

การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของผงยิปซัม

Study of Thermal Properties of the Gypsum Powders

ทรงพล หอมอุทัย^{1*} พัชรา สุกรัตน์¹ สุกิจ อติพันธ์¹ และ ธงชัย พึ่งรัศมี¹
Songpol Homutai^{1*}, Patchara Sukonrat¹, Sukit Atiphan¹ and Thongchai Pungrassami¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของผงยิปซัม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์แร่ของผงยิปซัมและศึกษาคุณสมบัติทางความร้อน ได้แก่ ช่วงอุณหภูมิการสลายตัว ค่าความจุความร้อน ค่าการนำความร้อน และ ค่าความหนาแน่นในตัวอย่างผงยิปซัม ผงยิปซัมที่ได้มาจาก 4 แหล่ง ได้ทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์แร่ด้วยการศึกษากายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และ การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิการสลายตัว ค่าน้ำหนักที่หายไป ค่าการนำความร้อน ค่าความจุความร้อน และค่าความหนาแน่น ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิ ผลที่ได้ คือ ผงยิปซัมจะแสดง 2 ช่วงอุณหภูมิที่หายไป คือ ช่วงแรกน้ำหนักหายไปร้อยละ 19-20 ในช่วงอุณหภูมิ 150 ถึง 250 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส คือ ช่วงอุณหภูมิการสลายตัว ผงยิปซัมจากแหล่ง K-mining พบว่า มีแคลไซต์และควอตซ์เป็นส่วนประกอบซึ่งจะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ยิปซัมน้อยที่สุด จากค่าน้ำหนักคำนวณได้ 93.98 การเจือปนในตัวอย่างแร่จึงมีผลน้อยมากกับค่าการนำความร้อนและค่าความจุความร้อน การทดสอบค่าความจุความร้อนที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูงขึ้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ค่าการนำความร้อนจะสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นในตัวอย่าง ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD และ วิธี TG-DTA เป็นวิธีการที่สำคัญในการระบุเอกลักษณ์แร่และการพบเจอบริมาณสิ่งเจือปนในตัวแร่ ผลจากการศึกษาถึงคุณสมบัติทางความร้อนของผงยิปซัมที่อุณหภูมิสูงจะเป็นข้อมูลที่แสดงถึงคุณลักษณะเฉพาะของยิปซัมซึ่งจะเป็นข้อมูลประกอบการในการศึกษาคุณสมบัติอื่นเช่น FTIR และ SEM ต่อไป

คำสำคัญ: ยิปซัม การวิเคราะห์ทางความร้อน การนำความร้อน ความจุความร้อนความหนาแน่น

Abstract

This research study on the thermal properties of gypsum powder aims to determine the mineral identity of gypsum powder and to study their thermal properties, such as decomposition temperature, heat capacity thermal conductivity and density in gypsum powder. Gypsum powder obtained from four sites was identified by X-ray diffraction and thermal property test, such as thermal degradation, mass loss, thermal conductivity, specific heat capacity, and density as a function of temperature. The results of gypsum powder showed two steps of mass loss between 19-20% in the temperature ranging from 150 to 250 degree Celsius and showed thermal degradation at 1,200degree Celsius. K-mining gypsum showed calcite and quartz in composition and minimal percent weight by gravimetric which showed 93.98. The impurity content showed a small effect on thermal conductivity and specific heat. The results of specific heat capacity at room temperature and high temperature indicated that all gypsum samples tested in this study showed no significant differences. The thermal conductivity and density were increased depending on temperature. The XRD and TG-DTA are important techniques that identified and showed impurity content on gypsum powder. The results provided useful behavior information of gypsum powder at a high temperature which will be complementary to further studies of properties such as FTIR and SEM in the future.

Keywords: gypsum, thermal analysis, thermal conductivity, specific heat, density

¹ สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90110

¹ Office of Scientific Instrument and Testing, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla, 90110

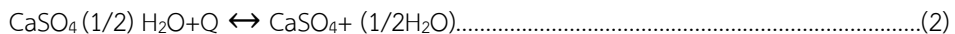
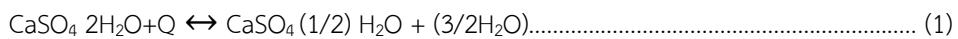
*Corresponding author: e-mail: Songpol.h@psu.ac.th

Received: May 3, 2021, Accepted: October 4, 2021, Published: December 31, 2021

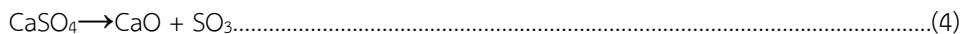
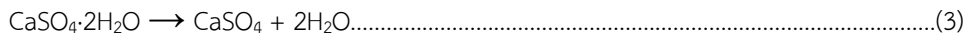


