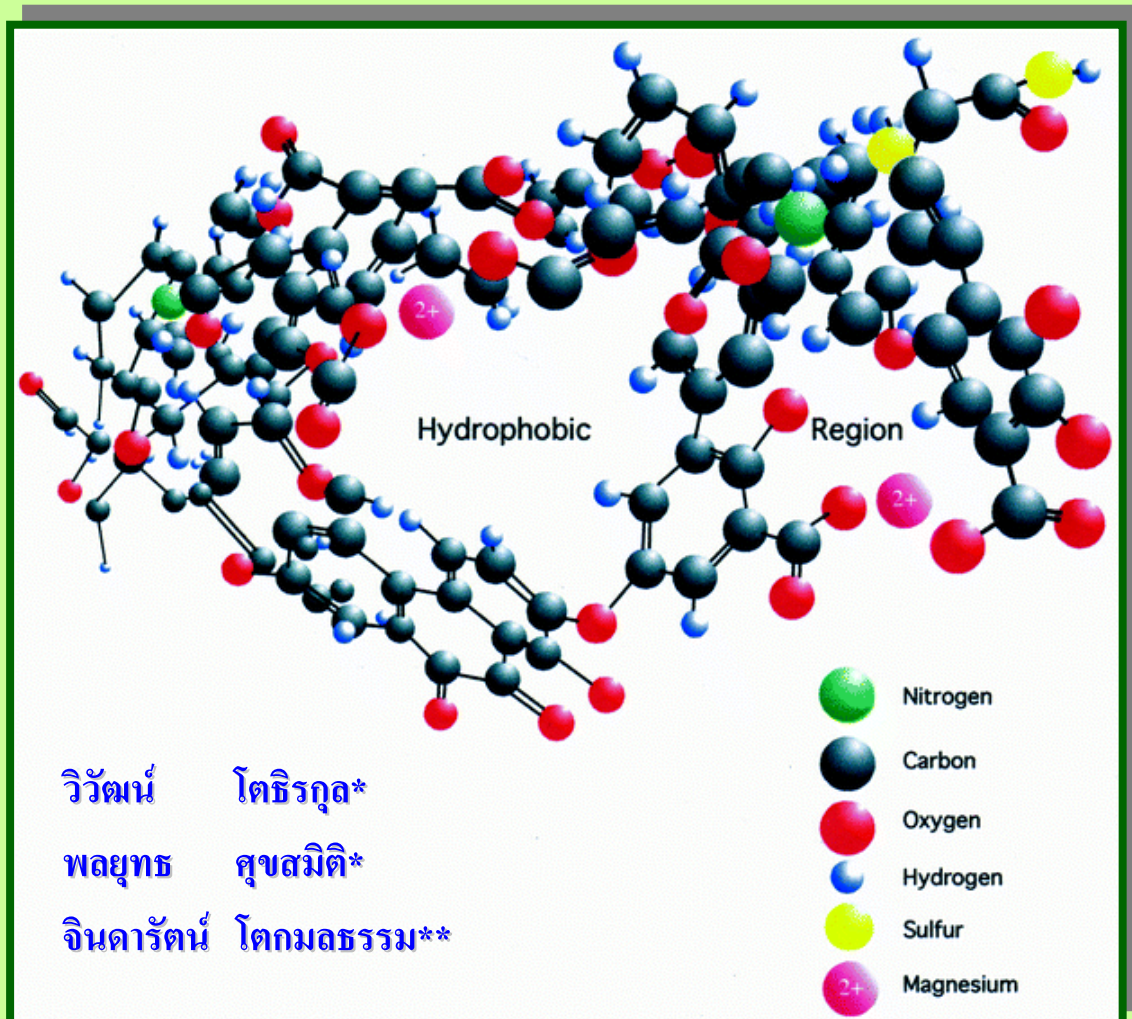


**เอกสารงานวิจัย:**  
**การเตรียมสารประกอบเกลือฮิวเมตจากดินปนถ่านหิน**  
**จากเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง**



\* สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3 (ภาคเหนือ)  
 กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม

\*\* คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี กระทรวงศึกษาธิการ

เอกสารงานวิจัย:  
การเตรียมสารประกอบเกลือฮิวเมตจากดินปนถ่านหิน  
จากเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง

โดย

วิวัฒน์ โตธีรกุล\*  
พลยุทธ สุขสมบัติ\*  
จินดารัตน์ โตกมลธรรม\*\*

- \* สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3 (ภาคเหนือ)  
กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม
- \*\* คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี กระทรวงศึกษาธิการ

เมษายน 2552

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้จะไม่สำเร็จได้โดยถ้าขาดความมุ่งมั่น ทุ่มเทของนักวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งท่านที่ปรากฏนาม นักวิจัยและเจ้าหน้าที่ผู้ช่วยเหลือจากสำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3 (ภาคเหนือ) และ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดร.พลยุทธ สุขสมิติ นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ ที่ทำงานโดยไม่ได้รับการสนับสนุนงบประมาณหรือหวังผลประโยชน์อื่นใด ท่านได้ใช้ความรู้ความสามารถและศักยภาพของตนอย่างเต็มที่ และได้ประสานกับผู้ร่วมวิจัยในส่วนที่ตนขาดเครื่องมือ อุปกรณ์การวิเคราะห์วิจัยขั้นสูงเพื่อให้ผลงานมีความสมบูรณ์เช่นที่ปรากฏอยู่นี้

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์จากบุคลากรของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ภายใต้การดำเนินการของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่สำคัญได้แก่ คุณไพโรจน์ อนุพันธ์นันท์ คุณวิสูตร บุญไทย และคุณอรุณ หุ่นแก้ว ที่ได้ประสานและให้ความช่วยเหลือทั้งด้านข้อมูลแหล่งวัตถุดิบและการเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการวิจัยนี้ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือที่อาจมิได้เอ่ยนามทุกท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต โดยการสกัดดินปนถ่านหิน (ลีโอนาร์ไคต์) จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ อัตราส่วนระหว่างดินปนถ่านหินต่อสารละลายต่าง คือ 1:10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และตกตะกอนด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมตที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลาและอุณหภูมิในการสกัด ความเร็วและระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยงแยกเม็ดดิน ผลจากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมฮิวเมต คือ สกัดที่ความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 12 ใช้ระยะเวลาในการสกัด 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เหวี่ยงแยกเม็ดดินออกจากสารละลายที่ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปตกตะกอนด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ในขณะที่โพแทสเซียมฮิวเมต ใช้ความเป็นกรด-ด่างในการสกัดที่ 13 และใช้ระยะเวลาในการสกัด 9 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

การตรวจสอบเอกลักษณ์ โดยการใช้ฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม-อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) และเปรียบเทียบกับโซเดียมฮิวเมตที่วางจำหน่ายทางการค้า พบว่าสเปกตรัมของโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมตที่ปรากฏมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับลักษณะของโซเดียมฮิวเมตที่วางจำหน่ายทางการค้า และเมื่อตรวจสอบโดยการชั่งน้ำหนักที่สูญเสียไปหลังการเผา พบว่า โซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมตประกอบด้วยสารอินทรีย์ 91.6 และ 92.9 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ตามลำดับ และมีปริมาณเถ้า 8.4 และ 7.1 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ตามลำดับ โลหะที่วิเคราะห์ในโซเดียมฮิวเมต ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสี เหล็ก ทองแดง ตะกั่ว และแมงกานีส มีปริมาณ 7,326.3, 409.4, <0.05, 438.9, 29.4, 6,191.0, <0.005, <0.005 และ <0.005 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่โพแทสเซียมฮิวเมตมีปริมาณ 248.4, 6,646.0, 85.9, 133.1, 17.5, 9,824.4, <0.005, <0.005 และ <0.005 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

**คำสำคัญ :** โซเดียมฮิวเมต / โพแทสเซียมฮิวเมต / ดินปนถ่านหิน / ลีโอนาร์ไคต์ / เหมืองลิกไนต์แม่เมาะ

## Abstract

This research was performed to investigate the potential of the leonardite from lignite Mae Mho mine Lampang province for preparation of humic acids and humic salts. The process begins with sodium humate or potassium humate which were extracted from leonardite by using alkali extractants (0.2 M NaOH or 0.2 M KOH). The ratio of leonardite to alkaline solution was 1:10 (w/v). The supernatant was separated using a centrifuge. The pH of the solution is reduced to approximately 1.0 – 4.0 with 0.1 M HCl and left stand for 24 hours thereby precipitating the humic salts as a solid precipitation. The optimum condition for preparation of those compounds such as pH, time and temperature for extraction and centrifugal speed and time for precipitation were studied. The results revealed that optimum condition for sodium humate preparation was: extraction at room temperature, pH > 12 for 3 hours, centrifugation at 3,500 rpm for 30 min and acidification of the supernatant with HCl (pH=2). While potassium humate was extracted at pH 13 for 9 hours. The greatest yields were obtained with 0.2 M KOH.

The sodium humate and potassium humate were characterized by using FT-IR and compared with commercial sodium humate. The results showed that IR spectrum appearances of these three compounds were very similar. The loss-on-ignition analysis results revealed that dried sodium humate was composed of organic matter 91.6% (w/w) and ash 8.4% (w/w), while potassium humate was 92.9% (w/w) and 7.1% (w/w), respectively. The metal contents in sodium humate such as sodium, potassium, calcium, magnesium, zinc, iron, copper, lead, and manganese were 7,326.3, 409.4, <0.05, 438.9, 29.4, 6,191.0, <0.005, <0.005 and <0.005 mg/Kg, respectively. While potassium humate were 248.4, 6,646.0, 85.9, 133.1, 17.5, 9,824.4, <0.005, <0.005 and <0.005 mg/Kg, respectively.

**Keywords:** Sodium humate, Potassium humate, Leonardite, Lignite Mae Mho Mine

## คำนำ

ในกระบวนการทำเหมืองแร่ลิกไนต์ที่แม่เมาะจะได้ส่วนที่เป็นถ่านหิน ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนมูลดินทรายก็นำไปฝังกลบและฟื้นฟูพื้นที่ภายหลัง แต่เมื่อมูลแร่ มูลดินทรายมีคุณค่าที่ขายได้ ก็ต้องมีการขออนุญาตนำออกนอกประเทศผ่านศุลกากรและเสียค่าธรรมเนียมให้ราชการ ซึ่งจากการตรวจและวินิจฉัยทางฟิสิกส์พบว่ามูลแร่ มูลดินทรายดังกล่าวไม่ใช่แร่ ตาม พ.ร.บ.แร่ พ.ศ. 2510 เป็นดินปนถ่านหิน ต่อมาผู้เชี่ยวชาญด้านการฟื้นฟูพื้นที่ที่ผ่านการทำเหมืองแร่จากต่างประเทศพบว่ามูลแร่มูลดินทรายดังกล่าวน่าจะเป็นต้นกำเนิดของสารฮิวมิก ซึ่งมีประโยชน์ต่อการเกษตร อุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม ภายหลังเมื่อมีโอกาสนักวิจัยจึงได้ดำเนินการทดลองศึกษาวิจัยโดยใช้สัณยภาพเท่าที่มีอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ

โดยในแต่ละปีประเทศไทยมีการนำเข้ากรดฮิวมิกและเกลือของกรดฮิวมิก (โซเดียมฮิวเมต และ โพแทสเซียมฮิวเมต) จากต่างประเทศมาใช้ทั้งในรูปแบบของแข็งและของเหลวเป็นเงินหลายร้อยล้านบาท ซึ่งถ้าสามารถผลิตทดแทนการนำเข้าได้โดยใช้วัตถุดิบจากภายในประเทศก็จะเป็นการประหยัดเงินตราและเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการพัฒนาเทคโนโลยีในประเทศต่อไป และผู้วิจัยก็หวังว่าประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีส่วนเสริมการพัฒนาเศรษฐกิจของชาติไทย ทั้งในส่วนของอุตสาหกรรมพื้นฐาน การเกษตรอินทรีย์และฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมของชาติได้อย่างยั่งยืน ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงเลือกที่จะศึกษาการเตรียมสารประกอบเกลือฮิวเมตจากวัตถุดิบดังกล่าว เพื่อที่จะได้พัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศให้มีมูลค่าเพิ่มต่อไป

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
คำนำ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี</b>	<b>3</b>
2.1 ลีโอนาร์ไคต์ (Leonardite)	3
2.2 สารฮิวมิก (Humic substances)	5
2.3 การสกัดกรดฮิวมิก	12
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
<b>บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง</b>	<b>14</b>
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	14
3.2 วิธีการทดลอง	15
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล</b>	<b>19</b>
4.3 ผลการศึกษาความเร็วรอบและระยะเวลาที่เหมาะสมในการ หมุนเหวี่ยงเพื่อแยกทิ่งเม็ดดินออกจากสารละลายที่ใช้ในการ เตรียมโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต	19
4.2 ผลการศึกษาการเตรียมโซเดียมฮิวเมตด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์	20

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล (ต่อ)</b>	
4.3 ผลการศึกษาการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	35
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	46
5.1 สรุปผลการทดลอง	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	52



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสารชีวมีค	8
4.1 องค์ประกอบแร่ที่ตรวจพบในลีโอনারีไคต์ด้วยเครื่อง XRD	28
4.2 ความถี่และชนิดของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบ โซเดียมฮิวเมตที่เตรียมได้เทียบกับสารประกอบโซเดียมฮิวเมตมาตรฐาน	30
4.3 ปริมาณโซเดียม (Na) ในลีโอনারีไคต์และโซเดียมฮิวเมต	30
4.4 ปริมาณโพแทสเซียม (K) ในลีโอনারีไคต์และโซเดียมฮิวเมต	31
4.5 ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในลีโอনারีไคต์และโซเดียมฮิวเมต	31
4.6 ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ในลีโอনারีไคต์และโซเดียมฮิวเมต	32
4.7 ปริมาณสังกะสี (Zn) ในลีโอনারีไคต์และโซเดียมฮิวเมต	32
4.8 ปริมาณเหล็ก (Fe) ในลีโอনারีไคต์และโซเดียมฮิวเมต	33
4.9 ปริมาณทองแดง (Cu) ในลีโอনারีไคต์และโซเดียมฮิวเมต	33
4.10 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ในลีโอনারีไคต์และโซเดียมฮิวเมต	34
4.11 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในลีโอনারีไคต์และโซเดียมฮิวเมต	34
4.12 ความถี่และชนิดของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมของ สารประกอบโพแทสเซียมฮิวเมตที่เตรียมได้เทียบกับ สารประกอบโพแทสเซียมฮิวเมตมาตรฐาน	42
4.13 ปริมาณโซเดียม (Na) ในโพแทสเซียมฮิวเมต	42
4.14 ปริมาณโพแทสเซียม (K) ในโพแทสเซียมฮิวเมต	43
4.15 ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในโพแทสเซียมฮิวเมต	43
4.16 ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ในโพแทสเซียมฮิวเมต	43
4.17 ปริมาณสังกะสี (Zn) ในโพแทสเซียมฮิวเมต	44
4.18 ปริมาณเหล็ก (Fe) ในโพแทสเซียมฮิวเมต	44
4.19 ปริมาณทองแดง (Cu) ในโพแทสเซียมฮิวเมต	44
4.20 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ในโพแทสเซียมฮิวเมต	45
4.21 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในโพแทสเซียมฮิวเมต	45

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.1	46
5.2	47
5.3	48

5.1 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอิวเมตจาก  
ตัวอย่างลีโอนาร์ไคต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

5.2 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโพแทสเซียมอิวเมตจาก  
ตัวอย่างลีโอนาร์ไคต์เมื่อใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

5.3 ปริมาณโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมตที่เตรียมได้  
และปริมาณโลหะบางชนิดที่พบในลีโอนาร์ไคต์ โซเดียมอิวเมต  
และโพแทสเซียมอิวเมต

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลีโอนาร์ไคต์ (Leonardite)	4
2.2	กระบวนการเกิดสารฮิวมิก	7
2.3	แบบโครงสร้างจำลองของกรดฮิวมิก (Humic acid)	9
2.4	วิธีการสกัดกรดฮิวมิกในรูปเกลือฮิวเมต	12
3.1	กองลีโอนาร์ไคต์บริเวณเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	16
3.2	ลีโอนาร์ไคต์ในแหล่งแร่ถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง	17
3.3	ตัวอย่างลีโอนาร์ไคต์กองแร่ที่ 1	17
3.4	ตัวอย่างลีโอนาร์ไคต์กองแร่ที่ 2	18
3.5	การสุมตัวอย่างลีโอนาร์ไคต์จากกอง	18
4.1	ผลของระยะเวลาในการหมუნเหวียงที่มีต่อการแยกเม็ดดินออกจาก สารละลายที่ใช้ในการเตรียมโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต ใช้ความเร็วรอบในการหมუნเหวียง 3,500 รอบต่อนาที	20
4.2	ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเตรียมโซเดียมฮิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1	21
4.3	ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเตรียมโซเดียมฮิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 2	21
4.4	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเตรียมโซเดียมฮิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1	22
4.5	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเตรียมโซเดียมฮิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 2	22
4.6	ผลของระยะเวลาที่มีต่อการเตรียมโซเดียมฮิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1	23
4.7	ผลของระยะเวลาที่มีต่อการเตรียมโซเดียมฮิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 2	24
4.8	ขั้นตอนและสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมฮิวเมต จากตัวอย่างดินปนถ่านหินโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	25
4.9	สารประกอบโซเดียมฮิวเมตที่เตรียมได้โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	26
4.10	XRD-Pattern ของลีโอนาร์ไคต์จากแหล่งลิกไนต์ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	26
4.11	XRD-Label ของลีโอนาร์ไคต์จากแหล่งลิกไนต์ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	27
4.12	FTIR Spectrum ของลีโอนาร์ไคต์	28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 FTIR Spectrum ของโซเดียมฮิวเมตที่เตรียมได้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	29
4.14 FTIR Spectrum ของลิโอนาร์ไคต์ จากสารประกอบโซเดียมฮิวเมตที่เตรียมได้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เปรียบเทียบกับสารประกอบโซเดียมฮิวเมตที่วางขายในท้องตลาด	29
4.15 ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมตโดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1	35
4.16 ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมตโดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 2	36
4.17 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมตโดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1	37
4.18 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมตโดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 2	37
4.19 ผลของระยะเวลาที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมตโดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1	38
4.20 ผลของระยะเวลาที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมตโดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 2	39
4.21 ขั้นตอนและสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมตจากตัวอย่างดินปนถ่านหิน โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	40
4.22 สารประกอบโพแทสเซียมฮิวเมตที่เตรียมได้โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	41
4.23 FTIR Spectrum ของโพแทสเซียมฮิวเมตที่เตรียมได้ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	41

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย [1, 2]

ปัจจุบันพื้นที่ทางการเกษตรกรรมมีความสมบูรณ์น้อยลง เนื่องจากเกษตรกรใช้พื้นที่เพาะปลูกพืชเพียงชนิดเดียวต่อเนื่องเป็นเวลายาวนาน และมีการใช้ปุ๋ยเคมีมากเกินไปจนทำให้ดินเสื่อมสภาพด้วยเหตุนี้เกษตรกรจึงนำสารอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ โดยรู้จักในชื่อของ “ฮิวมัส” เริ่มแรกฮิวมัสจะหมายถึงดินเพียงอย่างเดียว ต่อมาภายหลังจึงหมายถึงสารอินทรีย์เชิงซ้อนสีน้ำตาลดำ ประกอบด้วยสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ มีกรดฮิวมิกเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ พบอยู่ทั่วไปในดิน ขณะที่เน่าเปื่อย ตะกอนสะสมใต้แหล่งน้ำก้นทะเล แหล่งกำเนิดปิโตรเลียมและถ่านหิน กรดฮิวมิกประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ต่าง ๆ มีสมบัติเป็นคอลลอยด์ และมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน จากการศึกษาทางด้านเกษตรกรรมพบว่า กรดฮิวมิกมีประโยชน์ต่อดินคือปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ดินจับตัวกันเป็นก้อน สามารถอุ้มน้ำได้ถึง 20 เท่าตัวของน้ำหนักสารอินทรีย์นั้น นอกจากนี้ยังปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน โดยการเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange capacity) ทำให้ดินสามารถจับธาตุอาหารได้ดีขึ้นและสามารถปรับปรุงพีเอชของดินให้เหมาะสม

