



การศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของดินเวียงกาหลง
Characterization and Properties of Wiengkalong Clay

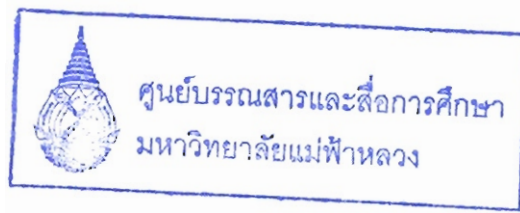
เชี่ยวชาญ แสงทอง

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2548

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง



การศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของดินเวียงกาหลง
Characterization and Properties of Wiengkalong Clay

เชี่ยวชาญ แสงทอง

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2548

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของดินเวียงกาหลง

เชี่ยวชาญ แสงทอง

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก
2548

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุธี วัฒนศิริเวช)



.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ดรุณี วัฒนศิริเวช)



.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อภินันท์ นันธิยา)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลงได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลือจาก อาจารย์ ดร. ดรณี วัฒนศิริเวช และอาจารย์ ดร. สุธี วัฒนศิริเวช ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไขจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. อภินันท์ นันทิยา ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะและข้อแก้ไขต่าง ๆ เพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แสงระวี เชาว์ปรีชา ที่กรุณาสละเวลาช่วยสอนและแปลภาษาอังกฤษ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์สำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณกลุ่มผู้ประกอบการเซรามิกตำบลเวียงกาหลงที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ คุณเกียรติพงษ์ ได้การ คุณฉันทนีย์ ขวัญยืน และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านการวิเคราะห์ทดสอบจนกระทั่งวิทยานิพนธ์สำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิกและวัสดุศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของ บิดา มารดา พี่สาว น้องชาย และญาติ ๆ ที่ให้กำลังใจ สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เชี่ยวชาญ แสงทอง

ชื่อเรื่อง การศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของดินเวียงกาหลง

ชื่อผู้เขียน นายเชี่ยวชาญ แสงทอง

หลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเซรามิก)

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ตรุณี วัฒนศิริเวช ประธานกรรมการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของดินจาก 3 แหล่งในตำบลเวียงกาหลง อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย ซึ่งใช้รหัสย่อคือ ดิน BTC BRC และ BHC โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี องค์ประกอบทางแร่ สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และโครงสร้างระดับจุลภาค ซึ่งในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางแร่ใช้เทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซน (XRF) ร่วมกับเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยใช้เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลซิส (TGA) และเทคนิคสเปกโตรสโกปีน้ำหนัก (SDTA) ร่วมกับเครื่องไดลาโตมิเตอร์ (Dilatometer) ศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคทำโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (LM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และศึกษาสมบัติทางกายภาพของดินทั้งก่อนเผาและหลังเผา ได้แก่ การทดสอบความเหนียว การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค การหดตัว ความพรุนตัว ความแข็งแรง ความทนไฟ และสี จากการศึกษาพบว่า ตัวอย่างดิน BTC เป็นดินที่มีสีดำนีก่อนการวดปะปนอยู่เป็นจำนวนมากขนาดประมาณ 1-10 มิลลิเมตร เมื่อกรองผ่านตะแกรงขนาด 60-325 เมช พบว่ามีปริมาณของกากค้างตะแกรงต่ำ และเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคพบว่า มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 10 ไมครอน และมีปริมาณของซิลิกาอิสระน้อยประมาณร้อยละ 28 แต่มีปริมาณของแร่ไมโครไคลน์และมัสโคไวท์สูงคือประมาณร้อยละ 31 จึงทำให้มีความเหนียวและการหดตัวหลังเผาสูงถึงประมาณร้อยละ 14 และยังมีผลทำให้ดินมีความทนไฟต่ำ หลังการเผาดินนี้ที่อุณหภูมิ 1250°C พบว่าเกิดดำหนิฟูตฟองทั่วไปในเนื้อดินและทำให้ความแข็งแรงต่ำกว่าดินอื่นๆ ตัวอย่างดิน BRC เป็นดินที่มีสีเทาที่มีความเหนียวน้อยกว่าดินอื่นมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 11 ไมครอน มีปริมาณของซิลิกาอิสระสูงประมาณร้อยละ 52 แต่มีปริมาณของแร่ไมโครไคลน์เพียงร้อยละ 4 จึงทำให้การหดตัวทั้งก่อนเผาและหลังเผาต่ำ แต่มีความทนไฟและความแข็งแรงสูงหลัง

