

องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างผลึกของแร่ในจังหวัดเลย

Chemical composition and crystal structure of mineral in Loei province

พนัดดา พันธวาท¹

พนิดา พิลาสูตา²

วีระศักดิ์ ชอมขุนทด³

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างผลึกของแร่ตัวอย่างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองแสงรังสีเอกซ์ (XRF) และเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) การศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของแร่ตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องประกอบด้วยชนิดพาหะประจุ สัมประสิทธิ์เซเบค สภาพต้านทานไฟฟ้า และสภาพนำความร้อน ชนิดพาหะประจุและสัมประสิทธิ์เซเบควัดโดยใช้วิธีขั้วความร้อน สภาพต้านทานไฟฟ้าวัดโดยวิธีสี่ขั้วจุด สภาพนำความร้อนหาได้จากเทคนิคสถานะคงตัว ผลการวิเคราะห์จาก XRF พบแร่ตัวอย่างเป็นสารประกอบ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-CaO-SO}_3\text{-MgO-K}_2\text{O}$ และ $\text{BaO-K}_2\text{O-SiO}_2\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$ ผลการวิเคราะห์จาก XRD พบเฟสของ SiO_2 , CaO , SO_3 , BaO , K_2O และ P_2O_5 จากการวัดสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของ $\text{BaO-K}_2\text{O-SiO}_2\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$ พบว่าเป็นชนิดเอ็น สัมประสิทธิ์เซเบคมีค่าเท่ากับ $61.90 \pm 2.60 \text{ } \mu\text{V/K}$ สภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าลดลงกับการเพิ่มกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิ สภาพนำความร้อนมีค่าเท่ากับ $215.56 \pm 33.43 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ จากการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการวิจัยต่อไป

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์เซเบค สภาพต้านทานไฟฟ้า สภาพนำความร้อน

Abstract

Chemical composition and crystal structure of mineral samples were analyzed by X-ray fluorescence spectrometer (XRF) and X-ray diffractometer (XRD). The study of its thermoelectric properties at room temperature included type of charge carrier, electrical resistivity, and thermal conductivity. The charge carriers and Seebeck coefficient, were determined using the hot probe method. The electrical resistivity was measured by the four point probe method. The steady state technique is used to find the thermal conductivity. XRF results found the mineral samples comprise $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-CaO-SO}_3\text{-MgO-K}_2\text{O}$ and $\text{BaO-K}_2\text{O-SiO}_2\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$. XRD results expected the SiO_2 , CaO , SO_3 , BaO , K_2O and P_2O_5 phase. The properties measurement of $\text{BaO-K}_2\text{O-SiO}_2\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$ found that it exhibited n-type conduction. Seebeck coefficient was equal to $61.90 \pm 2.60 \text{ } \mu\text{V/K}$. Electrical resistivity decreased with increasing electric

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

² นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

power and temperature. Thermal conductivity value was around 215.56 ± 33.43 W/m·K. These studies can be used as an important platform for further research.

Keywords: seebeck coefficient, electrical resistivity, thermal conductivity

ความเป็นมาของปัญหา

แร่ (Mineral) เป็นธาตุหรือสารประกอบทางเคมีที่เป็นของแข็งเนื้อเดียวเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยกระบวนการเคมีอินทรีย์และมีการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในที่เป็นระเบียบ (Dana, et al., 2010) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้มากมาย มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น แร่เพอร์-ไลต์ (Perlite) ประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์หรือซิลิกา (SiO_2) 71 - 75 % อลูมิเนียมออกไซด์หรืออลูมินา (Al_2O_3) 12.5-18.0 % โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) 4 - 5 % โซเดียมและแคลเซียมออกไซด์ (Na_2O and CaO) 1 - 4 % และโลหะออกไซด์อื่นๆ (Trace amounts of metal oxides) (เทคโนโลยีราชมนคค, ภาควิชาฟิสิกส์, 2553) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับพืชสวน อุตสาหกรรม และการก่อสร้าง (Nelson, 2010)

ประเทศไทยมีทรัพยากรแร่หลายชนิด เช่น ดีบุก (Tin) ทังสแตน (Tungsten) ตะกั่ว (Lead) สังกะสี (Zinc) ลิกไนต์ (Lignite) พันน้ำหรือเฟลด์สปาร์ (Feldspar) ดินขาวหรือเคโอลิน (Kaolin) ดินสอพองหรือหินปูน (Limestone) เกลือจืดหรือยิปซัม (Gypsum) เป็นต้น (Conklin, 1990) แร่ดังกล่าวเป็นทรัพยากรสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก และมีอยู่จำกัด ดังนั้นทรัพยากรธรรมชาติจะถูกนำไปใช้อย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์ได้มากน้อยเพียงไร ขึ้นอยู่กับการบริหารจัดการและความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ตลอดจนการตระหนักถึงการนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

