

ส่วนประกอบทางเคมีของดินขาวและดินดำบางตัวอย่าง*

CHEMICAL COMPOSITION OF SOME SELECTED KAOLIN AND CLAY SAMPLES*

ประศักดิ์ ถาวรยุติการณณ์** และกรรณิกา เตชะสกุลมาศ***

Prasak Thavornyutikarn** and Kanika Taechasakunmas***

บทคัดย่อ

ได้วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวและดินดำบางตัวอย่างด้วยวิธีแกรวิเมตรีพบว่าดินขาวลำปางสามแหล่งจะมีปริมาณของ SiO_2 64-71%, Fe_2O_3 1.6-1.9%, TiO_2 0.03-0.04%, Al_2O_3 17-29%, CaO 0.28-0.61%, MgO 0.19-0.25%, Na_2O 0.10-0.42% และ K_2O 0.52-0.99% ดินดำแม่ริมเชียงใหม่มีปริมาณของ SiO_2 54%, Fe_2O_3 3.1%, TiO_2 0.72%, Al_2O_3 33%, CaO 0.38%, MgO 0.25%, Na_2O 0.16% และ K_2O 0.55%.

ABSTRACT

The chemical composition of some selected samples of kaolin and ball clay were determined by gravimetry. It was found that the composition of three sources of Lampang kaolin were 64-71% SiO_2 , 1.6-1.9% Fe_2O_3 , 0.03-0.04% TiO_2 , 17-29% Al_2O_3 , 0.28-0.61% CaO , 0.19-0.25% MgO , 0.10-0.42% Na_2O and 0.52-0.99% K_2O . Ball clay of Mae Rim, Chiang Mai, contained 54% SiO_2 , 3.1% Fe_2O_3 , 0.72% TiO_2 , 33% Al_2O_3 , 0.38% CaO , 0.25% MgO , 0.16% Na_2O and 0.55% K_2O .

บทนำ

ดินขาว (kaolin) และดินดำหรือดินเหนียว (ball clays) เป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกส์โดยเฉพาะพวกเครื่องปั้นดินเผา นอกจากนี้ดินขาวและดินดำยังเป็นวัตถุดิบสำหรับงานด้านอื่น ๆ ทางเซรามิกส์และอุตสาหกรรมอื่นอีกด้วย ดังนั้นการทราบถึงองค์ประกอบทางเคมี จึงมีความสำคัญมากในการพิจารณาถึงการใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

ได้มีการวิเคราะห์คุณลักษณะของแร่ดินขาวและดินดำที่ใช้ในประเทศไทย สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาจากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทย โดย อุบลศรี ไชยราม และ ยาวลักษณ์ นิสสุภา (2526) และยังมีผู้ทำการวิเคราะห์ทางเคมีของดินตัวอย่างอื่น ๆ เช่น จุ่มพล คีนตัก และ คณะ (2521), วรรณภา ปิยะพงษ์ศิริ (2522) และ เรวดี พุทธิพันธ์ (2522) แต่ยังไม่ชัดเจนถึงองค์ประกอบทางเคมีของดินขาวจากจังหวัดลำปางและดินดำจากจังหวัดเชียงใหม่ตามวิธีที่มีในเอกสารที่อ้างอิงได้

* ส่วนหนึ่งมาจากการค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนเคมี) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2527

** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

*** ที่อยู่ปัจจุบัน : โรงเรียนเขตนางคันทคร จังหวัดลำปาง

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ตัวอย่างดิน ดินขาวที่ใช้ได้มาจากสามแหล่ง คือ จาก อ.แจ้ห่ม จังหวัดลำปาง จาก ตำบลวังเหนือ อ.เมือง จ.ลำปาง และดินขาวลำปางที่ใช้ในอาคารซิเมนต์ สำหรับดินดำ ได้มาจาก อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ ตัวอย่างดินทั้งหมดได้ทำการล้างเรียบร้อยแล้ว

สารเคมี สารเคมีทุกตัวที่ใช้สำหรับงานวิเคราะห์ จะเป็นเกรดวิเคราะห์ของบริษัท E.Merck นอกนั้น จะเป็นเกรดรีเอเจนต์

เครื่องมือ AAS, Varian Techtron Model 275. UV-VIS Spectro-photometer, Model SP6-202, Pye Unicam.

