28	31.646	-27.690	59.336

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ B แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มได้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (khz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
B	4	29	30.328	-30.328	60.656
		30	29.668	-30.328	59.996
		31	29.909	-25.713	54.722
		32	27.690	-21.757	49.447
		33	27.031	-21.757	48.788
		34	26.372	-21.757	48.129
		35	21.097	-25.053	46.150
		36	23.075	-22.416	45.491
		37	21.757	-19.120	40.877
		38	19.120	-19.779	38.899
		39	18.460	-18.460	36.920
		40	18.460	-15.823	34.283
		41	19.120	-19.120	38.240
		42	18.460	-13.845	32.305
		43	18.460	-13.186	31.646
		44	20.438	-13.845	34.283
		45	13.845	-15.164	29.009
		46	15.164	-14.505	29.669
		47	13.845	-14.505	28.350
		48	17.142	-11.208	28.350
		49	13.186	-13.845	27.031
		50	14.505	-11.208	25.713
		51	13.186	-9.889	23.075
		52	11.867	-11.867	23.734
		53	13.845	-9.230	23.075
54	12.527	-8.571	21.098		
55	12.527	-8.571	21.098		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอด B แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มใส่ ดินสอด	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
B	5	25	36.921	-34.283	71.204
		26	36.921	-30.987	67.908
		27	31.646	-32.965	64.611
		28	29.668	-29.668	59.336
		29	32.965	-30.328	63.293
		30	27.031	-29.009	56.040
		31	25.053	-28.350	53.403
		32	27.690	-27.690	55.380
		33	24.394	-25.713	50.107
		34	25.053	-21.757	46.810
		35	22.416	-24.394	46.810
		36	24.394	-20.438	44.832
		37	21.097	-21.757	42.854
		38	21.097	-21.757	42.854
		39	20.438	-17.142	37.580
		40	17.142	-19.120	36.262
		41	19.120	-15.823	34.943
		42	15.823	-19.120	34.943
		43	17.801	-17.142	34.943
		44	21.757	-13.845	35.602
		45	17.801	-14.505	32.306
		46	19.120	-15.164	34.284
		47	16.482	-12.527	29.009
		48	14.505	-14.505	29.010
		49	14.505	-12.527	27.032
		50	13.186	-13.845	27.031
		51	12.527	-12.527	25.054
		52	13.186	-10.549	23.735

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอด B แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มได้ดินสอด	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
B	5	53	13.186	-13.186	26.372
		54	14.505	-9.230	23.735
		55	12.527	-9.230	21.757

ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอด 2B แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มได้ดินสอด	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2B	1	25	25.085	-25.085	50.170
		26	25.085	-24.040	49.125
		27	24.040	-22.995	47.035
		28	22.995	-22.995	45.990
		29	22.995	-19.859	42.854
		30	21.950	-22.995	44.945
		31	19.859	-19.859	39.718
		32	21.950	-16.724	38.674
		33	18.814	17.769	1.045
		34	19.859	-17.769	37.628
		35	19.859	-17.769	37.628
		36	17.721	-16.498	34.219
		37	20.165	-16.498	36.663
		38	19.554	-14.054	33.608
		39	17.721	-15.276	32.997
		40	19.554	-13.443	32.997
		41	16.498	-12.832	29.330
		42	14.054	-14.665	28.719
		43	14.665	-15.887	30.552
		44	15.276	-11.620	26.896
		45	15.726	-13.443	29.169

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2B	1	46	12.832	-10.999	23.831
		47	13.443	-12.832	26.275
		48	14.665	-10.388	25.053
		49	12.832	-13.443	26.275
		50	12.832	-10.388	23.220
		51	14.054	-7.944	21.998
		52	10.999	-10.388	21.387
		53	11.610	-8.555	20.165
		54	10.999	-9.777	20.779
		55	11.610	-9.777	21.387

ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 2 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2B	2	25	33.608	-34.219	67.827
		26	35.441	-31.775	67.216
		27	31.164	-33.608	64.772
		28	32.386	-28.720	61.106
		29	27.497	-29.942	57.439
		30	26.886	-28.720	55.606
		31	28.109	-28.720	56.829
		32	27.497	-28.720	56.217
		33	27.497	-23.220	50.717
		34	25.664	-23.220	48.884
		35	22.609	-23.220	45.829
		36	21.998	-24.442	46.440
		37	23.831	-21.387	45.218
		38	23.220	-18.332	41.552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 2  $V_{p-p}$  (ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_{p-p}$ )	ความถี่ (kHz)	$I_{pa}$ (mA)	$I_{pc}$ (mA)	$I_{p-p}$ (mA)
2B	2	39	21.387	-18.943	40.33
		40	20.776	-17.721	38.497
		41	18.332	-16.498	34.83
		42	17.721	-18.943	36.664
		43	21.387	-14.054	35.441
		44	18.943	-15.887	34.83
		45	17.721	-14.665	32.386
		46	15.887	-16.498	32.385
		47	17.721	-14.665	32.386
		48	20.165	-12.832	32.997
		49	16.498	-12.221	28.719
		50	16.498	-10.999	27.497
		51	14.665	-11.61	26.275
		52	14.665	-11.61	26.275
		53	11.61	-12.221	23.831
		54	13.443	-12.832	26.275
55	12.832	-12.221	25.053		

ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 3  $V_{p-p}$

ความเข้มไส้ดินสอ	แรงดันไฟฟ้า ( $V_{p-p}$ )	ความถี่ (kHz)	$I_{pa}$ (mA)	$I_{pc}$ (mA)	$I_{p-p}$ (mA)
2B	3	25	36.663	-40.330	76.993
		26	36.663	-37.274	73.937
		27	32.997	-36.663	69.660
		28	32.386	-34.830	67.216
		29	31.775	-34.219	65.994
		30	29.942	-31.164	61.106
		31	29.942	-25.886	55.828
		32	27.497	-27.497	54.994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลนี้ไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกประการ

ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 3 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มได้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2B	3	33	28.72	-26.886	55.606
		34	26.275	-28.72	54.995
		35	24.442	-25.053	49.495
		36	27.497	-22.609	50.106
		37	23.22	-23.22	46.44
		38	23.22	-23.22	46.44
		39	22.609	-18.943	41.552
		40	21.998	-21.998	43.996
		41	21.387	-18.332	39.719
		42	18.943	-18.943	37.886
		43	17.11	-18.943	36.053
		44	20.165	-18.332	38.497
		45	18.943	-18.943	37.886
		46	17.221	-15.887	33.108
		47	21.387	-15.276	36.663
		48	17.11	-17.11	34.22
		49	18.943	-11.61	30.553
		50	15.276	-14.054	29.33
		51	15.276	-12.832	28.108
		52	14.665	-13.443	28.108
53	16.498	-11.61	28.108		
54	16.887	-11.61	28.497		
55	12.221	-14.665	26.886		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2B	4	25	37.885	-39.719	77.604
		26	38.496	-37.885	76.381
		27	36.052	-36.052	72.104
		28	35.441	-32.997	68.438
		29	33.608	-32.386	65.994
		30	32.997	-23.942	56.939
		31	32.386	-29.942	62.328
		32	28.72	-29.331	58.051
		33	31.164	-28.72	59.884
		34	31.164	-25.053	56.217
		35	28.109	-25.664	53.773
		36	23.22	-25.053	48.273
		37	26.886	-24.442	51.328
		38	23.831	-23.22	47.051
		39	22.609	-20.165	42.774
		40	19.554	-19.554	39.108
		41	21.998	-18.332	40.33
		42	19.554	-18.332	37.886
		43	21.387	-17.11	38.497
		44	20.776	-17.721	38.497
		45	20.165	-15.887	36.052
		46	20.165	-18.332	38.497
		47	17.721	-15.276	32.997
		48	17.721	-14.054	31.775
		49	18.332	-16.498	34.83
		50	17.721	-12.221	29.942
		51	18.943	-12.832	31.775

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2B	4	52	14.665	-13.443	28.108
		53	12.832	-14.665	27.497
		54	10.999	-12.221	23.22
		55	13.443	-12.221	25.664

ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ดินสอ	แรงดันไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2B	5	25	38.496	-39.719	78.215
		26	36.663	-37.885	74.548
		27	37.274	-34.219	71.493
		28	35.441	-35.441	70.882
		29	35.441	-31.164	66.605
		30	33.608	-29.331	62.939
		31	30.553	-30.553	61.106
		32	31.775	-29.331	61.106
		33	28.109	-28.109	56.218
		34	28.72	-24.442	53.162
		35	28.109	-23.831	51.94
		36	28.109	-23.22	51.329
		37	22.609	-26.275	48.884
		38	13.831	-21.387	35.218
		39	23.831	-20.165	43.996
		40	18.943	-21.387	40.33
		41	19.554	-20.165	39.719
42	21.998	-15.887	37.885		
43	20.165	-18.332	38.497		
44	24.442	-18.332	42.774		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำเป็นสื่อหรือเผยแพร่ในทางค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 2B แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มได้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
2B	5	45	21.38	-27.442	48.822
		46	22.609	-17.721	40.33
		47	15.276	-17.11	32.386
		48	16.498	-19.554	36.052
		49	18.943	-19.554	38.497
		50	18.332	-15.276	33.608
		51	18.943	-12.221	31.164
		52	19.554	-10.999	30.553
		53	13.443	-15.887	29.33
		54	15.887	-13.443	29.33
		55	15.887	-12.221	28.108

ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มได้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
4B	1	25	25.568	-21.226	46.794
		26	23.156	-24.121	47.277
		27	23.156	-21.226	44.382
		28	23.156	-19.779	42.935
		29	18.332	-23.156	41.488
		30	20.744	-17.849	38.593
		31	19.779	-20.261	40.04
		32	24.121	-14.955	39.076
		33	18.814	-18.332	37.146
		34	17.849	-18.814	36.663
		35	15.92	-19.296	35.216
		36	18.332	-15.437	33.769
		37	15.437	-15.437	30.874

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำเป็นทรัพย์สินทางปัญญา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่พิมพ์ขึ้นไว้

ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มไส้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
4B	1	38	20.261	-13.508	33.769
		39	17.367	-13.99	31.357
		40	18.332	12.06	6.272
		41	16.884	-13.025	29.909
		42	11.578	-15.437	27.015
		43	13.025	-15.92	28.945
		44	14.955	-12.06	27.015
		45	18.814	-13.99	32.804
		46	16.402	-12.06	28.462
		47	17.849	-8.683	26.532
		48	13.508	-10.613	24.121
		49	14.472	-10.131	24.603
		50	11.095	-13.508	24.603
		51	10.613	-12.06	22.673
		52	12.543	-10.131	22.674
		53	13.025	-7.719	20.744
		54	12.543	-6.271	18.814
		55	14.955	-5.307	20.262

ตารางที่ 4.27 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 2 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
4B	2	25	36.663	-28.945	65.608
		26	34.251	-27.497	61.748
		27	28.462	-29.91	58.372
		28	27.98	-28.462	56.442
		29	28.462	-27.497	55.959

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอาไปใช้ประโยชน์ทางด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.27 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 2 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มไส้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
4B	2	30	27.98	-25.085	53.065
		31	25.085	-25.085	50.17
		32	23.638	-26.05	49.688
		33	21.709	-25.085	46.794
		34	24.603	-24.603	49.206
		35	21.226	-22.191	43.417
		36	26.533	-17.367	43.9
		37	22.191	-19.296	41.487
		38	24.121	-15.92	40.041
		39	20.744	-18.814	39.558
		40	19.296	-18.332	37.628
		41	18.332	-15.92	34.252
		42	17.367	-16.402	33.769
		43	16.884	-18.814	35.698
		44	19.779	-14.472	34.251
		45	18.814	-15.92	34.734
		46	13.508	-16.402	29.91
		47	18.814	-12.06	30.874
		48	14.955	-14.472	29.427
		49	12.06	-15.437	27.497
		50	12.06	-15.437	27.497
		51	14.955	-10.131	25.086
		52	14.955	-13.025	27.98
		53	17.367	-9.166	26.533
		54	10.613	-13.508	24.121
		55	11.095	-12.06	23.155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความถี่ 4B แรงดันไฟฟ้า 3 V<sub>p-p</sub>

ความถี่ (kHz)	แรงดันไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
25		37.146	-33.769	70.915
26		35.216	-33.769	68.985
27		32.322	-33.286	65.608
28		32.322	-29.427	61.749
29		30.392	-29.91	60.302
30		31.357	-25.085	56.442
31		30.874	-29.91	60.784
32		25.568	-27.98	53.548
33		26.533	-28.462	54.995
34		22.191	-27.015	49.206
35		21.709	-24.603	46.312
36		23.156	-23.156	46.312
37		25.568	-18.332	43.9
38		18.814	-21.226	40.04
39		22.673	-15.92	38.593
40		20.261	-16.884	37.145
41		21.226	-16.402	37.628
42		15.92	-20.261	36.181
43		18.814	-15.437	34.251
44		18.814	-14.955	33.769
45		19.779	-14.955	34.734
46		14.955	-17.367	32.322
47		17.849	-12.06	29.909
48		22.191	-13.025	35.216
49		12.543	-16.884	29.427
50		15.92	-13.508	29.428
51		12.06	-14.955	27.015
52		12.06	-13.508	25.568

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 3 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
4B	3	53	12.543	-15.437	27.98
		54	12.543	-12.543	25.086
		55	10.613	-12.06	22.673

ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
4B	4	25	38.111	-35.216	73.327
		26	37.14	-33.286	70.426
		27	34.734	-32.804	67.538
		28	34.251	-33.286	67.537
		29	30.874	-35.216	66.09
		30	31.839	-33.769	65.608
		31	31.357	-30.874	62.231
		32	28.462	-31.357	59.819
		33	27.497	-25.085	52.582
		34	27.497	-26.05	53.547
		35	31.839	-19.296	51.135
		36	27.98	-21.226	49.206
		37	25.085	-20.744	45.829
		38	25.568	-16.884	42.452
		39	24.121	-19.296	43.417
		40	21.709	-19.779	41.488
		41	17.849	-20.261	38.11
		42	20.744	-20.744	41.488
		43	20.744	-16.402	37.146
		44	21.709	-17.849	39.558
		45	14.955	-23.638	38.593

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดได้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีปรากฏอยู่

ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
4B	4	46	23.638	-26.05	49.688
		47	23.638	-17.849	41.487
		48	17.367	-15.92	33.287
		49	19.296	-13.99	33.286
		50	15.437	-18.814	34.251
		51	14.054	-15.534	29.588
		52	17.753	-9.616	27.369
		53	17.013	-8.876	25.889
		54	20.342	-9.616	29.958
		55	15.904	-12.205	28.109

ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มไส้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
4B	5	25	37.628	-38.673	76.301
		26	37.628	-34.492	72.12
		27	37.628	-34.492	72.12
		28	33.447	-31.357	64.804
		29	35.538	-29.266	64.804
		30	29.266	-28.221	57.487
		31	30.312	-31.357	61.669
		32	28.221	-28.221	56.442
		33	24.04	-30.312	54.352
		34	24.04	-28.221	52.261
		35	29.265	-26.131	55.396
		36	21.95	-26.131	48.081
		37	25.085	-21.95	47.035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ 4B แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มได้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
4B	5	38	20.905	-24.04	44.945
		39	21.95	-17.769	39.719
		40	19.724	-20.905	40.629
		41	22.995	-19.859	42.854
		42	17.769	-18.814	36.583
		43	16.724	-19.859	36.583
		44	19.859	-18.814	38.673
		45	24.04	-15.678	39.718
		46	22.995	-13.855	36.85
		47	14.633	-16.724	31.357
		48	19.859	-20.905	40.764
		49	16.724	-14.633	31.357
		50	14.633	-16.724	31.357
		51	16.724	-10.452	27.176
		52	16.724	-10.452	27.176
		53	13.588	-15.678	29.266
		54	16.724	-8.362	25.086
55	16.724	-13.588	30.312		

ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ C แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มได้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
C	1	25	30.653	-35.678	66.331
		26	30.653	-33.668	64.321
		27	24.623	-37.688	62.311
		28	28.643	-31.658	60.301
		29	30.653	-25.628	56.281
		30	32.663	-23.618	56.281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารที่สงวนไว้

ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ C แรงดันไฟฟ้า 1 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มได้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
		31	28.643	-23.618	52.261
		32	22.613	-27.638	50.251
		33	28.643	-19.598	48.241
		34	22.613	-25.628	48.241
		35	20.603	-25.628	46.231
		36	20.603	-27.638	48.241
		37	24.623	-19.598	44.221
		38	18.593	-23.618	42.211
		39	18.593	-21.608	40.201
		40	20.603	-17.588	38.191
		41	18.593	-19.598	38.191
		42	18.593	-19.598	38.191
		43	14.573	-21.608	36.181
		44	18.593	-27.638	46.231
		45	16.583	-15.578	32.161
		46	20.603	-11.558	32.161
		47	14.573	-17.588	32.161
		48	10.553	-21.608	32.161
		49	16.583	-13.568	30.151
		50	16.583	-13.568	30.151
		51	20.6	-9.548	30.148
		52	16.583	13.568	3.015
		53	14.573	-11.558	26.131
		54	22.613	-9.548	32.161
		55	15.583	-7.538	23.121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.32 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ C แรงดันไฟฟ้า  $2 V_{p-p}$

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_{p-p}$ )	ความถี่ (kHz)	$I_{pa}$ (mA)	$I_{pc}$ (mA)	$I_{p-p}$ (mA)
		25	33.377	-35.377	68.754
		26	37.789	-28.945	66.734
		27	32.965	-32.965	65.930
		28	34.573	-27.337	61.910
		29	33.769	-28.141	61.910
		30	32.965	-24.925	57.890
		31	32.161	-23.317	55.478
		32	30.553	-23.317	53.870
		33	28.945	-21.709	50.654
		34	38.945	-20.101	59.046
		35	27.337	21.709	49.046
		36	20.905	24.121	45.026
		37	24.925	19.296	44.221
		38	19.296	22.513	41.809
		39	18.492	20.101	38.593
		40	21.789	16.884	38.673
		41	20.905	16.884	37.789
		42	16.884	-19.296	36.180
		43	16.080	-17.688	33.768
		44	23.317	-13.668	36.985
		45	15.884	-19.296	35.180
		46	21.709	-11.256	32.965
		47	20.905	-13.668	34.573
		48	16.884	-11.256	28.140
		49	16.884	-10.452	27.336
		50	15.276	-12.864	28.14
		51	12.06	-14.472	26.532
		52	12.06	-13.668	25.728
		53	15.276	-8.04	23.316

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตีพิมพ์เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีชื่อเรื่องไม่

ตารางที่ 4.32 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ C แรงดันไฟฟ้า  $2 V_{p-p}$  (ต่อ)

ความเข้มได้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_{p-p}$ )	ความถี่ (kHz)	$I_{pa}$ (mA)	$I_{pc}$ (mA)	$I_{p-p}$ (mA)
C	2	54	16.08	-8.04	24.12
		55	15.276	-7.236	22.512

ตารางที่ 4.33 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ C แรงดันไฟฟ้า  $3 V_{p-p}$

ความเข้มได้ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	ความถี่ (kHz)	$I_{pa}$ (mA)	$I_{pc}$ (mA)	$I_{p-p}$ (mA)
C	3	25	38.191	-40.201	78.392
		26	36.181	-38.191	74.372
		27	38.191	-34.171	72.362
		28	34.171	-34.171	68.342
		29	32.161	-30.151	62.312
		30	30.151	-32.161	62.312
		31	26.131	-30.151	56.282
		32	32.161	-26.131	58.292
		33	26.131	-28.141	54.272
		34	28.141	-26.131	54.272
		35	28.141	-22.111	50.252
		36	28.141	-20.101	48.242
		37	22.111	-24.121	46.232
		38	22.111	-22.111	44.222
		39	22.111	-20.101	42.212
		40	24.121	-18.090	42.211
		41	22.111	-16.080	38.191
		42	22.111	-18.090	40.201
		43	20.101	-16.080	39.181
		44	22.111	-16.080	38.191
45	20.101	-18.09	38.191		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ C แรงดันไฟฟ้า 3 V<sub>p-p</sub> (ต่อ)

ความเข้มได้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
C	3	46	18.09	-16.08	34.17
		47	20.101	-12.06	32.161
		48	14.07	-16.08	30.15
		49	18.09	-12.06	30.15
		50	18.09	-10.05	28.14
		51	14.07	-14.07	28.14
		52	16.08	-12.06	28.14
		53	14.07	-12.06	26.13
		54	14.07	-10.05	24.12
		55	12.06	-14.07	26.13

ตารางที่ 4.34 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ C แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มได้ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
C	4	25	38.352	-40.523	78.875
		26	38.352	-39.075	77.427
		27	36.181	-38.352	74.533
		28	34.734	-38.352	73.086
		29	33.286	-35.457	68.743
		30	35.457	-28.945	64.402
		31	32.563	-29.668	62.231
		32	29.668	-28.945	58.613
		33	30.392	-26.774	57.166
		34	26.774	-26.774	53.548
		35	24.603	-26.775	51.378
		36	26.050	-23.156	49.206
		37	25.327	-23.156	48.486
		38	24.603	-21.709	46.312

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้หากมีค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

ตารางที่ 4.34 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ C แรงดันไฟฟ้า 4 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
C	4	39	24.603	-20.261	44.864
		40	23.879	-18.09	41.969
		41	22.432	-16.432	38.864
		42	20.985	-16.643	37.628
		43	18.814	-18.814	37.628
		44	18.814	-17.367	36.181
		45	19.538	-14.472	34.01
		46	16.643	-18.824	35.467
		47	22.432	-13.025	35.457
		48	21.709	-13.025	34.734
		49	18.09	-12.302	30.392
		50	13.749	-15.196	28.945
		51	15.92	-11.578	27.498
		52	15.92	-9.407	25.327
		53	16.643	-10.131	26.774
		54	11.578	-13.749	25.327
		55	16.643	-7.96	24.603

ตารางที่ 4.35 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอ C แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub>

ความเข้มใส่ ดินสอ	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
C	5	25	38.239	-42.854	81.093
		26	38.239	-38.239	76.478
		27	38.239	-34.943	73.182
		28	33.624	-36.921	70.545
		29	36.261	-32.306	68.567
		30	31.646	-34.283	65.929