บทนำ

ปัจจุบันการศึกษายิปซัมจะมุ่งเน้นไปในทางการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนเป็นส่วนใหญ่ซึ่งมีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย แต่ยังมีส่วนน้อยที่มีการศึกษาถึงคุณสมบัติของตัวแร่ และ แหล่งแร่ที่เก็บความบริสุทธิ์ของตัวแร่สิ่งเจือปนของแร่อื่นที่มีมาในยิปซัมจะมีผลต่อคุณสมบัติทางความร้อนของยิปซัมหรือไม่จึงเป็นที่น่าสนใจ ในธรรมชาติสิ่งเจือปน ได้แก่ แคลไซด์ (chloride) ดินขาว (kaolin) กลุ่ม carbonates เช่น limestone, และ silica (SiO₂) (Engbrecht and Hirschfeld, 2016) โดยทั่วไปยิปซัม (gypsum) มีการเกิดหลายวิธีมีสูตรเคมี คือ CaSO₄·2H₂O : CaO 32.6%, SO₃ 46.5%, H₂O 20.9% จัดเป็นแร่อุตสาหกรรม ประโยชน์ของยิปซัมถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ อุตสาหกรรมก่อสร้างและใช้ประกอบผ้าพันแผลในกรณีกระดูกหัก (ธงชัย และ คณะ, 2559) นอกจากนี้สามารถนำยิปซัมมาใช้ทำ Wallboard (กระดานผนัง) ซึ่งประโยชน์ของกระดานผนังมีมากมาย เช่น ป้องกันความร้อนภายในห้องลดเสียง (Pinheiro and Camarini, 2015) Foldvari (2011) รายงานผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนด้วยวิธี TG-DTA ที่อุณหภูมิ 50 ถึง 1,000 องศาเซลเซียส การรายงานยังไม่ครอบคลุมอุณหภูมิการสลายตัว ซึ่งได้รายงานว่าเกิดในช่วง อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสภายในโครงสร้างทางเคมีของยิปซัมจะประกอบด้วยโครงสร้างของน้ำ 2 โมเลกุลซึ่งโครงสร้างนี้จะสลายไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของยิปซัมสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้ดังนี้



ทั้งสองสมการจะเกิดการระเหยของโมเลกุลของน้ำภายในโครงสร้างเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 125 ถึง 225 องศาเซลเซียส (Ramachandran *et al.*, 2003) เป็นการเปลี่ยนจากยิปซัมเป็นแร่แอนไฮไดรต์ (Fukami *et al.*, 2015) โดยการเกิด dehydration และ decomposition ของ CaSO₄·2H₂O เป็นโมเลกุลย่อย ดังนี้



จะเห็นได้ว่าประโยชน์หลัก ๆ คือนำยิปซัมมาใช้ทำ Wallboard (กระดานผนัง) ป้องกันความร้อนภายในห้องลดเสียง การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญ ความเสถียรภาพทางความร้อนจึงเป็นสิ่งที่ต้องตรวจสอบด้วยเครื่อง Thermogravimetric analysis (TGA) (Herrera and Cloutier, 2009) เทคนิคนี้เป็นการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของตัวอย่าง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิซึ่งเทคนิคนี้เป็นเทคนิคทั่วไปที่สามารถใช้ศึกษาหาประสิทธิภาพของการทนต่อสภาวะของความร้อนที่มีผลต่อตัวอย่าง นอกจากนี้ Wakili and Hugi (2009) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของยิปซัมบอร์ด 4 ประเภท ภายใต้สภาวะ fire condition ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีการศึกษาค่าการนำความร้อน ค่าความจุความร้อน และค่าความหนาแน่น ซึ่งผลที่ได้จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของส่วนประกอบของคาร์บอนเนตที่ได้ผสมเข้าไป ค่าการนำความร้อนของตัวอย่างจะบอกให้เราทราบถึงความสามารถในการนำความร้อน ซึ่งตัวอย่างยิปซัมที่ดีต้องมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ ๆ คุณสมบัตินี้จะมีผลต่อค่าความหนาแน่นของตัวอย่างซึ่งค่าการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ (Ramachandran *et al.*, 2003) ซึ่งคุณสมบัติทางความร้อนต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้เป็นสิ่งสำคัญ ผู้ศึกษาจึงมุ่งเน้นถึงคุณสมบัติทางความร้อนของผงยิปซัมเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาควบคู่กับคุณสมบัติอื่น ๆ ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์แร่ของผงยิปซัม
2. ศึกษาคุณสมบัติทางความร้อน ได้แก่ ช่วงอุณหภูมิการสลายตัว ค่าความจุความร้อน ค่าการนำความร้อนและค่าความหนาแน่นในตัวอย่างผงยิปซัม