การหาความชื้น ตามวิธีของ Jeffrey (1981) โดยชั่งดินตัวอย่างอย่างถูกต้องประมาณ 1.0 กรัม ในคูชิลเบิลทองคำขาว อบที่อุณหภูมิ 110°ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก นำไปอบอีก 1 ชั่วโมง ทำเช่นนี้จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

การหาปริมาณสารที่หายไปหลังจากเผาตามวิธีของ Jeffrey (1981) โดยนำเอาคูชิลเบิลทองคำขาวของสารตัวอย่างจากที่หาความชื้นแล้ว ใส่เข้าไปใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 1100°ซ เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในหม้อดูดความชื้นแล้วชั่ง

การหาปริมาณซิลิกา (SiO_2) ทำตามวิธีของ Jeffrey (1981) และ ASTM (1971) เป็นการประยุกต์โดยการหลอมบนตะเกียงแก๊ส Fischer แทนการหลอมใน muffle furnace ซึ่งตัวอย่างดินอย่างถูกต้องประมาณ 1.0 กรัม ในคูชิลเบิลทองคำขาวเติมฟลักซ์ (Na_2CO_3 : KHCO_3 4:1) ประมาณ 6.0 กรัมค่อย ๆ คนตัวอย่างกับฟลักซ์ให้เข้ากันแล้วโรยฟลักซ์กลบ

ผิวหนึ่งอีกประมาณ 4.0 กรัม นำไปหลอมบนตะเกียง Fischer จนตัวอย่างหลอมละลายหมดได้สารละลายใส ปล่อยให้เย็นแล้วนำคูชิลเบิลทองคำขาวใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 50 cm^3 และเติมกรดเกลือเข้มข้น 30 cm^3 โดยค่อย ๆ รินทิ้งไว้จนเกลือหลุดออกจากคูชิลเบิลหมด นำไปประเหยเอาตัวทำละลายออกบน water bath จนแห้ง

เติมกรดเกลือเข้มข้นอีก 20 cm^3 นำไปประเหยต่อจนแห้ง เติมกรดเกลือเข้มข้นอีก 10 cm^3 และน้ำกลั่น 50 cm^3 นำไปอุ่นบน Water bath อีกประมาณ 10 นาที กรองแล้วล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน 4-5 ครั้ง เก็บเอาฟิวเตรตไว้เพื่อหาปริมาณธาตุอื่น ๆ ต่อไป

พับกระดาษกรองพร้อมตะกอนใส่ในคูชิลเบิลทองคำขาวอีก แล้วเผาด้วยเปลวไฟจนกระดาษกรองไหม้หมดไป นำเข้าไปอบใน muffle furnace ที่มีอุณหภูมิ 1100°ซ เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็นและชั่งเติมน้ำกลั่นเล็กน้อยแล้วเติมกรดไฮโดรฟลูออริกลงไปประมาณครึ่งคูชิลเบิล นำไปประเหยบน water bath จนแห้ง เติมกรดลงไปอีก 5 cm^3 ระเหยจนแห้งสนิทนำคูชิลเบิลไปอบใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 1100°ซ อีกประมาณ 15 นาที ทำให้เย็นแล้วชั่ง

การหาปริมาณของออกไซด์ผสม (R_2O_3) ทำตามวิธี ASTM (1971) เอาฟิวเตรตที่ได้หลังจากการกรองเอาซิลิกาออกมาระเหยจนเหลือสารละลาย ประมาณ 200 cm^3 หยด bromocresol purple เข้มข้น 0.05% ลงไป 2-3 หยด หยดสารละลายแอมโมเนีย 1:1 ลงไปจนสีอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีอุ่นบน hot plate ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้ R_2O_3 ตกตะกอน