การเผา และมีค่าการดูดซึมน้ำสูงหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C คือประมาณร้อยละ 8 ตัวอย่างดิน BHC เป็นดินที่มีสีน้ำตาลมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 13 ไมครอน มีปริมาณซิลิกาอิสระร้อยละ 34 และมีแร่ซันดินประมาณร้อยละ 12 อัตราส่วนของปริมาณซิลิกาต่อแร่ที่เป็นตัวหลอมละลายของดินนี้อยู่ระหว่างดิน BTC และ BRC จึงทำให้มีสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าการดูดซึมน้ำ การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรง และความทนไฟอยู่ระหว่างค่าดังกล่าวของตัวอย่างดิน BTC และดิน BRC ส่วนสีหลังการเผาของทั้ง 3 ตัวอย่างดินคล้ายกันคือสีขาวอมเหลือง

คำสำคัญ : ดิน / องค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางแร่ / สมบัติทางความร้อน / ขนาดอนุภาค / ความเหนียว / การหดตัว / ความพรุนตัว / ความแข็งแรง / ความทนไฟ / โครงสร้างทางจุลภาค



Title Characterization and Properties of Wiengkalong Clay

Author Mr. Chiawchan Saengthong

Degree Master of Science Program(Ceramic Industrial Technology)

Supervisor Lecturer Dr. Darunee Wattanasiriwech Chairperson

ABSTRACT

This research was aimed to study basic properties of clay from 3 mining areas in Tambol Wiengkalong, Ampur Wiengpapao, Chiangrai. The clay samples were coded as BTC, BRC, and BHC, respectively. Basic characterizations of the clay samples were performed in a series as follows: chemical and phase analysis by X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD) techniques; thermal properties by thermogravimetric analysis (TGA), spontaneous differential thermal analysis (SDTA), and a dilatometer. Examination of the microstructure was performed using a light microscope (LM) and scanning electron microscope (SEM). Physical properties such as plasticity, particle size distribution, drying shrinkage, porosity, refractoriness, and colors were determined either before or after firing. From the studies, it was found that BTC clay was black in color and contained a high amount of quartzitic stones with the size ranging from 1–10 mm. On sieving through 60–325 mesh, the residue content was low. When analysed with a particle size analyzer, it had an average particle size of 10 micron. The BTC clay contained a low quantity of free silica but a high quantity of microcline and muscovite, thus it was highly plastic in nature and exhibited a high shrinkage of 14% when fired. After firing at 1250°C there existed a multitude amount of clay eruptions which lowered the fired strength of the clay. BRC clay was grayish with the least plasticity due to a relatively high amount of free silica (approximately 52%). Its average particle size was approximately 11 micron. Due to the high quantity of the fluxing mineral (sanidine), this clay exhibited low drying and firing shrinkage but high refractoriness and fired strength. After firing at 1250°C, its water absorption was still as high as 8%. BHC clay was brownish with 34% free silica and 12% sanidine. Its average particle size was approximately 13 micron. Since proportion of the

free silica to the fluxing mineral of this clay was in between those of BTC and BRC clay, its physical characteristic values, e.g. plasticity, shrinkage, water absorption, fired strength and refractoriness also lie between those of BTC and BRC. All clay samples were white-buff after firing.

Keyword: Clay / Chemical and mineral composition / Thermal properties / Particle size / Plasticity / Shrinkage / Strength / Refractoriness / Microstructure



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ดินและแร่ดิน	3
2.2 วัตถุประสงค์ในการเตรียมเนื้อดินเซรามิก	5
2.3 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของแร่ดินเคโอลิไนท์	9
2.4 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของควอตซ์	11
2.5 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเฟลด์สปาร์	13
2.6 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเนื้อดินปั้น	14
2.7 การศึกษาและการปรับปรุงเนื้อดิน	16
3 วิธีดำเนินการทดลอง	19
3.1 การเตรียมดิน	19
3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ทางแร่ และการวิเคราะห์ทางความร้อน	19
3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	21
3.4 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคและการเปลี่ยนแปลงเฟส	26
4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง	27
4.1 ลักษณะทางกายภาพของดินและการเตรียมดินก่อนการทดสอบ	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ทางแร่ และการวิเคราะห์ทางความร้อน	29
4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	29
4.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่	29
4.2.3 การวิเคราะห์ทางความร้อน	32
4.3 การทดสอบทางกายภาพ	36
4.3.1 การทดสอบความเหนียว	36
4.3.2 การหาขนาดอนุภาคของดิน	40
4.3.3 การทดสอบการหดตัว	44
4.3.4 การทดสอบความพรุนตัว	45
4.3.5 การทดสอบความหนาแน่น	47
4.3.6 การทดสอบความทนไฟ	48
4.3.7 การทดสอบความแข็งแรง	50
4.3.8 สีของเนื้อดิน	52
4.4 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและการเปลี่ยนแปลงเฟส	53
4.4.1 การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของดินหลังเผา	53
4.4.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟส	59
4.4.3 การศึกษาตำหนิที่เกิดขึ้นหลังการเผา	63
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	67
5.1 สรุปผลการทดลอง	67
5.2 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้	69
5.3 ข้อเสนอแนะในโอกาสต่อไป	70
บรรณานุกรม	71
ภาคผนวก	74
ภาคผนวก ก การคำนวณหาส่วนประกอบของแร่ต่าง ๆ ในดิน	74