เหมาะสม ประหยัด และเกิดประโยชน์สูงสุด อย่างไรก็ตาม ยังมีการค้นพบแร่อื่นๆ ในธรรมชาติอีกมากมาย ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์และประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม การขุดแร่ต่าง ๆ มีมาตั้งแต่สมัยโบราณ จนถึงปัจจุบัน แร่บางชนิดยังมีปริมาณมาก แร่บางชนิดอาจจะลดน้อยลง จึงควรหาวัสดุอื่นมาทดแทนเพื่อสนองแร่ไว้ในสิ่งที่จำเป็นต่อไป หรือนำทรัพยากรที่มีอยู่แล้วในท้องถิ่นมาศึกษาองค์ประกอบและสมบัติต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้อง

จังหวัดเลยเป็นแหล่งที่อุดมสมบูรณ์ด้วยทรัพยากรแร่ธรรมชาติต่าง ๆ ได้แก่ แร่แบไรต์ แมงกานีส ทองแดง ตะกั่ว เหล็ก ทองคำ เป็นต้น (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) และคาดว่าจะมีทรัพยากรแร่อื่น ๆ อีกมากมายที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาทรัพยากรแร่ที่มีอยู่ในท้องถิ่นในจังหวัดเลย เกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นธาตุและสารประกอบ การวิเคราะห์เฟสและโครงสร้างผลึก และการศึกษาสมบัติต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการศึกษา การวิจัย และการประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่ตัวอย่าง
2. เพื่อวิเคราะห์เฟสและโครงสร้างผลึกของแร่ตัวอย่าง

3. เพื่อวัดสมบัติเทอร์มออิเล็กทรอนิกส์ของแร่
ตัวอย่าง

วิธีดำเนินการวิจัย

สารที่ใช้ในการวิจัยครั้งแรกเป็นทรัพยากรแร่ที่มีอยู่ในท้องถิ่น ดังนี้

- บ้านธาตุ ตำบลธาตุ (Ban That, Tambon That)

- บ้านใหม่ศาลาเพ็ญ ตำบลนาซาว (Ban Mai Sala Fuang, Tambon Na Soa)

- บ้านนาสี ตำบลนาสี (Ban Na Se, Tambon Na Se) - บ้านผาแป้น ตำบลบุโฮม (Ban Pha Baen, Tambon Bu Hom)

- บ้านตาต้อ ตำบลเขาแก้ว (Ban Tat Saw, Tambon Khao Kao)

- บ้านเชียงกลม ตำบลปากชม (Ban Chiang Klong, Tambon Pak Chom)

การเตรียมสารตัวอย่าง

การเตรียมผงแร่ตัวอย่างโดยการนำแร่ มาบดให้เป็นผง (Powder precursor) ไม่ต้องเผาแคล-ไซน์ (Calcination) ซึ่งจะได้ผงแร่ตัวอย่าง A, B, C, D, E และ F

การศึกษาก่อนประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่เป็นธาตุและสารประกอบของสารตัวอย่างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ เพื่อหาความเข้มข้น (Concentrations) ของธาตุและสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบเชิงปริมาณเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

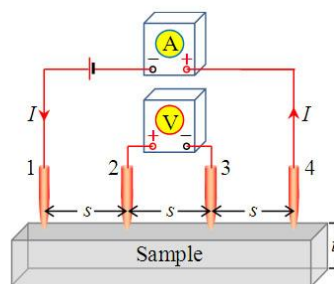
การศึกษากาแฟและโครงสร้างผลึก

การศึกษากาแฟเกิดเฟสและโครงสร้างผลึก (Phase formation and crystal structure) ของสารตัวอย่าง จากแบบอย่างการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD

patterns) โดยการอ้างอิงจาก PDF Number เพื่อวิเคราะห์เฟสและโครงสร้างผลึก

การศึกษาสมบัติเทอร์มออิเล็กทรอนิกส์ของแร่ตัวอย่าง

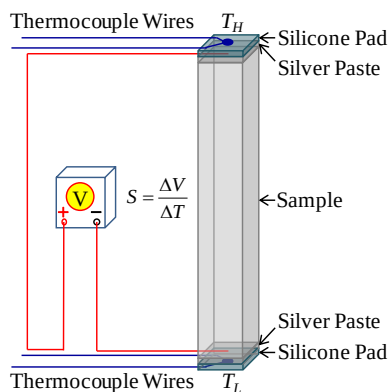
1. การศึกษาสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (ΔV) กับผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) ตามภาพที่ 1 เพื่อตรวจสอบชนิดพาหะประจุและคำนวณหา สัมประสิทธิ์ซีเบค (S) ในสมการ (Nolas, Sharp and Goldsmid, 2001)