ระเบียบวิธีวิจัย

การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์แร่

ตัวอย่างผงยิปซัมจาก 4 แหล่ง ได้แก่ เหมือง K-mining, เหมืองเจ้าพระยา, เหมือง SCG และ เหมืองสหชาติ เป็นตัวอย่างที่ถูกเก็บมาจากจังหวัดนครสวรรค์และจังหวัดพิจิตร โดยรองศาสตราจารย์ธงชัย พึ่งรัศมี นำตัวอย่างบดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง (Retsch, MM 400, Germany) ขนาดไมครอน ตัวอย่างที่ได้นำมาตรวจศึกษาการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ (X' Pert MPD, Philips) โดยใช้หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดที่มีธาตุทองแดงเป็นโลหะเป้า ปรับค่ากระแสและความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 30 มิลลิแอมแปร์ และ 40 กิโลโวลต์ ตามลำดับ ให้กับหลอดกำเนิดรังสี อัตราเร็วในการตรวจวัดเท่ากับ 1.2 องศา (2 θ) ต่อนาที ใช้ข้อมูลมาตรฐาน PDF-2 release 2013 ของ ICDD (International Centre for Diffraction Data) มาวิเคราะห์หาชนิดของแร่ที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยนำข้อมูลมาตรฐานมาเปรียบเทียบกับแบบรูปการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD pattern) จากตัวอย่าง

การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของผงยิปซัม

1. การวิเคราะห์การสลายตัวของตัวอย่าง: ค่าเปอร์เซ็นต์การสลายตัวและค่าอุณหภูมิการสลายตัวทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Simultaneous thermal analyzer(STA8000, Perkin Elmer) ตัวเครื่องมีการตรวจสอบการใช้งานโดยใช้สารมาตรฐาน อะลูมิเนียมจุดหลอมเหลว 660 องศาเซลเซียสเพื่อยืนยันค่าอุณหภูมิการทดสอบ การทดสอบจะทำการสุ่มใช้ชิ้นดักสารตักตัวอย่างผงยิปซมน้ำหนักประมาณอยู่ในช่วง 10-30 มิลลิกรัม ตัวอย่างถูกบรรจุในถ้วยอะลูมินา โดยโปรแกรมการทดสอบ คือ เพิ่มอุณหภูมิจาก 25-1,450 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ในสภาวะไนโตรเจน อัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที ผลการทดสอบจะอยู่ในรูปของกราฟ แสดงข้อมูลการทดสอบของเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) และ Differential Thermal Analysis (DTA) ในช่วงของอุณหภูมิของการทดสอบ

2. การวิเคราะห์ค่าความจุความร้อน: ค่าความจุความร้อนของตัวอย่างทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดค่าความแตกต่างของพลังงาน (DSC8500, Perkin Elmer) ตัวเครื่องมีการตรวจสอบการใช้งานโดยใช้สารมาตรฐาน อินเดียมจุดหลอมเหลว 156.6 องศาเซลเซียสเพื่อยืนยันค่าอุณหภูมิการทดสอบ ตัวอย่างผงยิปซัมที่ผ่านการบดแล้วจะทำการสุ่มใช้ชิ้นดักสารตักตัวอย่างผงยิปซมน้ำหนักประมาณอยู่ในช่วง 10-20 มิลลิกรัมตักใส่ถ้วยอะลูมิเนียมและใช้ถ้วยเปล่าอะลูมิเนียมเป็นตัวอ้างอิงโปรแกรมการทดสอบ คือ เพิ่มอุณหภูมิจาก 25-400 องศาเซลเซียสด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ในสภาวะก๊าซฮีเลียม อัตราการไหล 20 มิลลิลิตรต่อนาที การคำนวณใช้สารมาตรฐาน sapphire คำนวณค่าความจุความร้อนจากตัวอย่าง ซึ่งการวิเคราะห์อ้างอิงวิธีการวิเคราะห์ตาม ASTM E1269-11 (2011) ผลการทดสอบจะอยู่ในรูปของกราฟแสดงข้อมูลค่าความจุความร้อนและช่วงอุณหภูมิของการทดสอบ

3. การวิเคราะห์ค่าการนำความร้อน: ค่าการนำความร้อนของตัวอย่างทำการวัดด้วยเครื่อง Hot Disk(Hot Disk thermal constant analyzer, TPS2500S) โดยใช้หลักการวัดแบบ transient plane source technique (TPS) ตัวเครื่องจะมีตัวโพรบ (Kapton probe) สามารถทนความร้อน ทำการวัดระหว่างชิ้นงานตัวอย่าง ตัวเครื่องมีการตรวจสอบการใช้งานโดยใช้สารมาตรฐานสแตนเลสสตีลเพื่อยืนยันผลการทดสอบ ตัวอย่างผงยิปซัมประมาณ 150 -200 กรัม บรรจุอยู่ในถ้วยอะลูมินา โดยใช้ตัวโพรบจุ่มลงในผงยิปซัม ทำการวัดค่าการนำความร้อนภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ 25, 100, 200, 300 และ 400 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยตั้งค่าโปรแกรมค่าพลังงานความร้อน (heating power) 20 มิลลิวัตต์ และเวลาในการวัด (measuring time) 20 วินาที ผลที่ได้จะได้ค่าการนำความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ นำมาพลอตในรูปของกราฟในแต่ละจุดอุณหภูมิของการวัด