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข ตารางแสดงขนาดของช่องตะแกรงขนาดต่างๆตามมาตรฐานของ ASTM	81
ประวัติผู้เขียน	83



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเนื้อดินป็นชนิดไตรแอกเซียลหลังเผา	14
3.1 ร้อยละของปริมาณน้ำที่ใช้เพิ่มความเหนียวของดินแบบกว้าง	22
3.2 ร้อยละของปริมาณน้ำที่ใช้เพิ่มความเหนียวของดินแบบแคบ	22
4.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินจากแหล่งต่างๆที่ใช้ในการวิจัย	29
4.2 ปริมาณร้อยละของแร่ที่ได้จากการคำนวณเป็น	31
4.3 สัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อดิน	35
4.4 ผลการทดลองของการใช้น้ำเป็นส่วนผสมของดิน	37
4.5 ผลของการใช้น้ำที่เพิ่มช่วงความถี่มากขึ้นและผลของการม้วนเส้นดินเป็นรูปวงกลม	38
4.6 ภาพการรานตัวของเส้นดินหลังการม้วนดินเป็นวงกลมและร้อยละโดยมวลของการใช้น้ำ	39
4.7 สรุปผลการทดสอบความเหนียวของดินโดยการใช้น้ำเป็นส่วนผสม	40
4.8 ปริมาณการคายน้ำของดินโดยวิธีการรองน้ำดินผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ	41
4.9 ขนาดอนุภาคของดินที่ได้จากการวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	43
4.10 ค่าการหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผา	44
4.11 ค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังการเผา	46
4.12 ค่าความหนาแน่นของเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	47
4.13 ค่าความโค้งงอของเนื้อดินหลังเผา	49
4.14 ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ	50
4.15 สีของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังการเผาบรรยากาศออกซิเดชัน	53
5.1 ชนิด ปริมาณของแร่ และสมบัติทางกายภาพของดิน	67

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 โครงสร้างผลึกของเคโอลิไนท์	4
2.2 โครงสร้างของเคโอลิไนท์	5
2.3 ภาพด้านข้างแสดงการจับกันของชั้นเตตระฮีดรอลของซิลิกากับชั้นออกตะฮีดรอลของกิบไซต์	6
2.4 ผลการวิเคราะห์ DTA แสดงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของดินชนิดต่าง ๆ	11
2.5 โครงสร้างผลึกของคริสโตบาไลต์	12
2.6 รูปร่างของเบตาควอตซ์และอัลฟาควอตซ์	13
2.7 ลักษณะของผลึกมัลไลต์	16
3.1 การวางแผนทดสอบก่อนการเผาและการวัดความโค้งงอหลังการเผา	24
3.2 การวางแผนทดสอบบนลิ้มเพื่อใช้วัดความแข็งแรงแบบสามจุด	25
4.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างดินจากแหล่งก่อนทำการบด	28
4.2 ลักษณะทางกายภาพของกากค้ำตะแกรงขนาด 35 เมช	28
4.3 พิกัดของแร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน BTC BRC และ BHC วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์	30
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์เชิงความร้อนของตัวอย่างดิน BTC BRC และ BHC	33
4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของตัวอย่างดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SDTA	34
4.6 กราฟแสดงการขยายตัวของเนื้อดินเมื่อเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	36
4.7 กราฟแสดงปริมาณกากค้ำตะแกรง	42
4.8 กราฟแสดงการกระจายตัวของอนุภาคของดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	43
4.9 กราฟแสดงร้อยละการหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	45
4.10 กราฟแสดงร้อยละการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	47
4.11 กราฟแสดงความหนาแน่นของเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	48
4.12 การโค้งงอของดินหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	50
4.13 กราฟแสดงความแข็งแรงของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผา	52
4.14 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะผิวของรอยหักของตัวอย่างดิน BTC หลังเผา	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.15 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะผิวของรอยหักของตัวอย่างดิน BRC หลังเผา	56
4.16 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะผิวของรอยหักของตัวอย่างดิน BHC หลังเผา	57
4.17 ภาพถ่าย SEM แสดงผลึกมลโลต์ของตัวอย่างดิน	58
4.18 ผลการวิเคราะห์แร่ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ หลังเผาของ ตัวอย่างดิน BTC	60
4.19 ผลการวิเคราะห์แร่ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์หลังเผาของ ตัวอย่างดิน BRC	61
4.20 ผลการวิเคราะห์แร่ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์หลังเผาของ ตัวอย่างดิน BHC	62
4.21 ลักษณะตำหนิหลังการเผาของเนื้อดิน BTC	64
4.22 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะตำหนิหลังการเผาของเนื้อดิน BTC เตรียมตัวอย่าง แบบตัดขวาง	64
4.23 ลักษณะของตำหนิหลังการเผาที่ 1250°C ของตัวอย่างดิน BTC	65
4.24 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX	66
4.25 ผลการทดลองเปรียบเทียบเนื้อดินที่เตรียมโดยการบดและไม่บดเพื่อหาที่มา ของตำหนิหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