$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

ภาพที่ 1 การวัดสัมประสิทธิ์ซีเบค

2. การศึกษาสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับกระแสไฟฟ้า (I) ตามภาพที่ 2 เพื่อคำนวณหาสภาพต้านทาน (ρ) ในสมการ (Schroder, 2006) เมื่อ t คือ ความหนาของสารตัวอย่าง



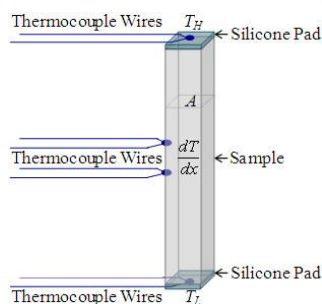
ภาพที่ 2 การวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า

$$\rho = \frac{\pi}{\ln \left[\frac{\sinh(t/s)}{\sinh(t/2s)} \right]} \left[\frac{V}{I} \right]$$

$$\text{หรือ } \kappa = \frac{dQ}{Adt} \frac{dx}{dT} = \frac{IV}{A} \frac{dx}{dT}$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดของสารตัวอย่าง

3. การศึกษาสภาพนำความร้อน (κ) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายโอนความร้อน (dQ/dt) กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเทียบกับระยะทางในตัวกลางหรือเกรเดียนต์อุณหภูมิ (dT/dx) ตามภาพที่ 3 เพื่อคำนวณหาสภาพนำความร้อนในสมการ (Marion, Hornyak, 1985 and Slifka, 2000)



ภาพที่ 3 การวัดสภาพนำความร้อน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบที่เป็นธาตุของผงแร่ตัวอย่าง A, B, C, D, E และ F

ตัวอย่าง	องค์ประกอบและความเข้มข้น (%)									รวม (%)
A (บ้านธาตุ ตำบลธาตุ)	O 50.95	Si 23.33	Ca 7.57	P 7.43	Al 7.06	S 3.66				100.00
B (บ้านนาสี ตำบลนาสี)	O 52.10	Si 26.52	Al 10.49	P 4.29	S 3.99	Ca 2.61				100.00
C (บ้านตาต้อ ตำบลเขาแก้ว)	O 50.55	Si 26.07	Al 16.40	P 3.30	Mg 2.10	Ca 1.58				100.00
D (บ้านผาแบน ตำบลบุโฮม)	O 48.59	Si 28.57	Ca 8.10	Al 6.05	P 2.68	Mg 1.89	S 1.69	Cl 1.55	K 0.88	100.00
E (บ้านใหม่ศาลาเพ็ญ ตำบลนาข้าว)	O 51.30	Si 25.91	Al 14.55	P 6.22	Ca 2.02					100.00
F (บ้านเรียงกลม ตำบลปากชม)	Ba 35.47	K 25.32	O 23.92	Si 9.79	Ca 4.09	P 1.41				100.00

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่เป็นธาตุและสารประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) ของผงแร่ตัวอย่าง A, B, C, D, E และ F ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นเชิงปริมาณเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ของธาตุและสารประกอบตามตารางที่ 1 และ 2 และพบว่าผงแร่ตัวอย่าง A, B, C, D, E และ F เป็นสารประกอบ $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-SO}_3$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SO}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-CaO}$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-MgO-CaO}$, $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-P}_2\text{O}_5\text{-SO}_3\text{-MgO-K}_2\text{O}$ และ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-CaO}$ ตามลำดับ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบที่เป็นสารประกอบของผงแร่ตัวอย่าง A, B, C, D, E และ F