ปัจจุบันมีการสกัดกรดฮิวมิกเพื่อนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เริ่มแรกนิยมสกัดกรดฮิวมิกจากดิน แต่ปัญหาในการสกัดคือได้สารปริมาณน้อย จึงมีการวิจัยสกัดกรดฮิวมิกจากแหล่งวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น ถ่านหิน ได้แก่ พีท ลิกไนต์ บิทูมินัส แอนทราไซต์ พบว่าถ่านหินแต่ละชนิดประกอบด้วยกรดฮิวมิกที่มีโครงสร้างแตกต่างกันไปตามระยะเวลาและแหล่งที่เกิดถ่านหินนั้น

สำหรับในประเทศไทยได้มีการทำกิจกรรมในทำเหมืองขุดเอาถ่านลิกไนต์ขึ้นมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะในแหล่งถ่านลิกไนต์ที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในกระบวนการทำเหมืองแร่ดังกล่าวจะมีผลผลิตที่เป็นของเสียเกิดขึ้นโดยเฉพาะชั้นดินที่ถูกจำแนกเป็นมูลแร่ มูลดินทราย ซึ่งส่วนนี้จะมีการนำไปฝังกลบในพื้นที่ที่กำหนดไว้เพื่อรอการฟื้นฟูพื้นที่ต่อไป ในส่วนนี้จะมีดินปนถ่านหินแทรกอยู่ด้วย[4] ส่วนเหลือทิ้งจากการทำเหมืองแร่มีแต่จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นทุกวันจนกลายเป็นปัญหาใหญ่ให้กับเหมืองแร่ ในภายหลังจึงได้มีการหันมาสนใจของเสียที่เกิดขึ้นบางอย่างซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในต่างประเทศได้มีการทำวิจัยเพื่อที่จะใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าของของเสียดังกล่าว และพบว่าในตัวมูลดินปนถ่านหิน ซึ่งภายหลังทราบว่ามีการเรียกว่า “ลีโอนาร์ไตต์ (Leonardite)” มีองค์ประกอบที่เป็นประโยชน์อย่างมากทางการเกษตร ซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด คือ กรดฮิวมิก (Humic acid) กรดฟุลวิก (Fulvic acid) ฮิวมิน (Humic) และมีโลหะอื่น ๆ อีกที่เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการเตรียมสารประกอบ

โซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมตจากลิโอนาร์ไคด์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์หลักในงานเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และฟืนฟูสิ่งแวดล้อม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาศักยภาพเบื้องต้นของลิโอนาร์ไคด์ จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมสารประกอบโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมตจากลิโอนาร์ไคด์ในระดับห้องปฏิบัติการ

1.2.3 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมสารประกอบโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมตจากลิโอนาร์ไคด์

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาการเตรียมสารประกอบโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมตด้วยสารละลาย 2 ชนิด ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยศึกษาในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมสารประกอบโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมต จากลิโอนาร์ไคด์ให้ได้ผลผลิตออกมามากที่สุด ซึ่ง ได้แก่

(1.1) ความเป็นกรด-ด่างที่ใช้ในการเตรียมโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมต

(1.2) ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมต

(1.3) อุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมต

(2) ตรวจสอบเอกลักษณ์ของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้

(3) ตรวจสอบปริมาณโลหะบางชนิดที่ปนอยู่ในวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้

1.3.2 ศึกษาความเร็วรอบและระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกทั้งเม็ดยังออกจากสารละลายที่ใช้ในการเตรียมโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมต

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้พบศักยภาพเบื้องต้นในการพัฒนาวัตถุดิบลิโอนาร์ไคด์ จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

1.4.2 ได้สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมสารประกอบโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมตจากลิโอนาร์ไคด์ เพื่อการพัฒนาเป็นสารอื่น ๆ ต่อไปตามการใช้ประโยชน์

1.4.3 เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับประยุกต์ใช้ในการเตรียมสารประกอบโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมตจากวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ

## บทที่ 2 ทฤษฎี

### 2.1 ลีโอนาร์ไดต์ (Leonardite) [6, 12, 18]

**ลีโอนาร์ไดต์** : เป็นชั้นดินปนถ่านหินที่ถูกออกซิไดส์ตามธรรมชาติ มีลักษณะนุ่มไม่แข็งตัว มีสีน้ำตาลอ่อนถึงดำ ปกติพบอยู่ในแหล่งถ่านหินที่มีความลึกไม่มาก ประกอบด้วยกรดฮิวมิกและกรดอินทรีย์อื่น ๆ ดินปนถ่านหินนี้เกิดจากการผุพังสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ด้วยกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ ดินปนถ่านหินจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด แหล่งลีโอนาร์ไดต์ขนาดใหญ่พบในมลรัฐโคตาโฮนาและไวโอมิง ประเทศสหรัฐอเมริกา รวมทั้ง บริติชโคลัมเบีย ประเทศแคนาดา

นอกจากนี้ยังมีผู้ให้ความหมายว่า ลีโอนาร์ไดต์ [18] คือ ลิกไนต์ที่ถูกออกซิไดส์ตามธรรมชาติ ประกอบด้วยเกลือแคลเซียมและเหล็กของกรดฮิวมิกและกรดอินทรีย์อื่น

ลีโอนาร์ไดต์นี้เป็นชื่อที่ตั้งเพื่อเป็นเกียรติแก่ Dr.A.G. Leonard นักธรณีวิทยาคนแรกที่เป็นผู้บุกเบิกในการศึกษาแหล่งถ่านหินของโคตาโฮนา ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้ให้ความหมายว่า ลีโอนาร์ไดต์เกิดจากการผุพังตามธรรมชาติของถ่านหินชนิดลิกไนต์ (Lignite) โดยพบว่าส่วนใหญ่เป็นสารประกอบของฮิวมัส (Humus) กรดฟุลวิก (Fulvic acid) กรดฮิวมิก (Humic acid) และฮิวมิน (Hummin) หรือเรียกรวมว่า สารฮิวมิก (Humic Substances)

วัสดุเหล่านี้ใช้เป็นตัวให้กรดฮิวมิก มีการนำไปใช้ในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตรกรรมและการฟื้นฟูพื้นที่ และอาจใช้เป็นตัวเติมในของเหลวสำหรับงานเจาะ และได้มีการคาดการณ์ราคาที่ได้ปรับปรุงคุณภาพแล้วขายในรัฐอัลเบอร์ตา (Alberta) ประเทศแคนาดา ในราคาที่น้อยกว่า 62.00 เหรียญต่อตัน ซึ่งถูกกว่าครึ่งหนึ่งของราคาที่น่าจะเข้าลีโอนาร์ไดต์เป็นดิน (Clays) ที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยกรดฮิวมิกและกรดฟุลวิก ดินปนถ่านหินนี้เกิดจากการผุพังสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ด้วยกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ ลีโอนาร์ไดต์มีลักษณะคล้ายถ่านลิกไนต์ มักพบบริเวณรอยต่อเนื้อกับชั้นถ่าน บ่อยครั้งมีการจำแนกว่าเป็นถ่านลิกไนต์ที่ถูกออกซิไดส์ตามธรรมชาติ

#### 2.1.1 การเกิดแร่ลีโอนาร์ไดต์

ตามธรรมชาติมีความเป็นไปได้ 2 ทฤษฎี คือ

1) เกิดขึ้นระหว่างขบวนการเกิดถ่านหิน (Coalification) โดยจะเกิดปะปนกับถ่านหิน โดยเฉพาะในถ่านหินลิกไนต์ (Lignite) และมีการย่อยสลาย (Decomposition and Oxidation) เกิดร่วมด้วย โดยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับลิกไนต์ ลีโอนาร์ไดต์มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบถึง 30 – 35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนลิกไนต์มีเพียง 25 – 30 เปอร์เซ็นต์

2) เกิดจากการผุพังตามธรรมชาติ (Weathering and Oxidation) ของถ่านหินพีท ลิกไนต์ และซับบิทูมินัส (Sub-bituminous) ที่ถูกยกตัวขึ้นมาในระดับตื้น (Sub crop) หรือโผล่เหนือ ผิวดินขึ้นมา (Out crop) แล้วถูกออกซิไดซ์โดยอากาศตามธรรมชาติ ต่อมาจึงเกิดการทับถมกันเป็น ชั้น ๆ



รูปที่ 2.1 ลีโอนาร์ไดต์ (Leonardite)

### 2.1.2 แหล่งแร่ลีโอนาร์ไดต์ในประเทศไทย

ลีโอนาร์ไดต์ในประเทศไทยในขณะนี้ที่มีรายงานพบปะปนอยู่กับแอ่งถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะ ตั้งอยู่ที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีพื้นที่ประมาณ 38 ตารางกิโลเมตร มีส่วนกว้างสุด 4.0 กิโลเมตร และส่วนยาวสุด 9.5 กิโลเมตร ปริมาณถ่านหินลิกไนต์สำรองทางธรณีวิทยา มีประมาณ 1,139 ล้านตัน [Ash Cut off 45% (ar)] อยู่ในการดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สำหรับลีโอนาร์ไดต์ในแหล่งดังกล่าวมีการค้นพบและเผยแพร่ในปี พ.ศ. 2549 พบว่ามีปริมาณสำรองของมูลดินปนถ่านหิน

1) ในบ่อเหมืองทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) และทางทิศเหนือ (C1) มีปริมาณมูลดินปนถ่านหิน ประมาณ 1 – 2 ล้านตัน



2) ในบ่อเหมืองที่ขุดเจาะวันออกเฉียงใต้ (SE) ซึ่งเป็นพื้นที่ซึ่งไม่มีการขุดเจาะ มีแผนเปิดหน้าเหมืองในอนาคต อยู่ระหว่างการประเมินปริมาณสำรองคาดว่าปริมาณสำรองรวมทั้งหมด (Speculative reserves) 2 ล้านตัน

แต่เดิมการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยเหมืองแม่เมาะได้นำเอามูลคินปนถ่านหินนำไปใช้ประโยชน์ในการฝังกลบพื้นที่ที่ต้องการ หรือไม่ก็ถูกทิ้งไว้อย่างไร้ค่าเท่านั้น ในปี พ.ศ. 2551 ทางทีมผู้วิจัยของเหมืองฯ พบว่าในตัวมูลคินปนถ่านหิน ที่เรียกอีกชื่อว่่าว่า “ลีโอนาร์ไดต์ (Leonardite)” มีองค์ประกอบที่เป็นประโยชน์ในทางการเกษตรอย่างมาก โดยมีองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด คือ กรดฮิวมิก กรดฟุลวิก ฮิวมิน และมีโลหะอื่น ๆ อีกที่เป็นองค์ประกอบ

## 2.2 สารฮิวมิก (Humic substances) [2, 12]

สารฮิวมิกประกอบด้วยกลุ่มของสารอินทรีย์ประเภทที่มีมวลโมเลกุลสูง หรือค่อนข้างสูง ทั้งนี้เกิดจากการแปรสภาพและสังเคราะห์รวมตัวกันขึ้นมาใหม่ของสารที่ไม่ใช่ฮิวมิก (Nonhumic substances) โครงสร้างโมเลกุลของสารฮิวมิกเป็นแบบอสัณฐาน ไม่มีรูปร่างที่แน่นอน มีหลายสี เช่น สีเหลือง สีน้ำตาล จนถึงน้ำตาลดำ แสดงสมบัติเป็นสารคอลลอยด์ โดยมีอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 – 10 นาโนเมตร และเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของอินทรีย์วัตถุที่สะสมตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งมีอิทธิพลสำคัญต่อสมบัติทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวเคมีของดิน

สารฮิวมิกละลายน้ำได้น้อยมากแต่บางส่วนละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดและด่าง ถ้าอาศัยความสามารถในการละลายได้ในสารละลายดังกล่าวเป็นเกณฑ์

### 2.2.1 ประเภทของสารฮิวมิก

สารฮิวมิก แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1) กรดฮิวมิก (Humic Acid) ซึ่งละลายในสารละลายด่างเจือจาง และนำสารละลายด่างที่สกัดได้นั้นมาตกตะกอนด้วยกรดจะได้ตะกอนของกรดฮิวมิก เมื่อเอากรดฮิวมิกมาสกัดด้วยแอลกอฮอล์ได้ส่วนที่ละลาย คือ กรดไฮมาโทเมลานิก (Hymatomelanic Acid) หรือเอาตะกอนกรดฮิวมิกมาละลายด้วยด่าง แล้วเติมอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) จะได้ตะกอนของกรดฮิวมิกสีเทา ส่วนที่ไม่ตกตะกอน คือ กรดฟุลวิกสีน้ำตาล มีสีจาง

2) กรดฟุลวิก (Fulvic Acid) สารละลายที่เหลือจากการทำให้เป็นกรดในข้อ 1 นั้นคือ กรดฟุลวิกสามารถละลายได้ทั้งในกรดและด่าง

3) ฮิวมิน (Humin) คือ สารฮิวมิกซึ่งไม่สามารถสกัดได้ด้วยสารละลายด่างเจือจางและกรด มีสีคล้ำดำหรือน้ำตาลเข้ม

สารประกอบทั้ง 3 ชนิดนี้ มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันในการควบคุมคุณสมบัติของดิน เช่น สามารถดูดซับ และแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดี

นอกจากความแตกต่างกันในการละลายได้แล้ว โดยทั่วไปพบว่า กรดฟุลวิกเป็นกลุ่มของสารอินทรีย์ประเภทที่มีมวลโมเลกุลต่ำถึงค่อนข้างต่ำ โดยเฉลี่ยมักอยู่ในช่วง 500 – 20,000 ดาลตัน ส่วนกรดฮิวมิกเป็นพวกที่มีมวลโมเลกุลสูงกว่าคือ ประมาณ 10,000 – 100,000 ดาลตัน หรือมากกว่า สำหรับฮิวมินนั้นในปัจจุบันพบว่าส่วนใหญ่เป็นพวกกรดฮิวมิกที่มีมวลโมเลกุลสูง ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบต่าง ๆ รวมทั้งมีหมู่ฟังก์ชันนัล (Functional group) ในโมเลกุลของสารทั้งสองใกล้เคียงกัน แต่การที่ฮิวมินไม่ละลายในด่างที่เจือจาง เนื่องจากสารดังกล่าวถูกดูดซับไว้อย่างเหนียวแน่นโดยอนุภาคดินที่สำคัญ เช่น แร่ดินเหนียว ดังนั้นในการศึกษาธรรมชาติและสมบัติของสารฮิวมิกส่วนมากจึงเน้นเฉพาะส่วนที่เป็นกรดฮิวมิก และกรดฟุลวิก สำหรับฮิวมินถือว่าเป็นสมบัติใกล้เคียงไปทางกรดฮิวมิก

### 2.2.2 กระบวนการเกิดสารฮิวมิก (Humification)

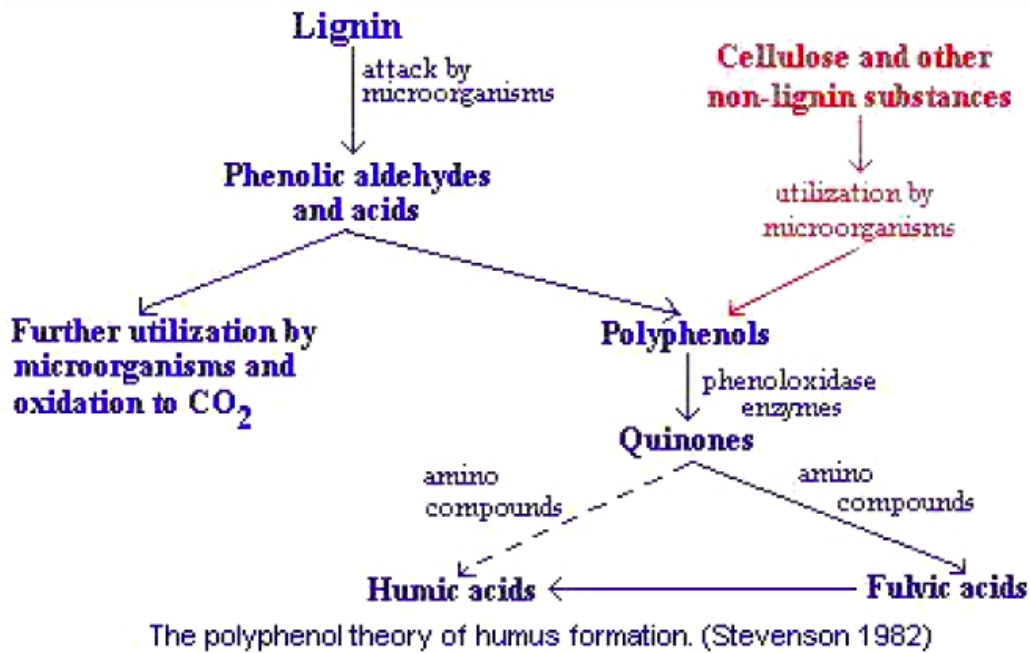
การแปรสภาพของสารอินทรีย์ไปเป็นสารฮิวมิกเป็นกระบวนการที่มีหลายขั้นตอนรวมกันและมีการเกิดได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารอินทรีย์ สภาพแวดล้อม และจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง กระบวนการเกิดสารฮิวมิกพอสรุปได้ 4 กระบวนการดังนี้

กระบวนการที่ 1 เกิดจากลิกนิน ซึ่งถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในดิน โดยจะมีการเปลี่ยนโครงสร้างของหมู่เมทอกซิล (Methoxyl group;  $-COH_3$ ) เป็นอโท-ไฮดรอกซีฟีนอล (o-Hydroxy phenols) ได้เป็นโพลีฟีนอล (Polyphenol) และเปลี่ยนต่อเป็นหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic group;  $-COOH$ ) หลังจากนั้นจึงรวมกับโปรตีนให้กรดฮิวมิก

กระบวนการที่ 2 ลิกนินสลายตัวเป็นควิโนน (Quinone) แล้วจึงรวมกับโปรตีนให้กรดฮิวมิก

กระบวนการที่ 3 เซลลูโลสซึ่งสลายตัวเช่นเดียวกับกระบวนการที่ 2 เป็นควิโนน แล้วจึงรวมกับโปรตีนให้กรดฮิวมิก

กระบวนการที่ 4 เกิดจากน้ำตาลรวมกับโปรตีนให้กรดฮิวมิก



รูปที่ 2.2 กระบวนการเกิดสารฮิวมิก

แหล่งกำเนิดของกรดฮิวมิกสามารถแบ่งได้ตามแหล่งของจุลินทรีย์ คือ

- 1) กรดฮิวมิกที่เกิดจากการย่อยสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ (Aerobic microorganism) ในการย่อยสารอินทรีย์ ได้แก่ กรดฮิวมิกในขยะเน่าเปื่อยและกรดฮิวมิกในดิน
- 2) กรดฮิวมิกที่เกิดจากการย่อยสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ (Anaerobic microorganism) ในการย่อยสารอินทรีย์ ได้แก่ กรดฮิวมิกในระยะแรกของการเกิดถ่านหิน เช่นดินพลุ และกรดฮิวมิกในถ่านหินยุคเก่า ได้แก่ ลิกไนต์ บิทูมินัส แอนทราไซต์
- 3) กรดฮิวมิกที่เกิดจากการย่อยสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ และชนิดไม่ใช้อากาศในการย่อยสารอินทรีย์ ได้แก่ กรดฮิวมิกในแหล่งน้ำ เช่น ตะกอนใต้ทะเล และแหล่งกำเนิดของปีโตรเลียม