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.35 ผลการทดลองระบบและการเกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มดินสอด C แรงดันไฟฟ้า 5 V<sub>p-p</sub>  
(ต่อ)

ความเข้มใส่ ดินสอด	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V <sub>p-p</sub> )	ความถี่ (kHz)	I <sub>pa</sub> (mA)	I <sub>pc</sub> (mA)	I <sub>p-p</sub> (mA)
		31	32.965	-31.646	64.611
		32	31.646	-29.668	61.314
		33	30.987	-27.031	58.018
		34	30.328	-25.713	56.041
		35	26.372	-27.69	54.062
		36	29.009	-23.075	52.084
		37	23.735	-23.735	47.47
		38	23.735	-25.053	48.788
		39	23.735	-20.438	44.173
		40	23.097	-21.757	44.854
		41	19.779	-19.779	39.558
		42	19.779	-19.12	38.899
		43	19.779	-17.801	37.58
		44	23.075	-16.482	39.557
		45	17.801	-19.12	36.921
		46	17.801	-19.779	37.58
		47	23.735	-13.845	37.58
		48	19.779	-12.527	32.306
		49	17.801	-13.845	31.646
		50	18.46	-11.867	30.327
		51	13.845	-14.505	28.35
		52	13.186	-13.845	27.031
		53	16.482	-9.889	26.371
		54	16.482	-9.23	25.712
		55	15.164	-9.889	25.053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

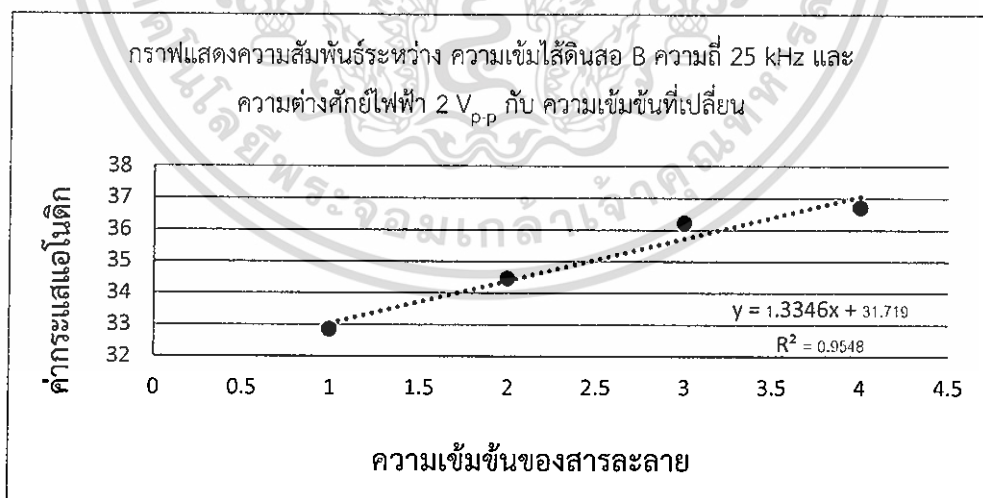
ตารางที่ 4.36 สรุปผลตัวแปรและความถี่ที่เหมาะสม

ความเข้มข้น	ความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_{p-p}$ )	ความถี่ (kHz)
B	2	25

ตอนที่ 2 การนำตัวแปรความถี่สัญญาณและแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่จ่ายให้กับขั้วไฟฟ้าทำงาน โดยทำการเปลี่ยนขั้วไฟฟ้าทำงานตามระดับความเข้มข้นดินสอ และทำการเปลี่ยนความเข้มข้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นดินสอที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลงของค่า  $I_{pa}$  ระหว่างความเข้มข้น B ความถี่ 25 kHz และความต่างศักย์ไฟฟ้า  $2 V_{p-p}$ 

ความเข้มข้นของสารละลาย (mM)	$I_{pa}$ (mA) (ครั้งที่1)	$I_{pa}$ (mA) (ครั้งที่2)	$I_{pa}$ (mA) (ครั้งที่3)	$I_{pa}$ (mA) (ครั้งที่4)	$I_{pa}$ (mA) (ครั้งที่5)	เฉลี่ย (mA)
1	32.362	35.578	32.362	31.558	32.362	32.844
2	34.774	34.774	34.774	33.97	33.97	34.452
3	36.382	33.166	37.99	35.578	37.99	36.221
4	37.186	36.382	37.99	35.578	36.382	36.703

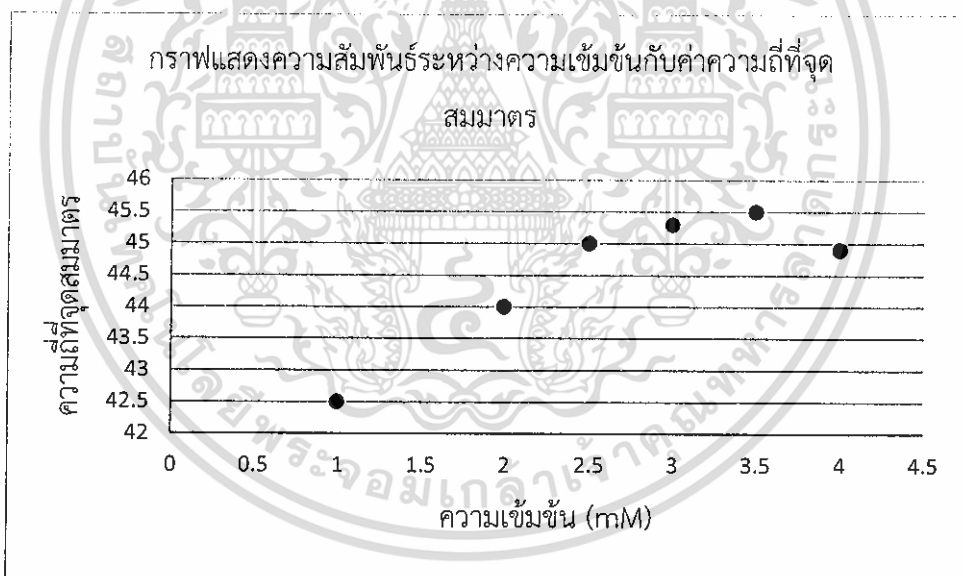
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้น B ความถี่ 25 kHz และความต่างศักย์ไฟฟ้า  $2 V_{p-p}$  กับ ความเข้มข้นที่เปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 นำตัวแปรความถี่สัญญาณ แรงดันไฟฟ้า และระดับความเข้มข้นดินสอที่เหมาะสมมาทำการทดลองโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตัวอย่าง แล้วทำการบันทึกเป็นกราฟอ้างอิง

ตารางที่ 4.38 ผลการทดลองระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกับความถี่ที่ทำให้  $I_{pa}$  และ  $I_{pc}$  เกิดขึ้นที่จุดเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน

ความเข้มข้นของสารละลาย (mM)	ความถี่ที่จุดสมมาตร (kHz)
1	42.5
2	44
2.5	45
3	45.3
3.5	45.5
4	44.9



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าความถี่ที่จุดสมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลองโครงการพิเศษ ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ผลการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 3 ตอน ตอนที่ 1 การหาตัวแปรความถี่สัญญาณและแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่จ่ายให้กับขั้วไฟฟ้าทำงานโดยใช้แท่งกลาสสิ คาร์บอน และจุ่มอยู่ในสารตัวอย่างที่ความเข้มข้น  $K_3(Fe)Cl_6$  8mM ตอนที่ 2 การนำตัวแปรความถี่สัญญาณและแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่จ่ายให้กับขั้วไฟฟ้าทำงาน โดยทำการเปลี่ยนขั้วไฟฟ้าไฟฟ้าทำงานตามระดับความเข้มข้นดินสอด และการเปลี่ยนความเข้มข้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นดินสอดที่เหมาะสม ตอนที่ 3 นำตัวแปรความถี่สัญญาณ แรงดันไฟฟ้า และระดับความเข้มข้นดินสอดที่เหมาะสมใช้งานโดยทำการทดลองเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตัวอย่าง แล้วทำการบันทึกเป็นกราฟอ้างอิง

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ตอนที่ 1 การหาพารามิเตอร์ความถี่สัญญาณและแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่จ่ายให้กับขั้วไฟฟ้าทำงานโดยใช้ไส้ดินสอดที่ความเข้มข้นต่างๆ และจุ่มอยู่ในสารตัวอย่างที่ความเข้มข้น  $K_3(Fe)Cl_6$  4 mM จากการทดลองทำให้ทราบว่าไส้ดินสอดความเข้ม B ศักย์ไฟฟ้า 2  $V_{p-p}$  และความถี่ 25 kHz เป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

ตอนที่ 2 นำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 1 มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จากการทดลองทำให้ทราบว่าความเข้มข้นจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

ตอนที่ 3 นำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 1 มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับความถี่ที่ทำให้กระแสแอนดิกและกระแสแคโทดิกเกิดขึ้นที่จุดเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน จากการทดลองทำให้ทราบว่าความเข้มข้นจะแปรผันตรงกับความถี่ที่ทำให้กระแสแอนดิกและกระแสแคโทดิกเกิดขึ้นที่จุดเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1.จากการทดลองผู้ทดลองพบเจอกับปัญหาในส่วนของขั้วไฟฟ้า ซึ่งเราต้องมีการเปลี่ยนขั้วไฟฟ้าใช้งาน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของขั้วไฟฟ้าอื่นๆ ดังนั้น ควรทำให้มีการเคลื่อนที่น้อยที่สุด
- 2.จากการทดลองเมื่อมีการผสมสารเกิดเพื่อทำการทดลอง เราควรจะทำการศึกษาให้จบภายในวันเดียว ไม่ควรทิ้งสารตัวอย่างแล้วมาทำการทดลองต่อในวัดถัดไปเพราะอาจส่งผลให้ผลการทดลองเกิดการคลาดเคลื่อน
- 3.เมื่อมีการใช้งานขั้วไฟฟ้าเสร็จ ควรเช็ดทำความสะอาดให้เรียบร้อย ไม่ควรแช่ค้างไว้ในสารตัวอย่าง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร.ธนศาสตร์ สุขศรีเมือง. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีไฟฟ้าโดยวิธี ไชคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltametry). [Online]. Available : [https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/218\\_76-79.pdf](https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/218_76-79.pdf)
- [2] นภัทร วจนเทพินทร์. 2548. ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์. ปทุมธานี : สกายบุ๊กส์
- [3] ชูชัย ธารสารตั้งเจริญ. 2534. ออปแอมป์ 741 = OP AMP. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
- [4] รัฐะพันธุ์ หล่อ เลิศสุนทร และโชติพันธุ์ หล่อเลิศสุนทร. 2560. คู่มือเรียนเขียนโปรแกรม Python (ภาคปฏิบัติ). กรุงเทพฯ : คอร์ฟังก์ชั่น.
- [5] รพงษ์ สุวจิตตานนท์. 2531. ไฟฟ้าเคมี = Electro chemistry. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



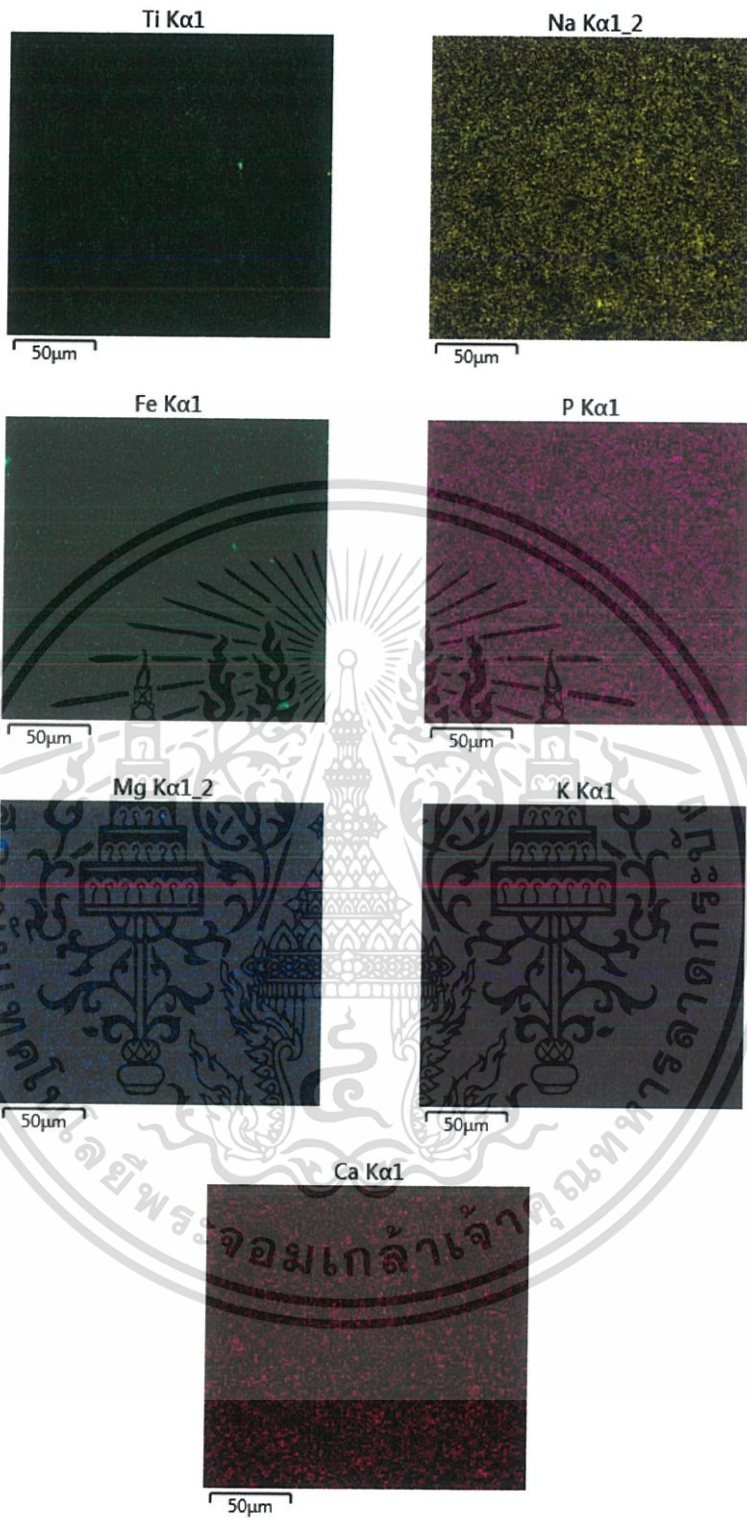
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EDS Layered Image 14

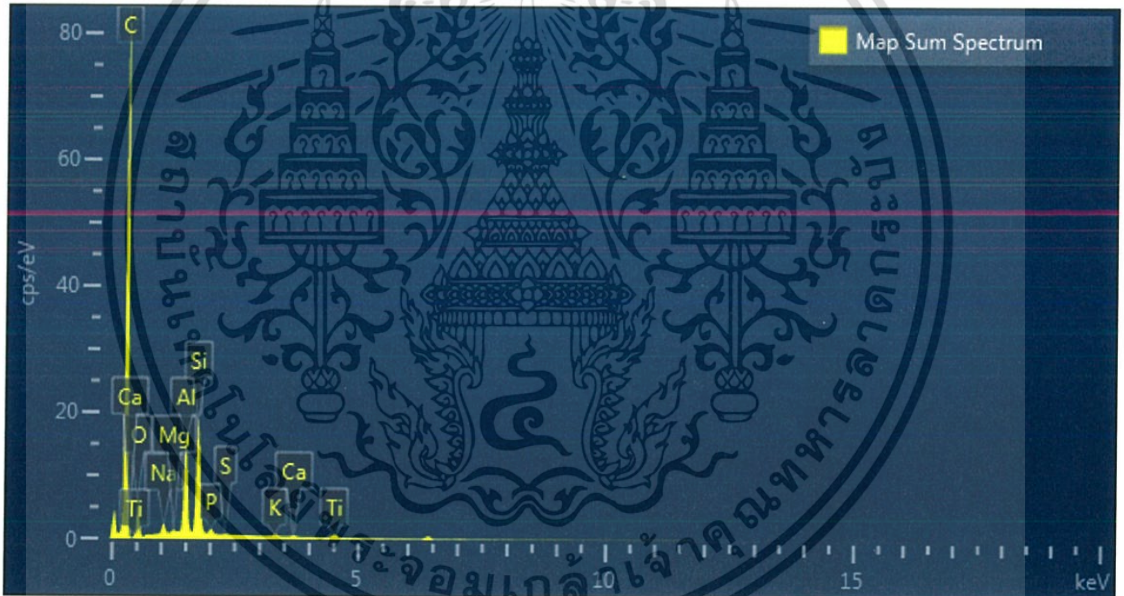
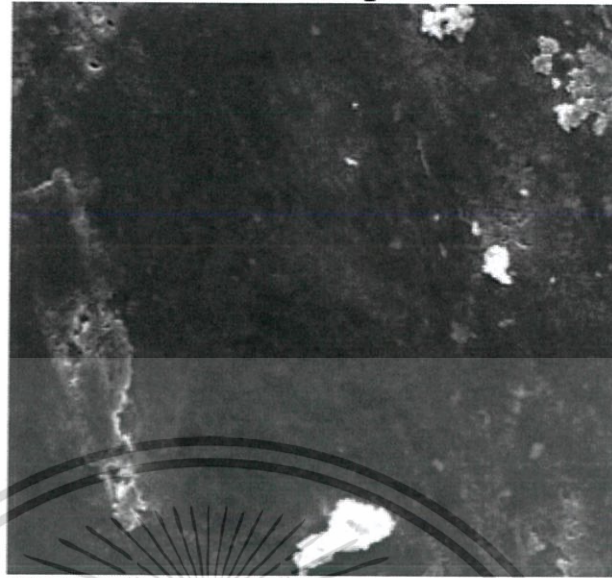


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 13



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt% 39	Wt % 8	Atomic % 7	Standard Label	Factor y Stand ard	Standard Calibrat ion Date
C	K	117.44	1.174	25.9	0.04	32.1	C Vit	Yes	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O				71.56		66.51			
Na	K series	1.44	0.00606	0.18	0.00	0.12	Albite	Yes	
Mg	K series	0.20	0.00131	0.03	0.00	0.02	MgO	Yes	
Al	K series	8.51	0.0615	0.96	0.00	0.53	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	10.71	0.08484	1.10	0.00	0.58	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.79	0.00443	0.05	0.00	0.03	GaP	Yes	
S	K series	0.11	0.00092	0.01	0.00	0.00	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.31	0.00262	0.03	0.00	0.01	KBr	Yes	
Ca	K series	0.21	0.00186	0.02	0.00	0.01	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.72	0.00716	0.08	0.00	0.02	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

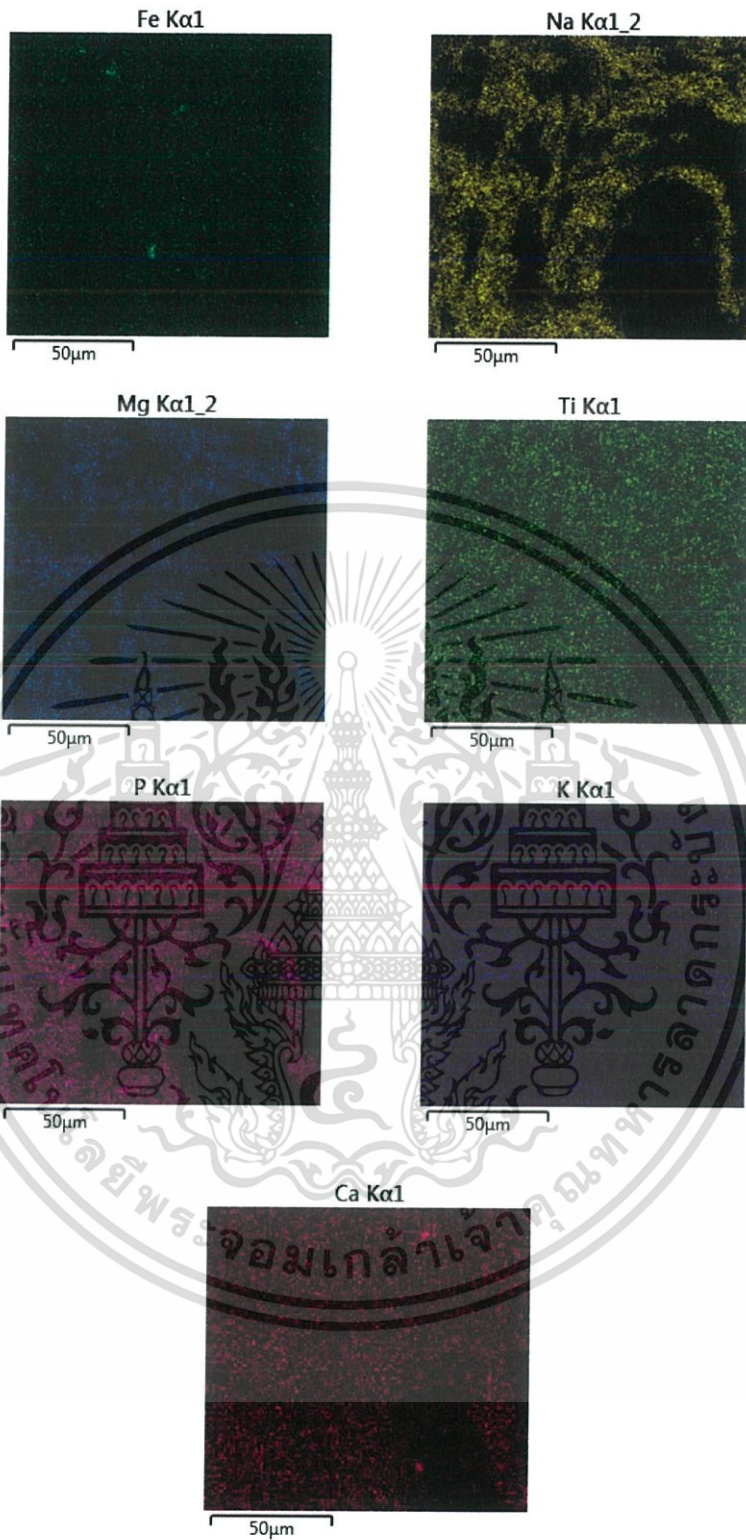
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2B-1