อุตสาหกรรมเซรามิก เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศ แม้ไม่ได้เป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้สูงสุดหรือเป็นอุตสาหกรรมชั้นนำ แต่เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการส่งออกของผลิตภัณฑ์เซรามิกมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นมาตลอด โดยในปี พ.ศ. 2546 มีมูลค่า ส่งออก 21,858.9 ล้านบาท ขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2545 ที่มีมูลค่าส่งออก 20,878 ล้านบาท ในอัตราร้อยละ 4.70 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญกับการส่งออก ได้แก่ เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร เครื่องสุขภัณฑ์ กระเบื้องปูพื้น บุผนัง และของชำร่วยเครื่องประดับ (ศูนย์สารสนเทศเศรษฐกิจอุตสาหกรรม สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2548) ทั้งยังมีศักยภาพในการแข่งขันด้านการผลิตและการตลาดกับประเทศอื่นๆ ได้ อุตสาหกรรมเซรามิกของประเทศส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก มีแหล่งผลิตกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ จากสถิติข้อมูลโรงงานเซรามิกของกรมโรงงานอุตสาหกรรมเมื่อปี พ.ศ. 2544 มีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกที่จดทะเบียนทั่วประเทศมากกว่า 360 โรงงาน และในเขตภาคเหนือมีจำนวนโรงงานมากที่สุดประมาณ 260 โรงงาน อยู่จังหวัดลำปาง เชียงใหม่ และเชียงราย (ศูนย์สารสนเทศ กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2544)

เวียงกาหลง เป็นอีกสถานที่หนึ่งที่เคยมีการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยเป็นที่รู้จักกันในชื่อของเครื่องถ้วยเวียงกาหลง ตั้งอยู่ที่อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย ซึ่งได้มีการค้นพบหลักฐานทางประวัติศาสตร์อันได้แก่ซากเตาโบราณ เครื่องถ้วยโบราณ ทั้งที่สมบูรณ์และแตกหักเสียหายเป็นจำนวนมาก ทำให้ทราบได้ว่าในอดีต ราวพุทธศตวรรษที่ 21 บริเวณนี้เป็นแหล่งผลิตเครื่องถ้วยเวียงกาหลงซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ เป็นเครื่องถ้วยที่มีน้ำหนักเบาและเนื้อผลิตภัณฑ์บางกว่าเครื่องถ้วยจากแหล่งอื่นๆ ซึ่งบอกให้ทราบได้ว่าวัตถุดิบหรือแหล่งดินที่นำมาใช้มีสมบัติที่ดีเหมาะแก่การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนและการปั้นอิสระได้เป็นอย่างดี สีของเนื้อดินเป็นสีขาว สีเหลืองนวลและสีเทาเนื้อดินละเอียดมีทรายปนบ้างเล็กน้อย ส่วนเคลือบนั้นส่วนใหญ่เป็นเคลือบใส มีทั้งสีฟ้าอ่อน สีเขียวอ่อนและสีเหลืองอ่อน เคลือบมักมีรอยราน ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นพวก จาน ชาม กระปุก โถ คนทีคนโท และแจกัน เป็นต้น (สุมิตร ปิติพัฒน์, 2544)

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นโดยผู้วิจัย พบว่า ปัจจุบันได้มีการผลิตเซรามิกของกลุ่มชาวบ้านที่อยู่ในพื้นที่ตำบลเวียงกาหลง เพื่อเป็นการสร้างอาชีพและรายได้ตลอดจนเพื่อเป็นการฟื้นฟูและเผยแพร่ศิลปะของบรรพบุรุษให้คงอยู่ต่อไป โดยเน้นที่การทำเลียนแบบผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมและการนำวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งนอกจากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นแล้วยังพบว่า แม้ได้มีการพัฒนารูปแบบจนผลิตภัณฑ์เป็นที่รู้จักแล้วก็ตาม แต่ในการผลิตยังคงมีอัตราการสูญเสียที่สูง อันเนื่องมาจากปัญหาการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังการเผา และเนื้อผลิตภัณฑ์มีความหนาและมีน้ำหนักมาก ซึ่งมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมที่มีน้ำหนักเบาและบาง จากปัญหาที่พบและความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว น่าจะมีสาเหตุมาจากสมบัติของดินที่นำมาใช้และเทคนิคของการขึ้นรูป ตลอดจนขั้นตอนและวิธีการเผา เป็นสำคัญ