กรองล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนที่ไม่เป็นกรด (โดยลอง หยด โบรโมครีซอลเฟอร์เฟิล) ล้างประมาณ 7-8 ครั้ง เก็บฟิวเตรตไว้หาแคลเซียมและแมกนี-

เติมใส่ตะกอนลงในคูซิเบิลทองคำขาว เผาจนกระดาษกรองใหม่หมดแล้วอบที่ 1100°ซ เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็นแล้วชั่ง

การหาปริมาณเหล็กออกไซด์ ดัดแปลงจากวิธีของ Jeffrey (1981) และวิธีของ Vogel (1961) นำเอาออกไซด์ผสมที่อยู่ในคูซิเบิลทองคำขาวมาเติมโปตัสเซียมไฮโดรเจนซัลเฟตประมาณ 5.0 กรัม คนให้เข้ากันแล้วนำไปหลอมบนตะเกียง Fischer ใช้ไฟอ่อน ๆ ประมาณ 5 นาที แล้วค่อย ๆ เร่งไฟให้แรงแล้วหลอมต่อ 25 นาที ทำให้เย็นใส่ในบีกเกอร์ที่บรรจุกรดซัลฟูริก 1 : 9 อยู่ 50 cm³ อุณหภูมิบน Hot plate จนเกลือในคูซิเบิลละลาย กรองเอาตะกอนที่ได้ไปรวมกับตะกอนที่ได้ในครั้งแรก ส่วนฟิวเตรตเติมน้ำกลั่นจนได้ 100 cm³

เปิดสารละลายมา 25 cm³ นำมาผ่าน Jones's reductor ที่ล้างด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 5% ปล่อยสารละลายผ่านคอลัมน์ที่ละลายล้างคอลัมน์ด้วยน้ำกลั่น 4-5 ครั้ง แล้วนำมาไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมเปอร์มันганเต

การหาปริมาณดีเตเนียมออกไซด์ (TiO₂) เป็นวิธี colorimetry มีสามขั้นตอน และเป็นวิธีดัดแปลงจากวิธีของ Furman (1975).

(1) การเตรียมสารละลายมาตรฐานของดีเตเนียมไดออกไซด์ ซึ่งดีเตเนียมไดออกไซด์โดยให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนในบ้าทองคำขาว เติมโปตัสเซียมไฮโดรเจนซัลเฟตเป็นฟลักซ์ ประมาณ 5.0 กรัม คนให้เข้ากันแล้วนำไปหลอมบนตะเกียง Fischer ครั้งแรกใช้เปลวไฟอ่อน ๆ ประมาณ 30 นาที ปิดไฟตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งบ้าเย็น ใส่บ้าในบีกเกอร์ที่มีสารละลายกรดซัลฟูริก 1 : 9 อยู่ 50 cm³ นำไปวางบน hot plate จนเกลือละลายหมดเทใส่ขวดปริมาตร ขนาด 500 cm³ และเติมน้ำกลั่นจนครบปริมาตร

(2) การเตรียมสารละลายมาตรฐานของดีเตเนียมออกไซด์เพื่อใช้ทำ calibration graph ด้วยการเปิดสารละลายมาตรฐานดีเตเนียมออกไซด์ ลงในขวดปริมาตรเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 3.0% V/V ทิ้งไว้ 15 นาที แล้วนำไปวัดที่ 430 nm ด้วยเครื่อง UV/VIS spectrophotometer

(3) การเตรียมสารละลายตัวอย่าง โดยเปิดสารละลายที่ได้ในตะกอนหาปริมาณเหล็กออกไซด์ แล้วทำแบบเดียวกันกับขั้นตอนที่ 2

การหาปริมาณอลูมินา (Al₂O₃) ทำตามวิธีของ Jeffrey (1981) เอาปริมาณของเหล็กออกไซด์ ดีเตเนียมออกไซด์ ไปลบจากปริมาณออกไซด์ผสมก็จะได้เป็นปริมาณอลูมินา

การหาปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ทำตามวิธี ASTM (1971) นำฟิวเตรตที่ได้จากการหาปริมาณซิลิกามาละลายจนเหลือ 250 cm³ ทำให้เป็นต่างด้วยสารละลายแอมโมเนียม 1 : 1 เติมแอมโมเนียมออกซาลเลต 50 กรัม ลงไป แล้วอุณหภูมิใน water bath 30 นาที ตั้งทิ้งค้างคืน กรองตะกอนล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน 4-5 ครั้ง เก็บฟิวเตรตไว้หาแมกนีเซียมพบกระดาษกรองพร้อมตะกอนในคูซิเบิลทองคำขาวแล้วเผาด้วยตะเกียง Fischer จนกระดาษกรองใหม่หมด แล้วอบใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 1100°ซ เป็นเวลา 30 นาที ปล่อยให้เย็นชั่งน้ำหนัก

การหาปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ทำตามวิธี ASTM (1971) นำฟิวเตรตที่กรองได้จากการหาแคลเซียมมาละลายจนปริมาตรเหลือ 250 cm³ ทำให้สารละลายมีแอมโมเนีย 5% นำไปแช่เย็นแล้วเติม diammonium Hydrogen Phosphate 5.0 กรัม คนสารละลายบ่อย ๆ ตั้งสารละลาย

ทิ้งไว้ค้างคืนกรองตะกอน ล้างตะกอนด้วยแอมโมเนีย 5% นำกระดาษพร้อมตะกอนไปเผาจนกระดาษไหม้หมดแล้วอบที่อุณหภูมิ 1100°ซ 30 นาที

การหาปริมาณอัลคาไลออกไซด์ (Na_2O , K_2O) ทำตามวิธี ASTM (1971) ซึ่งดินตัวอย่างถูกต้องประมาณ 0.2 กรัม ในถ้วยทองคำขาวขนาด 200 cm^3 ทำให้ชื้นโดยน้ำกลั่นเล็กน้อย เติมกรดเปอร์คลอริก 1 cm^3 กรดไฮโดรฟลูออริก 10 cm^3 นำไประเหยบน water bath ใส่ซิลิกาจนแห้งเติมกรดไนตริกเข้มข้น 1 cm^3 และน้ำ 30 cm^3 อยู่ใน water bath ใส่เกลือให้ระเหยจนหมด กรองสารละลายใส่ขวดปริมาตร 200 cm^3 เติมน้ำกลั่นจนครบปริมาตร นำไปหาปริมาณ Na และ K โดยวิธี atomic absorption spectrophotometry ที่ความยาวคลื่น 589.0 และ 766.0 nm ตามลำดับ

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของดินมาตรฐานเปรียบเทียบกับที่ทางกรมทรัพยากรธรณี (พลยุทธ สุขสมิติ, ติดตอส่วนตัว) ได้ทำการวิเคราะห์ไว้ได้แสดงในตาราง 1 ส่วนการวิเคราะห์ส่วนประกอบของดินขาวและดินดำตัวอย่างจากการทดลองครั้งนี้ได้แสดงในตาราง 2

อภิปรายผลและสรุป

การวิเคราะห์ทางเคมีแบบแกรวิเมตรีนี้เป็น การวิเคราะห์ที่ยุ่งยากมาก ต้องผ่านหลายขั้นตอนและ ต้องใช้เวลานาน นอกจากนี้ยังมีวิธีการสำหรับวิเคราะห์ ที่แตกต่างกันออกไปในรายละเอียด วิธีเลือกใช้อาศัยว่าเป็นวิธีใหม่ที่มีในหนังสือที่จะอ้างอิงได้ และสามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการที่ภาควิชาเคมีและศูนย์วิจัย ทรัพยากรธรณีเขต 3