EDS Layered Image 15

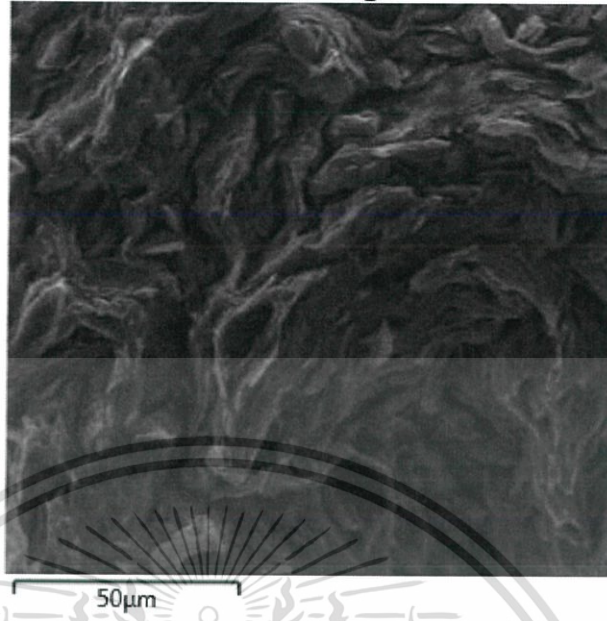


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 14



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor y Standard	Standard Calibration Date
C	K series	75.75	0.757	25.8	0.06	32.0	C Vit	Yes	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะโดยใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไข ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O				71.42		66.50			
Na	K series	0.98	0.00415	0.19	0.00	0.12	Albite	Yes	
Mg	K series	0.13	0.00087	0.03	0.00	0.02	MgO	Yes	
Al	K series	6.21	0.04458	1.07	0.00	0.59	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	7.62	0.06036	1.19	0.00	0.63	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.52	0.00289	0.05	0.00	0.03	GaP	Yes	
S	K series	0.06	0.00049	0.01	0.00	0.00	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.29	0.00243	0.04	0.00	0.01	KBr	Yes	
Ca	K series	0.23	0.00207	0.03	0.00	0.01	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.80	0.00803	0.13	0.00	0.04	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EDS Layered Image 16



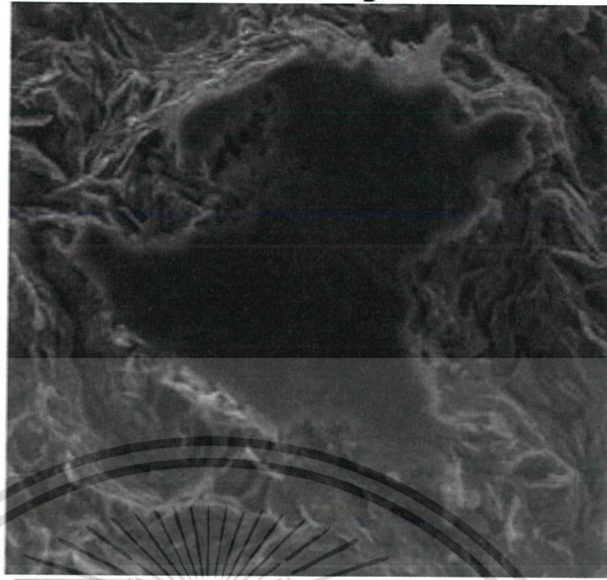
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 15



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor	Standard	Standard Calibration Date
C	K	93.34	0.933	25.8	0.05	32.0	C Vit	Yes		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะวิธีใด หักส่วน อีกรทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O				71.43		66.50			
Na	K series	1.19	0.00503	0.19	0.00	0.12	Albite	Yes	
Mg	K series	0.17	0.00114	0.03	0.00	0.02	MgO	Yes	
Al	K series	7.49	0.05381	1.05	0.00	0.58	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	9.70	0.07686	1.23	0.00	0.65	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.57	0.00319	0.05	0.00	0.02	GaP	Yes	
S	K series	0.08	0.00072	0.01	0.00	0.00	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.34	0.00288	0.04	0.00	0.01	KBr	Yes	
Ca	K series	0.26	0.00229	0.03	0.00	0.01	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.81	0.00814	0.11	0.00	0.03	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

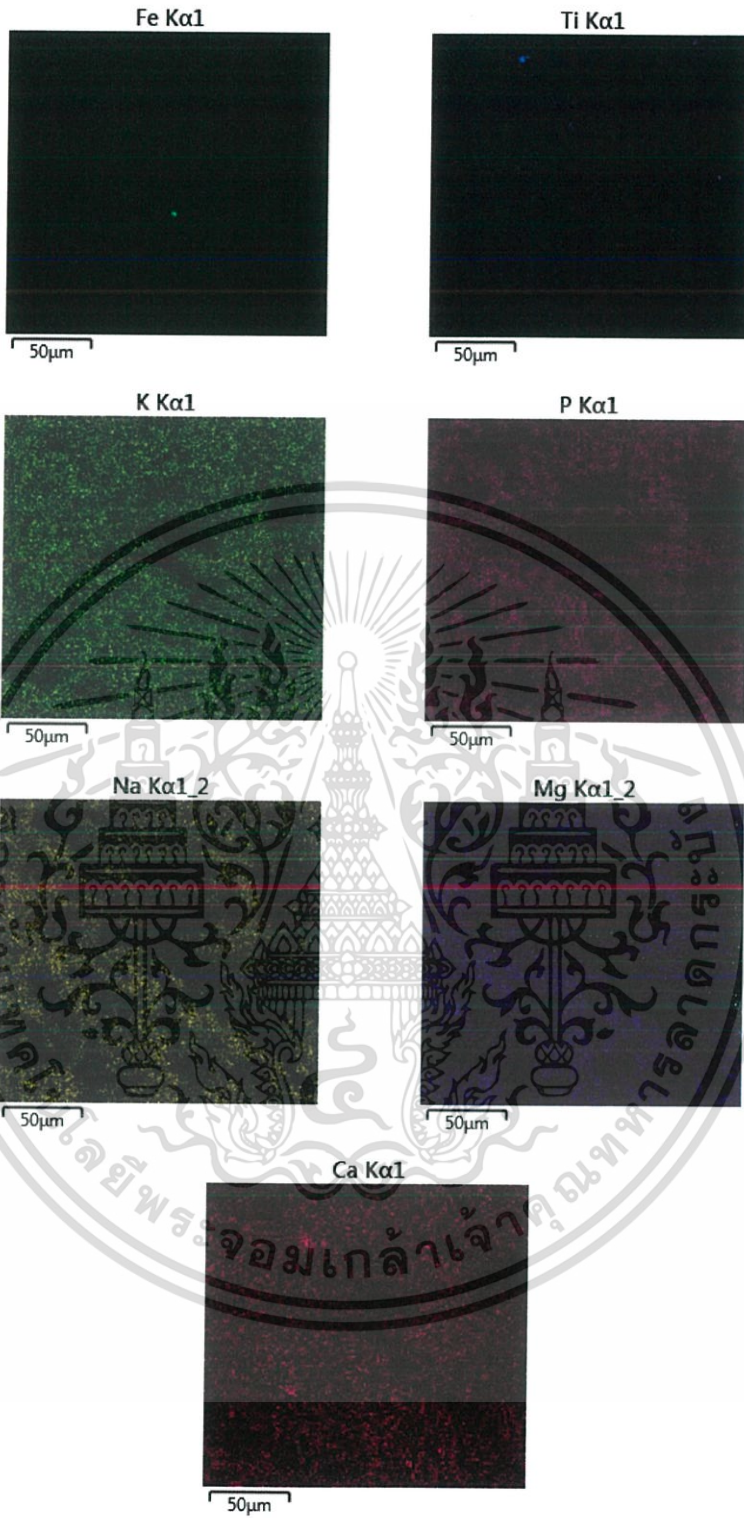
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้ภายใน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2H

EDS Layered Image 5

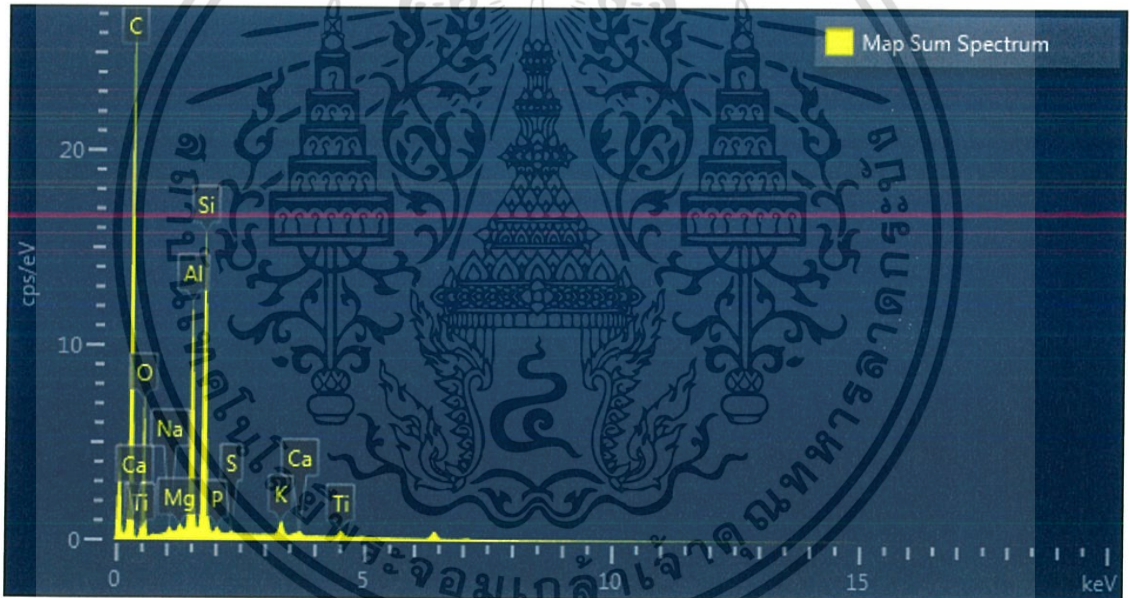
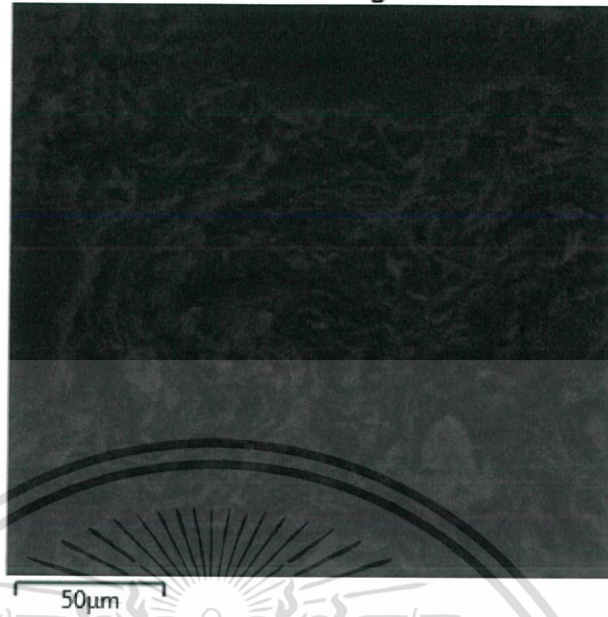


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 4



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor y Standard	Standard Calibration Date
C	K	38.39	0.383	24.6	0.08	30.9	C Vit	Yes	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O				70.4		66.4			
				1		1			
Na	K series	0.27	0.001 13	0.08	0.00	0.06	Albite	Yes	
Mg	K series	0.21	0.001 38	0.07	0.00	0.04	MgO	Yes	
Al	K series	7.00	0.050 30	2.00	0.01	1.12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	9.16	0.072 58	2.41	0.01	1.30	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.34	0.001 89	0.06	0.00	0.03	GaP	Yes	
S	K series	0.08	0.000 66	0.02	0.00	0.01	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.77	0.006 56	0.17	0.00	0.07	KBr	Yes	
Ca	K series	0.22	0.001 99	0.05	0.00	0.02	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.42	0.004 16	0.12	0.00	0.04	Ti	Yes	
Total:				100.		100.			
				00		00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศรัทธาใจงาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

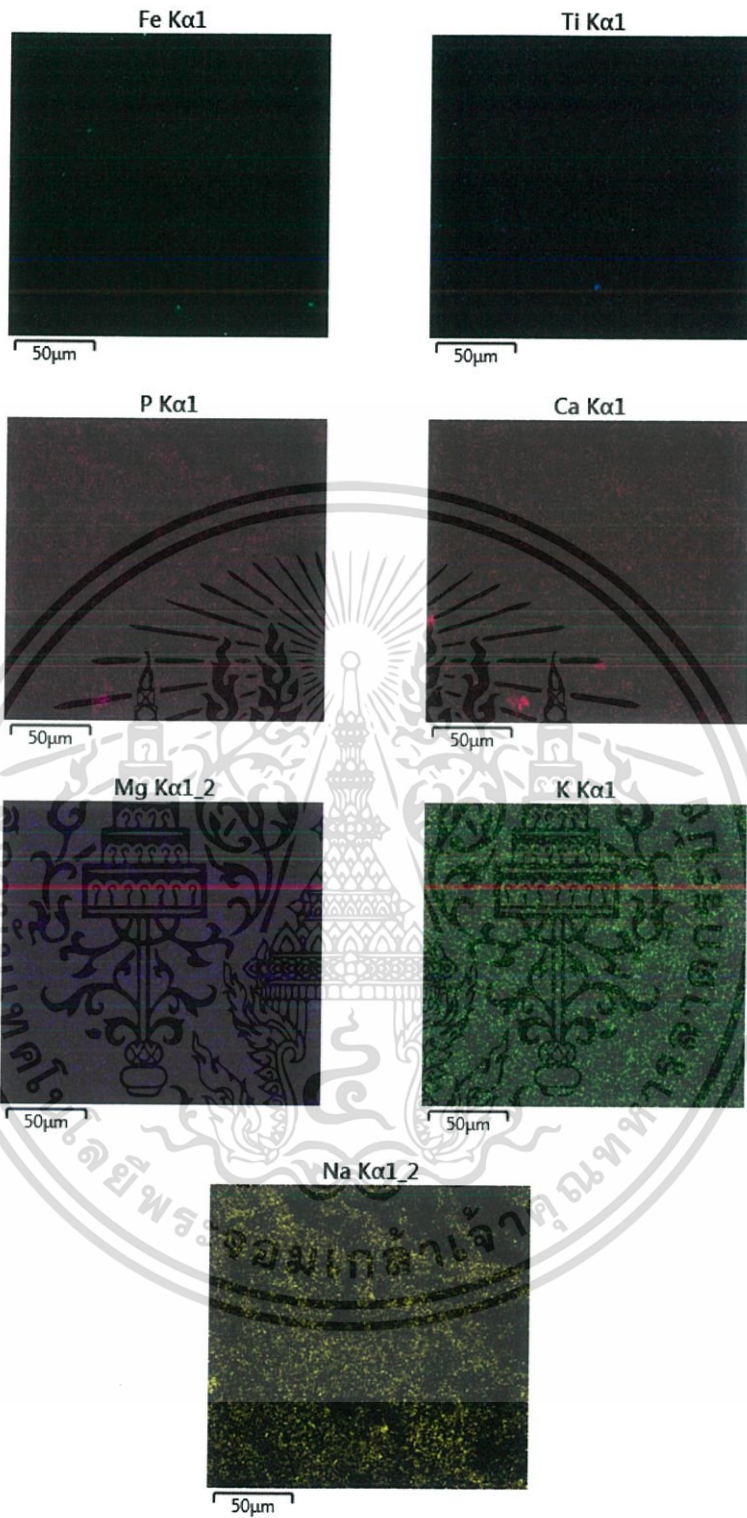
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2H-1

EDS Layered Image 6

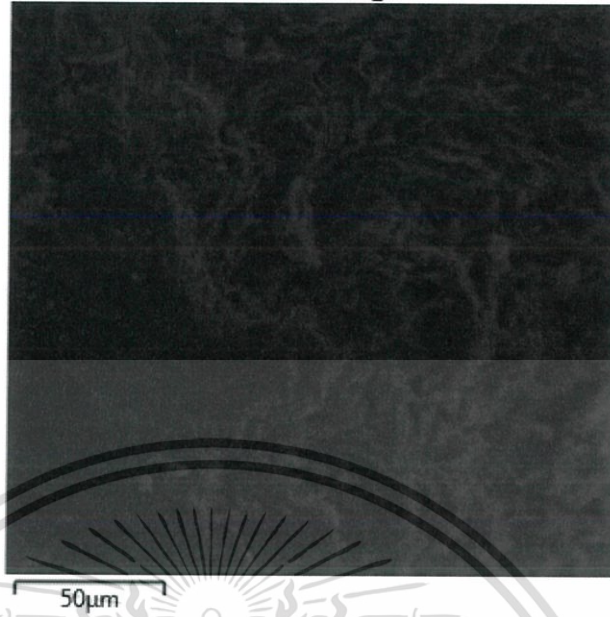


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 5



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor y Standard	Standard Calibration Date
C	K series	62.18	0.62180	24.9	0.06	31.2	C Vit	Yes	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O				70.67		66.43			
Na	K series	0.47	0.00199	0.10	0.00	0.06	Albite	Yes	
Mg	K series	0.29	0.00191	0.06	0.00	0.04	MgO	Yes	
Al	K series	9.85	0.07072	1.80	0.01	1.00	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	12.66	0.10030	2.14	0.01	1.14	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.45	0.00250	0.05	0.00	0.02	GaP	Yes	
S	K series	0.10	0.00087	0.02	0.00	0.01	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.93	0.00792	0.13	0.00	0.05	KBr	Yes	
Ca	K series	0.30	0.00264	0.04	0.00	0.02	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.45	0.00452	0.08	0.00	0.03	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

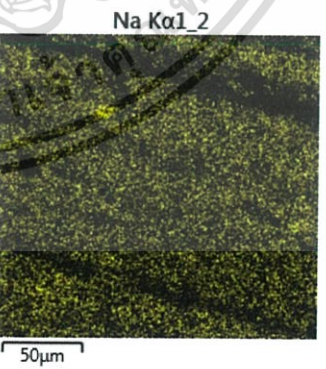
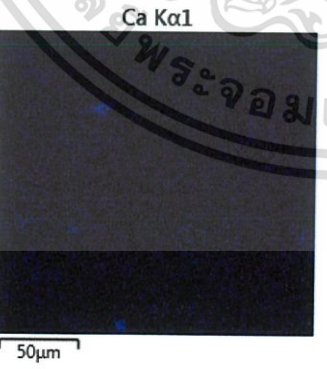
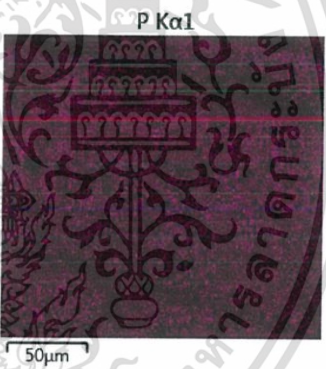
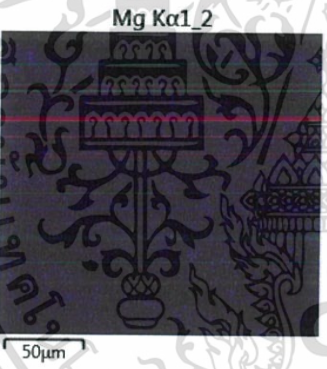
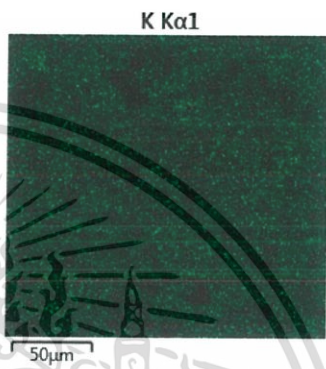
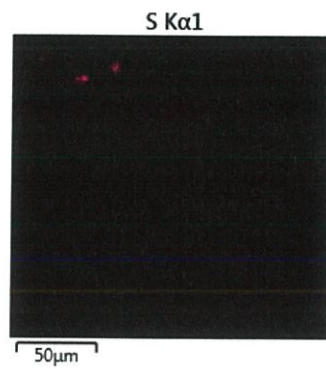
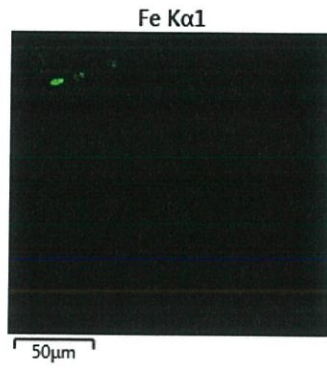
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2H-2