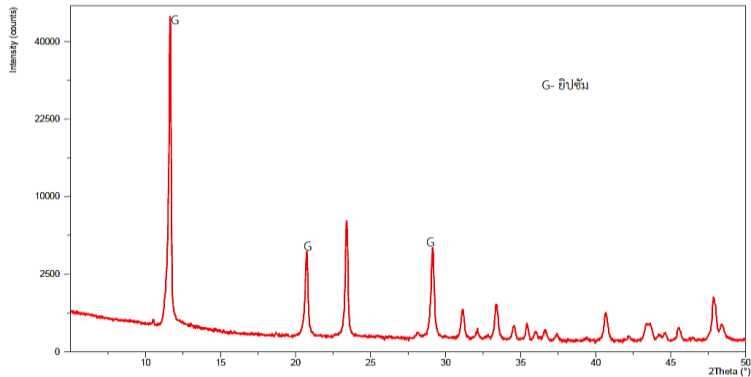
4. การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของตัวอย่าง: ตัวอย่างผงยิปซัมที่ผ่านการทดสอบหาค่าการนำความร้อนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสถูกนำมาหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดความหนาแน่น (AccuPyc II 1340, Micromeritics) โดยตัวอย่างผงยิปซัมประมาณ 5-10 กรัมถูกนำมาวัดหาค่าความหนาแน่น โดยตัวเครื่องใช้หลักการการแทนที่ด้วยแก๊สฮีเลียม เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่าง ผลที่ได้เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นของตัวอย่างผงยิปซัมเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

5. สถิติ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

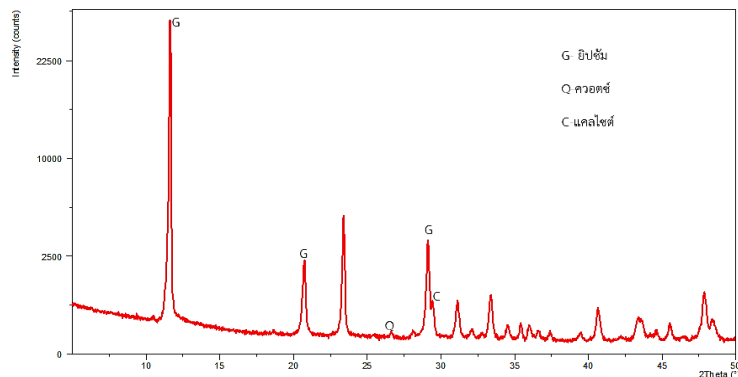
ผลการวิจัย

1. ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์แร่

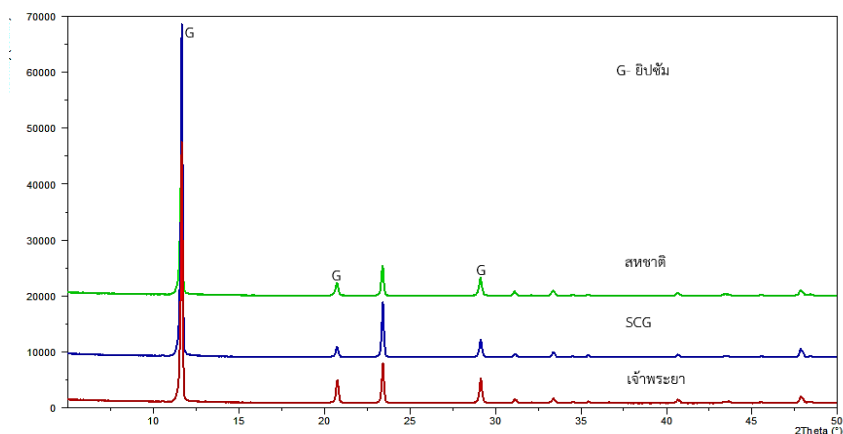
ผลการศึกษาการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์ตัวอย่างผงยิปซัมจากเหมืองเจ้าพระยาพบพีคเด่นที่ 11.66° , 20.77° และ 29.12° ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานพบว่าตรงกับแรยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ICDD No. 00-033-0311 ดังภาพที่ 1 ส่วนตัวอย่างผงยิปซัมจากเหมือง K-mining พบแรยิปซัม แคลไซต์ (CaCO_3) ICDD No. 01-085-1108 และ ควอตซ์ (SiO_2) ICDD No. 01-087-2096 ดังภาพที่ 2 ซึ่งแคลไซต์และควอตซ์พบในปริมาณน้อย สำหรับตัวอย่างผงยิปซัมจากเหมือง SCG และเหมืองสหชาติ พบแรยิปซัมดังภาพที่ 3