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาและวิเคราะห์ทดสอบเนื้อดินทั้งทางเคมี ทางกายภาพและศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาค เพื่อเป็นข้อมูลขั้นต้นที่จะนำไปสู่การอธิบายถึงสาเหตุของปัญหาและการปรับปรุงสมบัติของแหล่งดินเวียงกาหลงให้ได้เนื้อดินปั้นที่มีความเหนียวง่ายต่อการขึ้นรูป มีอัตราการสูญเสียที่เกิดจากปัญหาของการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังการเผา ตลอดจนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบางและเบา อันจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ผลิตเซรามิกของกลุ่มเวียงกาหลงเอง และเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงสมบัติของเนื้อดินจากแหล่งอื่นๆ ให้มีสมบัติที่ดีต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาให้ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพและโครงสร้างระดับจุลภาคของดินจากแหล่งเวียงกาหลง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดินและแร่ดิน

ดินและแร่ดิน เป็นสารประกอบของอลูมิเนียมซิลิเกตไฮเดรต (Aluminum silicate hydrate) เมื่อมีความชื้นหรือโดนน้ำจะมีความเหนียว (Plasticity) เมื่อแห้งจะยังคงรักษารูปทรงเดิมและเมื่อนำไปเผาจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (Frank and Janet, 1975) ดินมีลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละแหล่งทั้งในด้านโครงสร้างผลึกของดินและสมบัติทางกายภาพหลังการเผา เช่น สี การหดตัว ความแข็งแรง และความทนไฟ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541) ดินได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมายหลายด้าน เช่น ในการเกษตรกรรม สิ่งแวดล้อม และทางด้านอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเซรามิกที่ต้องใช้ดินในการผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร กระเบื้อง สุขภัณฑ์ เครื่องประดับตกแต่ง และอื่นๆ ซึ่งดินที่นำมาใช้สามารถจำแนกออกได้ ดังนี้

2.1.1 จำแนกตามแหล่งกำเนิด (Frank and Janet, 1975)

ดินที่เกิดในแหล่งภูเขาหรือดินปฐมภูมิ (Primary or Residual Clay) เกิดจากหินพื้นแม่หรือเฟลด์สปาร์ที่ผุกร่อนทับถมกันอยู่โดยไม่ได้เคลื่อนย้ายไปจากแหล่งเดิม มีความบริสุทธิ์สูง เมื่อดินมีขนาดใหญ่ มีความเหนียวน้อย ได้แก่ ดินเคโอลิน (China Clay)

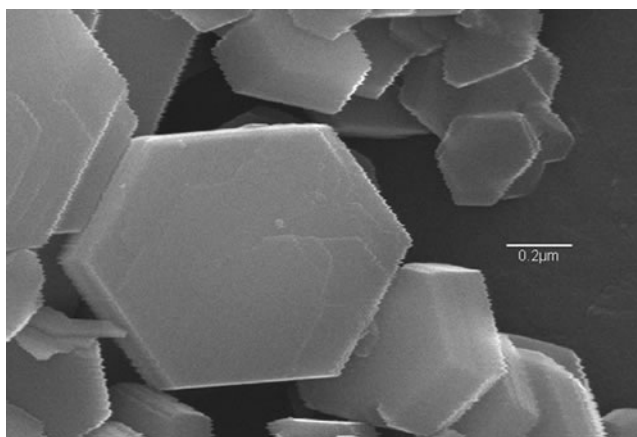
ดินที่เกิดในที่ราบลุ่มหรือดินตะกอน (Secondary or Sedimentary Clay) เกิดจากอนุภาคดินในแหล่งต้นกำเนิดเดิมที่ถูกพัดพาไปจากแหล่งเดิมโดยกระแสน้ำไปตกตะกอนรวมกับอินทรีย์สารและแร่ธาตุอื่น ดินจะมีความละเอียดและเหนียวกว่าดินในแหล่งเดิมแต่ไม่บริสุทธิ์ ทำให้ดินมีสีที่ต่างกัน เช่น สีเทา สีครีม และสีน้ำตาล

2.1.2 จำแนกตามลักษณะโครงสร้างของผลึกและพันธะทางเคมี ดังนี้ (Georges, 1970 : 2-13)

แรกลุ่มเคโอลิไนท์ (Kaolinite Group) กลุ่มนี้ประกอบด้วยแร่ดินหลายชนิด คือ

เคโอลิไนท์ (Kaolinite) ผลึกมีลักษณะเป็นรูปหกเหลี่ยม (ภาพที่ 2.1) เรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ โครงสร้างของผลึกประสานกันแข็งแรงแร่อื่นไม่สามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างของผลึกได้ แร่ดินเคโอลิไนท์จึงมีความบริสุทธิ์มาก

ฮอลลอยไซต์ (Halloysite) มีโครงสร้างต่างจากแร่เคโอลิไนท์ คือผลึกที่เป็นแผ่นเกิดการม้วนตัวเป็นหลอด โครงสร้างของผลึกเกิดการเรียงตัวไม่เป็นระบบ เป็นดินขาวที่มีความเหนียวแต่มีความบริสุทธิ์ที่น้อยกว่าเคโอลิไนท์ นอกจากนี้ยังมีแร่ที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ดิกไคท์ (Dickite) นาโครท์ (Nacrite) และเซอร์เพนไทน์ (Zerpetine)