### 2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันหลักในสารฮิวมิก

สารฮิวมิกซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดฮิวมิกและกรดฟุลวิกมีคาร์บอน (C) และออกซิเจน (O) เป็นธาตุองค์ประกอบรวมกันถึงประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนอื่น ๆ 10 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) ซัลเฟอร์ (S) และธาตุอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เมื่อเปรียบเทียบกับกรดฟุลวิก โดยทั่วไปพบว่ากรดฮิวมิกมีองค์ประกอบของคาร์บอน (C) มากกว่าแต่ปริมาณของออกซิเจน (O) มีแนวโน้มน้อยกว่าถ้าหากไม่รวมซัลเฟอร์ (S) ด้วยแล้วสูตรเอมพิริคัล (Empirical formula) โดยเฉลี่ยของกรดฮิวมิกและฟุลวิก อาจเขียนได้เป็น  $C_{10}H_{12}O_5N$  และ  $C_{12}H_{12}O_9N$  ตามลำดับ โดยอัตราส่วนของ คาร์บอน:ไนโตรเจน (C:N) จะอยู่ในช่วง 10 – 12 : 1 ซึ่งค่อนข้างคงที่สำหรับองค์ประกอบของฮิวมัสในดิน

ลักษณะที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของสารฮิวมิกคือ หมู่ฟังก์ชันนัล (Functional group) จากการศึกษพบว่าโมเลกุลของสารฮิวมิกมีหมู่ฟังก์ชันนัลมากมายที่มีออกซิเจน (O) และไฮดรอกซี (OH) เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญและมีมากที่สุดคือหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic,  $-\text{COOH}$  group) และหมู่ฟีนิลหรือหมู่ฟีนอลิก (Phenyl or phenolic,  $-\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  group) ซึ่งทั้งสองหมู่นี้มีบทบาทสำคัญมากต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cations exchange capacity; CEC) และความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดิน (Soil buffering capacity) หมู่ฟังก์ชันนัลที่มีมากรองลงมา ได้แก่ หมู่แอลกอฮอล์ (Alcohol,  $-\text{OH}$ ) อินอลิก (Enalic,  $-\text{CH}=\text{C}-\text{OH}$ ) และคาร์บอนิล (Carbonyl,  $=\text{C}=\text{O}$ ) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปควิโนน (Quinine) และคีโตน (Ketone)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสารฮิวมิก

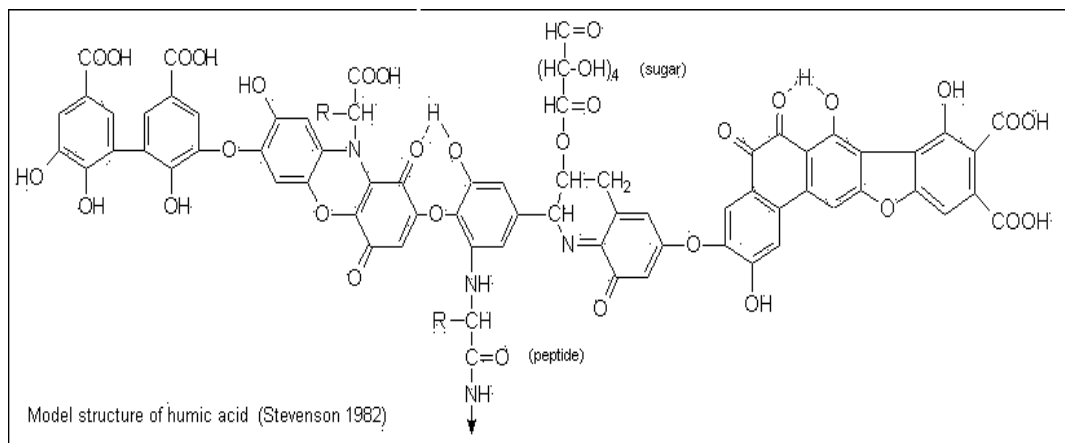
ธาตุ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)	
	กรดฮิวมิก	กรดฟูลวิก
C	53.8 – 58.7	40.7 – 50.6
O	32.8 – 38.3	39.7 – 49.8
H	3.2 – 6.2	3.8 – 7.0
N	0.8 – 4.3	0.9 – 3.3
S	0.1 – 1.5	0.1 – 3.6

#### 2.2.4 โครงสร้างโมเลกุลของสารฮิวมิก [1, 2]

โมเลกุลของสารฮิวมิกสลับซับซ้อนมาก โครงสร้างไม่เป็นผลึกและไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (Amorphous) ถึงแม้จะมีการศึกษากันมากกว่าศตวรรษแล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่สามารถหาสูตรและโครงสร้างโมเลกุลที่แน่นอนได้ซึ่งจะคงเป็นเช่นนี้ต่อไป ทั้งนี้เนื่องจากในแต่ละโมเลกุลของสารฮิวมิก จะไม่มีเหมือนกันเลยทีเดียวน และบ่อยครั้งแบบจำลองที่เสนอโดยนักวิทยาศาสตร์แต่ละท่านผันแปรแตกต่างกันมากทั้งนี้ขึ้นกับวิธีการศึกษาและวิเคราะห์ นอกจากนี้การเกิดสารฮิวมิกโดยกระบวนการที่เรียกว่าฮิวมิฟิเคชัน (Humification) เป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สลับซับซ้อน โดยประกอบด้วยกระบวนการหลายขั้นตอนและหลากหลายวิถี (Pathway) โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ดังนั้นองค์ประกอบและโครงสร้างของสารฮิวมิกนอกจากจะสลับซับซ้อนมากแล้วยังผันแปรได้มากน้อยขึ้นกับแหล่งที่มาและองค์ประกอบเดิมของอินทรีย์สาร อายุ และขั้นตอนของการย่อยสลาย ตลอดจนสภาพแวดล้อมและจุลินทรีย์ในดินที่เกี่ยวข้อง

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันนัลและสารผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ได้จากการย่อยสลายผนวกกับการใช้เทคนิคต่าง ๆ ทางสเปกโทรสโคปี (Spectroscopy) เช่น อัลตราไวโอเลต (Ultraviolet; UV) อินฟราเรด (Infrared; IR) อิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์ (Electron spin resonance; ESR) รวมทั้งการพัฒนาการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear magnetic resonance; NMR) และไพโรไลซิส-แมสสเปกโทรสโคปี (Pyrolysis-mass spectroscopy) ปัจจุบันมีความเห็นสอดคล้องกันว่าโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นแกนกลาง (Core structure) ของกรดฮิวมิก อย่างน้อยจะต้องประกอบด้วย อโรมาติกพอลิเมอร์ (Aromatic polymer) ซึ่งเกิดจากการควบแน่นของสารอโรมาติกประเภทได หรือ ไตร-ไฮดรอกซิล ฟีนอล (Di- or Tri-hydroxyl phenol) เชื่อมโยงด้วยพันธะไอโซ-แอลเคน (-o- (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-) เอมีนทุติยภูมิ (-NH-) เอมีนตติยภูมิ (-N-) ไธโออีเทอร์ (-S-) หรือหมู่อื่น ๆ ซึ่งมีทั้งแอลดีไฮด์ (-C=OH) และ ควิโนน (O=C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>=O) รวมอยู่ด้วย

จากความเห็นที่สอดคล้องกันดังกล่าว ได้มีการเสนอแบบโครงสร้างของกรดฮิวมิกขึ้นมาหลายรูปแบบแต่ก็ยังไม่หาข้อยุติไม่ได้หรือแม้แต่รูปแบบล่าสุดที่เสนอโดย Stevenson ในปี ค.ศ. 1982 ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ได้บรรจุลักษณะที่สำคัญของกรดฮิวมิกไว้ค่อนข้างจะครบถ้วนโดยที่โครงสร้างประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันนัลฟีนอลิก (-OH) ทั้งที่เป็นอิสระและที่ทำพันธะไฮโดรเจน (H-bond) กับหน่วยอื่น โครงสร้างของควิโนน พันธะซึ่งเชื่อมโยงด้วยไนโตรเจนและออกซิเจน รวมทั้งหมู่คาร์บอกซิลิกที่มีอยู่ทั่วไปของอโรมาติกพอลิเมอร์



รูปที่ 2.3 แบบโครงสร้างจำลองของกรดฮิวมิก (Humic acid)

อย่างไรก็ตาม โครงสร้างดังกล่าวเป็นแบบจำลองถึงความเป็นไปได้ตามทฤษฎีที่ได้จากการนำเอาองค์ประกอบหน่วยย่อยของหมู่โมโนเมอร์ (Monomer) ต่าง ๆ มาควบแน่นเชื่อมโยง

กัน โดยความเป็นจริงแล้วการเกิดการควบแน่นของพอลิเมอร์ (Condensed polymerization) จากแต่ ละหน่วยย่อยย่อมเกิดขึ้นได้มากมายหลายรูปแบบ (Combinations) ซึ่งยากที่จะหารูปที่ซ้ำแบบเดิมได้ ในแต่ละโมเลกุล หรือแม้กระทั่งใน โมเลกุลเดียวกันของกรดฮิวมิกซึ่งมีขนาดใหญ่ก็ตาม

## 2.2.5 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี [6]

### 1) สมบัติทางกายภาพ

กรดฮิวมิกจะรักษาโครงสร้างของดินให้อุ้มน้ำและระบายอากาศได้ดี ในอนุภาค ของดินที่มีความเป็นดินเหนียวสูงจะมีประจุบวกและประจุลบอยู่อย่างหนาแน่น ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวสูง จึงส่งผลให้ดินมีความละเอียดและความหนาแน่นมาก ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อระบบราก ของพืชที่จะดูดซึมแร่ธาตุอาหารและน้ำ กรดฮิวมิกสามารถปรับปรุงดินที่มีความเป็นดินเหนียวสูง เนื่องจากในโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮิวมิกมีหมู่คาร์บอกซิล ซึ่งจะไปสร้างพันธะกับอนุภาคประจุ บวกในดินที่มีความเป็นดินเหนียวสูง และทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างประจุบวกและประจุลบออก จากกัน ซึ่งก็จะทำให้ชั้นดินมีความโปร่งขึ้น ส่งผลให้น้ำและอากาศหมุนเวียนถ่ายเทได้ดีขึ้น นอกจากนี้กรดฮิวมิกสามารถป้องกันไม่ให้น้ำระเหยไปจากดิน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญยิ่ง สำหรับดินที่มีความเป็นดินเหนียวต่ำ ดินทราย และดินในพื้นที่แห้งแล้ง ที่ไม่สามารถจะดูดซับน้ำไว้ ได้ เมื่อดินที่มีลักษณะดังกล่าวมีน้ำผ่านเข้ามา ประจุบวกที่กรดฮิวมิกได้ดูดซับไว้จะสร้างพันธะกับ ประจุลบของน้ำคือออกซิเจน ส่วนประจุบวกที่เหลืออยู่ในน้ำคือไฮโดรเจนนั้นก็จะสามารถสร้าง พันธะไฮโดรเจนกับอะตอมของออกซิเจนในน้ำโมเลกุลอื่น ๆ ต่อ ๆ ไป ทำให้น้ำระเหยออกจากดิน น้อยลงหรือสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้นนั่นเอง

### 2) สมบัติทางเคมี

กรดฮิวมิกมีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหาร เพื่อที่จะปลดปล่อยธาตุอาหาร เหล่านั้นให้แก่พืช เพื่อที่จะได้นำสารเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ในด้านการเจริญเติบโต การออกดอก ออกผล กล่าวคือกรดฮิวมิกสามารถยึดประจุบวกของธาตุอาหารเสริมภายใต้สภาวะหนึ่งและจะ ปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นเมื่อสภาวะเปลี่ยนไป ด้วยคุณสมบัตินี้เมื่อกรดฮิวมิกเคลื่อนที่เข้าไป ใกล้บริเวณรากของพืช ซึ่งระบบรากพืชจะมีประจุลบ พืชธาตุอาหารเสริมเหล่านั้นก็จะถูกปล่อย จากโมเลกุลของกรดฮิวมิกเข้าไปสู่ระบบรากพืช ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากรดฮิวมิกมีความสำคัญอย่างมาก ในการเป็นสื่อกลางการลำเลียงธาตุอาหารจากดินไปสู่รากพืช อย่างไรก็ตามก็ควรพิจารณาให้ รอบคอบว่าจะเลือกใช้กรดฮิวมิกชนิดใดเพื่อความเหมาะสมของสภาพดิน ชนิดของพืชและการ ปรับปรุงบำรุงส่วนไหนของพืช เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของกรดฮิวมิกมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดก็มี ปริมาณกรดฮิวมิกแตกต่างกันออกไปตั้งแต่ 1 – 25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงประโยชน์ที่ ได้รับและความคุ้มค่าของผลิตภัณฑ์ที่เลือกใช้เป็นสำคัญด้วย

## 2.2.6 ประโยชน์ของกรดฮิวมิกและเกลือของกรดฮิวมิก [2, 9, 10, 12]

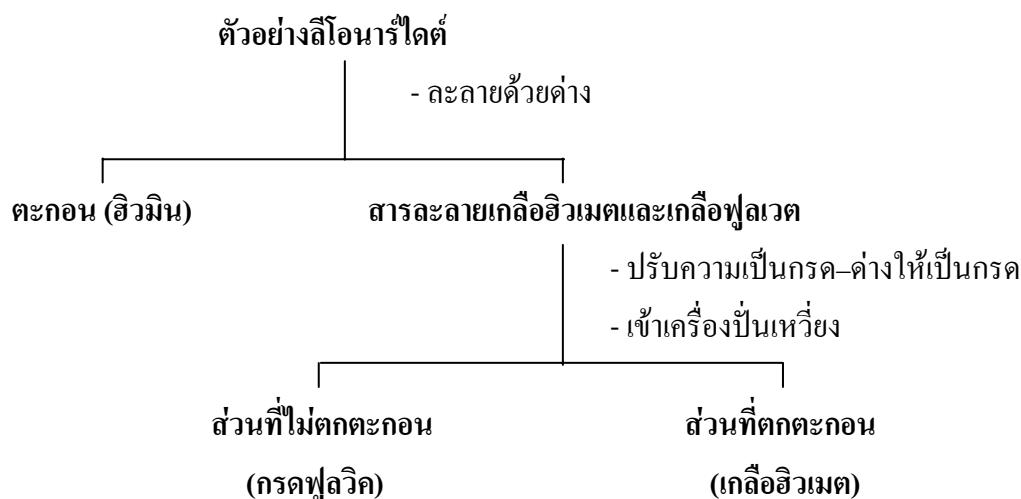
- 1) ทำให้ดินมีสีน้ำตาลเข้ม – ดำ ซึ่งสามารถดูดกลืนพลังงานจากแสงแดดได้ดี
- 2) มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดิน
  - 2.1) ทำให้เกิดเม็ดดิน (Granulation)
  - 2.2) ยึดหยุ่นได้ดี (Plasticity) การดูดซึมน้ำ (Cohesion) ฯลฯ
  - 2.3) มีค่าความจุความชื้นสูง (Water holding capacity) ช่วยให้ดินมีการอุ้มน้ำได้ดี และอุ้มได้มากทำให้ได้ผลผลิตในการปลูกพืชเพิ่มขึ้น
- 3) มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุสูง
  - 3.1) มีความสามารถแลกเปลี่ยนประจุสูง 2 – 30 เท่าของดินเหนียวซิลิเกต
  - 3.2) มีความสามารถในการดูด (Adsorbing power) สูงเป็นร้อยละ 20 – 90 ของดินแร่
- 4) เพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช
  - 4.1) เป็นตัวช่วยจับธาตุอาหาร ทั้งธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองที่อยู่ในดิน และสามารถนำไปส่งต่อไปให้พืช ทำให้พืชสามารถดูดซึมเอาไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย
  - 4.2) ช่วยเพิ่มการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ในดิน
  - 4.3) สามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกให้อยู่ในรูปเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดี
  - 4.4) ประกอบด้วยธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ (N, P, S) และจุลธาตุสูง
  - 4.5) สามารถทำให้แร่ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาได้
- 5) ช่วยควบคุมความเป็นกรด – ด่างในดินทำให้ดินมีสถานะเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช
- 6) เป็นตัวช่วยตรึงอ็อกซิเจนของโลหะหนักในดิน
- 7) สามารถช่วยจับสารพิษ เช่น แอมโมเนียในดิน ในน้ำ
- 8) เป็นตัวช่วยตกตะกอนโลหะหนักในน้ำ
- 9) ใช้ผสมในอาหารสัตว์เป็นตัวช่วยป้องกันโรคในสัตว์
- 10) ใช้ในการผลิตยาเนื่องจากสามารถป้องกันไม่ให้ไวรัสเข้าสู่เซลล์ และใช้เป็นเครื่องสำอางค์ทาผิวป้องกันไม่ให้ผิวหนังดูดซับสารพิษ ใช้เป็นอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ
- 11) ใช้เป็นวัสดุหล่อลื่น (Drilling mud) ในการขุดเจาะน้ำมัน (Oil drilling)

### 2.2.7 การทดสอบกรดฮิวมิก

สามารถทำได้โดยวิธีทางสเปกโทรสโกปี (Spectroscopic methods) เช่น ใช้ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared; FTIR) ดูหมู่ฟังก์ชันนัล (Functional groups) เทียบกับกรดฮิวมิกมาตรฐาน โซลิดสเตทเอ็นเอ็มอาร์ (Solid State NMR) ดูเอ็นเอ็มอาร์สเปกตรัม (NMR Spectrum) เทียบกับเอ็นเอ็มอาร์สเปกตรัมของกรดฮิวมิกมาตรฐาน โครมาโทกราฟีชนิดของเหลวสมรรถนะสูงแบบเจล (Gel-HPLC) ดูขนาดน้ำหนักโมเลกุลของกรดฮิวมิกมาตรฐาน หรือใช้วิธีอื่น ๆ เช่น ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เป็นต้น

### 2.3 การสกัดกรดฮิวมิก [6]

การสกัดกรดฮิวมิกในทางเคมีสามารถทำได้โดยละลายตัวอย่างด้วยด่าง เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กรดฮิวมิกจะถูกสกัดเข้ามาละลายอยู่ในชั้นของสารละลายด่างเป็นโซเดียมฮิวเมตหรือโพแทสเซียมฮิวเมต จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาตกตะกอนด้วยกรด โดยปรับให้ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 1 แล้วนำไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยกตะกอนเกลือฮิวเมตออกมา



รูปที่ 2.4 วิธีการสกัดกรดฮิวมิกในรูปเกลือฮิวเมต

### 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี ค.ศ. 1996 Garcia และคณะ [13] ได้สกัดกรดฮิวมิกจากแร่ลิโอนาร์ไต์และลิกไนต์จากเมือง Teruel ประเทศสเปน โดยใช้สารละลายชนิดต่าง ๆ มาเป็นตัวสกัด อาทิเช่น สารละลาย



โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ (0.1 M NaOH) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ (0.1 M KOH) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมลาร์/สารละลายโซเดียมไฟโรฟอสเฟต 0.1 โมลาร์ (0.25 M KOH/0.1 M  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) หรือสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์/สารละลายโซเดียมไฟโรฟอสเฟต (0.1 M NaOH/  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) โดยใช้เวลาในการกวนสารละลาย 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 23,500 g เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำสารละลายมาตกตะกอนกรดฮิวมิกด้วยกรดเกลือที่พีเอช 2.0 พบว่าสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมลาร์ สกัดกรดฮิวมิกออกมาได้มากที่สุด