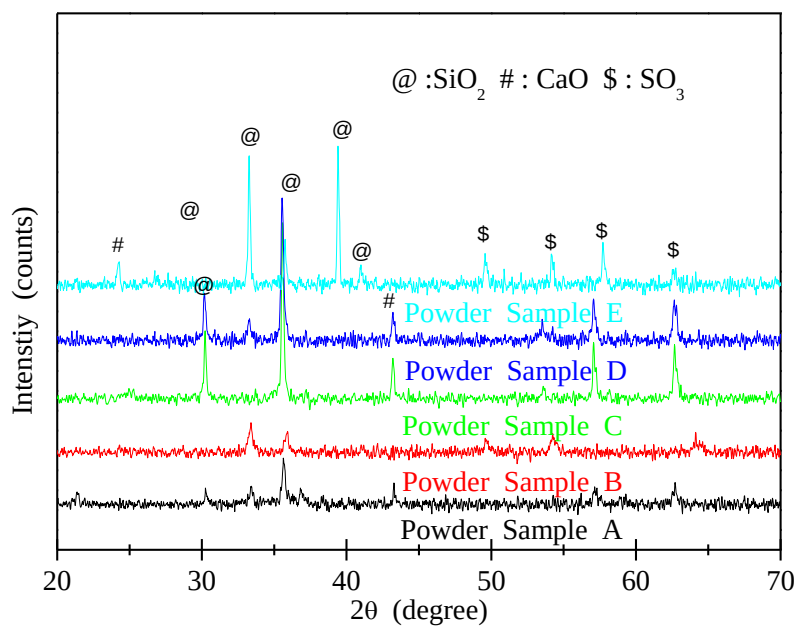
ตัวอย่าง	องค์ประกอบและความเข้มข้น (%)								รวม (%)
A (บ้านธาตุ ตำบลธาตุ)	SiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃				100.00
	49.90	17.02	13.35	10.59	9.14				
B (บ้านนาสี ตำบลนาสี)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	P ₂ O ₅	CaO				100.00
	56.73	19.81	9.97	9.83	3.66				
C (บ้านตาต้อ ตำบลเขาแก้ว)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO	CaO				100.00
	55.77	30.98	7.56	3.48	2.21				
D (บ้านผาแบน ตำบลบุโฮม)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅	SO ₃	MgO	N/A	K ₂ O	100.00
	61.13	11.43	11.33	6.14	4.23	3.13	1.55	1.06	
E (บ้านใหม่ศาลาเพื่อง ตำบลนาข้าว)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO					100.00
	55.42	27.49	14.26	2.83					
F (บ้านเขียงกลม ตำบลปากชม)	BaO	K ₂ O	SiO ₂	CaO	P ₂ O ₅				100.00
	39.60	30.51	20.93	5.72	3.24				

การวิเคราะห์เฟสและโครงสร้างผลึก

การวิเคราะห์เฟสและโครงสร้างผลึก ของผงแร่ตัวอย่างในอำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ได้แก่ ผงแร่ตัวอย่าง A (บ้านธาตุ ตำบลธาตุ) ผงแร่ตัวอย่าง B (บ้านนาสี ตำบลนาสี) ผงแร่ตัวอย่าง C (บ้านตาต้อ ตำบลเขาแก้ว) ผงแร่ตัวอย่าง D (บ้านผาแบน ตำบลบุโฮม) ผงแร่ตัวอย่าง E (บ้านใหม่ศาลาเพื่อง ตำบลนาข้าว) ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย XRF พบว่าเป็นสารประกอบ SiO₂-P₂O₅-Al₂O₃-CaO-SO₃, SiO₂-Al₂O₃-SO₃-P₂O₅-CaO, SiO₂-Al₂O₃-P₂O₅-MgO-CaO, SiO₂-Al₂O₃-CaO-P₂O₅-SO₃-MgO -Cl-K₂O และ SiO₂-Al₂O₃-P₂O₅-CaO ตาม ลำดับ ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD โดยการใช้การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (CuK α , λ = 0.15406 nm) แต่ละสารตัวอย่างวัดในช่วง $20^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$ ด้วยอัตรา 0.02°/sec ได้แบบอย่างการ

เลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงแร่ตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าเฟสที่มีความเข้มของยอด (strong peaks) @ เป็นการเลี้ยวเบนจากระนาบ ($\bar{1}72$), ($\bar{1}11$), (282) และ (352) ของ SiO₂ (PDF # 89-7499) และเฟสที่มีความเข้มของยอด (small peaks) # คือ CaO (PDF # 28-0775) และ s คือ SO₃ (PDF # 73-2169) สำหรับเฟสของ Al₂O₃ (PDF # 04-0880) และ P₂O₅ (PDF # 01-0213) ไม่พบการเลี้ยวเบน ซึ่ง คาดว่าเป็น อสัณฐาน

การวิเคราะห์เฟสและอ้างอิงจาก PDFNumber จะได้ดัชนีมิลเลอร์ (Miller indices, h k l) ระยะห่างระหว่างระนาบ (d -spacing, Å) และมุม 2θ (degree) มีค่าตามตารางที่ 3



ภาพที่ 4 แบบอย่างการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผงแร่ตัวอย่าง A, B, C, D และ E

ตารางที่ 3 มุม (2θ) ระยะห่างระหว่างระนาบ (d) และดรรชนีมิลเลอร์ (h k l)