EDS Layered Image 7

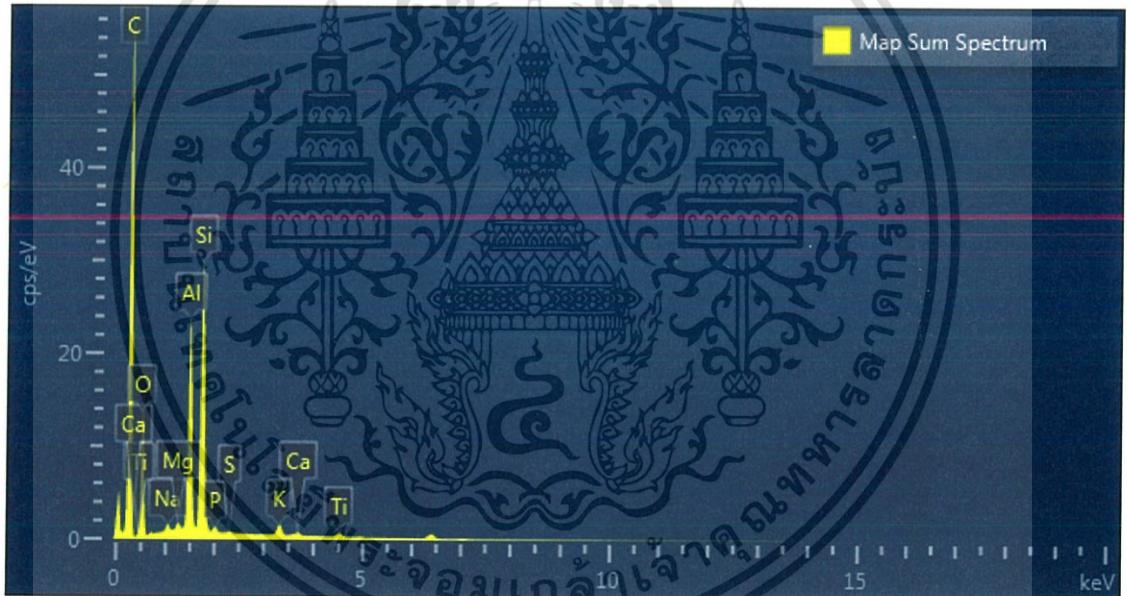
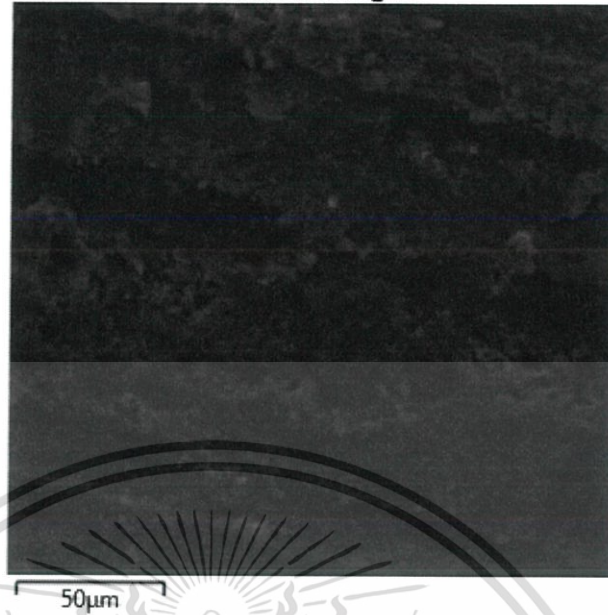


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 6



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor	Standard	Standard Calibration Date
C	K series	80.45	0.804	24.8	0.05	31.1	C Vit	Yes		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะถือโดย ห้างร้าน อื่นทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

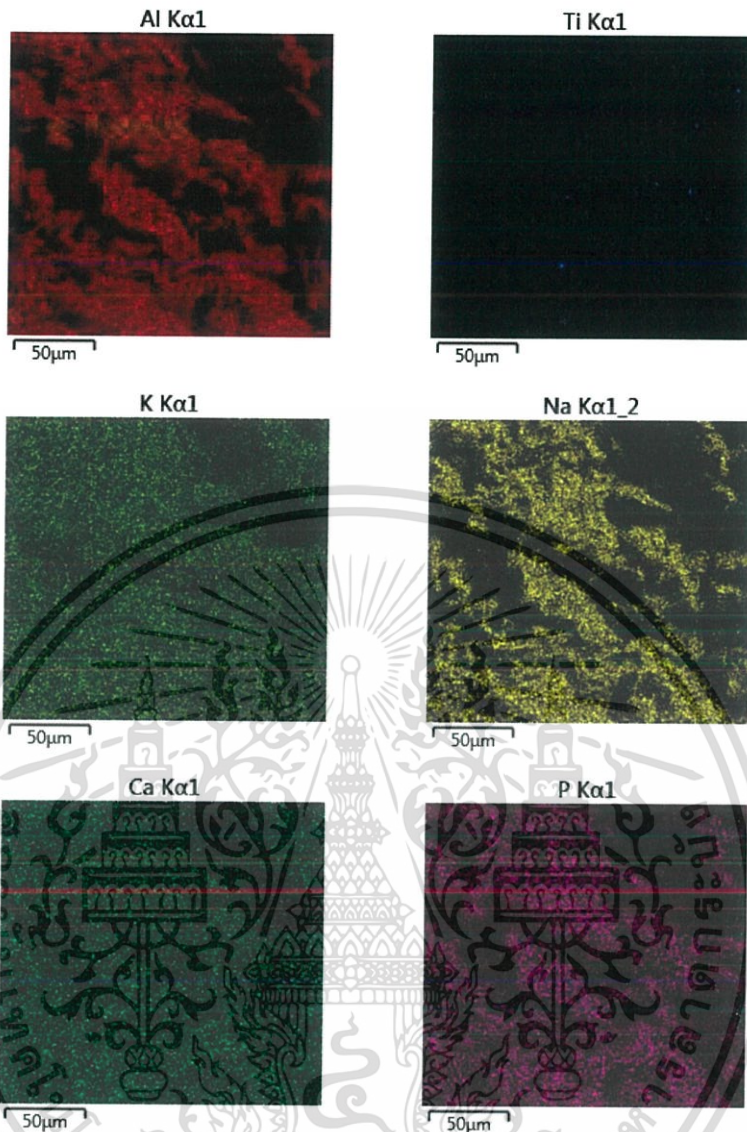
O				70.58		66.42			
Na	K series	0.65	0.00276	0.10	0.00	0.07	Albite	Yes	
Mg	K series	0.41	0.00273	0.07	0.00	0.04	MgO	Yes	
Al	K series	13.59	0.09763	1.90	0.00	1.06	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	17.29	0.13697	2.22	0.01	1.19	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.63	0.00352	0.05	0.00	0.03	GaP	Yes	
S	K series	0.13	0.00116	0.02	0.00	0.01	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	1.18	0.00999	0.13	0.00	0.05	KBr	Yes	
Ca	K series	0.36	0.00326	0.04	0.00	0.02	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.58	0.00582	0.08	0.00	0.02	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EDS Layered Image 17

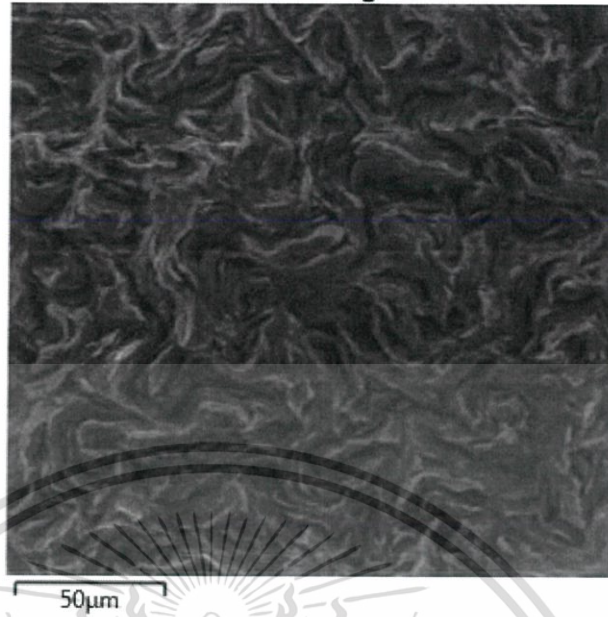


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 16



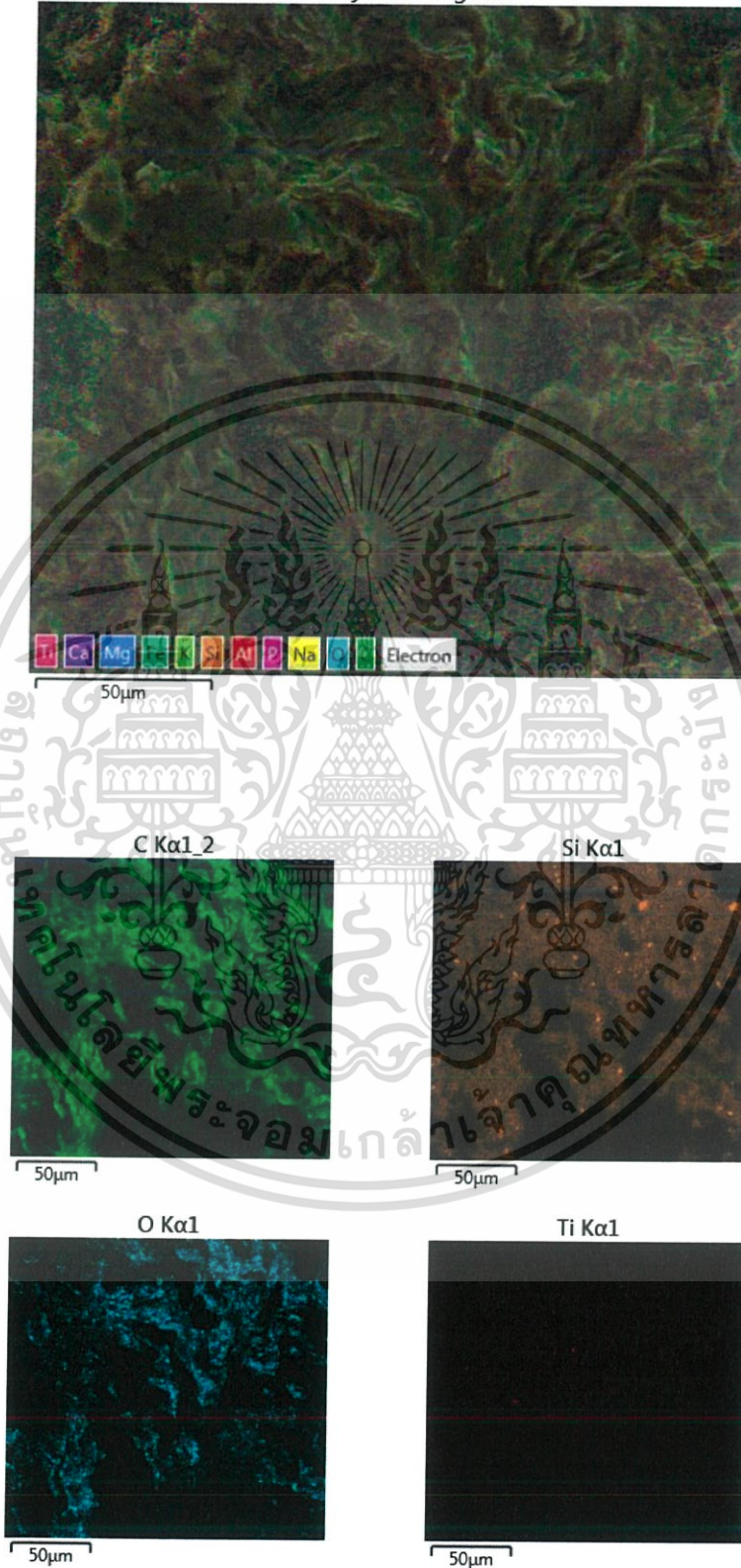
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor	Standard	Standard Calibration Date
C	K series	67.16	0.67161	25.9	0.062	32.12	C Vit	Yes		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรรมสิทธิ์ในส่วนอื่นทั้งนี้หากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

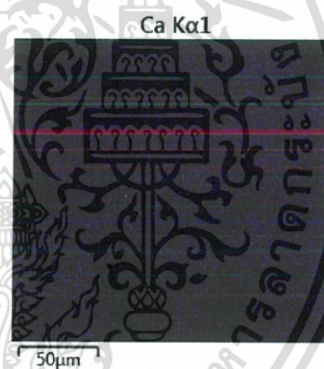
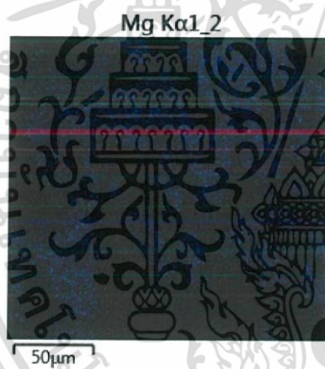
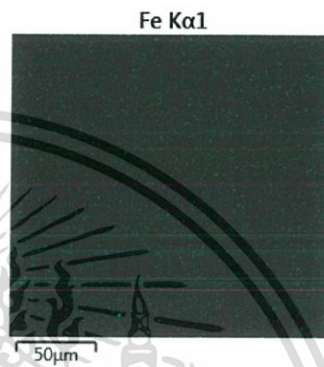
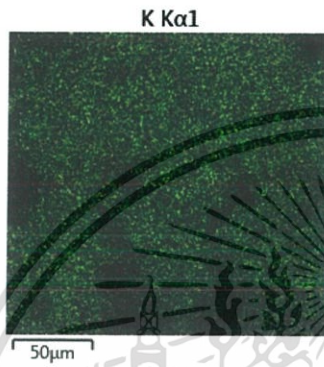
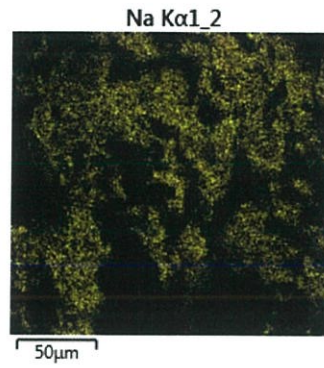
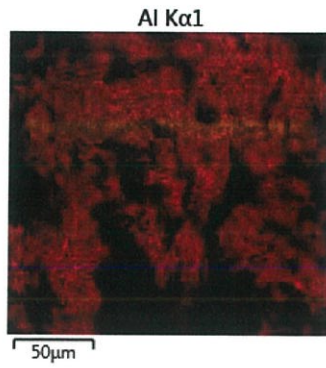
O				71.47		66.48			
Na	K series	0.96	0.00407	0.21	0.00	0.14	Albite	Yes	
Mg	K series	0.11	0.00073	0.03	0.00	0.02	MgO	Yes	
Al	K series	4.99	0.03584	0.98	0.00	0.54	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	6.78	0.05376	1.21	0.00	0.64	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.05	0.00025	0.01	0.00	0.00	GaP	Yes	
K	K series	0.59	0.00496	0.09	0.00	0.03	KBr	Yes	
Ca	K series	0.14	0.00122	0.02	0.00	0.01	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.32	0.00324	0.06	0.00	0.02	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EDS Layered Image 18

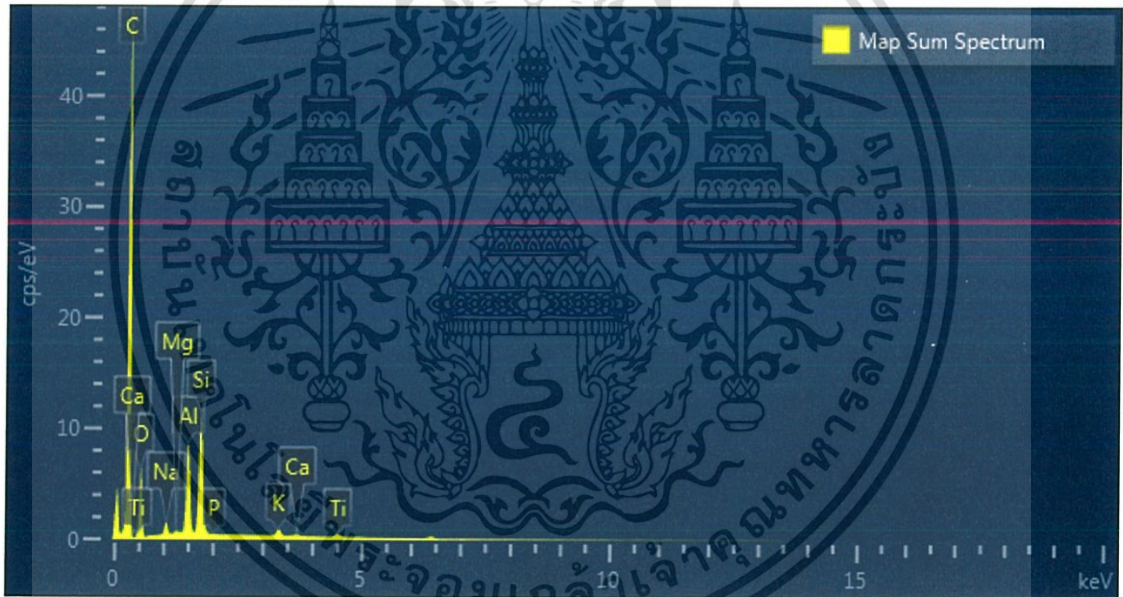
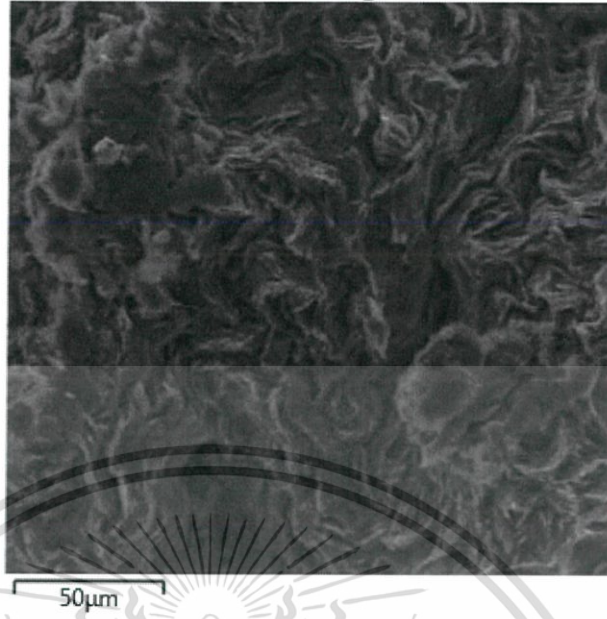


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 17



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt% 74	Wt % Sigma 5	Atomic % 4	Standard Label	Factor Standard	Standard Calibration Date
C	K series	66.87	0.668	25.9	0.06	32.1	C Vit	Yes	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

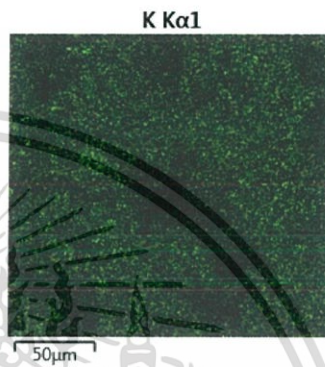
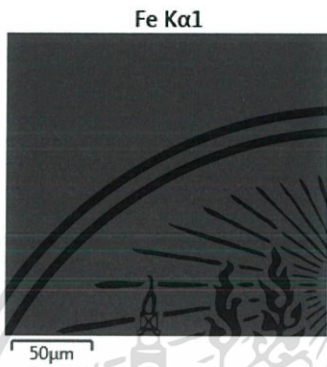
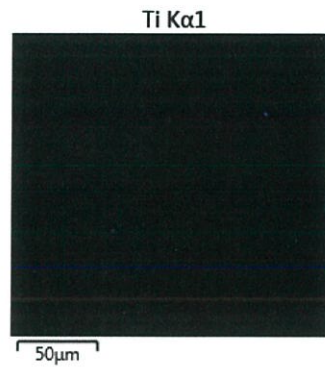
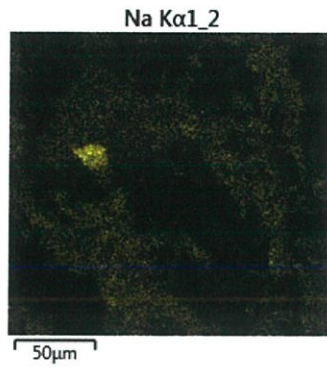
O				71.49		66.48			
Na	K series	0.98	0.00412	0.22	0.00	0.14	Albite	Yes	
Mg	K series	0.11	0.00071	0.02	0.00	0.02	MgO	Yes	
Al	K series	4.87	0.03498	0.96	0.00	0.53	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	6.56	0.05199	1.18	0.00	0.63	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.00	0.00000	0.00	0.00	0.00	GaP	Yes	
K	K series	0.58	0.00494	0.09	0.00	0.03	KBr	Yes	
Ca	K series	0.14	0.00124	0.02	0.00	0.01	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.33	0.00326	0.06	0.00	0.02	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EDS Layered Image 20

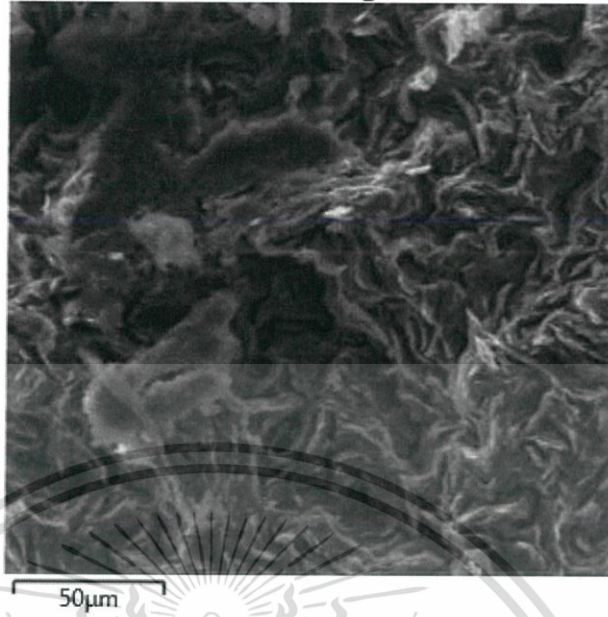


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 20



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor	Standard	Standard Calibration Date
C	K series	70.71	0.707	26.0	0.05	32.1	C Vit	Yes		