ภาพที่ 1 XRD pattern ตัวอย่างผงยิปซัมจากเหมืองเจ้าพระยา



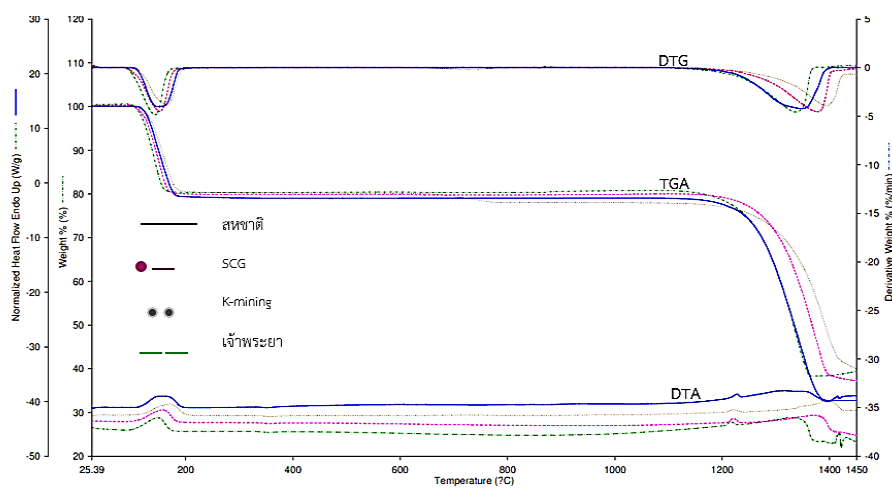
ภาพที่ 2 XRD pattern ตัวอย่างผงยิปซัมจากเหมือง K-mining



ภาพที่ 3 XRD pattern ตัวอย่างผงยิปซัมจากเหมืองเจ้าพระยา เหมือง SCG และ เหมืองสหชาติ

2. การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของผงยิปซัม

จากการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนด้วยวิธี DTA TGA ของผงยิปซัมทั้ง 4 แหล่ง (ภาพที่ 4) ทำการวิเคราะห์ภายใต้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 ถึง 1,450 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะไนโตรเจนจะมีการเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนอยู่ 2 ขั้นตอน คือ ในช่วงอุณหภูมิ 150-250 องศาเซลเซียสซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากกราฟ DTA และการสูญเสียน้ำหนักที่หายไปจากกราฟ TGA เป็นกระบวนการ dehydration และในช่วงอุณหภูมิมากกว่า 1,200 องศาเซลเซียสเป็นการสลายตัวของ SO_3 จาก CaSO_4 (Fukami *et al.*, 2015) สำหรับผงยิปซัมจากเหมือง K-Mining จะพบปฏิกิริยาดูดความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียสทำให้น้ำหนักลดลงซึ่งช่วงอุณหภูมินี้จะเป็นการสลายตัวของ calcite (Foldvari, 2011) ซึ่งผลจะสอดคล้องกับการศึกษาด้วยเครื่อง XRD ดังแสดงพีค แคลไซต์และ ควอตซ์ ในส่วนประกอบ การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ผงยิปซัมจะใช้ข้อมูลน้ำหนักที่ลดลงในช่วงอุณหภูมิ 150-250 องศาเซลเซียส เป็นค่าน้ำหนักของน้ำในกระบวนการ dehydration พบว่าผงยิปซัมจากเหมืองสหชาติมีค่าเปอร์เซ็นต์ผงยิปซัมสูงที่สุด คือ 99.03 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา เหมือง SCG97.29 เปอร์เซ็นต์และ เหมืองเจ้าพระยา 96.63 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์ผงยิปซัมจากเหมือง K-mining อยู่ที่ 93.98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง เป็นผลมาจากมีแร่ชนิดอื่นเจือปนมาในส่วนประกอบ ดังแสดงในตารางที่ 1



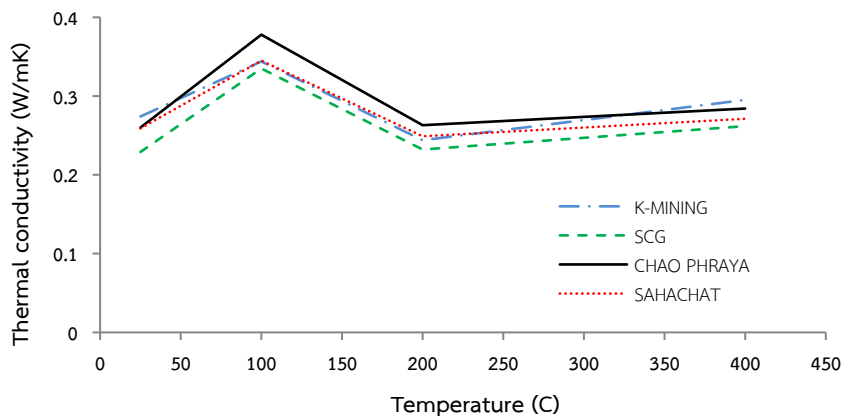
ภาพที่ 4 ข้อมูล DTA (Differential Thermal Analysis), TGA (Thermogravimetric Analysis) และ DTG (Derivative Thermogravimetry) ของตัวอย่างผงยิปซัมจากแหล่งเหมืองเจ้าพระยา เหมือง K-mining เหมือง SCG และ เหมืองสหชาติ