มุม (2θ)	ระยะห่างระหว่างระนาบ(Å)	ดรรชนีมิลเลอร์ (h k l)				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	SO ₃
24.26	3.6653	-	-	-	(? ? ?)	-
26.80	3.3233	-	-	-	(? ? ?)	-
30.21	2.9554	(1 5 2)	-	-	-	-
33.25	2.6922	($\bar{1}$ 7 2)	-	-	-	-
35.56	2.5222	($\bar{1}$ 11 1)	-	-	-	-
39.40	2.2850	(2 8 2)	-	-	-	-
40.96	2.2014	(3 5 2)	-	-	-	-
49.57	1.8374	-	-	-	-	(0 2 2)
54.33	1.6871	-	-	-	-	(1 1 4)
57.70	1.5962	-	-	-	-	(0 1 5)
62.63	1.4820	-	-	-	-	(0 2 4)
64.16	1.4504	-	-	-	-	(4 0 0)

การศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของแร่ตัวอย่าง การศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของแร่ตัวอย่าง ได้แก่ สัมประสิทธิ์ซีเบค สภาพต้านทานไฟฟ้า และสภาพนำความร้อน สำหรับก้อนสาร BaO-

K₂O-SiO₂-CaO-P₂O₅ ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการตัดและขัดให้มีมิติ (Dimension) มวล (Mass) และความหนาแน่น (Density) ดังตารางที่ 4

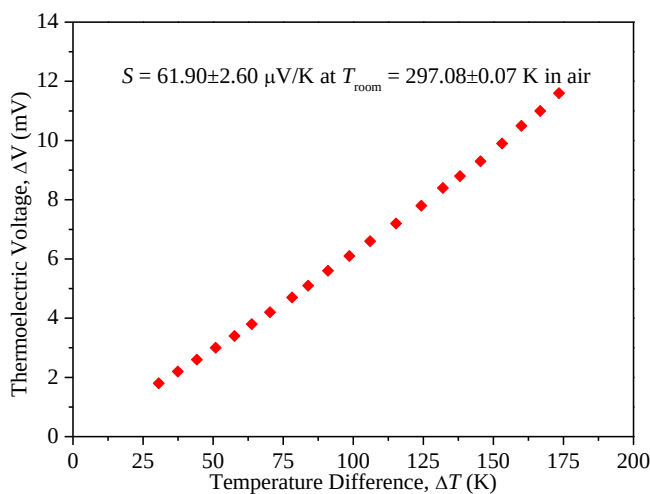
ตารางที่ 4 ขนาด และความหนาแน่นของ BaO-K₂O-SiO₂-CaO-P₂O₅

ตัวอย่าง	มิติ			มวล (g)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	ความยาว (cm)		
BaO-K ₂ O-SiO ₂ -CaO-P ₂ O ₅	0.2205	0.205	1.013	0.2182	4.765

สัมประสิทธิ์ซีเบค

จากการทดสอบเบื้องต้นโดยใช้วิธีชั่วคราวความร้อนเพื่อตรวจสอบชนิดพาหะประจุตามภาพที่ 1 พบว่า BaO-K₂O-SiO₂-CaO-P₂O₅ เป็นชนิดเอ็น โดยที่ชั่วคราวมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าขั้วเย็น และจากการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า (ΔV) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (S) จากสมการ $S = \Delta V / \Delta T$ (Nolas, Sharp, and Goldsmid, 2001) สามารถเขียนกราฟแสดง

ความสัมพันธ์ได้ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าความต่างศักย์ซีเบคมีค่าเพิ่มขึ้นกับความต่างอุณหภูมิตามปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเพิ่มขึ้นจากจุดเริ่มต้น $\Delta T = 30.60$ K, $\Delta V = 1.80$ mV, $S = 58.82$ $\mu V/K$ ถึงจุดสุดท้าย $\Delta T = 173.40$ K, $\Delta V = 11.60$ mV, $S = 66.90$ $\mu V/K$ ที่อุณหภูมิห้อง $T_{room} = 297.08 \pm 0.07$ K



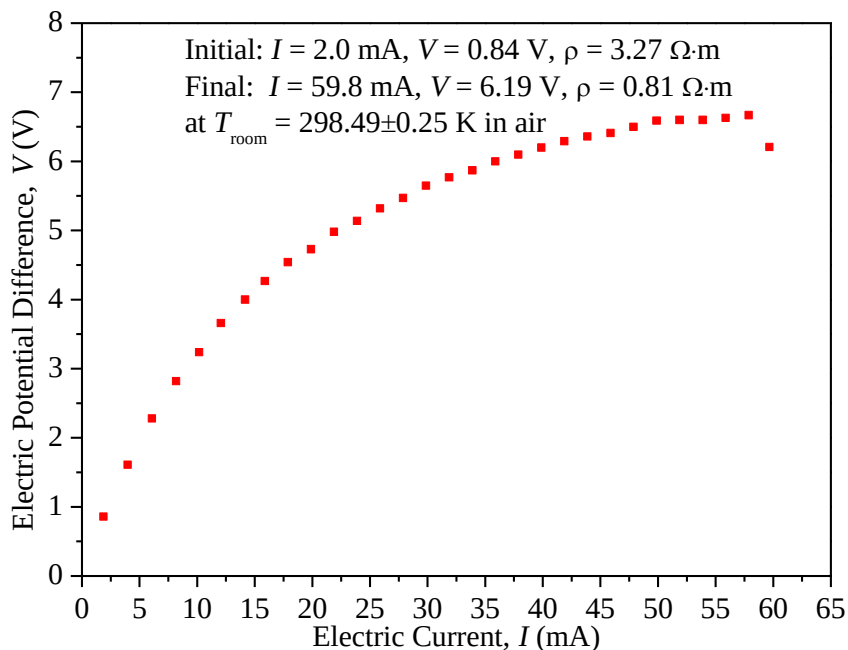
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ΔV กับ ΔT ของ BaO-K₂O-SiO₂-CaO-P₂O₅ ที่อุณหภูมิห้อง