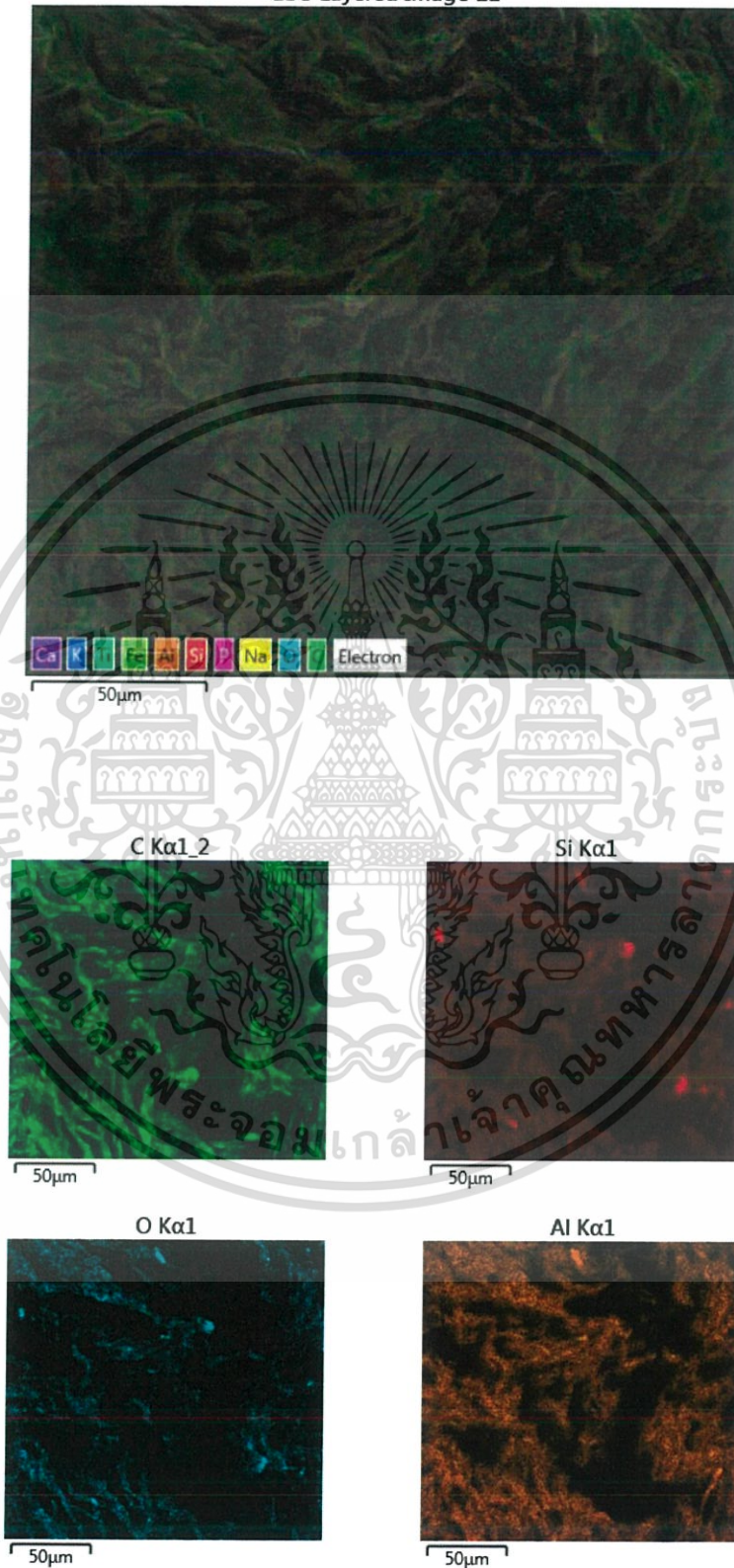
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O				71.54		66.49			
Na	K series	1.02	0.00429	0.21	0.00	0.14	Albite	Yes	
Mg	K series	0.11	0.00075	0.02	0.00	0.02	MgO	Yes	
Al	K series	4.86	0.03492	0.92	0.00	0.51	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	6.64	0.05259	1.14	0.00	0.60	SiO <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.58	0.00488	0.08	0.00	0.03	KBr	Yes	
Ca	K series	0.14	0.00123	0.02	0.00	0.01	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.31	0.00310	0.06	0.00	0.02	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

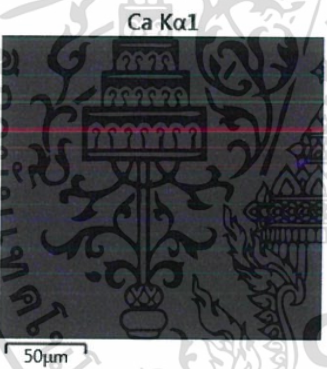
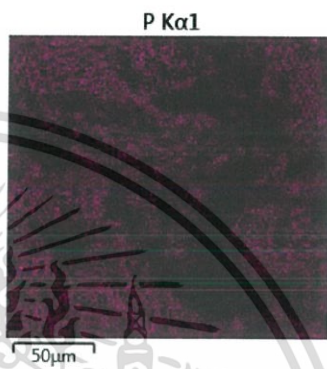
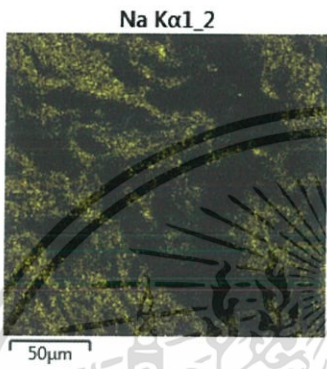
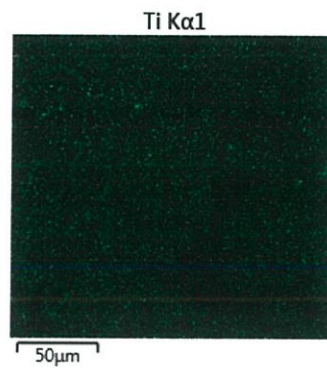
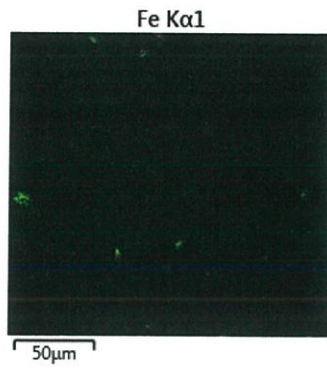
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B

EDS Layered Image 11

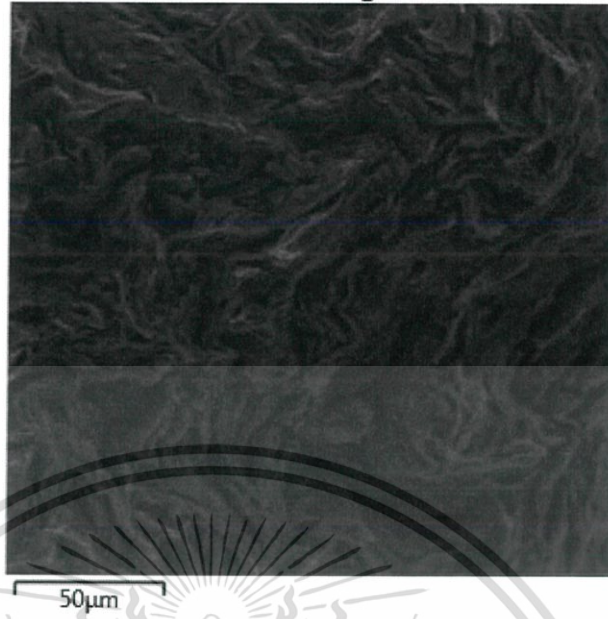


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 10



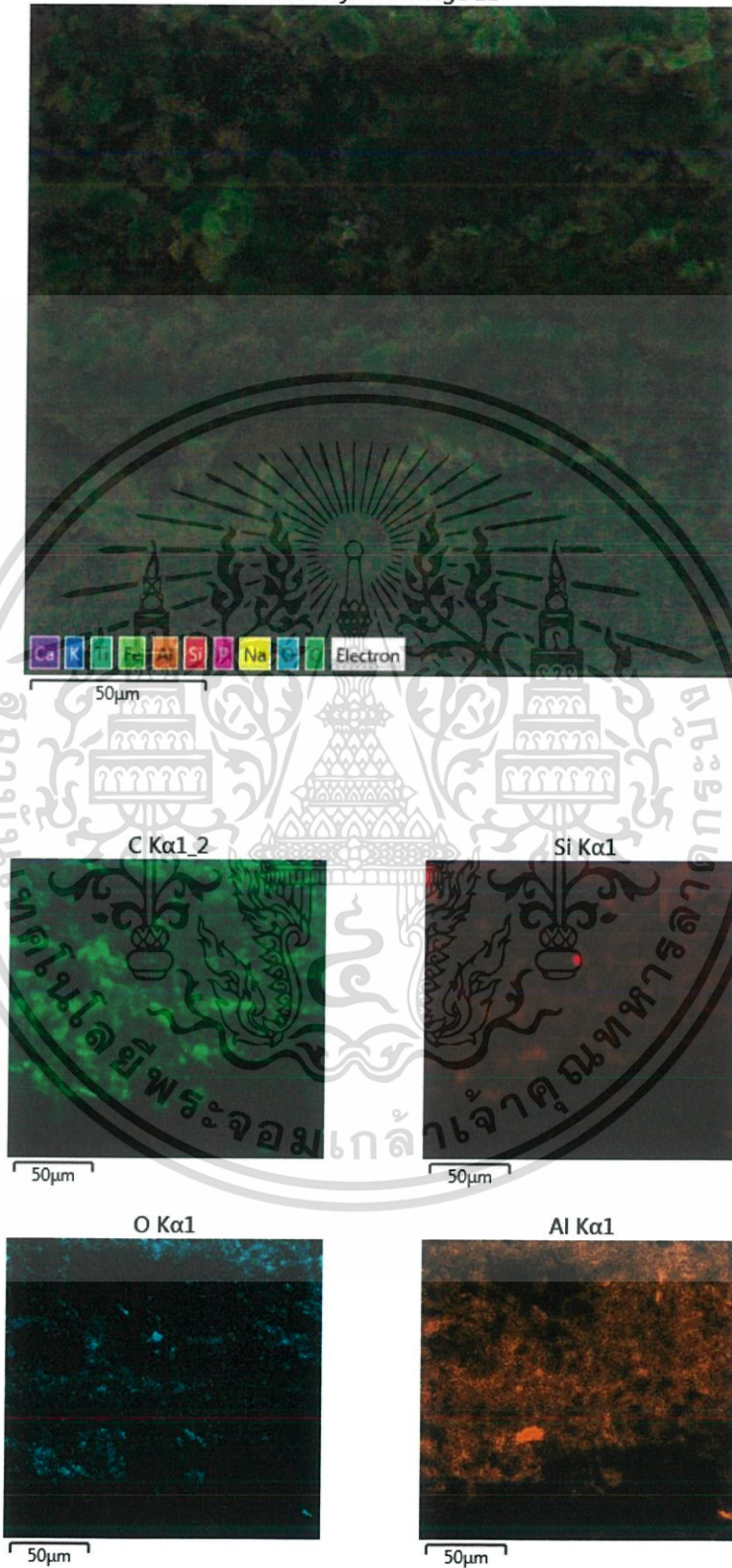
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor	Standard
C	K series	66.79	0.66788	25.60	0.06	31.83	C Vit	Yes	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

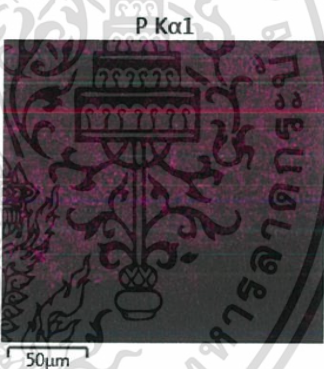
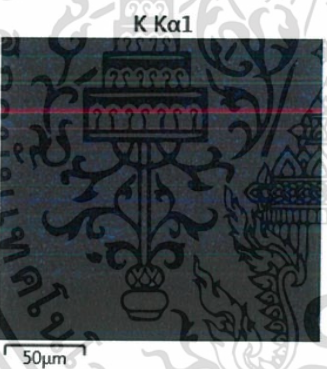
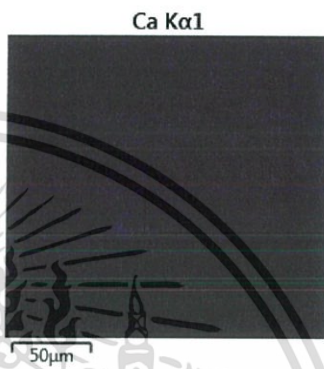
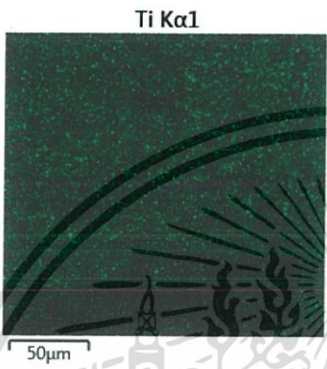
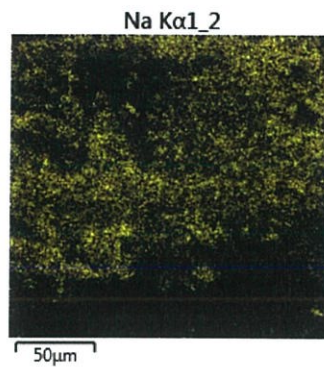
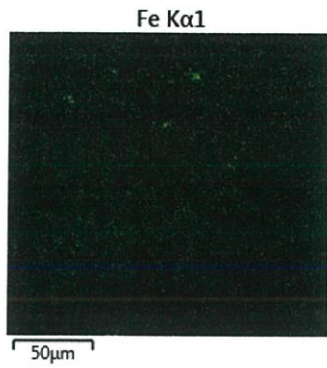
O				71.21		66.47			
Na	K series	0.97	0.00410	0.20	0.00	0.13	Albite	Yes	
Mg	K series	0.13	0.00089	0.03	0.00	0.02	MgO	Yes	
Al	K series	6.54	0.04699	1.24	0.00	0.68	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	8.28	0.06560	1.43	0.00	0.76	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.43	0.00238	0.05	0.00	0.02	GaP	Yes	
S	K series	0.06	0.00048	0.01	0.00	0.00	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.32	0.00272	0.05	0.00	0.02	KBr	Yes	
Ca	K series	0.24	0.00210	0.04	0.00	0.01	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.84	0.00840	0.15	0.00	0.05	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือดัดแปลง  
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้'

EDS Layered Image 12

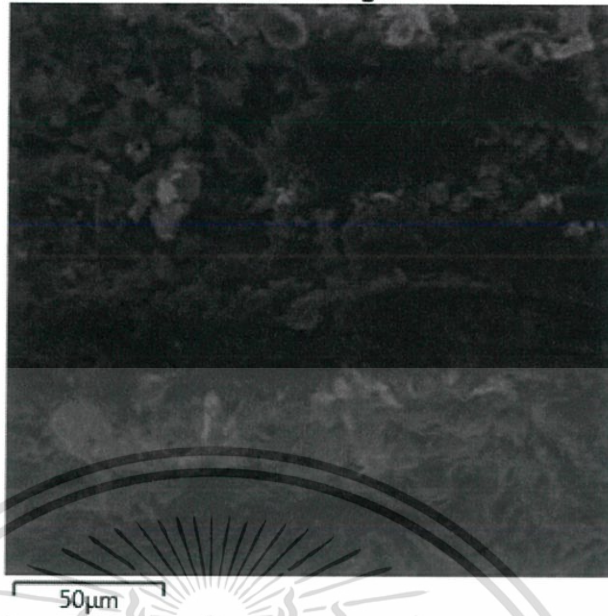


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 11



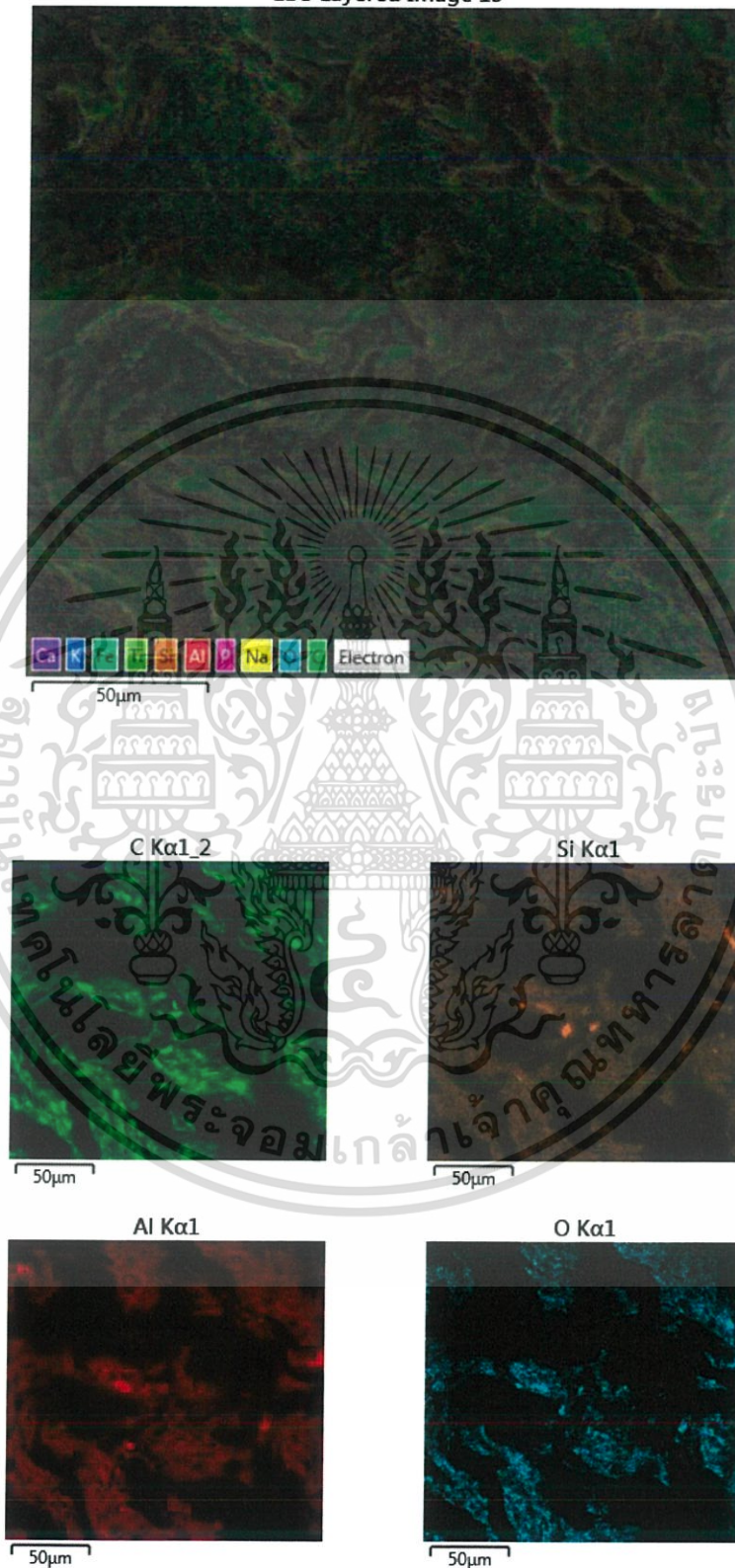
Element	Line Series	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor	Standard	Standard Calibration Date
C	K	52.66	0.52664	25.54	0.07	31.77	C Vit	Yes		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

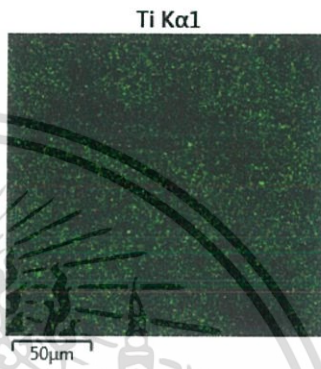
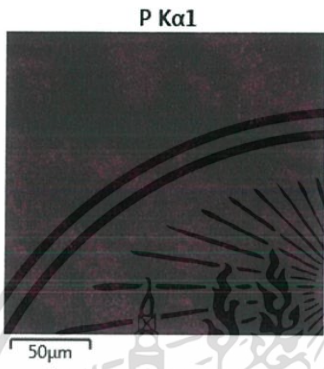
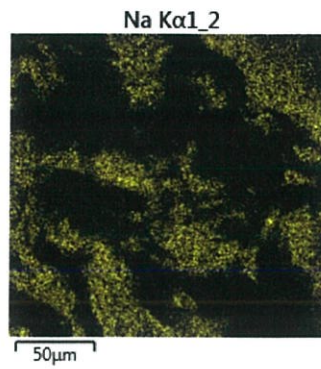
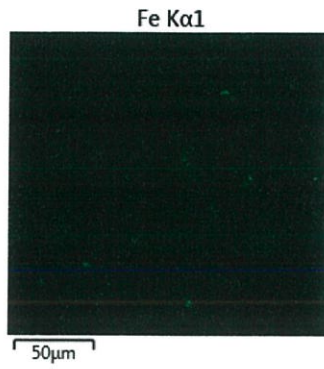
O				71.17		66.47			
Na	K series	0.77	0.00324	0.20	0.00	0.13	Albite	Yes	
Mg	K series	0.10	0.00064	0.03	0.00	0.02	MgO	Yes	
Al	K series	5.37	0.03858	1.27	0.01	0.71	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	6.90	0.05468	1.49	0.01	0.80	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.37	0.00208	0.05	0.00	0.03	GaP	Yes	
S	K series	0.04	0.00031	0.01	0.00	0.00	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.26	0.00218	0.05	0.00	0.02	KBr	Yes	
Ca	K series	0.18	0.00160	0.03	0.00	0.01	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.67	0.00671	0.15	0.00	0.05	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้'

EDS Layered Image 13

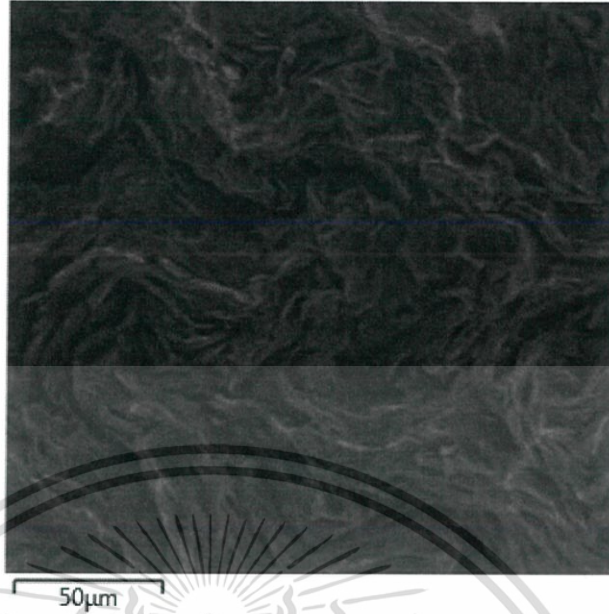


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 12



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor Standard	Standard Calibration Date
C	K series	53.90	0.53902	25.57	0.07	31.81	C Vit	Yes	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O				71.18		66.47			
Na	K series	0.83	0.00351	0.22	0.00	0.14	Albite	Yes	
Mg	K series	0.11	0.00072	0.03	0.00	0.02	MgO	Yes	
Al	K series	5.36	0.03853	1.25	0.01	0.69	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	6.73	0.05332	1.43	0.01	0.76	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.35	0.00198	0.05	0.00	0.02	GaP	Yes	
S	K series	0.03	0.00026	0.01	0.00	0.00	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.28	0.00237	0.05	0.00	0.02	KBr	Yes	
Ca	K series	0.20	0.00181	0.04	0.00	0.01	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.77	0.00768	0.17	0.00	0.05	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้'