ตารางที่ 1 ค่าปริมาณผงยิปซัมคำนวณจาก Gravimetric method

ตัวอย่าง	ค่าน้ำหนักที่หายไปหรือลดลงช่วงอุณหภูมิ 150-250 องศาเซลเซียส (เปอร์เซ็นต์)	ยิปซัม (เปอร์เซ็นต์)
เจ้าพระยา	20.221	96.63
K-mining	19.666	93.98
SCG	20.359	97.29
สหชาติ	20.724	99.03

การวิเคราะห์ค่าการนำความร้อนของผงยิปซัมในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 400 องศาเซลเซียสดังแสดงในภาพที่ 5 ลักษณะของกราฟค่าการนำความร้อนจะมีลักษณะคล้ายกันทั้ง 4 แหล่งซึ่งค่าการนำความร้อนจะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.229 วัตต์ต่อมิลลิเคลวินและค่าสูงสุด คือ 0.378 วัตต์ต่อมิลลิเคลวิน จากกราฟตัวอย่างผงยิปซัมจากเหมืองสหชาติ ค่าการนำความร้อนจะแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกจากอุณหภูมิ 50-100 องศาเซลเซียส ค่าการนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นจาก 0.259 ถึง 0.345 วัตต์ต่อมิลลิเคลวิน ช่วงที่ 2 อุณหภูมิระหว่าง 100-200 องศาเซลเซียสจะมีค่าลดต่ำลงจาก 0.345 ถึง 0.249 วัตต์ต่อมิลลิเคลวินเป็นผลมาจาก

การ dehydration และช่วงสุดท้ายที่ช่วงอุณหภูมิสูง 200-400 องศาเซลเซียส จะมีการเพิ่มขึ้นของค่าการนำความร้อนจาก 0.249 ถึง 0.271 วัตต์ต่อมิลลิเคลวิน ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองของ Wakili and Hugi (2009) โดยศึกษาการนำความร้อนของแผ่นยิปซัมหลังจากผ่านการทดสอบที่สภาวะ fire condition อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสตาม ISO 834 พบว่า ค่าการนำความร้อนจะลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ หลังจากกระบวนการ dehydration โดยอธิบายว่า ตัวอย่างจะมีรูพรุนเพิ่มขึ้นหลังจากมีการสูญเสียโมเลกุลของน้ำในโครงสร้าง และค่าการนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของรูพรุนผนังของรูพรุนจะมีความหนาแน่นขึ้นทำให้การส่งผ่านความร้อนดีขึ้นและการนำความร้อนจึงเพิ่มขึ้น ในตัวอย่างผงยิปซัมหลังจากทำการทดสอบค่าการนำความร้อนโดยการอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสตัวอย่างจะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น Wakili and Hugi (2009) ได้อธิบายว่าหลังจากการเกิดกระบวนการ dehydration ค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวอย่างผงยิปซัมจะมีการหดตัวอย่างรุนแรงและมีการเปลี่ยนแปลงของรูพรุนภายในโครงสร้างจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดดังแสดงในตารางที่ 2

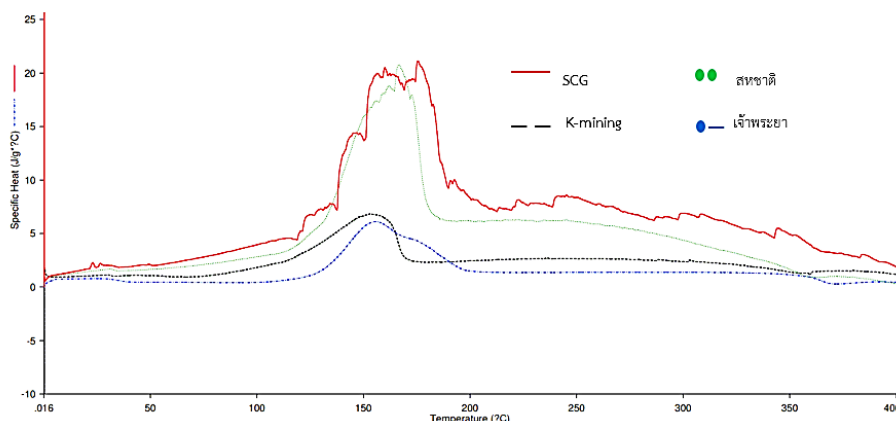


ภาพที่ 5 ข้อมูล ค่าการนำความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของตัวอย่างผงยิปซัมจากเหมือง K-mining เหมือง SCG เหมืองเจ้าพระยาและเหมืองสหชาติ