จากตาราง 1 เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้กับค่าที่กรมทรัพยากรธรณีได้วิเคราะห์ไว้ซึ่งถือว่าเป็นมาตรฐาน จะเห็นว่าปริมาณของส่วนประกอบจะแตกต่างกันไม่มาก ยกเว้นปริมาณของ Fe_2O_3 และ CaO จะแตกต่างกันค่อนข้างมาก ทั้งนี้ อาจจะใช้วิธีที่แตกต่างกันก็ได้ เพราะทำไมทราบวิธีที่ทางกรมทรัพยากรธรณีใช้ แต่โดยสรุปก็พูดได้ว่าวิธีที่ใช้วิเคราะห์นี้น่าจะเชื่อถือได้

ดินขาวตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์พบว่าจะมีปริมาณซิลิกาประมาณ 64-71% ดินขาวของตำบลบ้านสา อ.แจ้ห่ม จังหวัดลำปาง ที่ทาง จุมพล คีนตัก และคณะ (2521) ได้วิเคราะห์ไว้ก็จะได้ประมาณ 68% เมื่อเปรียบเทียบกับดินขาวในอังกฤษที่คุณภาพดีจะมีซิลิกา 46-47% (Norton, 1984) จะเห็นว่าปริมาณซิลิกาในดินขาวลำปางยังมีมากจนเกินไป ส่วนในดินดำ (ball clay) จาก อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ จะมีซิลิกาประมาณ 54% จากการวิเคราะห์ของ จุมพลคีนตัก และคณะ (2521) ดินดำจากแม่หยวกจะมีซิลิกา 64% แต่ตัวอย่างดินนี้ยังไม่ได้ล้าง ปริมาณซิลิกาในดินดำแม่ริมนี้จะมีค่าพอ ๆ กับของประเทศสหรัฐอเมริกา คือ 54-56% (Norton, 1974).

ปริมาณอาลูมินา (Al_2O_3) ดินขาวลำปางที่วิเคราะห์ได้จะอยู่ระหว่าง 17-29% นับว่าน้อยไปเมื่อเทียบกับดินขาวของอังกฤษ (Norton, 1974) ซึ่งมีอาลูมินา 37-39% ส่วนดินดำแม่ริมจะมีองค์ประกอบอาลูมินาค่อนข้างสูงเกือบเท่าของอังกฤษคือ 33.56% ผลวิเคราะห์ของ จุมพล คีนตัก และคณะ (2521) พบอาลูมินาในดินขาวลำปาง 16.89% ส่วนในดินเหนียวแม่ริมมี 23.83%

ปริมาณเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ในดินขาวตัวอย่างที่วิเคราะห์จะอยู่ในช่วง 1.00-1.94% ซึ่งก็นับว่าสูงไป เมื่อเทียบกับดินขาวของอังกฤษที่มีเหล็กออกไซด์เพียง 0.4-1.0% ปริมาณของติเตเนียมออกไซด์

ตาราง 1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของดินมาตรฐาน

	ผลการวิเคราะห์ ของกรมทรัพยากรธรณี	ผลการวิเคราะห์ ของงานนี้
% ของสารที่หายไป หลังจากการเผา	5.00 ± 0.50	
% SiO ₂	75.83 ± 0.35	74.32
% Fe ₂ O ₃	1.02 ± 0.03	1.83
% TiO ₂	—	0.27
% Al ₂ O ₃	12.96 ± 0.42	14.21
% CaO	0.04 ± 0.00	0.57
% MgO	0.81 ± 0.01	0.98
% Na ₂ O	0.21 ± 0.005	—
% K ₂ O	4.44 ± 0.20	—

— ไม่มีผลวิเคราะห์

ตาราง 2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของดินขาวและดินดำตัวอย่าง

ดิน ตัวอย่าง	%ความ ชื้น	%ของสาร ที่หายไป หลังการ เผา	%SiO ₂	%Fe ₂ O ₃	%TiO ₂	%Al ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%Na ₂ O	%K ₂ O
ดินขาว อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง	0.70	5.52	64.59	1.60	0.04	29.45	0.28	0.19	0.10	0.99
ดินขาว อ.เมือง จ.ลำปาง	0.62	6.82	67.81	1.60	0.03	21.02	0.61	0.25	0.42	0.58
ดินขาว ลำปาง ที่ใช้ ในตึก ซีลิกเกต	0.80	4.34	71.54	1.94	0.04	17.17	0.31	0.22	0.12	0.52
ดินดำ อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	4.04	13.87	54.23	3.14	0.72	33.56	0.38	0.25	0.16	0.55