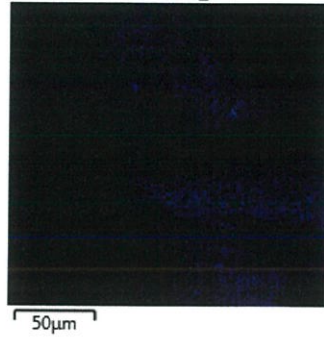
C

EDS Layered Image 21

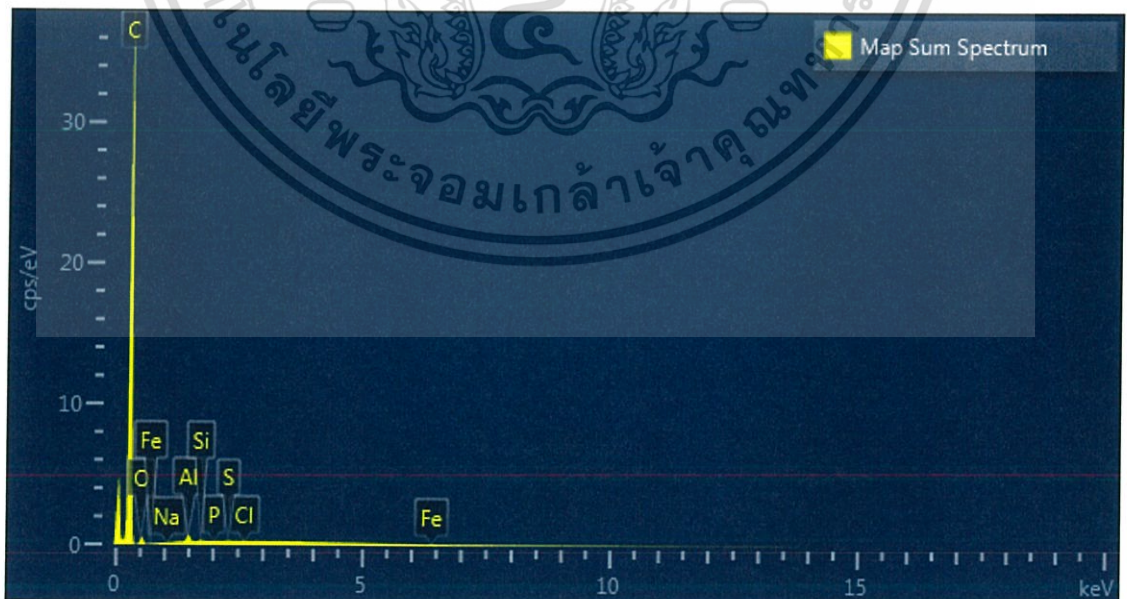
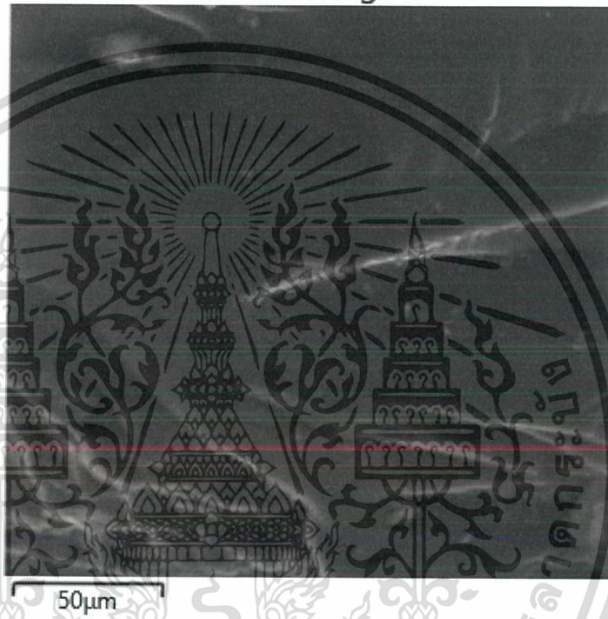


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Na K $\alpha$ 1\_2



Electron Image 21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor Standard	Standard Calibration Date
C	K series	47.25	0.47250	27.22	0.057	33.27	C Vit	Yes	
O				72.63		66.66			
Na	K series	0.00	0.00000	0.00	0.00	0.00	Albite	Yes	
Al	K series	0.29	0.00208	0.10	0.00	0.05	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	0.06	0.00045	0.02	0.00	0.01	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.00	0.00000	0.00	0.00	0.00	GaP	Yes	
S	K series	0.04	0.00032	0.01	0.00	0.00	FeS <sub>2</sub>	Yes	
Cl	K series	0.03	0.00023	0.01	0.00	0.00	NaCl	Yes	
Fe	K series	0.05	0.00051	0.02	0.00	0.00	Fe	Yes	
Total:				100.00		100.00			

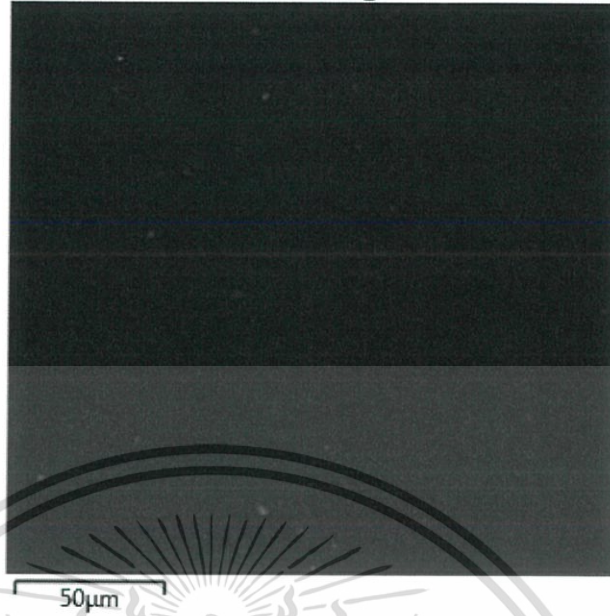
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะโดยวิธีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยและต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EDS Layered Image 22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 22



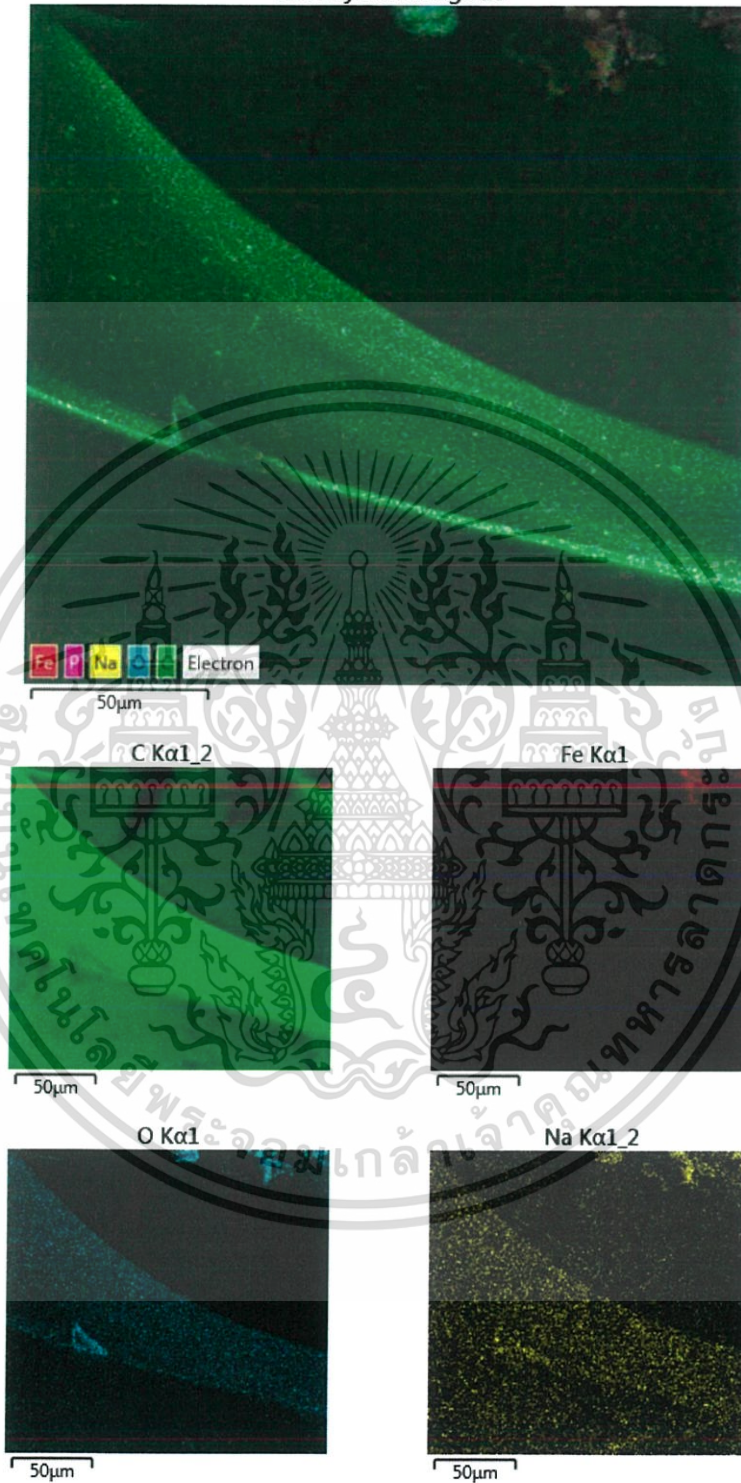
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor Standard	Standard Calibration Date
C	K series	195.04	1.95040	27.29	0.02	33.33	C Vit	Yes	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

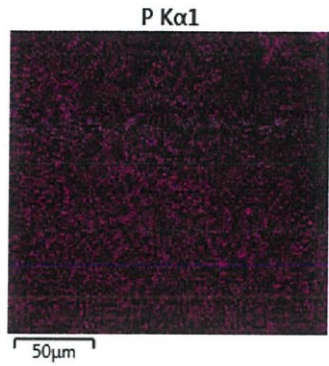
O				72.7 0		66.6 7			
Na	K series	0.00	0.000 00	0.00	0.00	0.00	Albite	Yes	
Al	K series	0.05	0.000 34	0.00	0.00	0.00	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	0.07	0.000 57	0.01	0.00	0.00	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.00	0.000 00	0.00	0.00	0.00	GaP	Yes	
Total:				100. 00		100. 00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

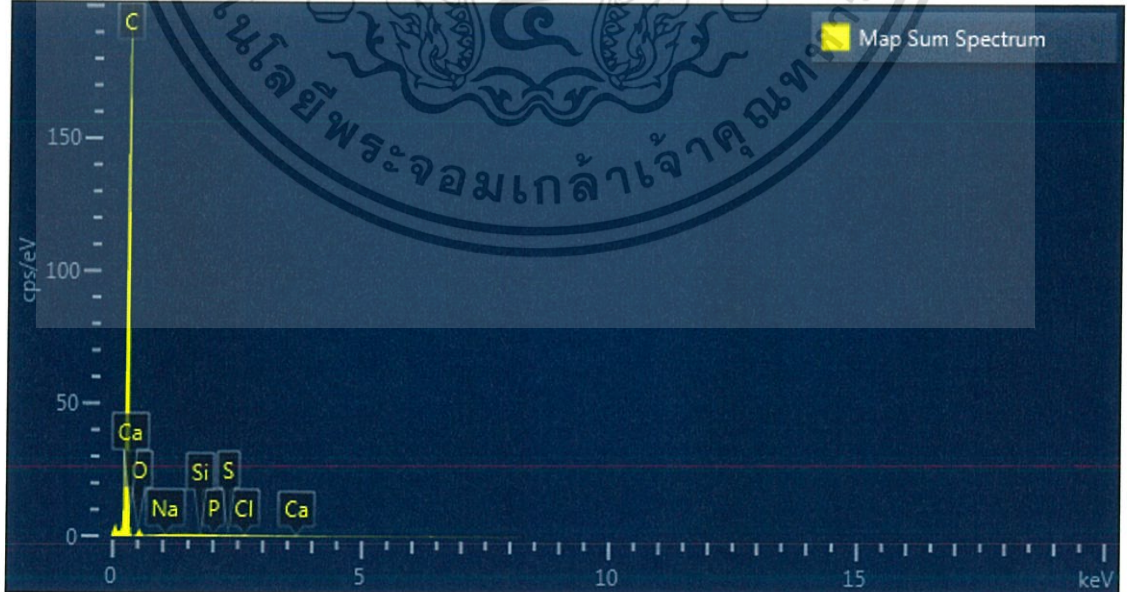
EDS Layered Image 23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Electron Image 23



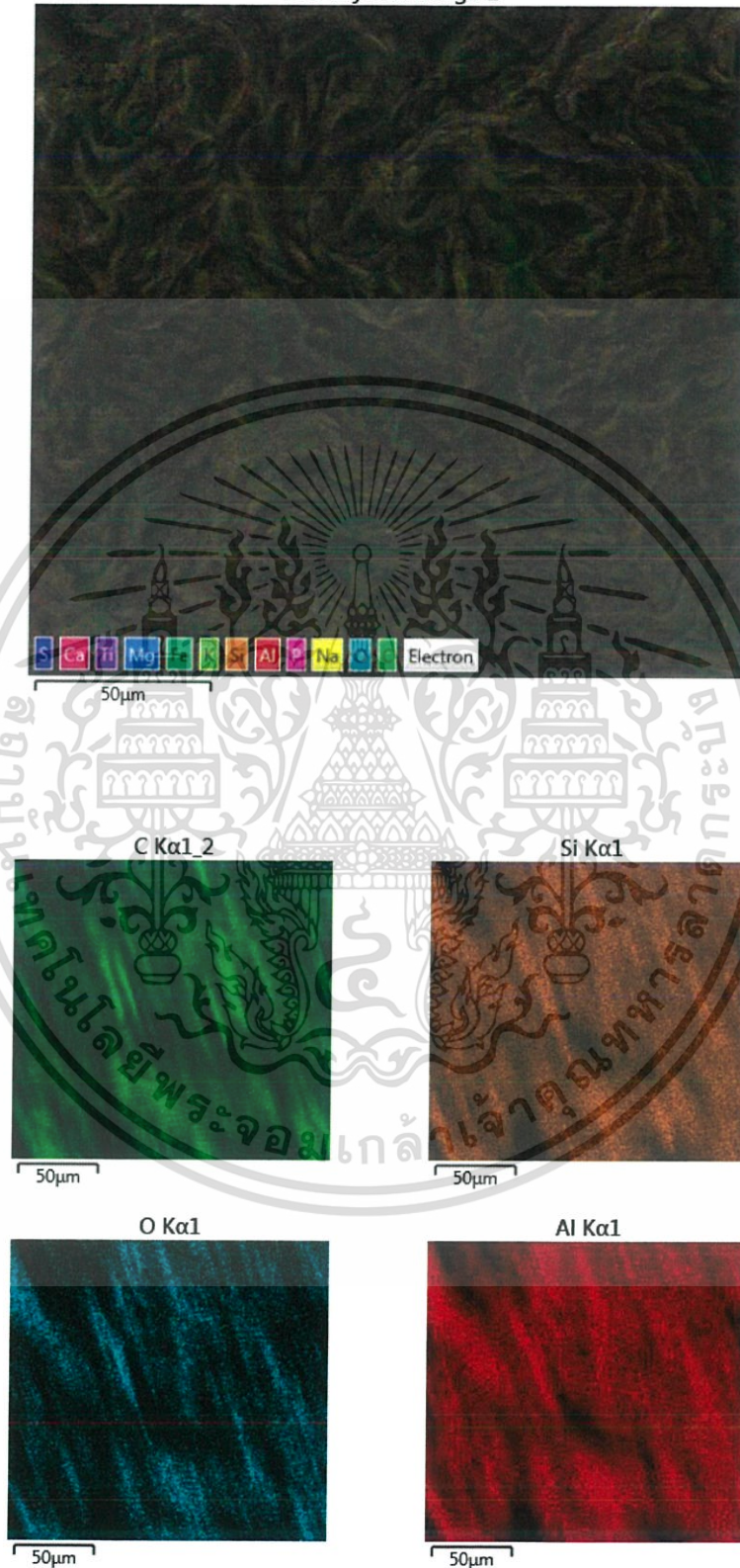
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor Standard	Standard Calibration Date
C	K series	244.89	2.44887	27.28	0.02	33.33	C Vit	Yes	
O				72.70		66.66			
Na	K series	0.09	0.00036	0.01	0.00	0.00	Albite	Yes	
Si	K series	0.09	0.00072	0.01	0.00	0.00	SiO2	Yes	
P	K series	0.00	0.00000	0.00	0.00	0.00	GaP	Yes	
S	K series	0.03	0.00029	0.00	0.00	0.00	FeS2	Yes	
Cl	K series	0.10	0.00084	0.01	0.00	0.00	NaCl	Yes	
Ca	K series	0.06	0.00052	0.00	0.00	0.00	Wollastonite	Yes	
Total:				100.00		100.00			

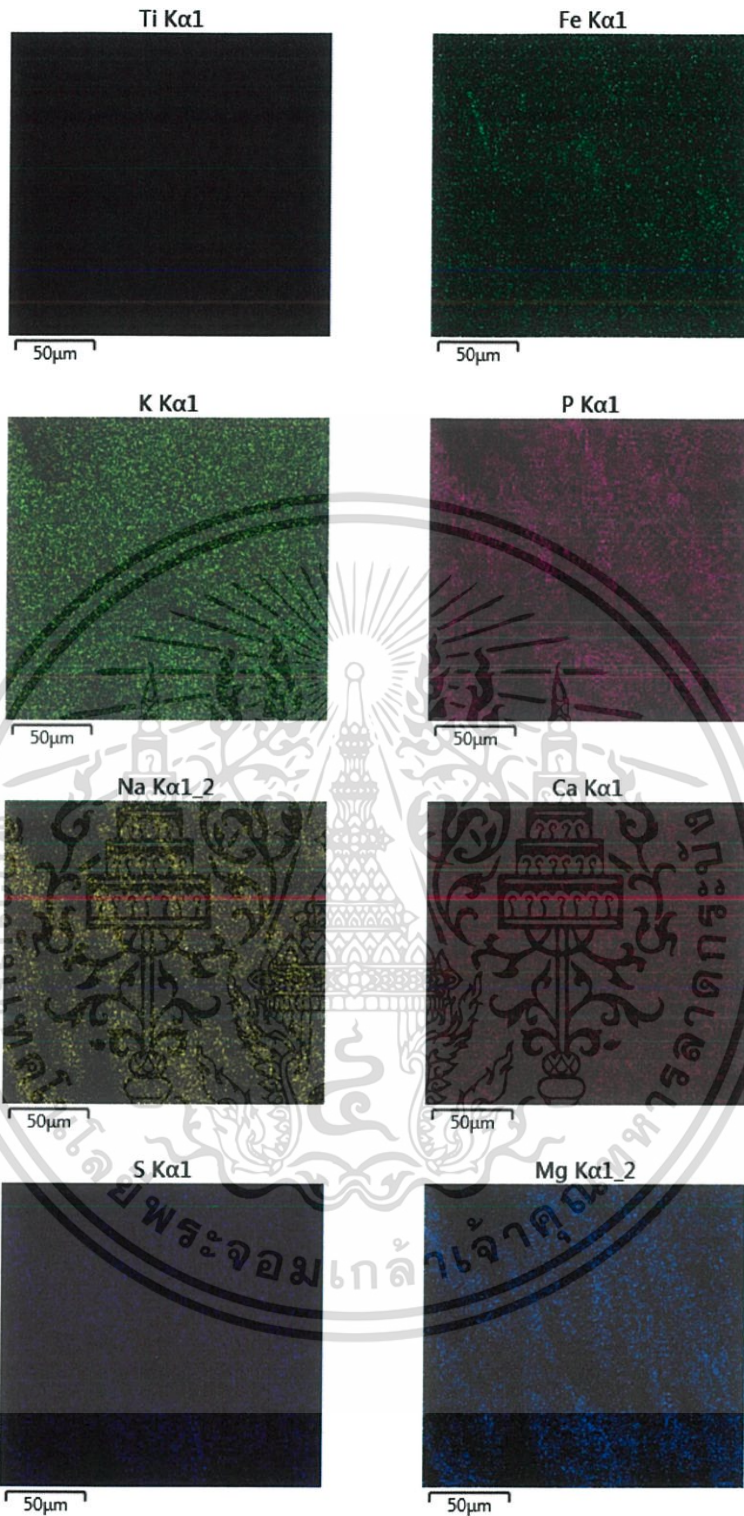
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H

EDS Layered Image 1

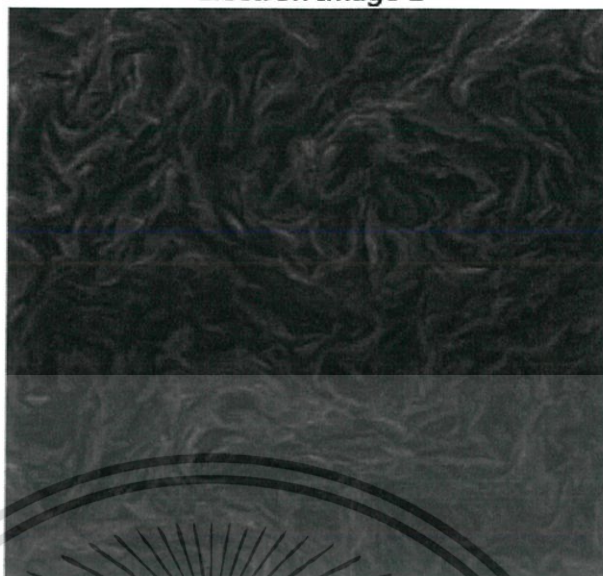


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 1



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt% Wt %	Wt % Sigma	Ato mic %	Standard Label	Factor y Stand ard	Stand ar d Calibrat ion Date
C	K series	53.71	0.53708	24.65	0.07	30.96	C Vit	Yes	