ปี ค.ศ. 1999 Dicle และ Burba [8] ได้ทำการทดลองสกัดฮิวมิกจากลีโอนาร์ไคต์จากดิน Oxisol และ Mollisol จากตอนใต้ของประเทศบราซิล (South Brazil) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ (0.1 M NaOH) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ (0.5 M NaOH) และสารละลายโซเดียมไฟโรฟอสเฟต 0.15 โมลาร์ (0.15 M  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) จากนั้นทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที จากนั้นตกตะกอนกรดฮิวมิกด้วยกรดเกลือเจือจาง พบว่าสามารถสกัดฮิวมิกได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์

ปี ค.ศ. 1999 Gernier-Sillam และ Harigenth [14] ได้นำพีทจากเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย มาสกัดกรดฮิวมิกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล (0.1 N NaOH) และสารละลายโซเดียมไฟโรฟอสเฟต 0.1 นอร์มัล (0.1 N  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) จากนั้นนำสารละลายมาตกตะกอนด้วยกรดกำมะถันเจือจางที่พีเอช 1.0

ปี ค.ศ. 2001 Kurbanli และคณะ [20] ได้นำลีโอนาร์ไคต์จากเมือง Ermenek และ Ilgin ประเทศตุรกี มาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ (5% NaOH) และตกตะกอนกรดฮิวมิกด้วยสารละลายกรดเกลือที่พีเอช 3.0 สามารถสกัดกรดฮิวมิกได้ 38 เปอร์เซ็นต์

ปี ค.ศ. 2007 Fong และ Seng [10] ได้นำลีโอนาร์ไคต์จากเมือง Mukah รัฐ Sarawak ประเทศมาเลเซีย มาทดลองสกัดด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ (0.5 M KOH) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำเอาสารละลายมาตกตะกอนด้วยกรดเกลือที่พีเอช 1 – 2 โดยมีการเติมสารละลายออกซิไดซ์ ได้แก่ สารละลายกรดไนตริก 5 เปอร์เซ็นต์ (5%  $\text{HNO}_3$ ) สารละลายกรดไนตริก 10 เปอร์เซ็นต์ (10%  $\text{HNO}_3$ ) สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ (5%  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 5 เปอร์เซ็นต์ (5%  $\text{KMnO}_4$ ) และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 10 เปอร์เซ็นต์ (10%  $\text{KMnO}_4$ ) ลงไปด้วยในขณะที่สกัด พบว่าสามารถสกัดกรดฮิวมิกได้ 35 – 67 เปอร์เซ็นต์

## บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

#### 3.1.1 อุปกรณ์

- 1) เครื่องเฟลมอะตอมมิกแอสซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AA6200 ประเทศญี่ปุ่น
- 2) เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Denver รุ่น 215 ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3) เครื่องชั่งความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler toledo รุ่น AG 245 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 4) เตาเผาชนิดไฟฟ้า (Electric Furnace) ยี่ห้อ Bamford รุ่น Sheffield S30 2 Au ประเทศอังกฤษ
- 5) เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Hettich รุ่น Universal 32 ประเทศเยอรมนี
- 6) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น 1375 FX ประเทศเยอรมนี
- 7) เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม-อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) ยี่ห้อ Bruker Optik รุ่น TENSOR 27 ประเทศเยอรมนี
- 8) โกร่งบด (Porcelain mortar)
- 9) เป้าเผา (Porcelain crucible)

#### 3.1.2 สารเคมี

- 1) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl) ความเข้มข้น 36.0 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก/ปริมาตร จากบริษัท Ajax Chemical ประเทศออสเตรเลีย
- 2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) จากบริษัท BDH ประเทศอังกฤษ
- 3) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide; KOH) จากบริษัท BDH ประเทศอังกฤษ
- 4) สารละลายมาตรฐานทองแดง (Cu) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 5) สารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

- 6) สารละลายมาตรฐานแมงกานีส (Mn) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 7) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (Fe) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 8) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 9) สารละลายมาตรฐานโซเดียม (Na) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 10) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (K) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 11) สารละลายมาตรฐานแคลเซียม (Ca) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 12) สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม (Mg) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 13) โซเดียมฮิวเมต (Humic acid sodium salt) จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา

### 3.2 วิธีการทดลอง

#### 3.2.1 การเตรียมตัวอย่างแร่เพื่อใช้ในการเตรียมโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต

ตัวอย่างลิโอนาร์ไคต์ได้รับความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่าง โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (เหมืองแม่เมาะ) อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยมีตัวอย่างจาก 3 กอง ซึ่งในงานวิจัยได้คัดเลือกมา 2 กอง คือ กองที่ 1 (ตัวอย่างหมายเลข 1) และกองที่ 2 (ตัวอย่างหมายเลข 2) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 – 3.5 สุ่มตัวอย่างลิโอนาร์ไคต์ออกมาจากถุงเก็บตัวอย่างและคลุกให้เข้ากันในแต่ละหมายเลขตัวอย่าง เก็บเอาเศษหิน เศษใบไม้ รากไม้ทิ้ง นำตัวอย่างมาตากให้แห้งในที่ร่ม (Air dried) เมื่อแห้งสนิทให้เก็บไว้ในขวดพลาสติกเพื่อที่จะเก็บนำไปเพื่อศึกษาต่อไป จากนั้นแบ่งตัวอย่างออกมาเพื่อทำการบดด้วยโกร่งบดจนละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 100 mesh) เป็นเนื้อเดียวกันนำมาบรรจุลงในถุงพลาสติก หรือขวด พลาสติกเก็บไว้เพื่อใช้ในการเตรียมโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต ต่อไป



รูปที่ 3.1 กองลีโอนาร์ไดต์บริเวณเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง



รูปที่ 3.2 ลีโอনারไคต์ในแหล่งถ่านหินลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างลีโอনারไคต์กองที่ 1





รูปที่ 3.4 ตัวอย่างลีโอนาร์ไคต์กองที่ 2



รูปที่ 3.5 การสุ่มตัวอย่างลีโอนาร์ไคต์จากกอง

## บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

### 4.1 ผลการศึกษาความเร็วรอบและระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกทิ้ง

#### เม็ดดินออกจากสารละลายที่ใช้ในการเตรียมโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต

จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 เราทราบว่ากรดฮิวมิกนั้นเกาะค่อนข้างแน่นอยู่กับเม็ดดินที่มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นในการสกัดจึงจำเป็นต้องแยกเอาเม็ดดินออกทิ้ง ในการแยกเม็ดดินออกจากสารละลายที่สกัด มีวิธีที่นิยมใช้อยู่ 2 วิธีด้วยกัน [6] วิธีที่ 1 ใช้เครื่องกรองชนิด Filter press หรือใช้ Vacuum filter โดยใช้กระดาษกรอง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.45 ไมครอน วิธีที่ 2 ใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) สำหรับในงานทดลองนี้พบว่าถ้าใช้เครื่องกรองจะมีปัญหาเนื่องจากใช้เวลาในการกรองนานมาก และกระดาษกรองมีราคาแพง ดังนั้นจึงสนใจที่จะใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงมาตัวแยกเอาเม็ดดินออกจากสารละลาย ดังนั้นจึงต้องศึกษาความเร็วรอบและระยะเวลาที่เหมาะสมในการแยก เนื่องจากเครื่องหมุนเหวี่ยงที่นำมาศึกษามีความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 4,500 รอบต่อนาที ดังนั้นเพื่อเป็นการถนอมอายุการใช้งานของเครื่องจึงเลือกใช้ความเร็วที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยงไม่เกิน 3,500 รอบต่อนาที

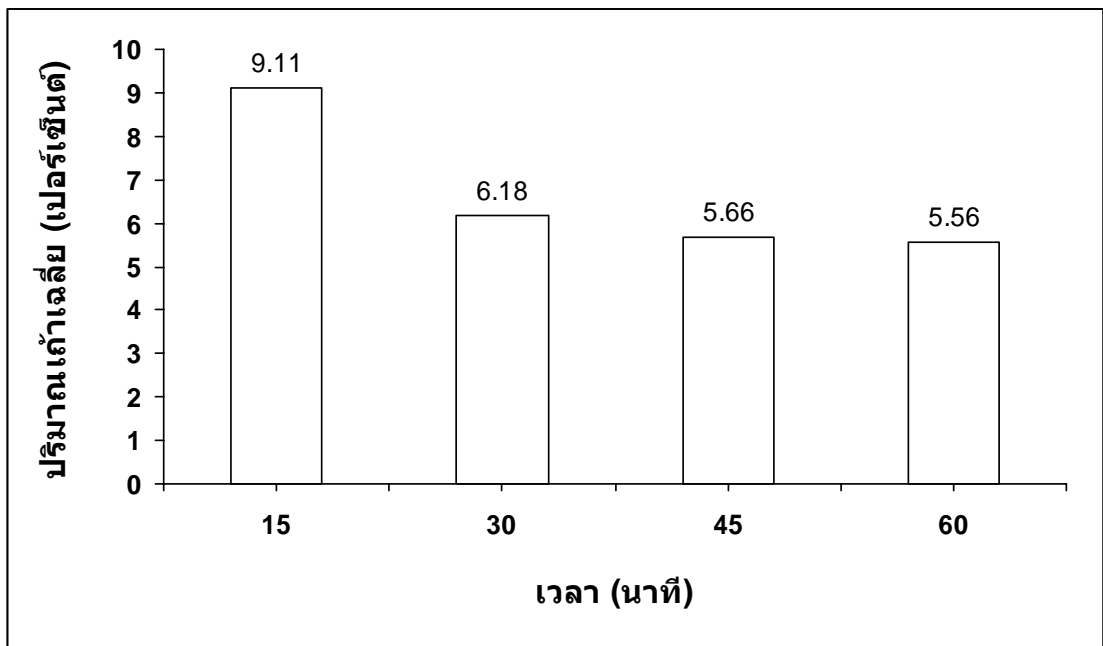
#### 4.1.1 ผลการศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกทิ้งเม็ดดินออกจากสารละลายที่ใช้ในการเตรียมโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต

ผลของความเร็วรอบในการหมุนเหวี่ยงที่มีต่อการแยกเม็ดดินออกจากสารละลายที่ใช้ในการเตรียมโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต ได้ความเร็วรอบที่เหมาะสมในการหมุนเหวี่ยงคือ ที่ 3,500 รอบต่อนาที

#### 4.1.2 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกทิ้งเม็ดดินออกจากสารละลายที่ใช้ในการเตรียมโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต

เมื่อได้ความเร็วรอบที่เหมาะสมในการหมุนเหวี่ยง คือ ที่ 3,500 รอบต่อนาที จากนั้นจึงได้ทำการศึกษาถึงระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมุนเหวี่ยง โดยทำการศึกษาที่ระยะเวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการหมุนเหวี่ยงตั้งแต่ 45 นาที ขึ้นไป จะให้ปริมาณเข้าประมาณ 5.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ระยะเวลา 30 นาที ได้ปริมาณเข้า 6.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่ามีค่าต่างจากค่าที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงที่ระยะเวลา 45 นาที ไม่มากนัก ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการหมุนเหวี่ยง ในการทดลองต่อไปจะใช้ระยะเวลาในการหมุนเหวี่ยงที่ 30 นาที และใช้ความเร็วรอบในการหมุนเหวี่ยงที่ 3,500 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.1 ผลของระยะเวลาในการหมุนเหวี่ยงที่มีต่อการแยกเม็ดดินออกจากสารละลายที่ใช้ในการเตรียมโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมต ใช้ความเร็วรอบในการหมุนเหวี่ยง 3,500 รอบต่อนาที

#### 4.2 ผลการศึกษาการเตรียมโซเดียมอิวเมตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

##### 4.2.1 ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอิวเมต

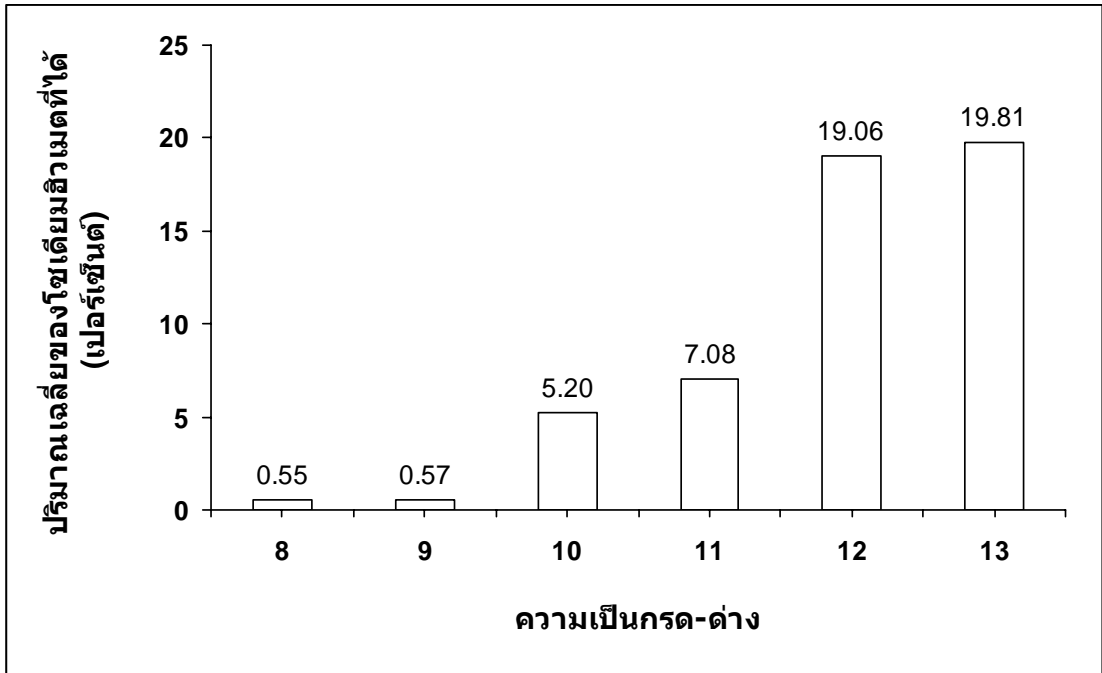
ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์วิธีการในการเตรียมโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมตจากวิธีของ Garcia และคณะ [13] ซึ่งใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการเตรียม และตกตะกอนผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการดังกล่าวใช้สารเคมีที่หาได้ง่าย สะดวก และมีราคาที่ไม่แพง จึงได้เลือกใช้ในการศึกษาเบื้องต้นในการเตรียมโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมตจากลิโอนาร์ไต์จากแหล่งถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

##### (1) ผลการศึกษาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอิวเมต

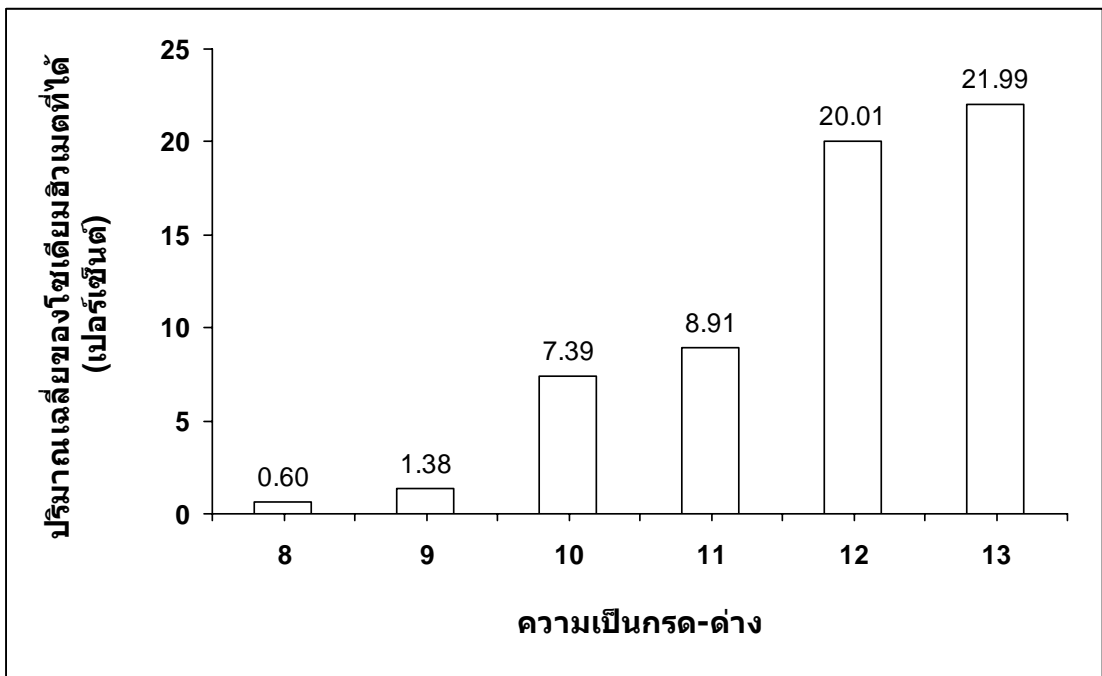
ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเตรียมโซเดียมอิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1 และกองตัวอย่างที่ 2 รูปที่ 4.2 – 4.3

จากผลการทดลองพบว่า ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้ในการเตรียมโซเดียมอิวเมต จากตัวอย่างทั้งกองตัวอย่างที่ 1 และกองตัวอย่างที่ 2 ควรใช้ความเป็นกรด-ด่างที่มากกว่า 12.0 ขึ้นไป จึงจะสามารถสกัดโซเดียมอิวเมตออกมาได้ดี ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปจะมีการควบคุมความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้เตรียมให้มากกว่า 12.0





รูปที่ 4.2 ผลของผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเตรียมคลอโรฟิลล์เอ โดยใช้อัตราส่วนจากกองตัวอย่างที่ 1



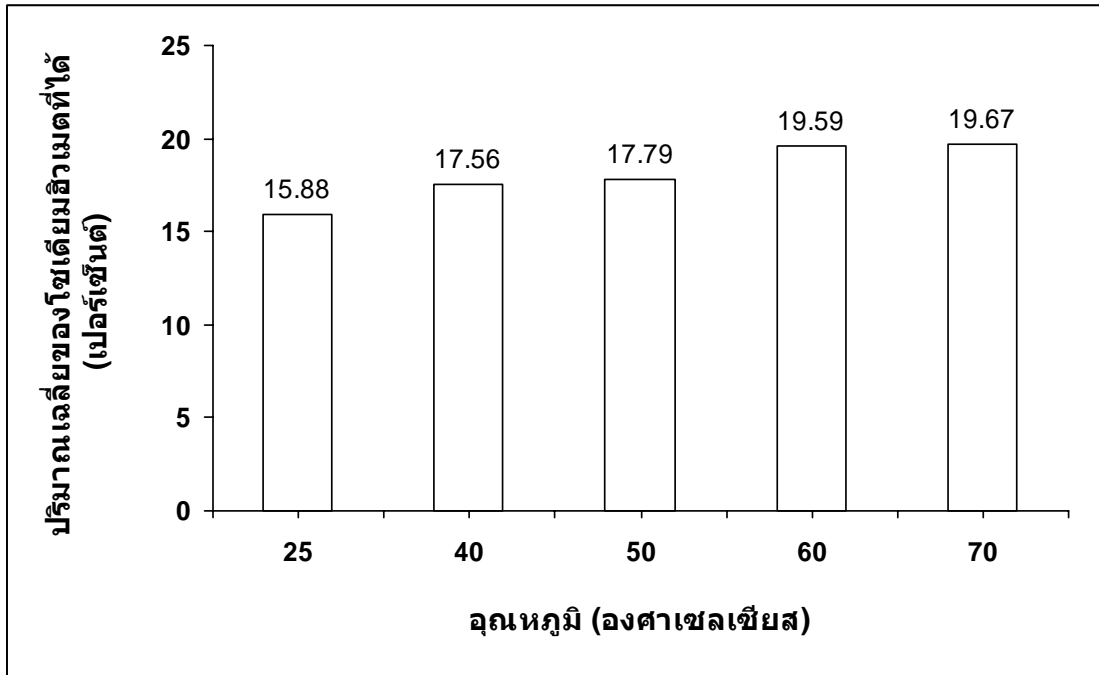
รูปที่ 4.3 ผลของผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเตรียมคลอโรฟิลล์เอ โดยใช้อัตราส่วนจากกองตัวอย่างที่ 2