สภาพต้านทานไฟฟ้า

การวัดสมบัติทางไฟฟ้าโดยใช้วิธีขั้วไฟฟ้าแบบสี่จุดตามภาพที่ 2 ซึ่งมีระยะห่างระหว่างขั้ว (s) เท่ากับ 0.200 cm และความหนา (t) ของก้อนสาร BaO-K₂O-SiO₂-CaO-P₂O₅ เท่ากับ 0.205 cm (ดูตารางที่ 4 จากการวัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) เพื่อคำนวณหาสภาพต้านทานไฟฟ้า(ρ) จากสมการ

$$\rho = \frac{\pi}{\ln \left[\frac{\sinh(t/s)}{\sinh(t/2s)} \right]} \left[\frac{V}{I} \right]$$

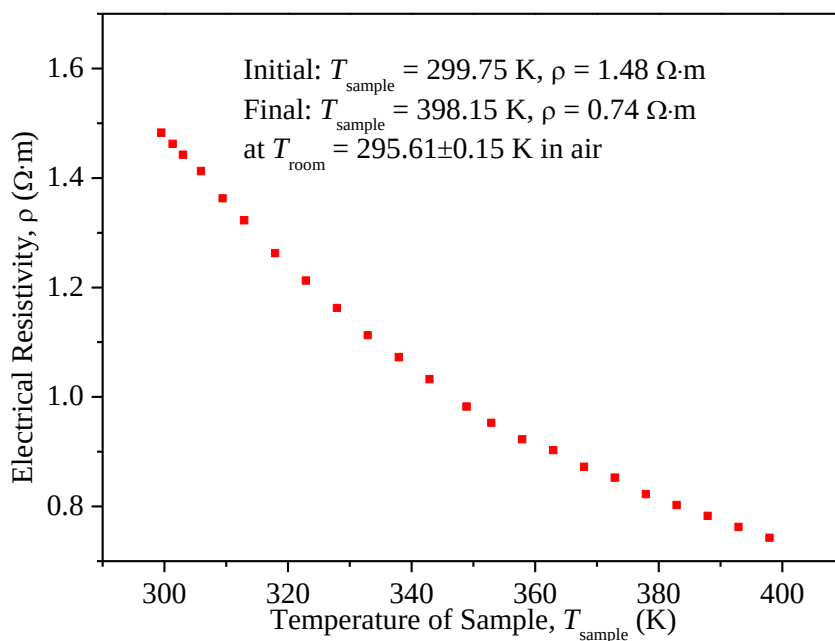
(Schroder, 2006) สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงจากจุดเริ่มต้น $I = 2.0$ mA, $V = 0.84$ V, $\rho = 3.27 \Omega \cdot \text{m}$ ถึงจุดสุดท้าย $I = 59.8$ mA, $V = 6.19$ V, $\rho = 0.81 \Omega \cdot \text{m}$ ที่อุณหภูมิห้อง $T_{\text{room}} = 298.49 \pm 0.25$ K



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ I ของ BaO-K₂O-SiO₂-CaO-P₂O₅ ที่อุณหภูมิห้อง

จากการวัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) เพื่อคำนวณหาสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) จากสมการ $\rho = RA/L$ เมื่อ $R = V/I$ (Schroder, 2006) สามารถเขียนกราฟแสดง

ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิได้ ดังแสดงในภาพที่ 7 พบว่า สภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยมีพฤติกรรมแบบสารกึ่งตัวนำ (Young and Freedman, 2000)