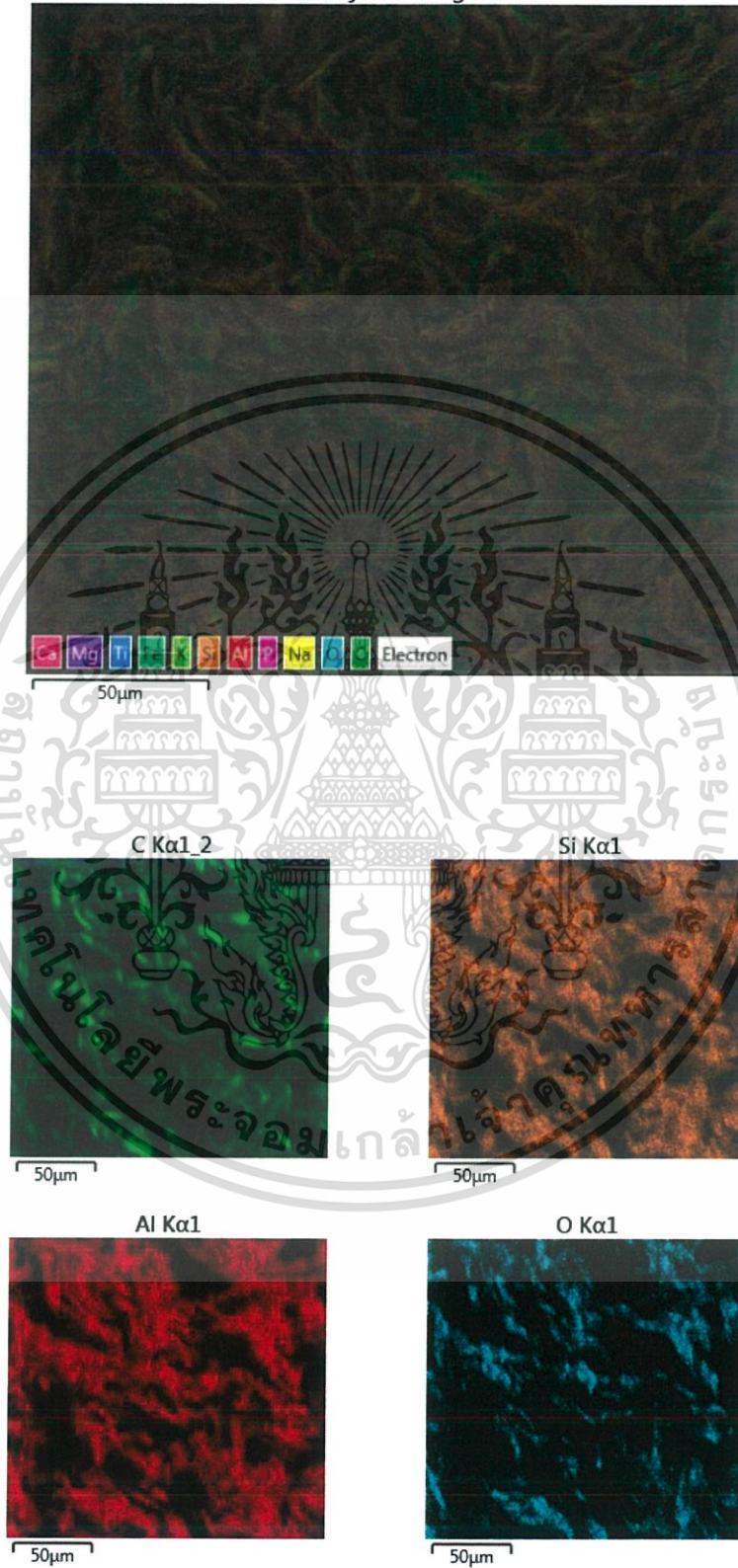
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O				70.4 4		66.4 1			
Na	K series	0.43	0.001 81	0.10	0.00	0.06	Albite	Yes	
Mg	K series	0.26	0.001 72	0.06	0.00	0.04	MgO	Yes	
Al	K series	9.61	0.069 03	1.97	0.01	1.10	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	12.53	0.099 29	2.37	0.01	1.27	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.55	0.003 06	0.07	0.00	0.03	GaP	Yes	
S	K series	0.07	0.000 63	0.01	0.00	0.01	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	1.01	0.008 55	0.16	0.00	0.06	KBr	Yes	
Ca	K series	0.29	0.002 60	0.05	0.00	0.02	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.57	0.005 71	0.11	0.00	0.04	Ti	Yes	
Total:				100. 00		100. 00			

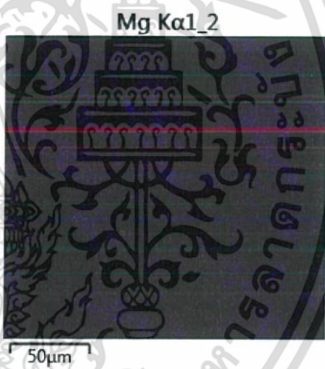
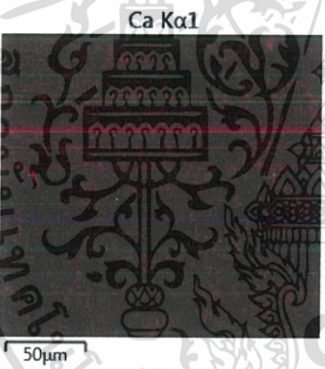
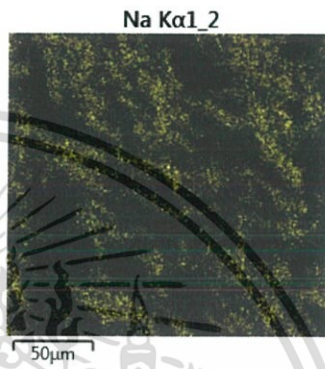
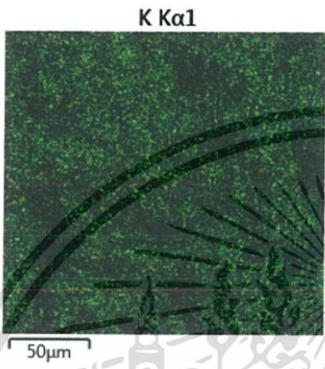
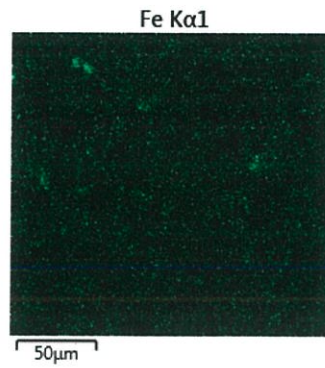
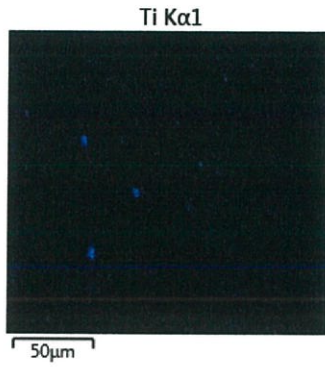
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้'

H-1

EDS Layered Image 2

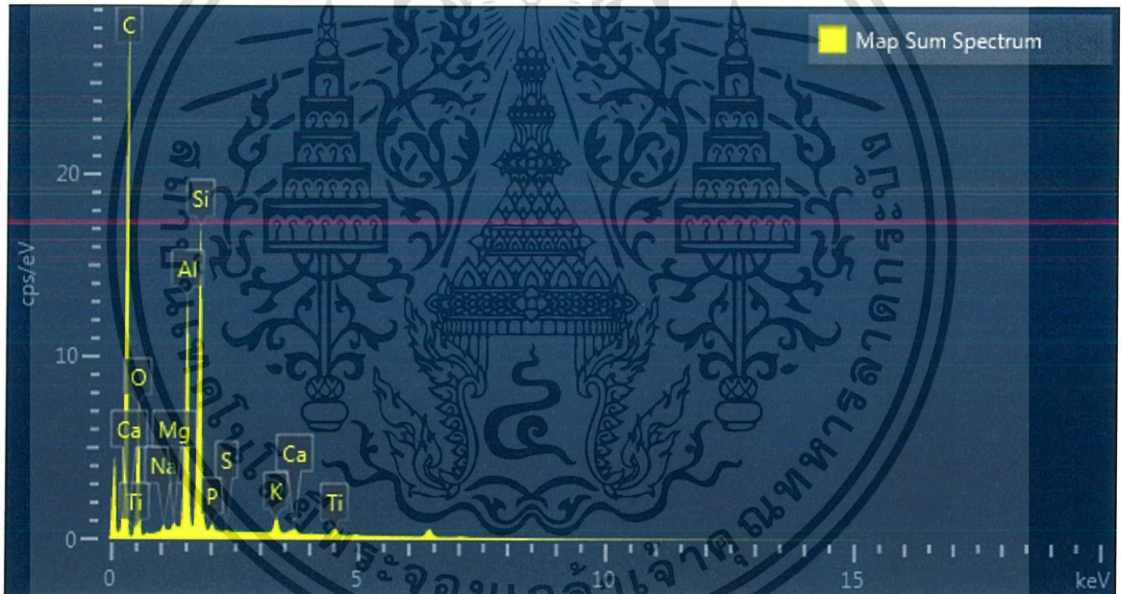
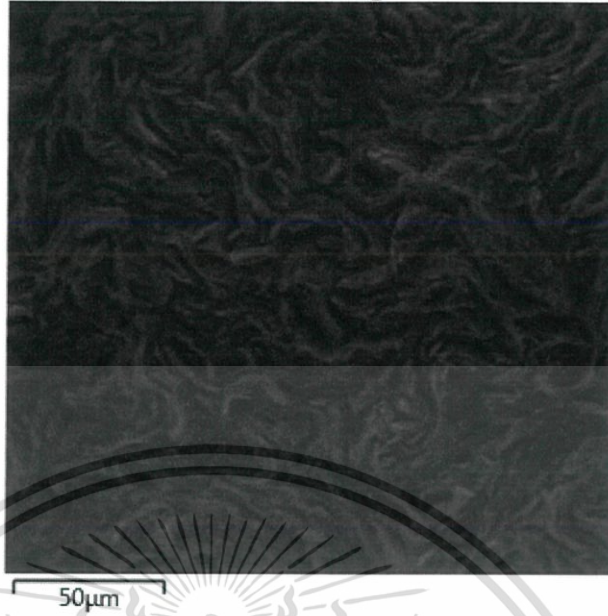


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 2



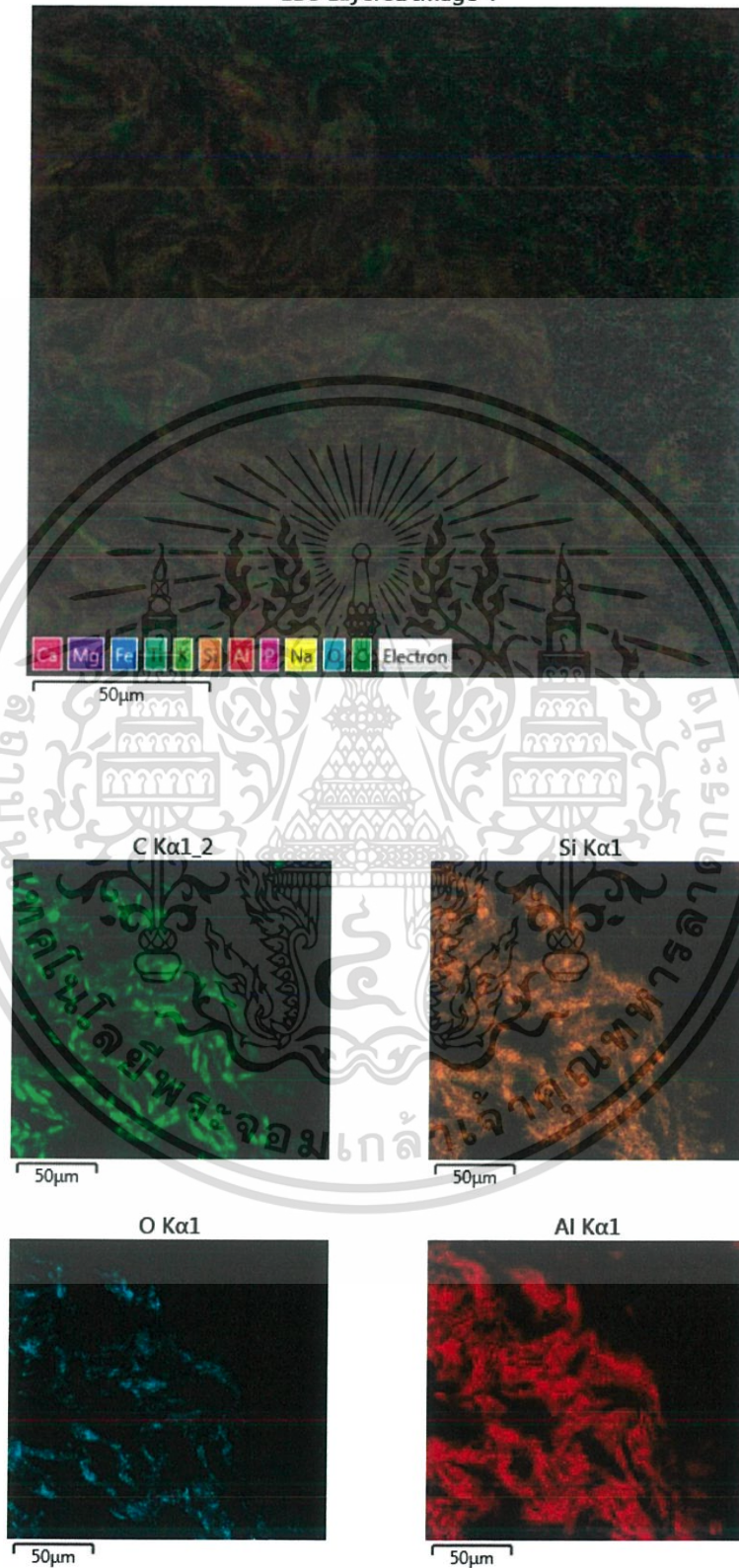
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor	Standard	Standard Calibration Date
C	K series	40.83	0.408	24.5	0.07	30.8	C Vit	Yes		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

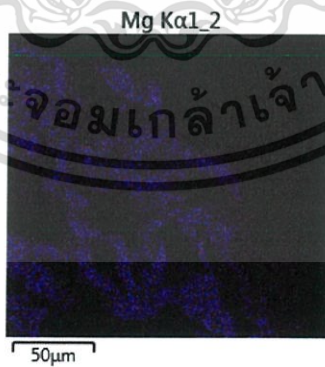
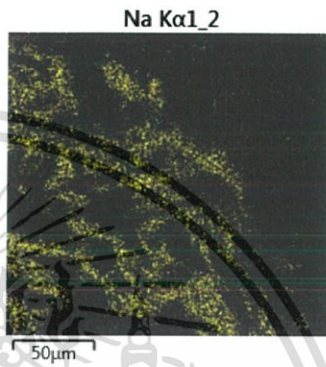
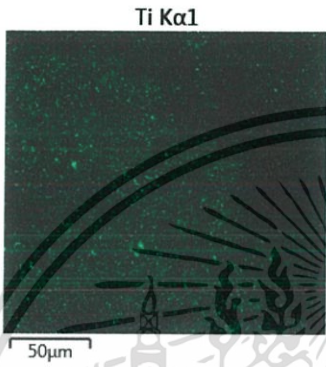
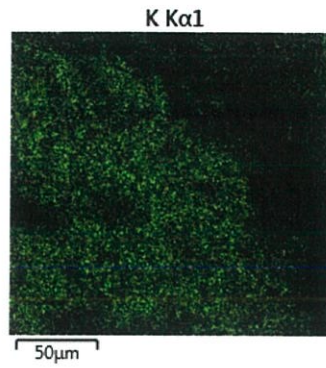
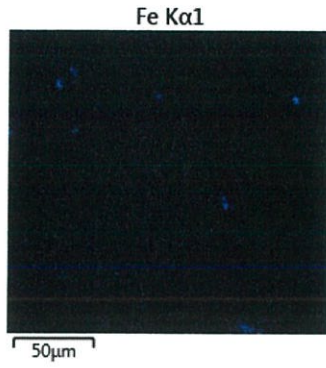
O				70.36		66.40			
Na	K series	0.32	0.00136	0.10	0.00	0.06	Albite	Yes	
Mg	K series	0.20	0.00131	0.06	0.00	0.04	MgO	Yes	
Al	K series	7.53	0.05410	2.01	0.01	1.12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	9.94	0.07877	2.45	0.01	1.32	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.41	0.00232	0.07	0.00	0.03	GaP	Yes	
S	K series	0.06	0.00050	0.01	0.00	0.01	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.87	0.00740	0.18	0.00	0.07	KBr	Yes	
Ca	K series	0.26	0.00231	0.06	0.00	0.02	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.52	0.00516	0.13	0.00	0.04	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้'

EDS Layered Image 4

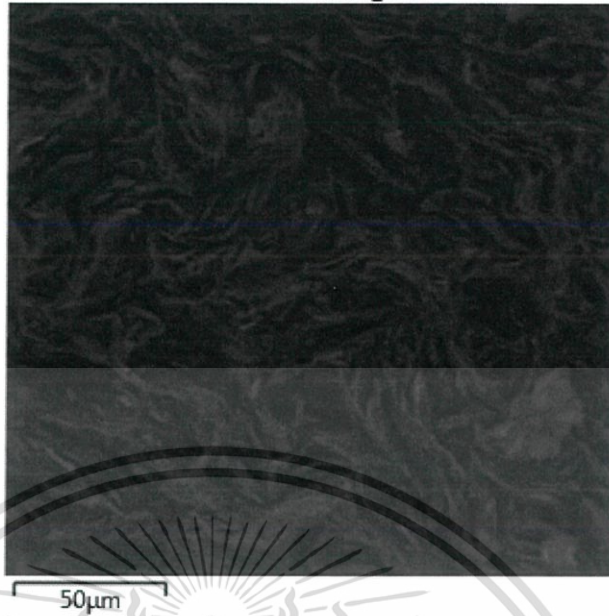


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 3



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt% 1	Wt % Sigma	Atomic % 2	Standard Label	Factor Standard	Standard Calibration Date
C	K series	28.48	0.28477	24.61	0.09	30.92	C Vit	Yes	

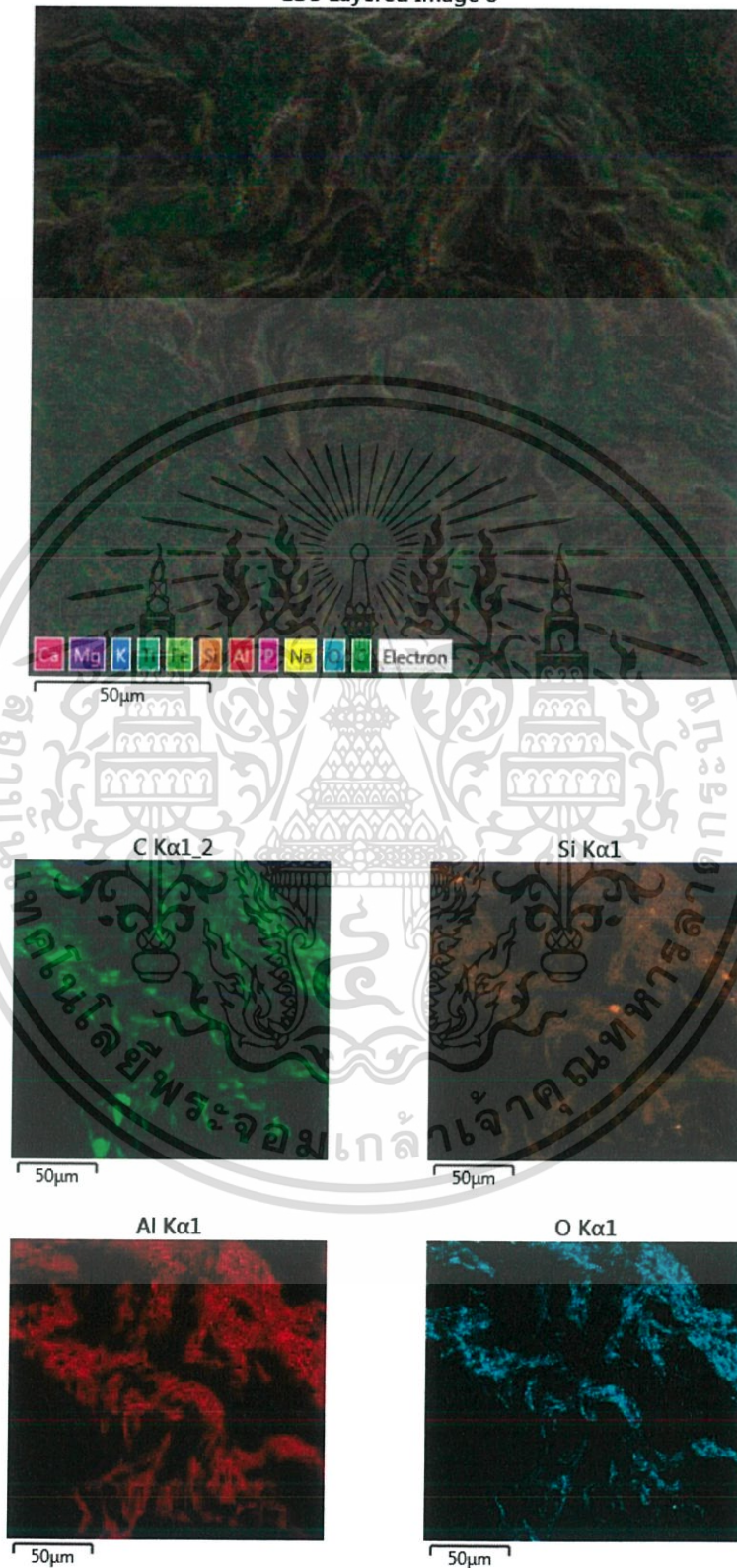
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O				70.39		66.40			
Na	K series	0.22	0.00094	0.10	0.00	0.06	Albite	Yes	
Mg	K series	0.12	0.00080	0.05	0.00	0.03	MgO	Yes	
Al	K series	5.15	0.03700	1.98	0.01	1.11	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	6.76	0.05357	2.40	0.01	1.29	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.30	0.00166	0.07	0.00	0.03	GaP	Yes	
S	K series	0.04	0.00034	0.01	0.00	0.01	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.61	0.00516	0.18	0.00	0.07	KBr	Yes	
Ca	K series	0.18	0.00161	0.06	0.00	0.02	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.39	0.00393	0.15	0.00	0.05	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