(2) ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมฮิวเมต

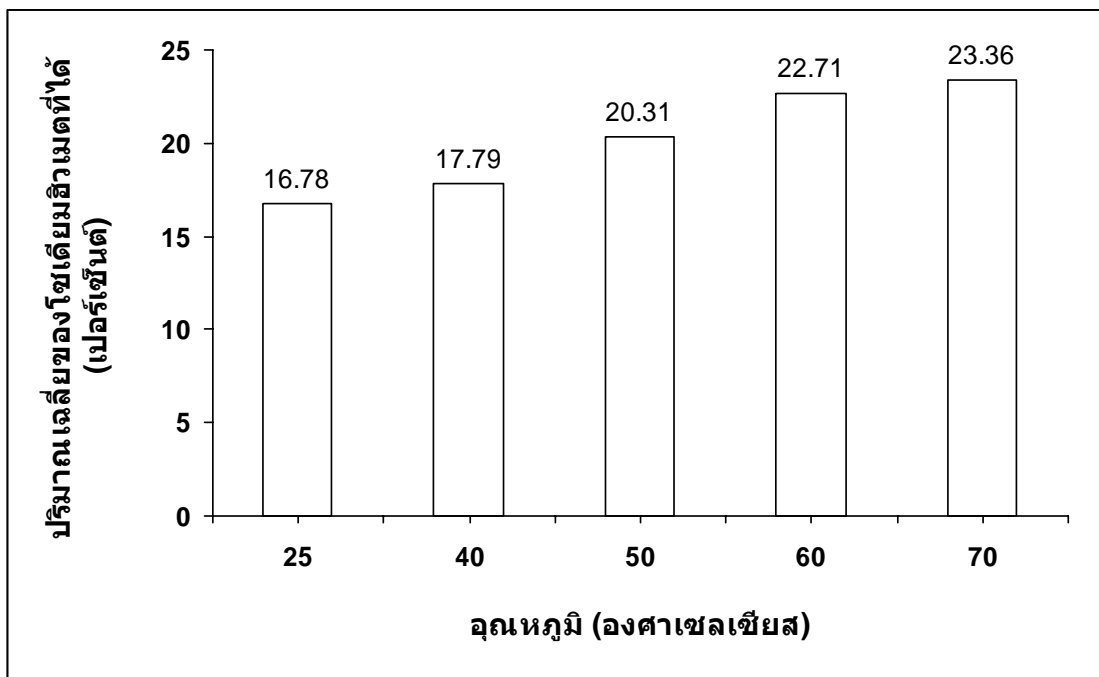
ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเตรียมโซเดียมฮิวเมต

โดยใช้วัตถุดิบจากกอง

ตัวอย่างที่ 1 และกองตัวอย่างที่ 2 แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 – 4.5



รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเตรียมโซเดียมฮิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1



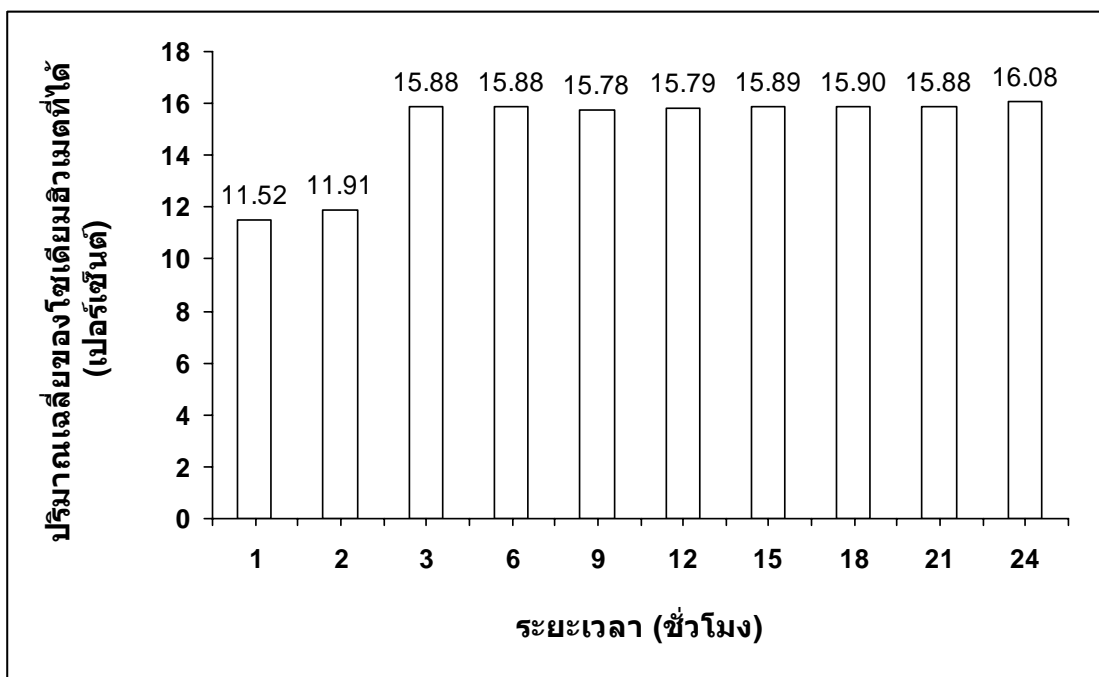
รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเตรียมโซเดียมฮิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 2

จากผลการทดลองถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการเตรียมสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ขึ้นไป จะสามารถเตรียมโซเดียมอิวเมตได้ปริมาณมากขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 25 – 40 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณโซเดียมอิวเมตน้อยกว่าเพียงแค่ประมาณ 4 – 5 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน และเนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในเมืองไทยจะอยู่ที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส ในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้อุณหภูมิห้องในการเตรียมโซเดียมอิวเมต

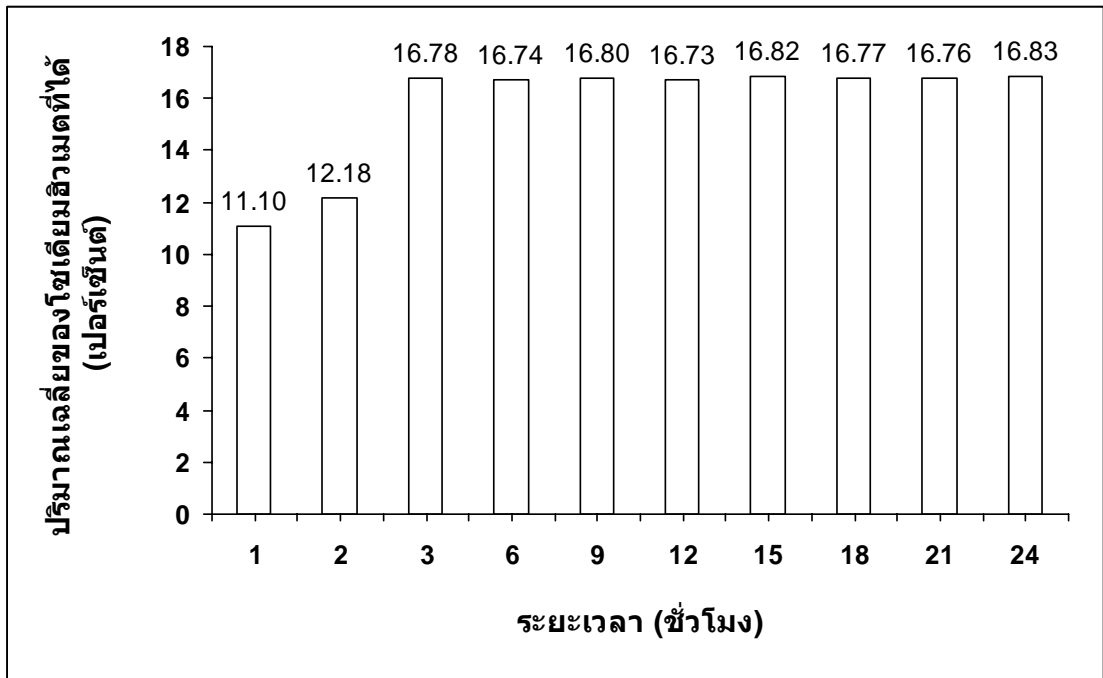
### (3) ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอิวเมต

ผลของระยะเวลาที่มีต่อการเตรียมโซเดียมอิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1 และกองตัวอย่างที่ 2 แสดงไว้ในรูปที่ 4.6 – 4.7

จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการแช่วัตถุดิบในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากกว่า 3 ชั่วโมงขึ้นไป จะให้ปริมาณโซเดียมอิวเมตที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงเลือกใช้ระยะเวลาในการแช่ 3 ชั่วโมง ขึ้นไป



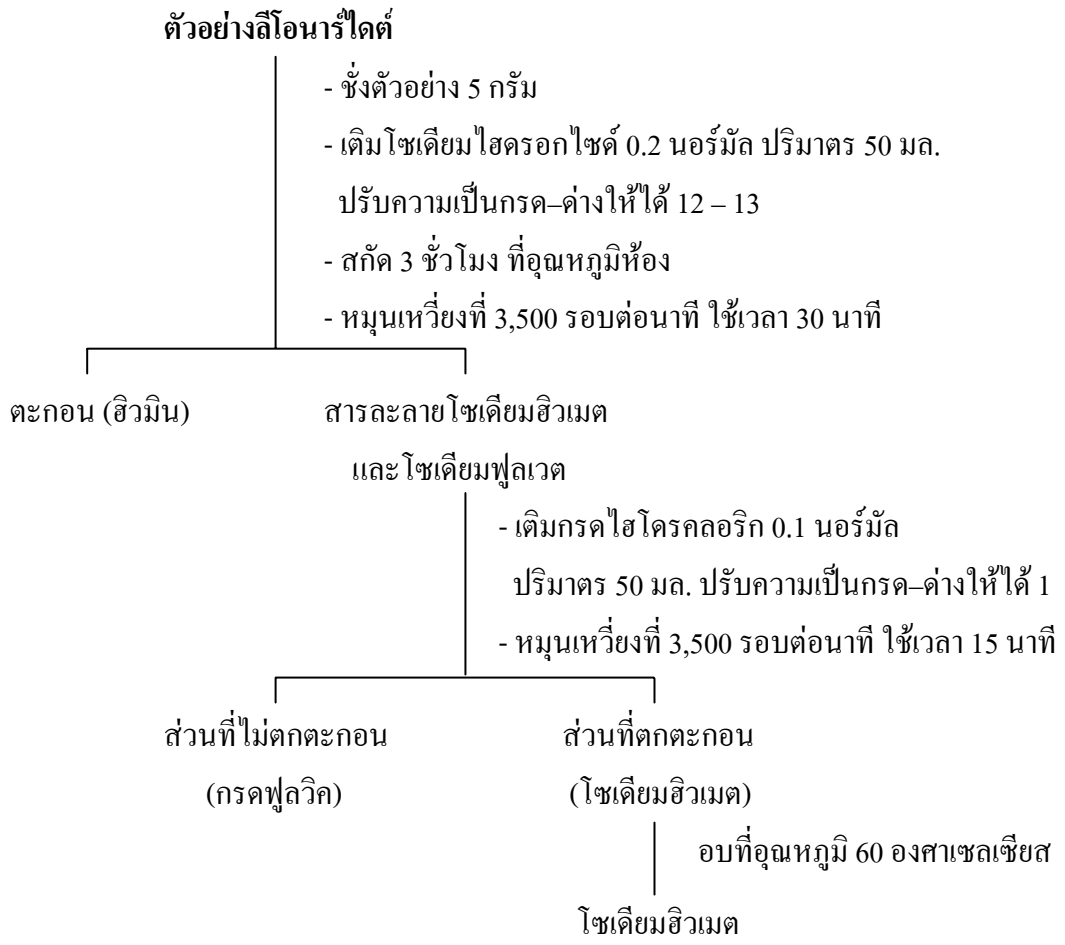
รูปที่ 4.6 ผลของระยะเวลาที่มีต่อการเตรียมโซเดียมอิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.7 ผลของระยะเวลาที่มีต่อการเตรียมโซเดียมไฮโปคลอไรต์ โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 2

#### 4.2.2 สรุปขั้นตอนและสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมไฮโปคลอไรต์

สรุปขั้นตอนและสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมไฮโปคลอไรต์จากลิโอนาร์ไดต์ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 – 4.2 และ 4.3.1 แสดงได้ดังรูปที่ 4.8



**รูปที่ 4.8** ขั้นตอนและสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมฮิวเมตจากตัวอย่างลิโอร่าไคต์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เมื่อนำขั้นตอนและสภาวะที่เหมาะสมนี้มาใช้ในการเตรียมโซเดียมฮิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1 และกองตัวอย่างที่ 2 ลักษณะของโซเดียมฮิวเมตที่เตรียมได้แสดงในรูปที่ 4.9



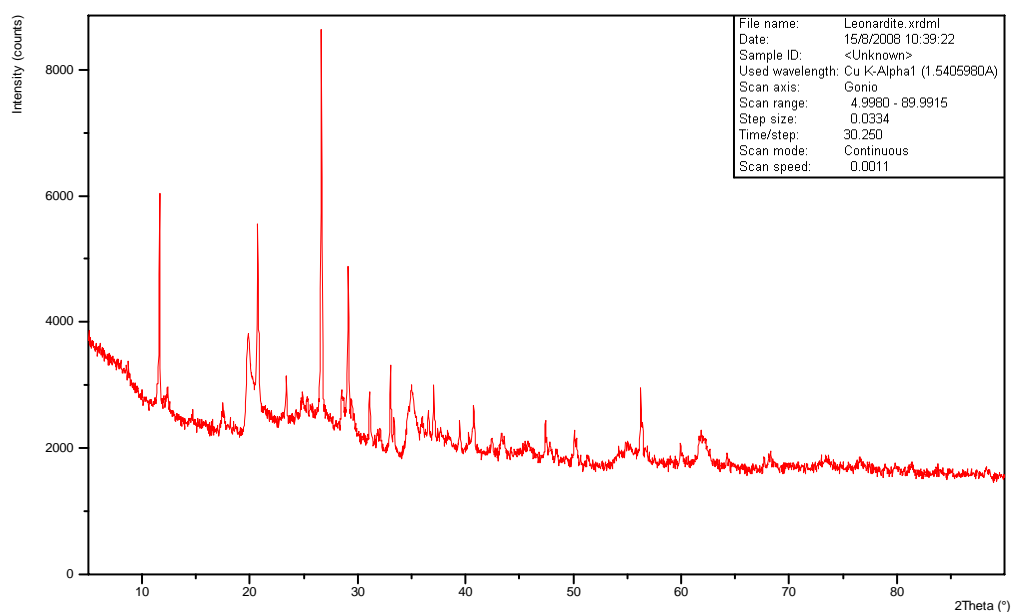
รูปที่ 4.9 สารประกอบโซเดียมฮิวเมตที่เตรียมได้โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

#### 4.2.3 การตรวจเอกลักษณ์วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้

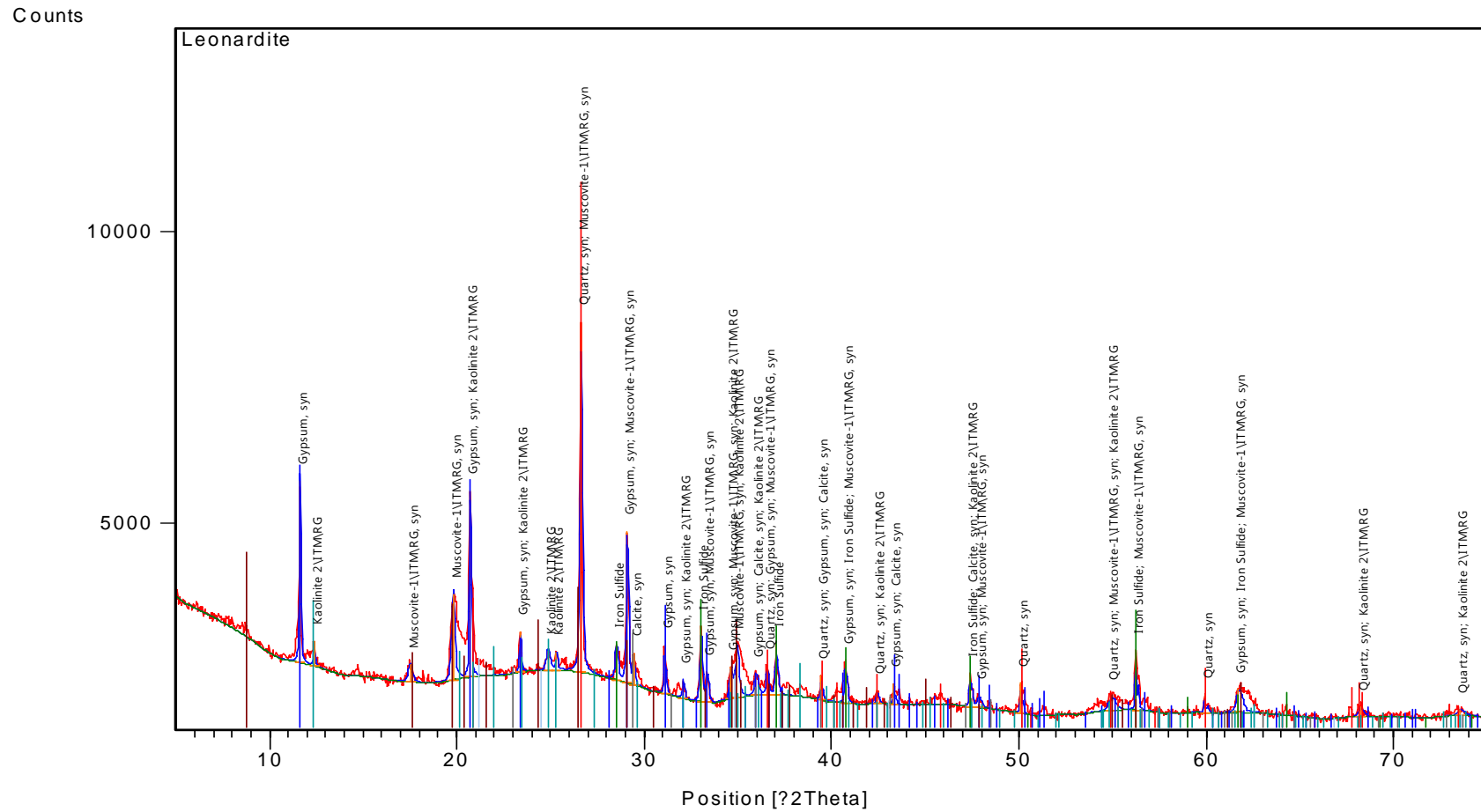
##### (1) ผลการตรวจเอกลักษณ์ของวัตถุดิบด้วยด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

##### สเปกโทรสโกปี (X-ray Diffraction spectroscopy, XRD)

ผลของการตรวจเอกลักษณ์ตัวอย่างลีโอนาร์ไดต์ด้วยเทคนิค XRD ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.10 – 4.11 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.10 XRD-Pattern ของลีโอนาร์ไดต์จากแหล่งลิกไนต์ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง



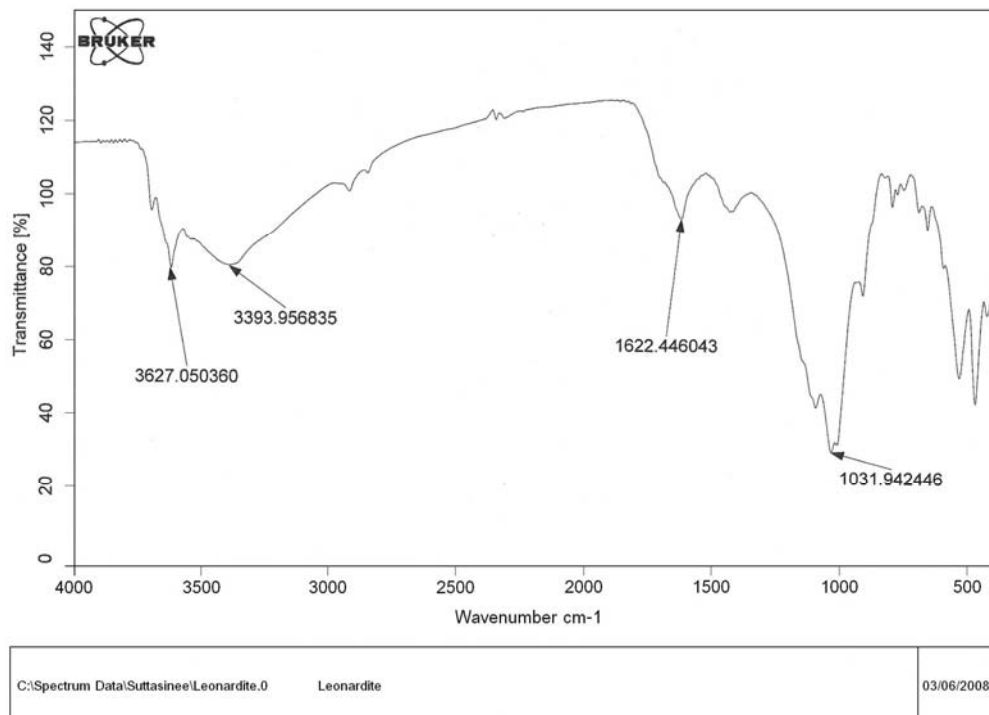
รูปที่ 4.11 XRD-Label ของลีโอนาร์ไดต์จากแหล่งลิกไนต์ อำเภอมะเมาะ จังหวัดลำปาง

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบแร่ที่ตรวจพบในลีโอนาร์ไดต์ด้วยเครื่อง XRD

สารประกอบที่พบ	ชื่อสารประกอบ (เทียบกับ JCPDS)
1	Gypsum( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
2	Calcite( $\text{CaCO}_3$ )
3	Kaolinite( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
4	Muscovite ( $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$ )
5	Quartz( $\text{SiO}_2$ )
6	Iron sulfide( $\text{FeS}_2$ )

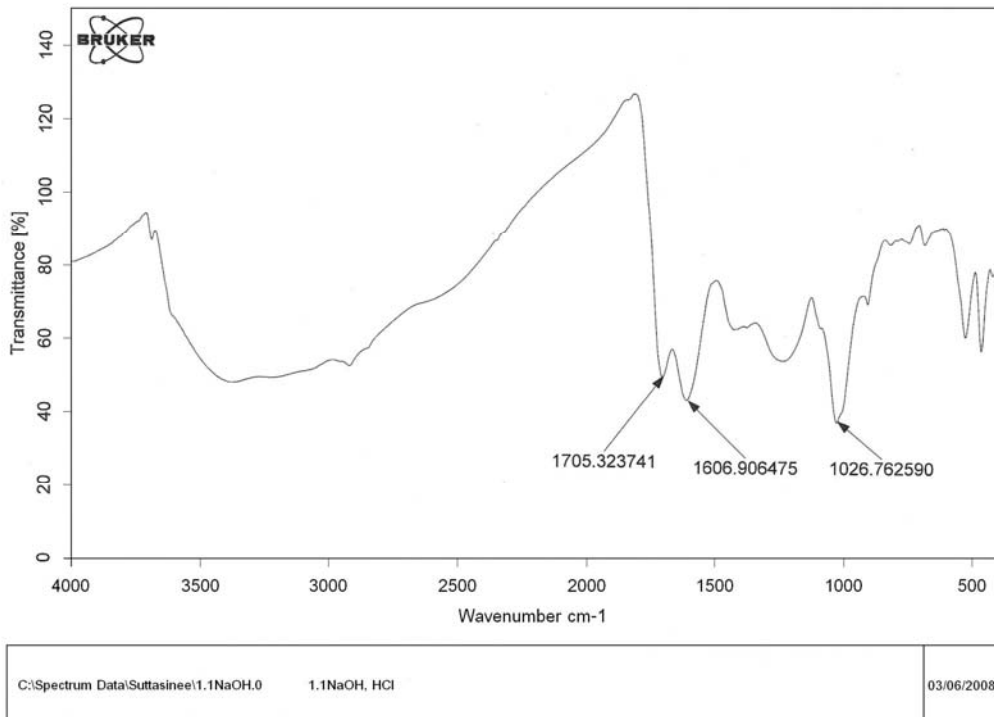
(2) ผลการตรวจเอกลักษณ์ของโซเดียมฮิวเมตด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม-อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)

รูปที่ 4.12 - 4.14 แสดง FTIR Spectrum ของลีโอนาร์ไดต์ สารประกอบโซเดียมฮิวเมตที่เตรียมได้ เปรียบเทียบกับสารประกอบโซเดียมฮิวเมตเกรดสารเคมีที่วางขายในท้องตลาด จากผลการทดลองให้ลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ตารางที่ 4.2 แสดงความถี่และชนิดของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบโซเดียมฮิวเมตที่เตรียมได้

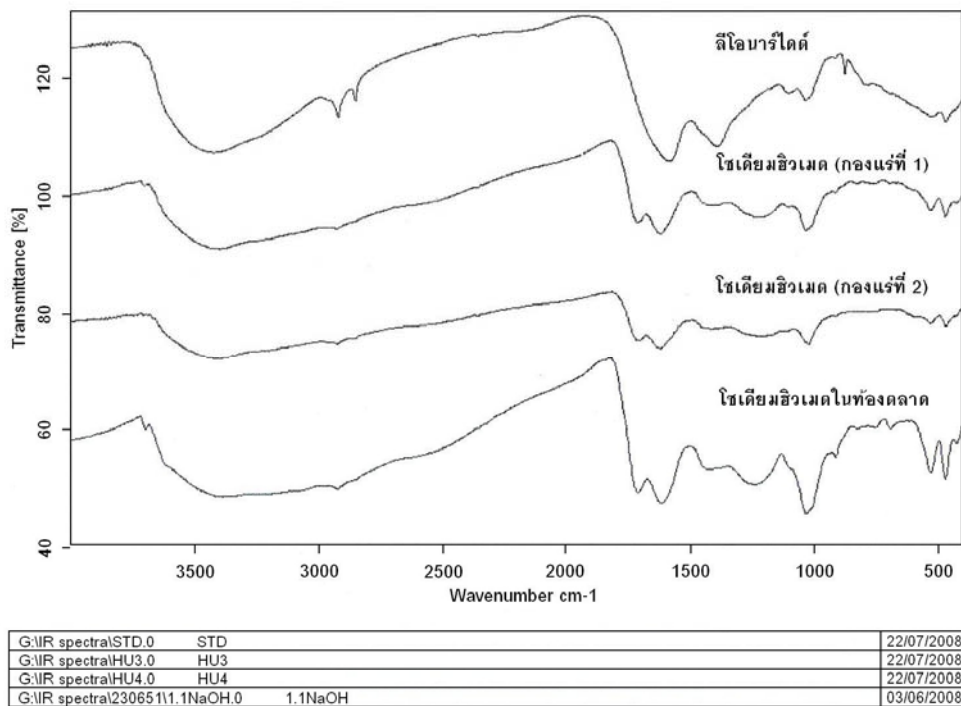


รูปที่ 4.12 FTIR Spectrum ของลีโอนาร์ไดต์





รูปที่ 4.13 FTIR Spectrum ของโซเดียมอัลจิเนตที่เตรียมได้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโครอิกไซด์



รูปที่ 4.14 FTIR Spectrum ของลิโอบาร์ไดต์จากสารประกอบโซเดียมอัลจิเนตที่เตรียมได้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮโครอิกไซด์ เปรียบเทียบกับสารประกอบโซเดียมอัลจิเนตที่วางขายในท้องตลาด

**ตารางที่ 4.2** ความถี่และชนิดของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบ โซเดียมซิลิเกตที่เตรียมได้เทียบกับสารประกอบโซเดียมซิลิเกตมาตรฐาน

Wave number (cm <sup>-1</sup> )		Assignment
Sample	Reference <sup>[19]</sup>	
3400	3400	OH-stretching
2900, 2800	2922, 2860 and 1430, 1334	CH-stretching
1709	1706	C=O stretching
1606	1615	C=C stretching aromatic
1026	1031	Si-O stretching

#### 4.2.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะบางตัวในตัวอย่างตัวอย่างลิโอนาร์ไคต์และในโซเดียมซิลิเกตที่เตรียมได้

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะบางชนิดในตัวอย่างลิโอนาร์ไคต์ และในโซเดียมซิลิเกตที่เตรียมได้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากกองตัวอย่างที่ 1 และกองตัวอย่างที่ 2 โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการวิเคราะห์ซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 – 4.11

**ตารางที่ 4.3** ปริมาณ โซเดียม (Na) ในลิโอนาร์ไคต์และโซเดียมซิลิเกต

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณโซเดียม (มก./กก.)	ปริมาณโซเดียมเฉลี่ย (มก./กก.)
ลิโอนาร์ไคต์ กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1036	3,535.47	3,461.57
	2	0.1020	3,387.67	
ลิโอนาร์ไคต์ กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1019	4,103.11	6,614.36
	2	0.1011	9,125.60	
โซเดียมซิลิเกต กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1005	7,323.44	7,335.89
	2	0.1011	7,348.33	
โซเดียมซิลิเกต กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1017	7,372.93	7,516.77
	2	0.1060	7,660.61	

ตารางที่ 4.4 ปริมาณโพแทสเซียม (K) ในลีโอนาร์ไคต์และโซเดียมฮิวเมต

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณ โพแทสเซียม (มก./กก.)	ปริมาณ โพแทสเซียม เฉลี่ย (มก./กก.)
ลีโอนาร์ไคต์ กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1036	1,297.07	1,259.24
	2	0.1020	1,221.41	
ลีโอนาร์ไคต์ กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1019	1,251.83	1,264.03
	2	0.1011	1,276.22	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1005	395.30	411.60
	2	0.1011	427.90	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1017	430.34	407.09
	2	0.1060	383.84	

ตารางที่ 4.5 ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในลีโอนาร์ไคต์และโซเดียมฮิวเมต

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณแคลเซียม (มก./กก.)	ปริมาณแคลเซียม เฉลี่ย (มก./กก.)
ลีโอนาร์ไคต์ กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1036	5,781.32	5,658.52
	2	0.1020	5,535.72	
ลีโอนาร์ไคต์ กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1019	7,301.90	7,095.91
	2	0.1011	6,889.91	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1005	<0.05	<0.05
	2	0.1011	<0.05	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1017	<0.05	<0.05
	2	0.1060	<0.05	

ตารางที่ 4.6 ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ในลีโอนาร์โดต์และโซเดียมฮิวเมต

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณ แมกนีเซียม (มก./กก.)	ปริมาณ แมกนีเซียม เฉลี่ย (มก./กก.)
ลีโอนาร์โดต์ กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1036	3,546.74	3,606.48
	2	0.1020	3,666.21	
ลีโอนาร์โดต์ กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1019	4,062.35	3,958.81
	2	0.1011	3,855.27	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1005	462.80	392.42
	2	0.1011	322.04	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1017	567.10	485.40
	2	0.1060	403.69	

ตารางที่ 4.7 ปริมาณสังกะสี (Zn) ในลีโอนาร์โดต์และโซเดียมฮิวเมต

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณสังกะสี (มก./กก.)	ปริมาณสังกะสี เฉลี่ย (มก./กก.)
ลีโอนาร์โดต์ กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1036	111.61	110.72
	2	0.1020	109.82	
ลีโอนาร์โดต์ กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1019	91.75	101.28
	2	0.1011	110.80	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1005	8.99	21.70
	2	0.1011	34.40	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1017	32.42	37.09
	2	0.1060	41.76	

ตารางที่ 4.8 ปริมาณเหล็ก (Fe) ในลีโอนาร์ไคต์และโซเดียมฮิวเมต

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณเหล็ก (มก./กก.)	ปริมาณเหล็ก เฉลี่ย (มก./กก.)
ลีโอนาร์ไคต์ กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1036	19,372.00	19,495.93
	2	0.1020	19,619.85	
ลีโอนาร์ไคต์ กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1019	21,225.29	21,204.30
	2	0.1011	21,183.31	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1005	8,090.16	7,995.51
	2	0.1011	7,900.85	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1017	4,499.03	4,386.60
	2	0.1060	4,274.16	

ตารางที่ 4.9 ปริมาณทองแดง (Cu) ในลีโอนาร์ไคต์และโซเดียมฮิวเมต

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณทองแดง (มก./กก.)	ปริมาณทองแดง เฉลี่ย (มก./กก.)
ลีโอนาร์ไคต์ กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1036	15.67	13.41
	2	0.1020	11.14	
ลีโอนาร์ไคต์ กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1019	6.37	8.00
	2	0.1011	9.63	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1005	<0.005	<0.005
	2	0.1011	<0.005	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1017	<0.005	<0.005
	2	0.1060	<0.005	

ตารางที่ 4.10 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ในลีโอনারด์ไซต์และโซเดียมฮิวเมต

ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณตะกั่ว (มก./กก.)	ปริมาณตะกั่ว เฉลี่ย (มก./กก.)
ลีโอনারด์ไซต์ กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1036	5.67	5.91
	2	0.1020	6.14	
ลีโอনারด์ไซต์ กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1019	4.37	4.50
	2	0.1011	4.63	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1005	<0.005	<0.005
	2	0.1011	<0.005	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1017	<0.005	<0.005
	2	0.1060	<0.005	

ตารางที่ 4.11 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในลีโอনারด์ไซต์และโซเดียมฮิวเมต

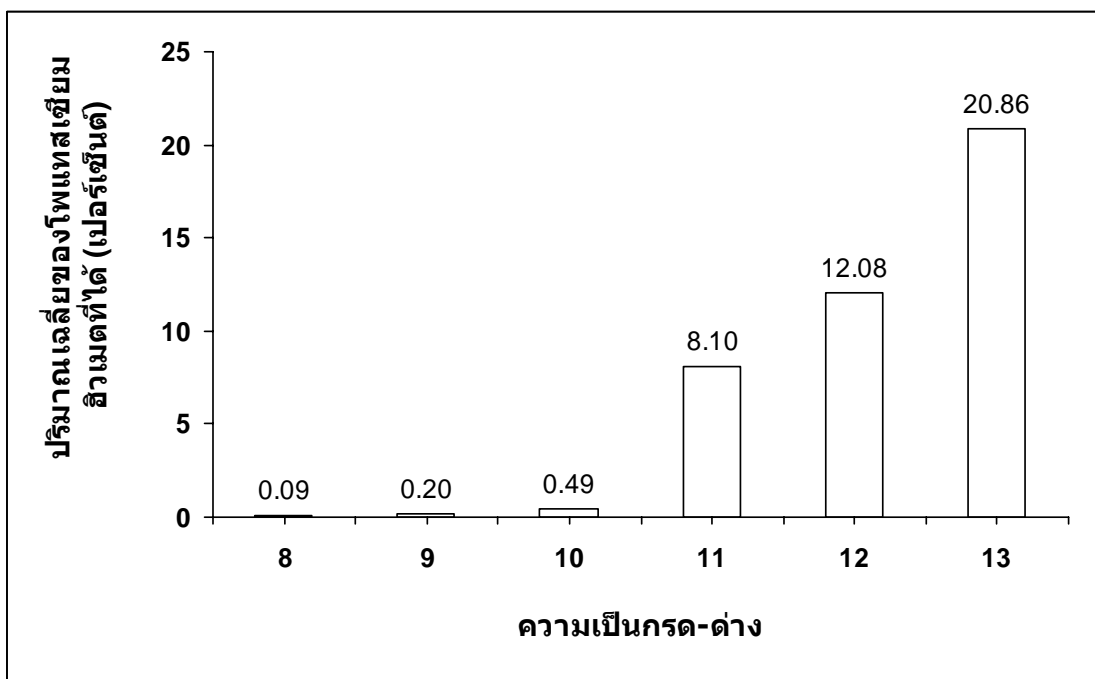
ตัวอย่าง	ครั้งที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณแมงกานีส (มก./กก.)	ปริมาณแมงกานีส เฉลี่ย (มก./กก.)
ลีโอনারด์ไซต์ กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1036	132.86	127.71
	2	0.1020	122.55	
ลีโอনারด์ไซต์ กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1019	139.21	131.43
	2	0.1011	123.64	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 1	1	0.1005	<0.005	<0.005
	2	0.1011	<0.005	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1017	<0.005	<0.005
	2	0.1060	<0.005	

### 4.3 ผลการศึกษาการเตรียมโพแทสเซียมอิมเมตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

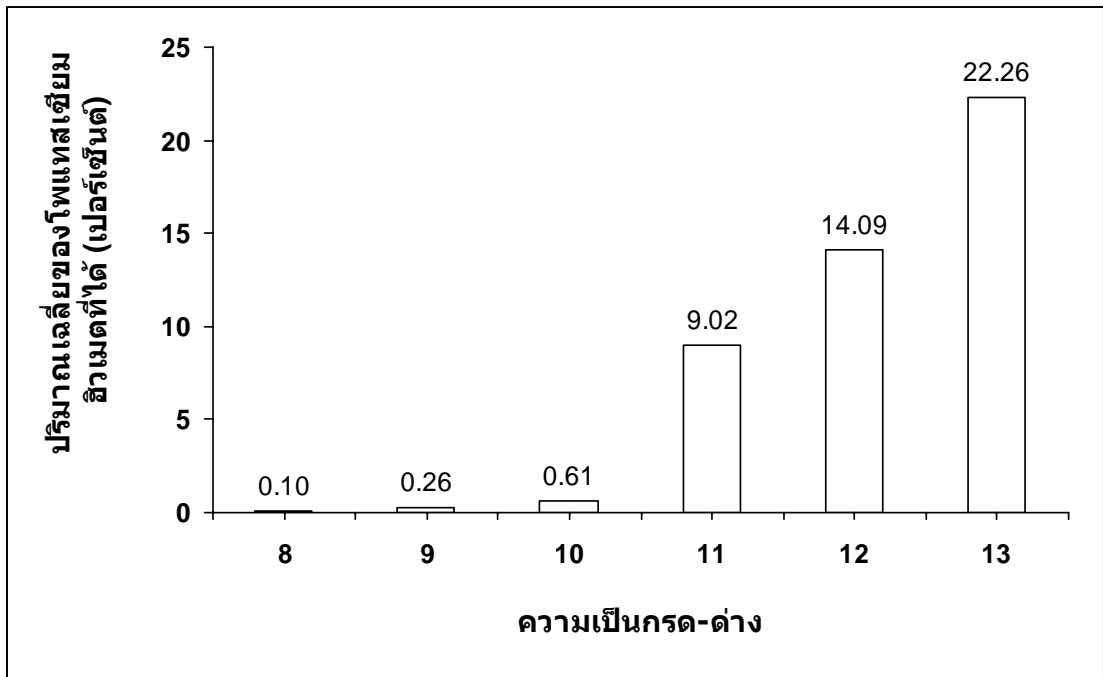
#### 4.3.1 ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมโพแทสเซียมอิมเมต

##### (1) ผลการศึกษาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเตรียมโพแทสเซียมอิมเมต

ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมอิมเมต โดยใช้วัตุดิบจากตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 แสดงไว้ในรูปที่ 4.15 – 4.16 จากผลการทดลองพบว่า สารละลายที่ใช้ในการเตรียมโพแทสเซียมอิมเมต จากตัวอย่างทั้งตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 ควรมีความเป็นกรด-ด่างที่มากกว่า 13.0 ขึ้นไป จึงจะสามารถสกัดโพแทสเซียมอิมเมตออกมาได้ดี ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปจะมีการควบคุมความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้เตรียม ประมาณ 13.0 เนื่องจากได้มีผู้ศึกษาและรายงานว่า ถ้าใช้สารละลายด่างที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป กลุ่มสารอินทรีย์ที่สกัดได้จะถูกทำลาย (Decompose)



รูปที่ 4.15 ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมอิมเมต โดยใช้วัตุดิบจากตัวอย่างที่ 1

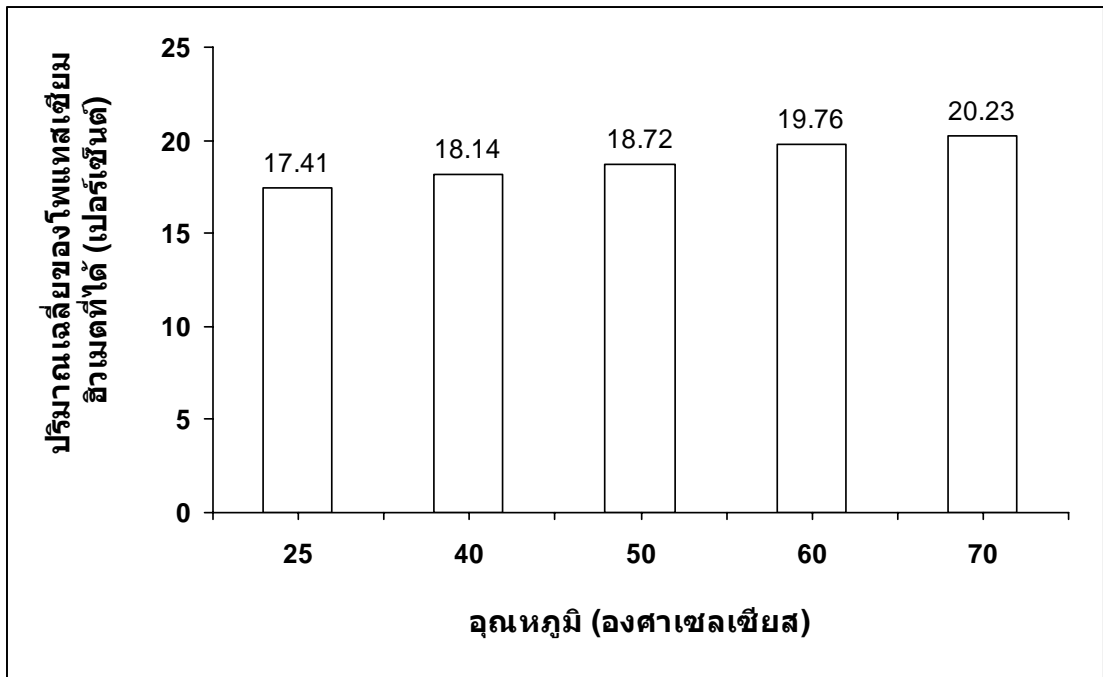


รูปที่ 4.16 ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมซัลเฟต โดยใช้อัตราจากของตัวอย่างที่ 2

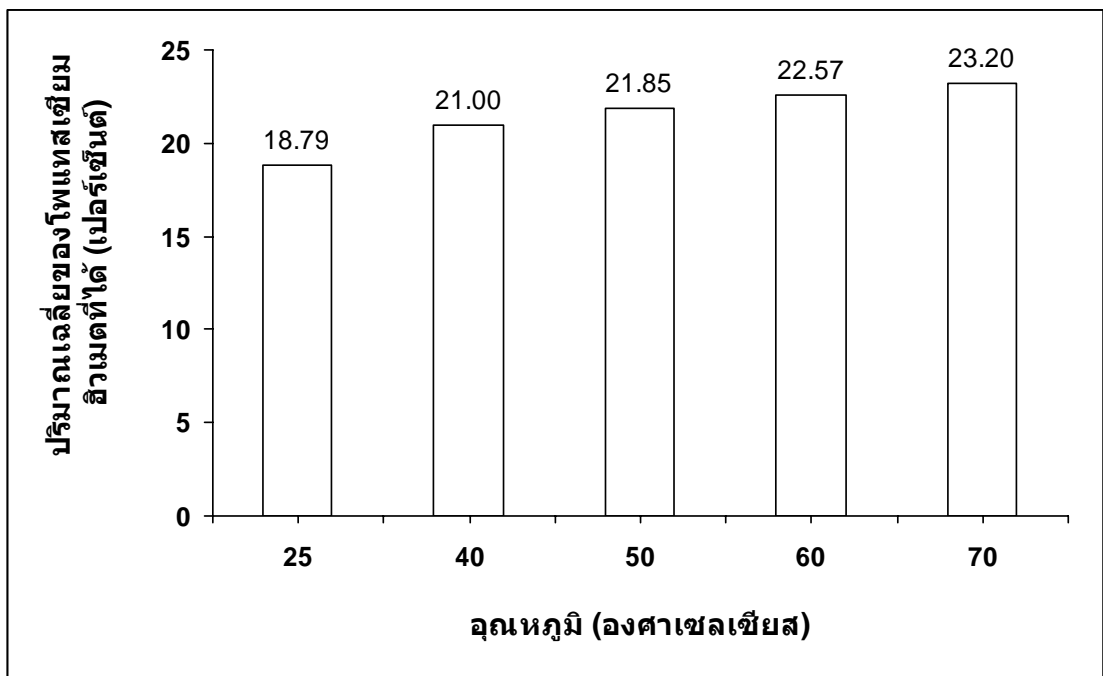
## (2) ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมโพแทสเซียมซัลเฟต

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมซัลเฟต โดยใช้อัตราจากของตัวอย่างที่ 1 และของตัวอย่างที่ 2 แสดงไว้ในรูปที่ 4.17 – 4.18 จากผลการทดลองถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการเตรียมสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ขึ้นไป จะสามารถเตรียมโพแทสเซียมซัลเฟตได้ปริมาณมากขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 25 – 40 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณโพแทสเซียมซัลเฟตน้อยกว่าเพียงแค่ประมาณ 4 – 5 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและเนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในเมืองไทยจะอยู่ที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส ในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้อุณหภูมิห้องในการเตรียมโพแทสเซียมซัลเฟต





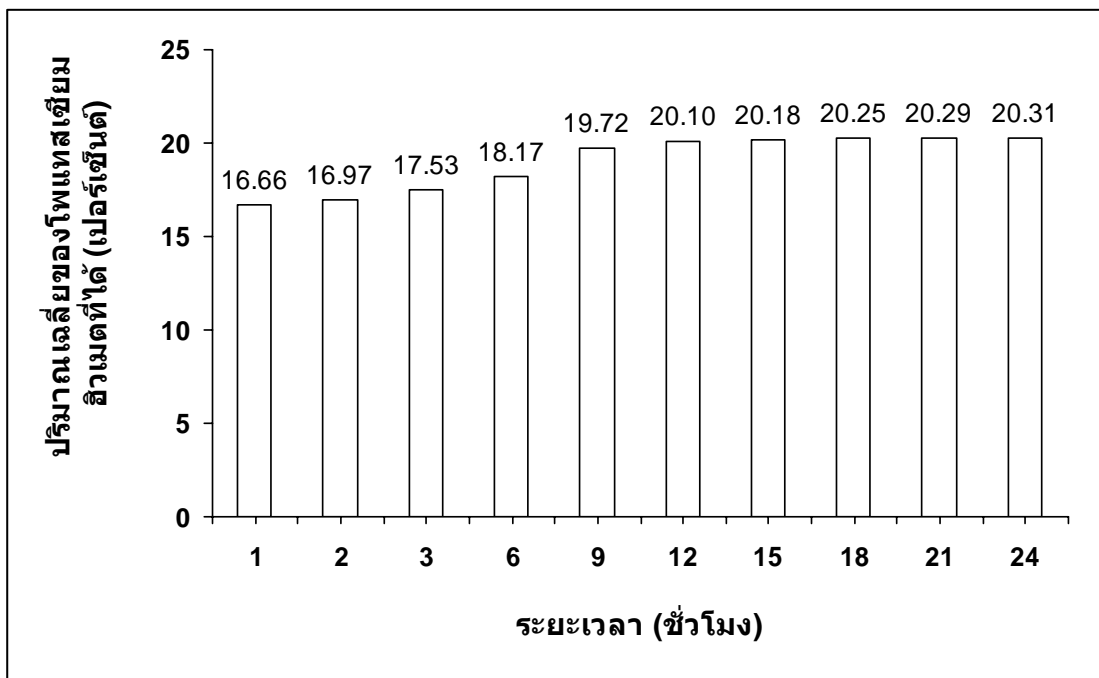
รูปที่ 4.17 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมซิเมนต์ โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1



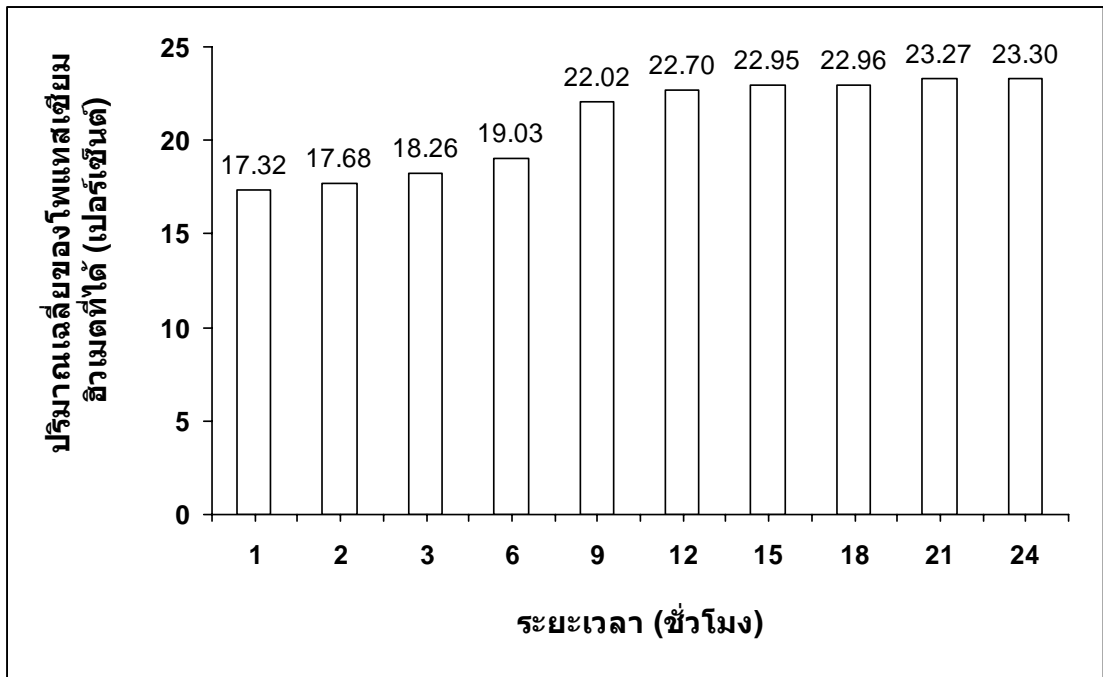
รูปที่ 4.18 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมซิเมนต์ โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 2

(3) ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมต

ผลของระยะเวลาที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมต โดยใช้วัสดุคืบจากกองตัวอย่างที่ 1 และกองตัวอย่างที่ 2 แสดงไว้ในรูปที่ 4.19 – 4.20 จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการแช่วัสดุคืบในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มากกว่า 9 ชั่วโมง ขึ้นไป จะให้ปริมาณโพแทสเซียมฮิวเมตที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงเลือกใช้ระยะเวลาในการแช่วัสดุคืบ 9 ชั่วโมง ขึ้นไป



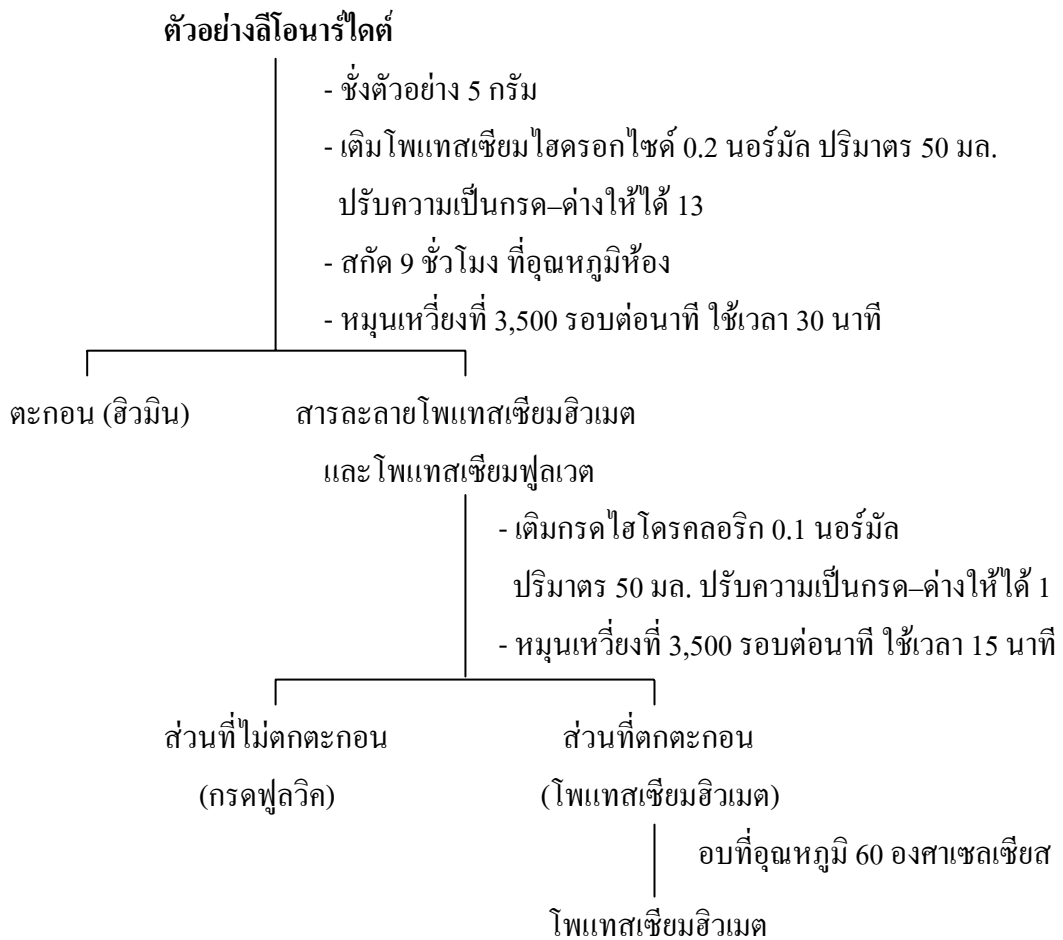
รูปที่ 4.19 ผลของระยะเวลาที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมต โดยใช้วัสดุคืบจากกองตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.20 ผลของระยะเวลาที่มีต่อการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมต โดยใช้วัตถุบดจากกองตัวอย่างที่ 2

#### 4.3.2 สรุปขั้นตอนและสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมต

สรุปขั้นตอนและสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมตจากลีโอนาร์โดต์ โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.21



**รูปที่ 4.21** ขั้นตอนและสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมตจากตัวอย่างลีโอนาร์โด โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

เมื่อนำขั้นตอนและสภาวะที่เหมาะสมนี้มาใช้ในการเตรียมโพแทสเซียมฮิวเมต โดยใช้วัตถุดิบจากกองตัวอย่างที่ 1 และกองตัวอย่างที่ 2 และลักษณะของโพแทสเซียมฮิวเมตที่เตรียมได้ แสดงในรูปที่ 4.22

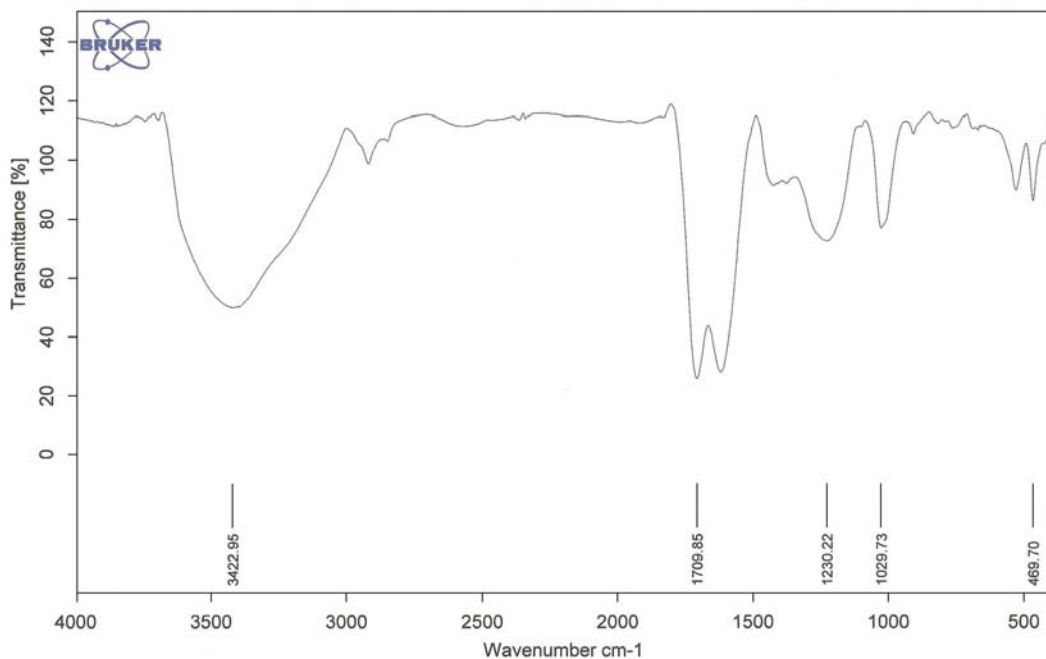


รูปที่ 4.22 สารประกอบโพแทสเซียมฮิวเมตที่เตรียมได้โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

#### 4.3.3 การตรวจเอกลักษณ์ของโพแทสเซียมฮิวเมตด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม-

อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)

รูปที่ 4.23 แสดง FTIR Spectrum ของสารประกอบโพแทสเซียมฮิวเมตที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับสารประกอบโพแทสเซียมฮิวเมตเกรดสารเคมีที่วางขายในท้องตลาด จากผลการทดลองให้ลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ตารางที่ 4.12 แสดงความถี่และชนิดของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบโพแทสเซียมฮิวเมตที่เตรียมได้



รูปที่ 4.23 FTIR Spectrum ของโพแทสเซียมฮิวเมตที่เตรียมได้ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

**ตารางที่ 4.12** ความถี่และชนิดของการสั่นในอินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบโพแทสเซียม  
อิวเมตที่เตรียมได้เทียบกับสารประกอบโพแทสเซียมอิวเมตมาตรฐาน