ภาพที่ 7 สภาพต้านทานไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ

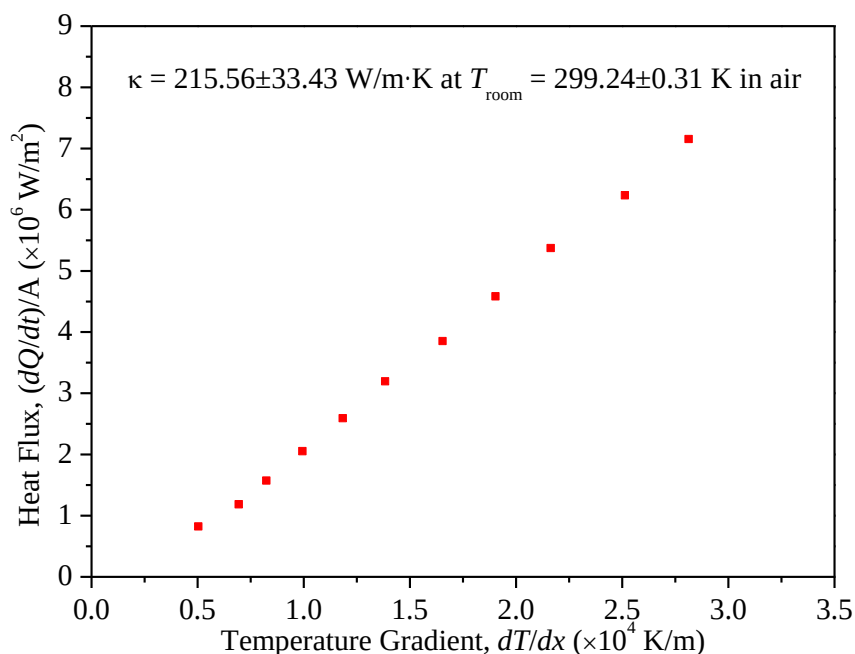
สภาพนำความร้อน

การวัดสภาพนำความร้อนของก้อนสาร $\text{BaO-K}_2\text{O-SiO}_2\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$ โดยอาศัยหลักการส่งผ่านความร้อนด้วยวิธีสถานะคงตัวตามภาพที่ 3 ซึ่งมีระยะทาง $dx = 0.10 \text{ cm}$ และพื้นที่หน้าตัด $A = 0.220 \times 0.205 \text{ cm}^2$ (ดูตารางที่ 4) จากการวัดความสัมพันธ์ระหว่างเกรเดียนต์อุณหภูมิ (dT/dx) กับฟลักซ์ความร้อน (dQ/dt)/ A เพื่อคำนวณหาสภาพนำความร้อน

$$\kappa = [(dQ/dt)/A]/[dT/dx]$$

(Marion, Hornyak, (1985) and Slifka, 2000) เมื่อ $dQ/dt = IV = I^2 R$ (สำหรับตัวให้ความร้อนที่มีความ

ต้านทาน R คงตัว ไม่ขึ้นกับกระแสไฟฟ้า / และความต่างศักย์ไฟฟ้า V) สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังแสดงในภาพที่ 8 พบว่า ฟลักซ์ความร้อนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเกรเดียนต์อุณหภูมิ โดยมีค่าสภาพนำความร้อนเพิ่มขึ้นจากจุดเริ่มต้น $dT/dx = 0.51 \times 10^4 \text{ K/m}$, $dQ/dt/A = 0.80 \times 10^6 \text{ W/m}^2$, $\kappa = 156.84 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ถึงจุดสุดท้าย $dT/dx = 2.82 \times 10^4 \text{ K/m}$, $dQ/dt/A = 7.13 \times 10^6 \text{ W/m}^2$, $\kappa = 252.66 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ที่อุณหภูมิห้อง $T_{\text{room}} = 299.24 \pm 0.31 \text{ K}$



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $(dQ/dt)/A$ กับ dT/dx ของ BaO-K₂O-SiO₂-CaO-P₂O₅ ที่อุณหภูมิห้อง

สรุปผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างของผงแร่ตัวอย่างที่อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ได้แก่ บ้านผาแป้น ตำบลนุโฮม บ้านนาสี ตำบลนาสี บ้านตาดซ้อ ตำบลเขาแก้ว บ้านธาตุ ตำบลบ้านธาตุ และบ้านศาลาเพื่อง ตำบลบ้านนาข้าว พบว่าเป็นสารประกอบ SiO₂-P₂O₅-Al₂O₃-CaO-SO₃, SiO₂-Al₂O₃-SO₃-P₂O₅-CaO, SiO₂-Al₂O₃-P₂O₅-MgO-CaO, SiO₂-Al₂O₃-CaO-P₂O₅-SO₃-MgO-Cl-K₂O และ SiO₂-Al₂O₃-P₂O₅-CaO ตามลำดับ การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์พบเฟสของ SiO₂ มีความเข้มข้นของยอดจากระนาบ (1 7 2), (1 11 1) และ (2 8 2) สูงกว่าเฟสของ CaO และ SO₃ แต่ไม่พบเฟสของ Al₂O₃ และ P₂O₅ ซึ่งคาดว่าเป็นออสตรูนา