ภาพที่ 2.1 แสดงโครงสร้างผลึกของเคโอลิไนท์ (Queensland University of Technology, : www.sci.qut.edu.au/profiles/frost/)

แร่กลุ่มไมกา (Mica Group) แร่กลุ่มนี้มีโครงสร้างที่ต่างจากเคโอลิไนท์โดยสิ้นเชิง คือในโครงสร้างผลึกจะมีแร่อื่นเข้ามาแทรกอยู่ในระหว่างผลึก เช่น โพแทสเซียม โซเดียม จึงทำให้มีจุดหลอมละลายที่ต่ำกว่าแร่เคโอลิไนท์บริสุทธิ์ แร่ที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ไพโรฟิลไลต์ (Pyrophyllite) อิลไลต์ (Illite) และมัสโคไวต์ (Muscovite)

แร่กลุ่มมอนทโมริลโลไนท์ (Montmorillonite) เป็นแร่ที่มีโครงสร้างผลึกที่ไม่แน่นอน ขนาดอนุภาคของผลึกมีความละเอียดมาก โครงสร้างของผลึกแตกกันอย่างหลวมๆ จึงทำให้น้ำ อินทรีย์สาร และแร่ธาตุสามารถแทรกเข้าไปตามชั้นของผลึกได้ ทำให้ไม่บริสุทธิ์ แต่มีความเหนียวสูง

นอกจากนี้ยังมีแร่กลุ่มอื่นๆ เช่น แร่กลุ่มคลอไรต์ (Chlorite Group) แร่กลุ่มเวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite Group) และแร่กลุ่มพาลิโกรส์ไกท์ (Palygorskite Group)

2.2 วัตถุดิบในการเตรียมเนื้อดินเซรามิก

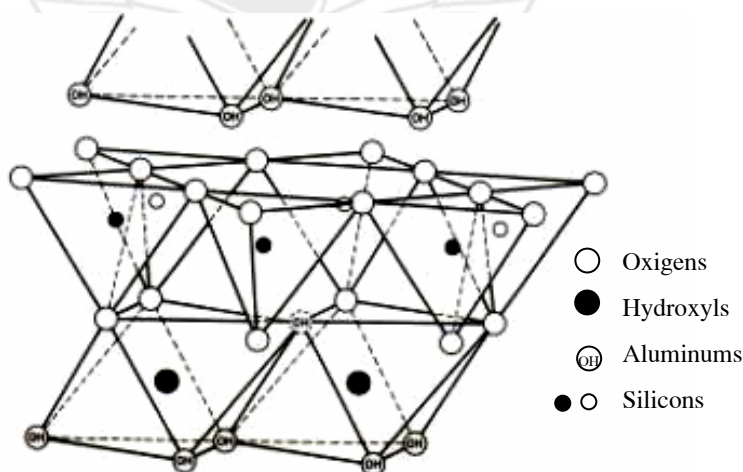
วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเนื้อดินเซรามิกหรือที่เรียกว่าเนื้อดินปั้นนิยมแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ ดิน ตัวหลอมละลาย และตัวทนไฟ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541)

2.2.1 ดิน (Clay)

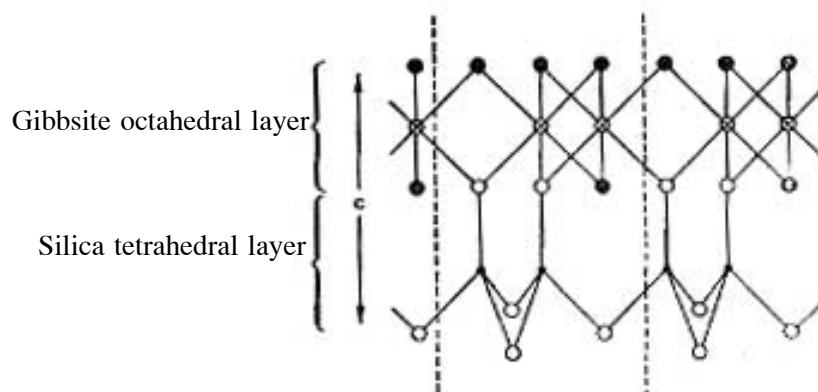
ดินเป็นวัตถุดิบที่มีความเหนียวที่ใช้ในการเตรียมเป็นเนื้อดินปั้นในอุตสาหกรรมเซรามิก สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ดังนี้