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นในตัวอย่างยิปซัมที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และหลังจากทำการอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
	ค่าน้ำหนักที่หายไปหรือลดลงช่วงอุณหภูมิ 150-250 องศาเซลเซียส (เปอร์เซ็นต์)	ยิปซัม(เปอร์เซ็นต์)
เจ้าพระยา	2.303	2.807
K-mining	2.330	2.818
SCG	2.305	2.818
สหชาติ	2.302	2.820

ผลของอุณหภูมิต่อค่าความจุความร้อนในตัวอย่างผงยิปซัมด้วยเครื่อง DSC ดังแสดงในภาพที่ 7 พบว่า ค่าความจุความร้อนของผงยิปซัมจะเพิ่มขึ้นจาก 2-20 จูลต่อกรัมองศาเซลเซียสในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 100 ถึง 180 องศาเซลเซียส ในตัวอย่างเหมืองสหชาติและเหมือง SCG จะให้ค่าที่สูงกว่ายิปซัมจากเหมือง K-mining และเหมืองเจ้าพระยาตามลำดับ ตัวที่คึกเกิดจากกระบวนการ dehydration เป็นการดูดซับพลังงานของผลึกน้ำภายในยิปซัมโมเลกุล ซึ่งจากผลการทดลองนี้จะสอดคล้องกับการทดลองของ Mehaffey *et al.*, (1994) โดยได้ใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที และผลที่ได้พบพีคให้ค่าพลังงาน 14 กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียสที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสผล จากการวิเคราะห์ค่าความจุความร้อนจากทั้ง 4 แหล่งพบว่า ค่าความจุความร้อนที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และที่อุณหภูมิสูงขึ้น (400 องศาเซลเซียส) โดยพิจารณาด้วยค่าสถิติ พบว่า ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้หลักการการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)



ภาพที่ 7 ค่าความจุความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของตัวอย่างผงยิปซัมจากเหมือง K-mining เหมือง SCG เหมืองเจ้าพระยาและเหมืองสหชาติ

สรุปผลการวิจัย

การพิสูจน์เอกลักษณ์แร่และการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของผงยิปซัมจากทั้ง 4 แหล่ง ได้แก่ การศึกษาการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์(XRD pattern) ช่วงอุณหภูมิการสลายตัว ความหนาแน่น การนำความร้อน และค่าความจุความร้อน ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้สามารถบ่งบอกพฤติกรรมของผงยิปซัมที่อุณหภูมิสูงได้ การวิเคราะห์ด้วยวิธี XRD และวิธี TG-DTA เป็นวิธีการที่สำคัญในการระบุเอกลักษณ์แร่ และการพบเจอปริมาณสิ่งเจือปนในตัวแร่ การเจือปนในตัวอย่างผงยิปซัมจะมีผลน้อยมากกับค่าการนำความร้อนและค่าความจุความร้อน การทดสอบความจุความร้อนที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และที่อุณหภูมิสูงขึ้น (400 องศาเซลเซียส) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ค่าการนำความร้อนจะสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นในตัวอย่างซึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการวิเคราะห์การพิสูจน์เอกลักษณ์แร่จากทั้ง 4 แหล่งพบว่า XRD pattern พบพีคลักษณะเฉพาะของผงยิปซัมจะปรากฏอยู่ที่ 1.66, 20.77 และ 29.12 องศา ตามลำดับ ซึ่งตัวพีคทั้งหมดมีสูตรเคมีคือ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ และการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของผงยิปซัมพบว่าผงยิปซัมจะเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน พีค DTA และเกิดพีคการสลายตัว TGA ให้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลง 19-20 เปอร์เซ็นต์ในช่วงอุณหภูมิ 150-250 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นการ dehydration ของน้ำในโครงสร้างและในช่วงอุณหภูมิมากกว่า 1,200 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นขั้นตอนการสลายของผงยิปซัมซึ่งน้ำหนักที่หายไปนี้เป็นการสลายของ SO_3 จาก CaSO_4 (Fukami *et al.*, 2015) ค่าการนำความร้อนของผงยิปซัมจะมีการเพิ่มขึ้นในช่วงแรกช่วงอุณหภูมิระหว่าง 50-100 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นก็จะลดลงในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 100-200 องศาเซลเซียส ซึ่งการลดลงนี้เป็นผลมาจากการ dehydration ของน้ำในตัวอย่างยิปซัม และในช่วงสุดท้ายมีการเพิ่มขึ้นของค่าการนำความร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่ง Thomas (2002) รายงานว่า ค่าการนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากกว่า 800 องศาเซลเซียส ในขณะที่ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างผงยิปซัมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อยิปซัมถูกเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเนื่องจากปริมาณของน้ำในโครงสร้างลดลงทำให้ผงยิปซัมมีความหนาแน่นในตัวอย่างมากขึ้น จะเห็นว่าค่าการนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อตัวอย่างผงยิปซัมมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ผลของอุณหภูมิต่อค่าความจุความร้อนของผงยิปซัมด้วยเครื่องวัดค่าความแตกต่างของพลังงานจากทั้ง 4 แหล่งจะให้กราฟในลักษณะเดียวกัน คือ ให้ค่าพลังงานที่สูงขึ้น จุดต่อกรัมองศาเซลเซียส ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 100-180 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองจะสอดคล้องกับการทดลองของ Mehaffey *et al.*, (1994) ที่แสดงผลของพีค 14 กิโลจูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียสที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส พีคที่ได้นี้เป็น การดูดพลังงาน เพื่อสลายโครงสร้างน้ำในโครงสร้างโมเลกุลของยิปซัมในกระบวนการ dehydration ผลจากการศึกษาถึงการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์แร่ด้วยเครื่อง XRD และ TG-DTA จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตรวจ