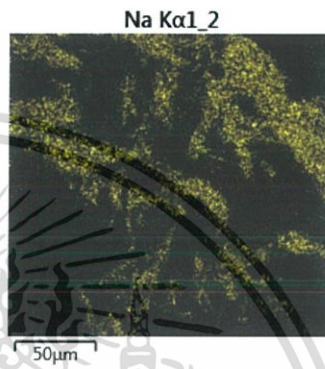
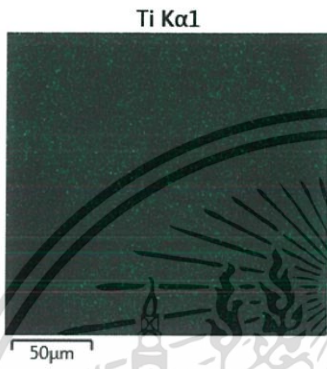
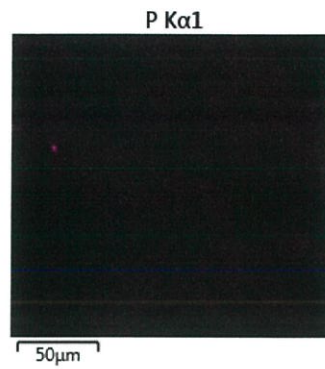
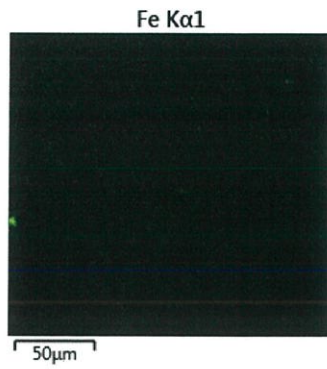
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้'

HB

EDS Layered Image 8

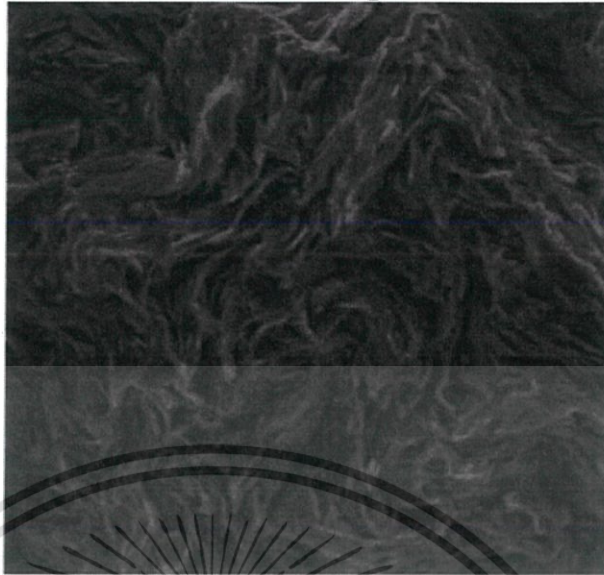


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 7



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor	Standard	Standard Calibration Date
C	K series	45.91	0.45905	25.60	0.07	31.83	C Vit	Yes		

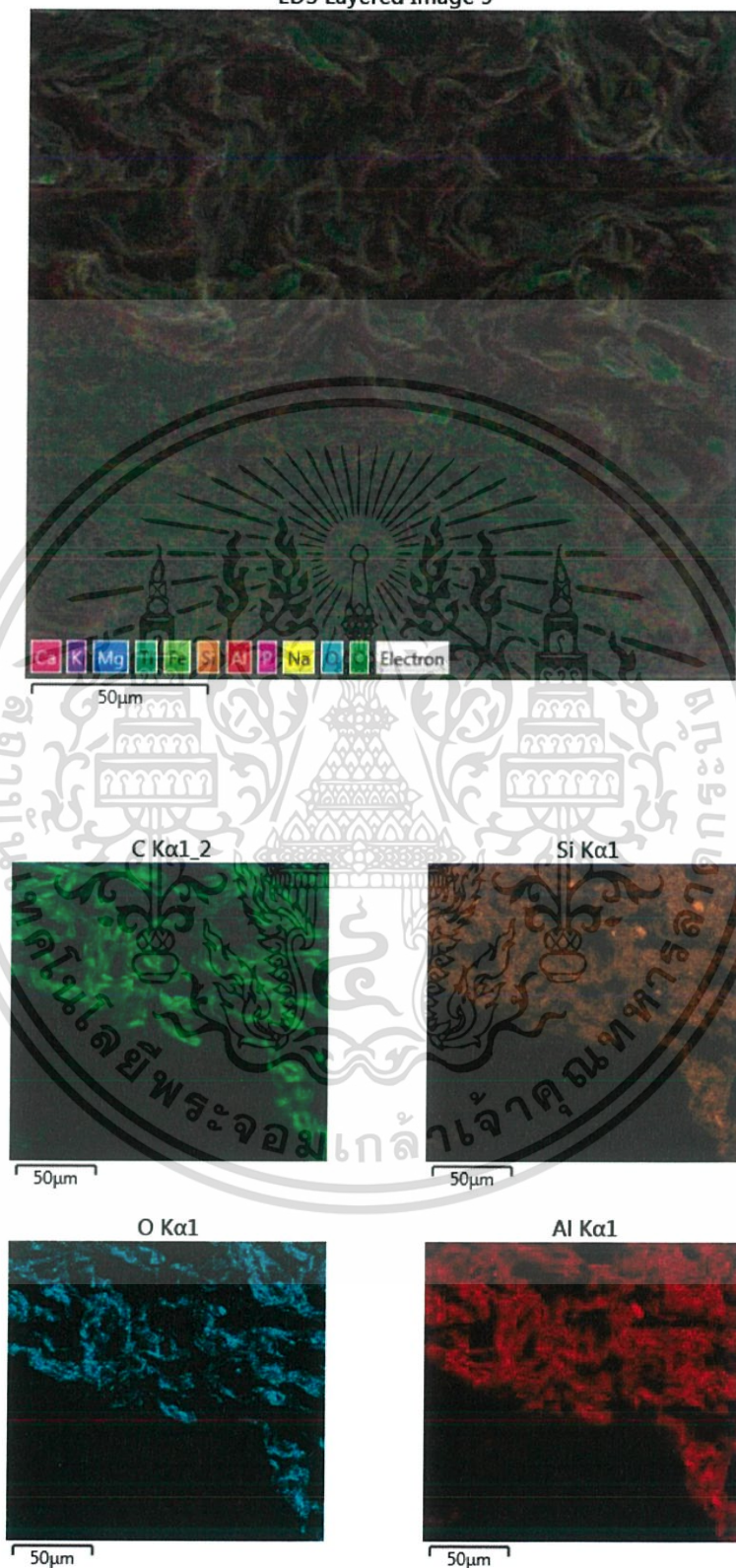
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O				71.20		66.47			
Na	K series	0.62	0.00263	0.19	0.00	0.12	Albite	Yes	
Mg	K series	0.10	0.00065	0.03	0.00	0.02	MgO	Yes	
Al	K series	4.47	0.03210	1.23	0.01	0.68	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	5.56	0.04408	1.40	0.01	0.74	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.30	0.00169	0.05	0.00	0.02	GaP	Yes	
S	K series	0.03	0.00027	0.01	0.00	0.00	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.24	0.00206	0.05	0.00	0.02	KBr	Yes	
Ca	K series	0.20	0.00175	0.04	0.00	0.02	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.76	0.00758	0.20	0.00	0.06	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

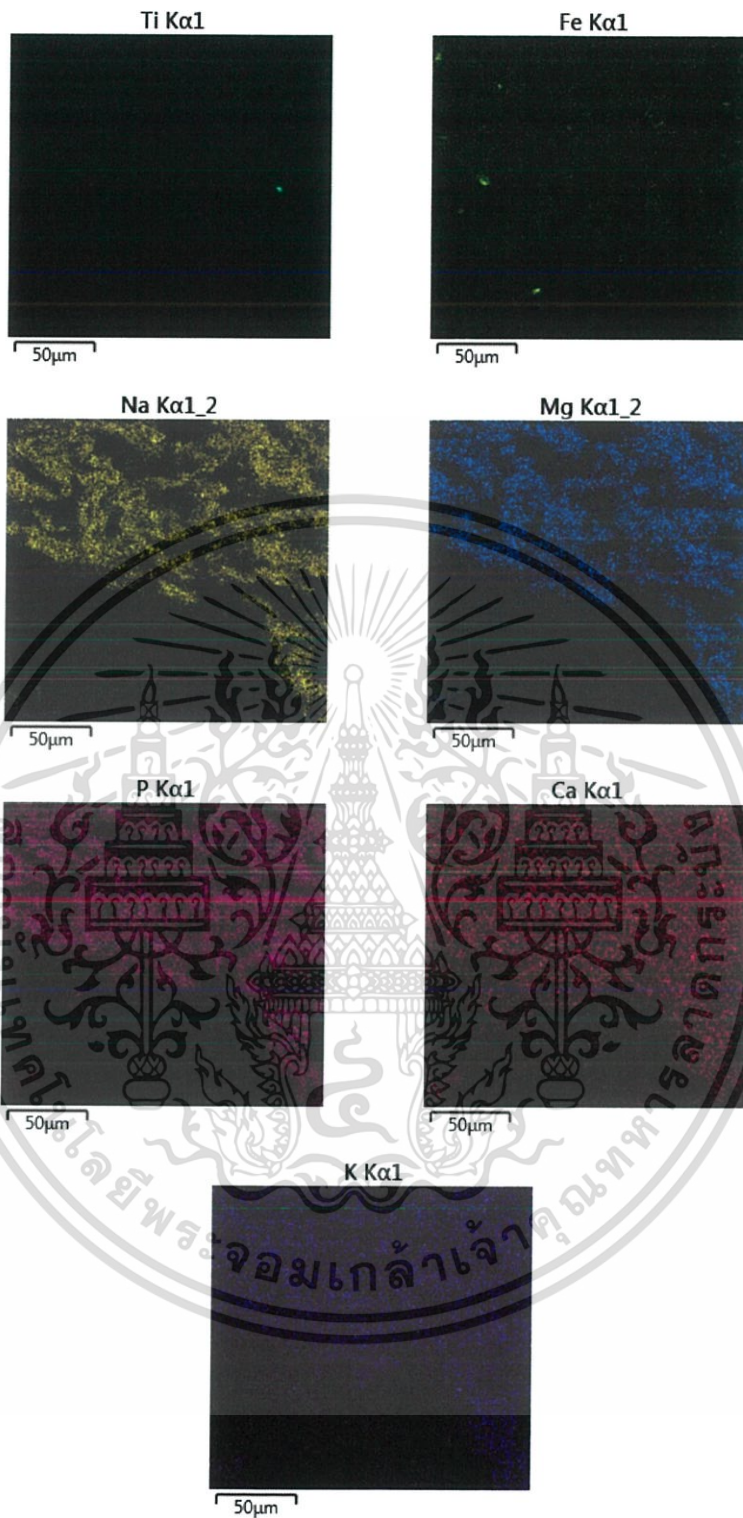
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้'

HB-1

EDS Layered Image 9

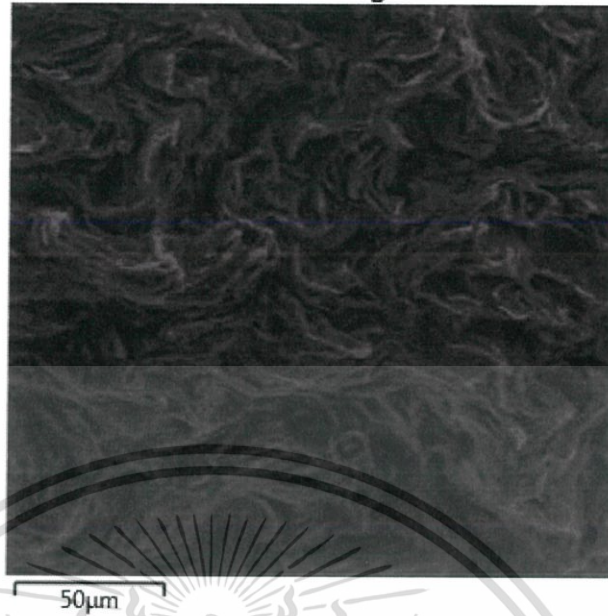


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 8



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor Standard	Standard Calibration Date
C	K series	49.44	0.49439	25.54	0.078	31.78	C Vit	Yes	

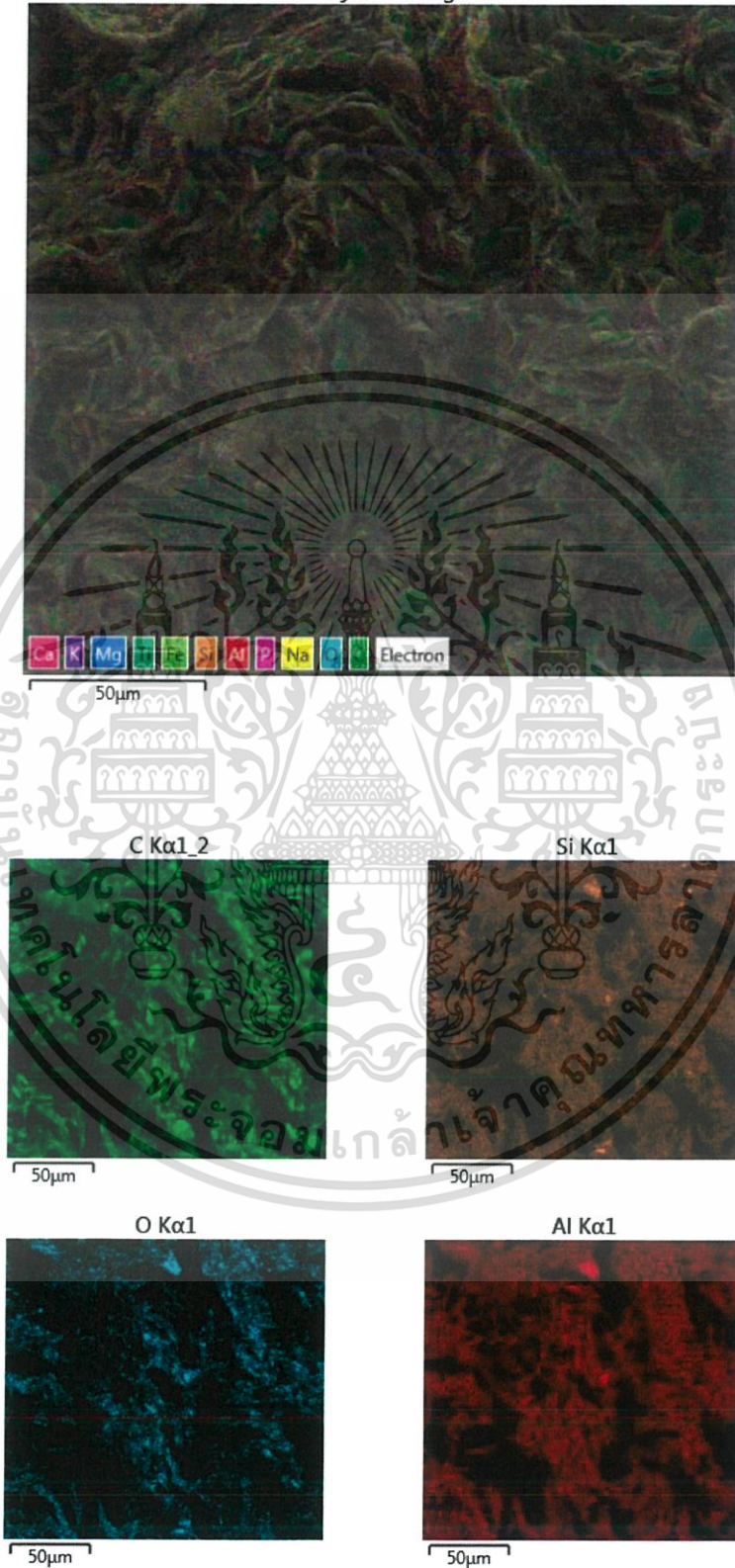
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O				71.16		66.47			
Na	K series	0.72	0.00306	0.20	0.00	0.13	Albite	Yes	
Mg	K series	0.10	0.00069	0.03	0.00	0.02	MgO	Yes	
Al	K series	5.11	0.03668	1.29	0.01	0.72	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	6.26	0.04962	1.45	0.01	0.77	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.34	0.00193	0.05	0.00	0.03	GaP	Yes	
S	K series	0.03	0.00027	0.01	0.00	0.00	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.24	0.00205	0.05	0.00	0.02	KBr	Yes	
Ca	K series	0.19	0.00171	0.04	0.00	0.01	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.74	0.00738	0.18	0.00	0.06	Ti	Yes	
Total:				100.00		100.00			

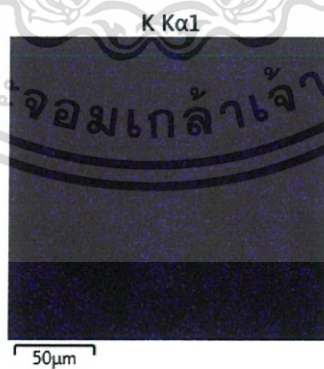
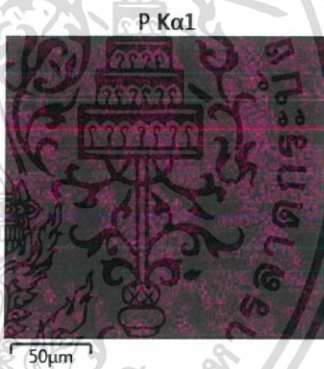
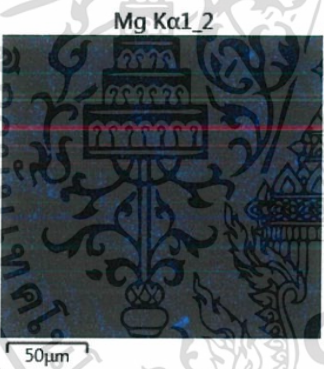
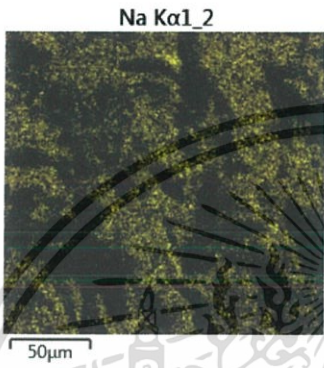
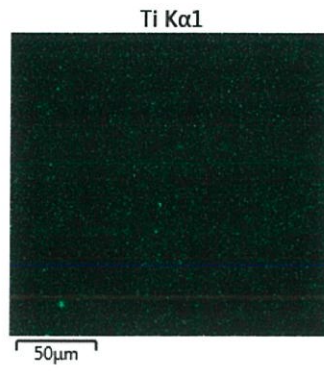
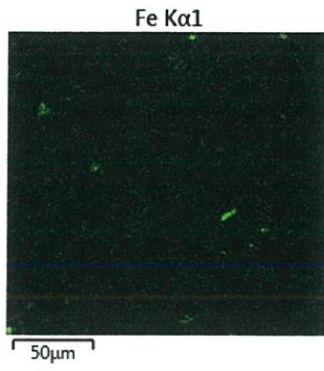
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น  
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้'

HB-2

EDS Layered Image 10

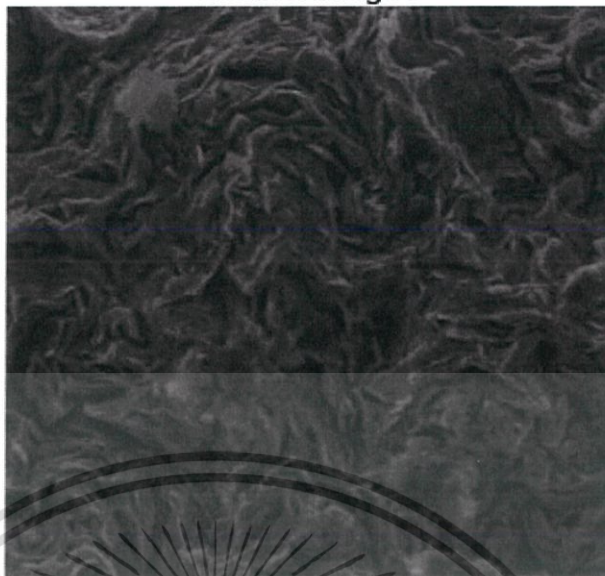


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electron Image 9



Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt % Sigma	Atomic %	Standard Label	Factor Standard	Standard Calibration Date
C	K series	69.99	0.69990	25.49	0.06	31.73	C Vit	Yes	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O				71.1 2		66.4 5			
Na	K series	1.13	0.004 77	0.22	0.00	0.15	Albite	Yes	
Mg	K series	0.17	0.001 10	0.03	0.00	0.02	MgO	Yes	
Al	K series	7.59	0.054 54	1.35	0.00	0.75	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yes	
Si	K series	9.23	0.073 15	1.50	0.00	0.80	SiO <sub>2</sub>	Yes	
P	K series	0.44	0.002 46	0.05	0.00	0.02	GaP	Yes	
S	K series	0.04	0.000 33	0.01	0.00	0.00	FeS <sub>2</sub>	Yes	
K	K series	0.34	0.002 88	0.05	0.00	0.02	KBr	Yes	
Ca	K series	0.25	0.002 21	0.03	0.00	0.01	Wollastonite	Yes	
Ti	K series	0.90	0.008 98	0.15	0.00	0.05	Ti	Yes	
Total:				100. 00		100. 00			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้