ดินขาว (Kaolin or China Clay) ดินขาวส่วนใหญ่เป็นดินที่เกิดอยู่ในแหล่งฝังของหินเดิม (Residual Clay) เป็นดินที่มีขนาดอนุภาคหยาบจึงมีความเหนียวน้อย ประกอบด้วยแร่กาโอลินไนท์ (Kaolinite) มากกว่าดินชนิดอื่นๆ โครงสร้างของดินขาวเกิดจากการจับกันระหว่างชั้นเตตระฮีดรอล (Tetrahedral Sheet) ของซิลิกา กับ ชั้นออกตะฮีดรอล (Octahedral Sheet) ของกิบไซต์ (Gibbsite) ดังภาพที่ 2.2 และ 2.3 โครงสร้างของดินขาวเป็นแบบไตรคลินิก (Triclinic) ดินขาวมีหลายอย่างแตกต่างกันไปตามสูตรโครงสร้างและสูตรทางเคมี สูตรเคมีพื้นฐาน คือ $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ หรือ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ดินขาวมีรูปผลึกที่มีลักษณะเป็นแบบหกเหลี่ยม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5–10.0 ไมครอน ความทนไฟประมาณ 1750–1770 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) การหดตัวน้อย และมีความแข็งแรงหลังเผาสูง

ประโยชน์ของดินขาว ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการทำผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหาร เครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องประดับ ใช้ทำผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง เช่น อิฐก่อสร้าง อิฐปูพื้น กระเบื้องผนังหลังคา ใช้ทำเป็นเบ้าหลอมในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก ใช้ทำฉนวนไฟฟ้า ใช้ทำเครื่องกรองน้ำ ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ เพื่อเพิ่มการดูดซับน้ำหมึกและช่วยให้ผิวหน้ากระดาษเรียบ และใช้ในอุตสาหกรรมยาง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของยาง



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของเคโอลินไนท์ (Grim, 1968)



ภาพที่ 2.3 ภาพด้านข้างแสดงการจับกันของชั้นเตตระฮีดรอลของซิลิกา กับชั้นออกเตฮีดรอลของกิบไซต์ (Ryan, 1978)

ดินดำ (Ball clay) ดินดำหรือดินเหนียวขาวเกิดจากดินขาวถูกพัดพาไปตกตะกอนสะสมในแหล่งใหม่ ดินดำเป็นดินที่มีขนาดอนุภาคละเอียดมาก อนุภาคของดินยึดเกาะกันได้ดี มีอินทรีย์สารที่มีโครงสร้างคล้ายกับที่พบในถ่านหินลิกไนต์ จึงช่วยให้ดินชนิดนี้มีความเหนียวและทำให้มีสีเปลี่ยนไปจากสีขาวกลายเป็นสีเทาจนถึงสีดำ แต่เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงเนื้อดินจะมีสีขาวหรือสีครีม อินทรีย์สารต่างๆ จะถูกเผาไหม้หมดไปจากเนื้อดิน และมีความทนไฟประมาณ 1300°C โดยไม่บิดเบี้ยว มักเป็นดินที่มีคุณภาพดี นิยมนำใช้ผสมในผลิตภัณฑ์ที่มีสีขาว เช่น ปอร์ซเลน โบนาไชน์ และไวท์เอิร์ทเทินแวร์ ส่วนดินดำทั่วไปที่คุณภาพปานกลางมีทรายเจือปนอยู่ค่อนข้างมาก ใช้ทำเนื้อดินขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน ทำท่อน้ำดินเผา หรือผสมในเนื้อดินทำกระเบื้องปูพื้น เนื่องจากเป็นดินที่มีแร่ธาตุเจือปนอยู่ตามธรรมชาติค่อนข้างสูง เช่น โทเทเนียม เฟอริก แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม จึงมีสีต่างๆ เช่น สีเหลือง สีเทา สีดำ และสีส้มแดง หลังการเผาดินก็จะมีสีต่างๆ กันไป เช่น สีเทา สีน้ำตาล สีแดง หรือสีเหลืองอมเทา ส่วนประกอบทางเคมีของดินดำจะมีแร่เคโอลินเป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกับดินขาวแต่เป็นผลึกเคโอลินที่ไม่สมบูรณ์ (Disordered kaolinite) ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณจะมีซิลิการ้อยละ 40-60 อลูมินาร้อยละ 30 น้ำและอินทรีย์สารร้อยละ 10 นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุอื่นปะปน

ประโยชน์ของดินดำ ช่วยเพิ่มความเหนียวของผลิตภัณฑ์ ทำให้เนื้อดินปั้นขึ้นรูปได้ดี ผสมในเนื้อดินอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 20-50 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงก่อนเผา (Green strength) ลดการสูญเสียจากการแตกหักของก้อนเผาในขณะที่เคลื่อนย้าย ผลิตภัณฑ์ไม่เปราะหรือแตกหักง่าย ทำให้น้ำดินหล่อที่ใช้ในการเทแบบไหลตัวดี ทำให้เสริมปฏิกริยาระหว่างมวลสารในระหว่างการเผา ทำให้ดินสุกตัวได้เร็ว และประหยัดเวลาในการเผา