Wave number (cm <sup>-1</sup> )		Assignment
Sample	Reference <sup>[19]</sup>	
3422	3400	OH-stretching
2900, 2800	2922, 2860 and 1430, 1334	CH-stretching
1709	1706	C=O stretching
1610	1615	C=C stretching aromatic
1029	1031	Si-O stretching

#### 4.3.4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะบางตัวในตัวอย่างในโพแทสเซียมอิวเมตที่เตรียมได้

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะบางชนิดในโพแทสเซียมอิวเมตที่เตรียมได้ด้วย  
สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากกองตัวอย่างที่ 1 และกองตัวอย่างที่ 2 โดยแต่ละตัวอย่างจะ  
ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งผลการทดลอง  
แสดงไว้ในตารางที่ 4.13 – 4.21

**ตารางที่ 4.13** ปริมาณโซเดียม (Na) ในโพแทสเซียมอิวเมต

โพแทสเซียม อิวเมต	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณโซเดียม (มก./กก.)	ปริมาณโซเดียม เฉลี่ย (มก./กก.)
กองตัวอย่างที่ 1	1	0.0999	248.43	243.98
	2	0.1002	239.52	
กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1003	256.50	252.80
	2	0.1000	249.09	

ตารางที่ 4.14 ปริมาณโพแทสเซียม (K) ในโพแทสเซียมอิวเมต

โพแทสเซียมอิวเมต	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณโพแทสเซียม (มก./กก.)	ปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ย (มก./กก.)
กองตัวอย่างที่ 1	1	0.0999	5,972.94	5,910.83
	2	0.1002	5,848.72	
กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1003	7,277.05	7,381.20
	2	0.1000	7,485.35	

หมายเหตุ : \*\* = Dilution 1:50

ตารางที่ 4.15 ปริมาณแคลเซียม (Ca) ในโพแทสเซียมอิวเมต

โพแทสเซียมอิวเมต	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณแคลเซียม (มก./กก.)	ปริมาณแคลเซียมเฉลี่ย (มก./กก.)
กองตัวอย่างที่ 1	1	0.0999	83.30	76.84
	2	0.1002	70.38	
กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1003	98.44	95.06
	2	0.1000	91.68	

ตารางที่ 4.16 ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) ในโพแทสเซียมอิวเมต

โพแทสเซียมอิวเมต	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณแมกนีเซียม (มก./กก.)	ปริมาณแมกนีเซียมเฉลี่ย (มก./กก.)
กองตัวอย่างที่ 1	1	0.0999	111.96	118.45
	2	0.1002	124.94	
กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1003	163.95	147.90
	2	0.1000	131.85	

ตารางที่ 4.17 ปริมาณสังกะสี (Zn) ในโพแทสเซียมฮิวเมต

โพแทสเซียมฮิวเมต	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณสังกะสี (มก./กก.)	ปริมาณสังกะสีเฉลี่ย (มก./กก.)
กองตัวอย่างที่ 1	1	0.0999	12.545	13.83
	2	0.1002	15.113	
กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1003	16.660	21.12
	2	0.1000	25.587	

ตารางที่ 4.18 ปริมาณเหล็ก (Fe) ในโพแทสเซียมฮิวเมต

โพแทสเซียมฮิวเมต	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณเหล็ก (มก./กก.)	ปริมาณเหล็กเฉลี่ย (มก./กก.)
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 1	1	0.0999	10,304.42	10,105.54
	2	0.1002	9,906.66	
โซเดียมฮิวเมต กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1003	10,446.60	9,543.16
	2	0.1000	8,639.71	

หมายเหตุ : \*\* = Dilution 1:50

ตารางที่ 4.19 ปริมาณทองแดง (Cu) ในโพแทสเซียมฮิวเมต

โพแทสเซียมฮิวเมต	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณทองแดง (มก./กก.)	ปริมาณทองแดงเฉลี่ย (มก./กก.)
กองตัวอย่างที่ 1	1	0.0999	<0.005	<0.005
	2	0.1002	<0.005	
กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1003	<0.005	<0.005
	2	0.1000	<0.005	



ตารางที่ 4.20 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ในโพแทสเซียมฮิวเมต

โพแทสเซียมฮิวเมต	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณตะกั่ว (มก./กก.)	ปริมาณตะกั่วเฉลี่ย (มก./กก.)
กองตัวอย่างที่ 1	1	0.0999	<0.005	<0.005
	2	0.1002	<0.005	
กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1003	<0.005	<0.005
	2	0.1000	<0.005	

ตารางที่ 4.21 ปริมาณแมงกานีส (Mn) ในโพแทสเซียมฮิวเมต

โพแทสเซียมฮิวเมต	ครั้งที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณแมงกานีส (มก./กก.)	ปริมาณแมงกานีสเฉลี่ย (มก./กก.)
กองตัวอย่างที่ 1	1	0.0999	<0.005	<0.005
	2	0.1002	<0.005	
กองตัวอย่างที่ 2	1	0.1003	<0.005	<0.005
	2	0.1000	<0.005	

## บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

#### 5.1.1 ผลการศึกษาการเตรียมโซเดียมอิวเมตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากการที่ได้ทดลองหาสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมโซเดียมอิวเมต จากตัวอย่างลิโอนาร์ไคต์โดยใช้สารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 นอร์มัล ได้สภาวะที่เหมาะสมแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโซเดียมอิวเมตจากตัวอย่างลิโอนาร์ไคต์เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เงื่อนไข	สภาวะที่เหมาะสม
อัตราส่วนระหว่างลิโอนาร์ไคต์ต่อสารละลายต่าง	1:10 (น้ำหนัก/ปริมาตร)
เวลาที่ใช้ในการแช่ในสารละลายต่าง	3 ชั่วโมงขึ้นไป
พีเอชของสารละลาย	12.0 ขึ้นไป
อุณหภูมิที่ใช้แช่สารละลาย	อุณหภูมิห้อง
สารละลายที่ใช้ตกตะกอนโซเดียมอิวเมต	สารละลายกรดเกลือ 0.1 นอร์มัล
ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยง	3,500 รอบต่อนาที
เวลาที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยง	30 นาที
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบโซเดียมอิวเมต	60 องศาเซลเซียส

ได้นำสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวไปใช้ในการเตรียมโซเดียมอิวเมตจากตัวอย่างลิโอนาร์ไคต์ ในกองตัวอย่างที่ 1 และกองตัวอย่างที่ 2 พบว่าปริมาณเฉลี่ยของสารอินทรีย์ที่พบในวัตถุดิบ มีประมาณ 47.32 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้า 52.68 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโซเดียม 5,038.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม 1,261.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแคลเซียม 6,377.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแมกนีเซียม 3,782.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณสังกะสี 106.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณเหล็ก 20,350.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณทองแดง 8.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแมงกานีส 129.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และปริมาณตะกั่ว 5.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ในขณะที่โซเดียมอิวเมตที่เตรียมได้จะมีปริมาณประมาณ 34.6 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด พบว่าโซเดียมอิวเมตที่เตรียมได้มีปริมาณเฉลี่ยของสารอินทรีย์ประมาณ 91.6 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเถ้า 8.4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณโลหะบางชนิดที่ได้วิเคราะห์พบมีปริมาณดังนี้ คือ ปริมาณโซเดียม 7,326.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม 409.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแคลเซียม <0.05 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแมกนีเซียม 438.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณสังกะสี 29.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณเหล็ก 6,191.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณทองแดง ปริมาณตะกั่ว และปริมาณแมงกานีส <0.005 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.3

### 5.1.2 ผลการศึกษาการเตรียมโพแทสเซียมอิวเมตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

สำหรับสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมโพแทสเซียมอิวเมตจากลิโอนาร์ไคต์ โดยใช้สารละลายต่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 นอร์มัล ได้สภาวะที่เหมาะสมแสดงไว้ในตารางที่ 5.2

**ตารางที่ 5.2** สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมโพแทสเซียมอิวเมตจากตัวอย่างลิโอนาร์ไคต์เมื่อใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

เงื่อนไข	สภาวะที่เหมาะสม
อัตราส่วนระหว่างลิโอนาร์ไคต์ต่อสารละลายต่าง	1:10 (น้ำหนัก/ปริมาตร)
เวลาที่ใช้ในการแช่ในสารละลายต่าง	9 ชั่วโมงขึ้นไป
พีเอชของสารละลาย	13.0 ขึ้นไป
อุณหภูมิที่ใช้แช่สารละลาย	อุณหภูมิห้อง
สารละลายที่ใช้ตกตะกอนโพแทสเซียมอิวเมต	สารละลายกรดเกลือ 0.1 นอร์มัล
ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยง	3,500 รอบต่อนาที
เวลาที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยง	30 นาที
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบโพแทสเซียมอิวเมต	60 องศาเซลเซียส

ได้นำสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวไปใช้ในการเตรียมโพแทสเซียมอิวเมตจากลิโอนาร์ไคต์ พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมอิวเมตที่เตรียมได้จะมีปริมาณประมาณ 45.3 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด โพแทสเซียมอิวเมตที่เตรียมได้มีปริมาณเฉลี่ยของสารอินทรีย์ประมาณ 92.9 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเถ้า 7.1 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปริมาณโลหะบางชนิดที่ได้วิเคราะห์พบในปริมาณดังนี้ คือ ปริมาณโซเดียม 248.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม 6,646.0 มิลลิกรัม/

กิโกรัม ปริมาณแคลเซียม 85.9 มิลลิกรัม/กิโกรัม ปริมาณแมกนีเซียม 133.1 มิลลิกรัม/กิโกรัม ปริมาณสังกะสี 17.5 มิลลิกรัม/กิโกรัม ปริมาณเหล็ก 9,824.4 มิลลิกรัม/กิโกรัม ปริมาณทองแดง ปริมาณตะกั่ว และปริมาณแมงกานีส <0.005 มิลลิกรัม/กิโกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.3

**ตารางที่ 5.3** ปริมาณโซเดียมอิวเมตและโพแทสเซียมอิวเมตที่เตรียมได้ และปริมาณโลหะบางชนิด ที่พบในลีโอนาร์ไคต์ โซเดียมอิวเมต และโพแทสเซียมอิวเมต

ชนิดสารในผลิตภัณฑ์	ลีโอนาร์ไคต์	โซเดียมอิวเมต	โพแทสเซียมอิวเมต
ปริมาณเกลือของกรดอิวมิกที่เตรียมได้โดยประมาณจากปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด	-	34.6	45.3
ปริมาณสารอินทรีย์ (เปอร์เซ็นต์)	47	91.6	92.9
ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	52.7	8.4	7.1
โซเดียม (มก./กก.)	5,038.0	7,326.3	248.4
โพแทสเซียม (มก./กก.)	1,261.6	409.4	6,646.0
แคลเซียม (มก./กก.)	6,377.2	<0.05	85.9
แมกนีเซียม (มก./กก.)	3,752.0	438.9	133.1
สังกะสี (มก./กก.)	106.0	29.4	17.5
เหล็ก (มก./กก.)	20,350.0	6,198.0	9,824.4
แมงกานีส (มก./กก.)	169.6	<0.005	<0.005
ทองแดง (มก./กก.)	8.9	<0.005	<0.005
ตะกั่ว (มก./กก.)	5.2	<0.005	<0.005

จากข้อมูลในตารางที่ 5.3 พบว่าปริมาณเกลือของกรดอิวมิกที่เตรียมได้โดยประมาณจากปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด ในกรณีที่ใช้สารละลายต่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะได้ปริมาณเกลือของกรดอิวมิกมากกว่าเมื่อใช้สารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นด่างที่อ่อนมีความแอกทิฟสูง จึงมีผลทำให้ไปทำลายโมเลกุลเกลือของกรดอิวมิกบางส่วนทำให้ได้ปริมาณเกลือของอิวมิกน้อยลงซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Gemier-Sillam และ Harigenth [14] ที่ได้รายงานไว้ ส่วนปริมาณโลหะต่าง ๆ พบว่าเมื่อเตรียมออกมาในรูปเกลือของกรดอิวมิกจะมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับที่มีอยู่ในวัตถุดิบลีโอนาร์ไคต์ ยกเว้นโลหะชนิดเดียวกันกับค่าที่ใช้เตรียมจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาเบื้องต้นทำให้เราทราบถึงแนวโน้ม ที่จะสามารถเตรียมเกลือของกรดฮิวมิก (โซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต) ได้จากตัวอย่างลิโอนาร์ไคต์จากแหล่งลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัด ลำปาง เพื่อที่จะได้พัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศให้มีมูลค่าเพิ่มต่อไป ทั้งนี้เนื่องจากในแต่ละปีประเทศไทยมีการนำเข้ากรดฮิวมิกและเกลือของกรดฮิวมิกจากต่างประเทศ มาใช้ทั้งในรูปแบบของแข็งและของเหลวเป็นเงินหลายร้อยล้านบาท ถ้าสามารถผลิตทดแทนได้โดยใช้วัตถุดิบภายในประเทศจะเป็นการประหยัดเงินตราและเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการพัฒนาเทคโนโลยีในประเทศต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นในการเตรียมโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมตจากตัวอย่างลิโอนาร์ไคต์ ซึ่งข้อมูลที่ได้อาจต้องนำไปใช้ในการศึกษาต่อไปในด้านต่าง ๆ ได้แก่

5.2.1 การทำโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมตให้บริสุทธิ์

5.2.2 การนำโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมตที่เตรียมได้ ไปทดลองใช้ในการเพาะปลูก

5.2.3 การนำโซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมตที่เตรียมได้ ไปทดลองใช้ในการดูดซับโลหะหนักในงานบำบัดพื้นฟูด้านสิ่งแวดล้อม

## เอกสารอ้างอิง

1. คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544, “**ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**”, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 250 – 255.
2. ไพบุลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา, 2544, “**เคมีดิน**”, ห้างหุ้นส่วนจำกัดเชียงใหม่พิมพ์สวย, หน้า 98 – 104.
3. ขงยุทธ โอสดสภา, 2542, “**ศัพท์ในวงการปุ๋ย**”, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 238.
4. วิวัฒน์ ไตรธิรกุล, 2550, “**ดินปนถ่านหินเพื่อการเกษตรกรรม**”, กลุ่มส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยี สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 3 กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม, 5 หน้า.
5. Alken, G.R., 1985, “**Humic substances in soil sediment and water**”, New York, John Wiley & Son.
6. Burdick, E.M., 1965, “Commercial humates for agriculture and the fertilizer industry”, **Economic Botany**, Vol. 19, No. 2, pp. 152 – 156.
7. Dang, Z., Liu, C. and Haigh, M.J., 2002, “Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils”, **Environmental Pollution**, Vol. 118, pp. 419 – 426.
8. Dicle, D.P. and Burba, P., 1999, “Extraction kinetics and molecular size fractionation of humic substances from two brazilian soils”, **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Vol. 10, No. 2, pp. 146 – 152.
9. Efanov, M.V., Galochkin, A.I. and Chernenko, P.P., 2008, “Preparation of sodium oxyhumates from peat”, **Solid Fuel Chemistry**, Vol. 42, No. 2, pp. 82 – 85.
10. Fong, S.S. and Seng, L., 2007, “A comparative evaluation on the oxidative approaches for extraction of humic acids from low rank coal of Mukah, Sarawak”, **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Vol. 18, No. 1, pp. 34 – 40.
11. Fong, S.S., Seng, L., Chong, W.N., Asing, J., Faizal, M., Nor, M., Satirawaty, A. and Pauzana, M., 2006, “Characterization of the coal derived humic acids from Mukah, Sarawak as soil conditioner”, **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Vol. 17, No. 3, pp. 582 – 587.

12. Freeman, P.G., 1969, "The use of lignite products as plant growth stimulants technology and use of lignite", **Technology and Use of Lignite**, I.C. Bureau of Mines Information Circular, Vol. 8471, pp. 150 – 164.
13. Garcia, D., Cegarra, J. and Abad, M., 1996, "A comparison between alkaline and decomplexing reagents to extract humic acids from low rank coals", **Fuel Processing Technology**, Vol. 48, pp. 51 – 60.
14. Gernier-Sillarn, E. and Harigenth, S., 2004, "Humic substances in peats (Sumatra, Indonesia)", **Analisis**, Vol. 27, No.5, pp. 405 – 408.
15. Kononova, M.M., Nowakowski, T.Z. and Newman, A.C.D., 1996, "**Soil organic matter**", 2<sup>nd</sup> ed., London, Pergamon Press Ltd.
16. Novak, J., Kozler, J., Janos, P., Cezikova, J., Tokarova, V. and Madronova, L., 2001, "Humic acids from coals of the North-Bohemian coal field: I. Preparation and characterisation", **Reactive and Functional Polymers**, Vol. 47, pp. 101 – 109.
17. Schnitzer, M. and Khan, S.U., 1972, "**Humic substances in the environment**", NewYork, Marcel Dekker Ince.
18. Senn, T.L. and Kingman, A.R., 1973, "**Review of humus and humic acids**", Clemson University, Department of Horticulture, Research Series No. 145, March.
19. Waksman, S.A., 1936, "**Humus origin, chemical composition, and importance in nature**", London, Baillere Tindall & Cox.
20. [www.toprak.org.th/isd/Can-29.htm](http://www.toprak.org.th/isd/Can-29.htm)

**ภาคผนวก**



## คุณสมบัติของกรดฮิวมิกและเกลือของกรดฮิวมิกในทางการค้า

### ภาคผนวก ผ.1 คุณสมบัติของกรดฮิวมิกที่วางขายในท้องตลาด

Guaranteed Analysis (22.16% Humic Acid . . . derived from lignite (Leonardite))

Total N . . . . .	0.29%
0.05% . . . . .	Nitrate N
0.00% . . . . .	Ammoniacal N
0.24% . . . . .	Water Soluble Organic N
0.00% . . . . .	Water Insoluble Organic N
Soluble Potash (K <sub>2</sub> O) . . . . .	6.0%
Calcium (Ca) . . . . .	0.61%
Magnesium (Mg) . . . . .	0.21%
Sulfur (S) . . . . .	0.24%
Copper (Cu) . . . . .	.25 ppm
Iron (Fe) . . . . .	1,035 ppm
Manganese (Mn) . . . . .	.39 ppm
Zinc (Zn) . . . . .	25 ppm
pH . . . . .	13.2
Density . . . . .	8.5 lb/gallon

ภาคผนวก ผ.2 คุณสมบัติของโซเดียมฮิวเมตที่วางขายในท้องตลาด

Specifications

Primary indicator	(High quality)	(Quality)
Humic acid	70% Min	65% Min
Humidity	15% max	20% Max
PH	9.0-10.0	9.0-10.0
Nether product of 0.5 MM sieve	5% Max	5% Max

≡ . USAGE

1 In industry: It can be used as porcelain synergist, drilling mud dehydrating agent, wasted water treatment agent, soft-water coloring agent, ion exchanger agent, water treatment agent in boilers.

2 In agriculture: It can be used as soil ameliorator, plant growth irritant, animal-feed addition, animal medicine agent in agriculture.

ภาคผนวก ผ.3 คุณสมบัติของโพแทสเซียมฮิวเมตที่วางขายในท้องตลาด

Primary indicator	Powder	Crystalline
Humic acid	60% Min	60% Min
Potassium content	10% Min	10% Min
Water content	15% Max	18% Max
PH	9.0-10.0	9.0-10.0
Nether product of 0.5 MM sieve	5% Max	5% Max
Grain size	-----	2-5

Main performance

In agriculture: when potassium humate combine with nitrogen, phosphorus kalium and other types of element, which the plants need, it can be formed as a multifunctional highly active composite fertilizer, such as soil conditioner, omaflora and the promoter of fertilizer efficiency.

In industry: used as drilling mud treatment agent ion exchange, wastewater treating compound, heavy metal sorbent etc.