ศึกษาคุณภาพของแร่ว่าเป็นแร่บริสุทธิ์หรือมีแร่อื่นเจือปนในตัวแร่หรือไม่ ข้อมูลจากทั้งสองเทคนิคการทดสอบนี้จะประโยชน์โดยตรงต่อนักธรณีวิทยาในการตรวจหาชนิดของแร่จากแหล่งแร่ต่าง ๆ ได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางความร้อนจะขึ้นอยู่กัชนิดของแร่ซึ่งจะแสดงถึงคุณลักษณะเฉพาะของแร่แต่ละชนิด นอกจากเทคนิคที่กล่าวมาแล้วนั้นงานที่ชวนให้น่าศึกษาในอนาคต เช่น เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR) ผลสเปกตรัมที่ได้จะแสดงการดูดกลืนและการส่องผ่านแสง IR ภายในโมเลกุลและการศึกษาและเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของผงยิปซัมด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy จากแหล่งแร่ต่าง ๆ การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายในหลังจากมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นงานที่น่าสนใจให้การศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาจากสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้โอกาสในการใช้เครื่องมือทำวิจัยและสนับสนุนให้บุคลากรของสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบได้มีการพัฒนาความรู้และ เพื่อตอบสนองความต้องการทางด้านวิชาการจากหน่วยงานทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- ธงชัย พึ่งรัมย์ สุกิจ อดิพันธ์ ภาณุพงษ์ ลิมสุลันโน พัทธรา ศุภรัตน์ทรงพล หอมอุทัย วชิราภรณ์ ปิสิตโร พรพจน์ หนูทอง ปริญาพัฒนเดช และทวีศักดิ์ ถิ่นปากพั่น. 2559. รายงานทางวิชาการ (Technical Report) ชุดแร่วิทยา (Mineralogy Series) แร่ยิปซัม แร่แอนไฮไดรต์ เล่มที่ 5/2559. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 250 หน้า.
- ASTM E 1269-11. 2011. Standard Method for Determining Specific Heat Capacity by Differential Scanning Calorimetry. 1-6 p. *In*: ASTM International. West Conshohocken.
- Engbrecht, D.C. and D.A. Hirschfeld. 2016 Thermal analysis of calcium sulfate dihydrate sources used to manufacture gypsum wallboard. *Thermochimica Acta*. 639(5): 173-185.
- Foldvari, M. 2011. Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice, Geological Institute of Hungary, Budapest. 180 pages.
- Fukami, T., Tahara, S., Nakasone, K. and C. Yasuda. 2015. Synthesis, crystal structure, and thermal properties of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *International Journal of Chemistry*. 7(2): 12-20.
- Herrera, R.E. and A. Cloutier. 2009. Thermal degradation and thermal conductivity of gypsum-cement particleboard. *Wood and Fiber Science*. 41(1): 13-21.
- Mehaffey, J.R., Cuerrier, P. and G.A. Carisse. 1994. A model for predicting heat transfer through gypsum-board/wood-stud walls exposed to fire. *Fire and Materials*. 18(5): 297-305.
- Pinheiro, S.M.M. and G. Camarini. 2015. Characteristics of gypsum recycling in different cycles. *International Journal of Engineering and Technology*. 7(3): 215-218.
- Ramachandran, V.S., Paroli, R.M., Beaudoin, J.J. and A.H. Delgado. 2003. Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials. Noyes Publication, William Andrew Publishing. Norwich, New York. 702 pages.
- Thomas G., 2002. Thermal Properties of Gypsum Board at High Temperatures. *Fire and Materials*. 26(1): 37-45.
- Wakili, K.G. and E. Hugi. 2009. Four types of gypsum plaster boards and their thermo-physical properties under fire condition. *Journal of Fire Sciences*. 27(1): 27-43.