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบและโครงสร้างของผงแร่ตัวอย่างที่บ้านเชียงกลม ตำบลเชียงกลม อำเภอปากชม จังหวัดเลย พบว่าเป็นสารประกอบ BaO-K₂O-SiO₂-CaO-P₂O₅ การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์พบเฟสของ BaO, K₂O, SiO₂, CaO และ P₂O₅

3. การทดสอบโดยใช้วิธีชั่วคราวความร้อนพบว่า BaO-K₂O-SiO₂-CaO-P₂O₅ เป็นชนิดเอ็น และจากการวัดความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า (ΔV) และความต่างอุณหภูมิ (ΔT) เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์เซเบค (S) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดเริ่มต้น $\Delta T = 30.60$ K, $\Delta V = 1.80$ mV, $S = 58.82$ μ V/K ถึงจุดสุดท้าย $\Delta T = 173.40$ K, $\Delta V = 11.60$ mV, $S = 66.90$ μ V/K ที่อุณหภูมิห้อง

4. การวัดสมบัติทางไฟฟ้าของ $\text{BaO-K}_2\text{O-SiO}_2\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$ ด้วยวิธีขั้วไฟฟ้าแบบสี่จุด เป็นการวัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) เพื่อคำนวณหาสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) พบว่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงจากจุดเริ่มต้น $I = 2.0 \text{ mA}$, $V = 0.84 \text{ V}$, $\rho = 3.27 \Omega\cdot\text{m}$ ถึงจุดสุดท้าย $I = 59.8 \text{ mA}$, $V = 6.19 \text{ V}$, $\rho = 0.81 \Omega\cdot\text{m}$ ที่อุณหภูมิห้อง

5. การวัดสภาพนำความร้อนของ $\text{BaO-K}_2\text{O-SiO}_2\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$ ด้วยวิธีสถานะคงตัว เป็นการวัดความสัมพันธ์ระหว่างเกรเดียนต์อุณหภูมิ (dT/dx) กับฟลักซ์ความร้อน (dQ/dt)/ A เพื่อคำนวณหาสภาพนำความร้อน (κ) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจากจุดเริ่มต้น $dT/dx = 0.51 \times 10^4 \text{ K/m}$, $dQ/dt/A = 0.80 \times 10^6 \text{ W/m}^2$, $\kappa = 156.84 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ถึงจุดสุดท้าย $dT/dx = 2.82 \times 10^4 \text{ K/m}$, $dQ/dt/A = 7.13 \times 10^6 \text{ W/m}^2$, $\kappa = 252.66 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ที่อุณหภูมิห้อง

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 การศึกษาสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ สภาพไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก สมบัติทางไฟฟ้า และสภาพนำความร้อน ของแร่ตัวอย่าง $\text{BaO-K}_2\text{O-SiO}_2\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$ ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งอาจจะมีข้อผิดพลาดอยู่บ้าง ดังนั้น จึงควรหาวิธีควบคุมระบบการทำงาน เพื่อให้การวัดสมบัติต่าง ๆ มีประสิทธิภาพและคุณภาพตามต้องการ เช่น การควบคุมอุณหภูมิ การวัดในสุญญากาศ และเครื่องมือวัดต่าง ๆ

1.2 สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นวัสดุเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ หรือนำไปประกอบเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกมอดูลกับชนิด P

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. **พื้นที่ศักยภาพทางแร่**.

<www.dmr.go.th/main.php?filename=min4> (24 ธันวาคม 2554)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล . **Perlite.**, <www.rmut-physics.com/CHARUD/oldnews/192/science/TI2periD.htm> (20 กรกฎาคม 2553).

Conklin, N. (1990). Mineral Resources Development: Status of and Issues in the Mineral Industry. **TDRI Quarterly Review**. 5(1) : 16-18.

Dana, J.D., Hurlbut, C.S., and Klein, C. (1985). **Manual of Mineralogy**. 20th ed. New York : John Wiley & Sons Inc.

Nelson, J.B. **Perlite Use - The Three Main Areas**. <ezinearticles.com/?Perlite-Use-The-Three-Main-Areas&id=4033337>(July 2010).

Nolas, G.S., Sharp, J., Goldsmid, H.J. (2001). **Thermoelectrics, Basic Principles and New Materials Developments**. Berlin: Springer-Verlag

Marion, J.B., Hornyak, W.F. (1985). **General Physics with Bioscience Essays**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.

Schroder, D.K. (2006). **Semiconductor Material and Device Characterization**. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons.

Young, H.D., Freedman, R.A. (2000). **University Physics with Modern Physics**. 10th ed. San Francisco: Addison Wesley Longman.