ของดินขาวจะมีค่าในช่วง 0.03-0.04% ซึ่งก็อยู่ในช่วงที่ดินขาวประเทศอังกฤษมีคือ สูงสุดไม่เกิน 1% ปริมาณของ K_2O ในดินขาวและดินเหนียวที่วิเคราะห์จะอยู่ในช่วง 0.52-0.99% ซึ่งจะน้อยกว่าของอังกฤษที่มีค่า 1.0-0% ถ้าดูในข้อกำหนดในการซื้อขายแร่ต่าง ๆ ของดินขาวเกรดเซรามิกส์ (อุบลศรี ชัยราม และ เขาวลัษณ์ นิสสุภา, 2526) จะมี SiO_2 36-49%, Al_2O_3 33-39%, Fe_2O_3 1% และการสูญเสียหลังการเผา 10-14% ส่วนดินดำเกรดเซรามิกส์ที่ตลาดต้องการจะมีส่วนประกอบทางเคมีดังนี้ SiO_2 50-60%, Al_2O_3 23% และ Fe_2O_3 2% max.

สรุปได้ว่าดินขาวตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ คุณภาพยังไม่เข้ามาตรฐานของดินขาวเกรดเซรามิกส์ และสู้ของต่างประเทศไม่ได้ ส่วนดินดำหรือดินเหนียว นั้นจะอยู่ในระดับเดียวกันกับของต่างประเทศและเป็นดินคุณภาพเกรดเซรามิกส์

คำขอขอบคุณ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยกรมทรัพยากรธรณีเขต 3 จังหวัดเชียงใหม่ ที่ได้ให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็น และขอขอบคุณ คุณพลยุทธ สุขสมิติ ที่ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ต่องานนี้

เอกสารอ้างอิง

- จุมพล คีนตัก, ธงชัย ฟิ่งรัมย์ และ พิภพ วสุวานิช
ดิน, เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา, เล่มที่ 19, กอง
เศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, 2521,
หน้า 125.
- พลยุทธ สุขสมิติ, สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 3,
เชียงใหม่, ติดต่อส่วนตัว
- วรรณภา ปิยะพงษ์ศิริ, การศึกษาในการผลิตภัณฑ์
Dolomite Earthenware, หลักสูตรปริญญาตรี
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เชียงใหม่, 2522, หน้า 9-10.
- เรวัต พุทธินันท์, การศึกษาสารประกอบอนินทรีย์
ในวัตถุดิบโบนไชน่า, ปัญหาพิเศษหลักสูตร
ปริญญาตรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2523, หน้า 25-41.
- อุบลศรี ชัยราม และ เขาวลัษณ์ นิสสุภา, คุณลักษณะ
ของแร่ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐาน

การซื้อขายในตลาดแร่, ฝ่ายสถิติกองเศรษฐกิจ
และเผยแพร่ กรมทรัพยากรธรณี, 2526, หน้า
45-50.

- American Society for Testing Materials, **Annual Book of ASTM Standards**, Part 13, Philadelphia, 1971, pp. 265-272.
- Furman, N.H., **Standard Methods of Chemical Analysis**, 6th ed., Huntington, New York, 1975, p. 1106.
- Jeffrey, P.G., **Chemical Methods of Rock Analysis**, 3rd ed., Pergamon Press, Oxford, 1981, pp. 29-42, pp. 76-77.
- Norton, F.H., **Elements of Ceramics**, 2nd ed., Addison-Wesley, Massachusetts, 1974, pp. 34-35.
- Vogel, A.I., **A Text-Book of Quantitative Inorganic Analysis**, 3rd ed., Longman, London, 1961, pp. 288-289,