ดินดำนอกจากจะให้ประโยชน์แล้วอาจจะให้ผลเสียหรือสร้างปัญหาในการผลิตเซรามิกได้ เช่น ในดินดำมีสิ่งเจือปนอื่นๆ สูง เช่น คาร์บอน แร่เหล็ก แร่โทเทเนียม ซึ่งทำให้

ผลิตภัณฑ์หลังเผามีตำหนิ และความขาวของเนื้อดินเสียไปด้วย ถ้าใช้ดินดำผสมในปริมาณมากเกินไปทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ค่อยโปร่งแสงมีการหดตัวสูง ทำให้บิดเบี้ยวและแตกร้าวหลังการเผา และเนื่องจากดินตำมีองค์ประกอบในเนื้อดินไม่แน่นอน จึงยุ่งยากในการควบคุมอัตราส่วนผสมทั้งเนื้อดินปั้นและการหล่อแบบ

2.2.2 ตัวหลอมละลาย

ตัวหลอมละลาย คือ วัตถุดิบที่ทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายลดอุณหภูมิในการเผา การใช้ตัวหลอมละลายในเนื้อดินเพื่อให้ดินสุกตัวในอุณหภูมิที่ต้องการ ตัวหลอมละลายทำหน้าที่ประสานผลึกของวัตถุดิบต่างๆ ให้หลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน หินฟันม้า (Feldspar) เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในกลุ่มที่ให้ต่างหรือวัตถุดิบช่วยในการหลอมละลาย ต่างในแร่เฟลด์สปาร์อยู่ในรูปผลึกของแร่ที่ไม่ละลายน้ำ จึงสะดวกในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผสมในเนื้อดินปั้น หน้าที่ของเฟลด์สปาร์ในเนื้อดิน คือเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเนื้อแก้วในดิน ลดความเหนียวของเนื้อดินก่อนเผา เป็นตัวประสานให้ผลึกของดินหลอมตัวกันแน่น ลดการดูดซึมน้ำ ลดอุณหภูมิในการเผา และเพิ่มความโปร่งแสงให้ผลิตภัณฑ์ภายหลังการเผา เฟลด์สปาร์เป็นสารประกอบของอะลูมิโนซิลิเกต (Alumino silicate) และอัลคาไลน์ (Alkaline) ดังนั้นเฟลด์สปาร์จึงมีวัตถุดิบที่เป็นต่างคือตัวหลอมละลาย มีอลูมินาเป็นตัวกลางและมีซิลิกาเป็นตัวทนไฟด้วย จึงจัดเป็นวัตถุดิบที่ให้เคลื่อนตามธรรมชาติ โดยปกติแร่เฟลด์สปาร์มีหลายชนิด แต่ที่นิยมนำมาใช้กันมีดังนี้ (Frank and Janet, 1975)

โพแทสเฟลด์สปาร์ (Orthoclase) และ ไมโครไคลน์ (Microcline) มีสูตรทางเคมีเหมือนกันคือ $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ แต่มีโครงสร้างผลึกที่ต่างกันคือโพแทสเฟลด์สปาร์จะมีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก (Monoclinic) ส่วนไมโครไคลน์จะมีโครงสร้างผลึกแบบไตรคลินิก (Triclinic) โดยปกติเฟลด์สปาร์จะเริ่มหลอมละลายเล็กน้อยที่อุณหภูมิ $1150^{\circ}C$ โพแทสเฟลด์สปาร์หลอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ $1200^{\circ}C$ จากสูตรโครงสร้างของโพแทสเฟลด์สปาร์พบว่า มีร้อยละของสารประกอบต่างๆ เป็นหลักสากล ดังนี้ (Singer, 1963)

K_2O ร้อยละ 16.90

Al_2O_3 ร้อยละ 18.30

SiO_2 ร้อยละ 64.80

โซดาเฟลด์สปาร์ (Albite) มีสูตรทางเคมีคือ $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ หลอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ $1170^{\circ}C$ จากสูตรโครงสร้างของโซดาเฟลด์สปาร์ พบว่า มีร้อยละของสารประกอบต่างๆ เป็นหลักสากล ดังนี้ (Singer, 1963)

Na_2O ร้อยละ 11.80

Al_2O_3 ร้อยละ 19.40

SiO_2 ร้อยละ 68.80

ไลม์เฟลด์สปาร์ (Anorthite) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ หลอมละลายที่อุณหภูมิ 1550°C จากสูตรโครงสร้างของไลม์เฟลด์สปาร์ พบว่า มีร้อยละของสารประกอบต่างๆ เป็นหลักสากล ดังนี้ (Singer, 1963)

CaO ร้อยละ 20.10

Al_2O_3 ร้อยละ 36.60

SiO_2 ร้อยละ 43.30

แบเรียมเฟลด์สปาร์ (Celsian) $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ แบเรียมเฟลด์สปาร์ หลอมละลายที่อุณหภูมิ 1715°C จากสูตรโครงสร้างของแบเรียมเฟลด์สปาร์ พบว่า มีร้อยละของสารประกอบต่างๆ เป็นหลักสากล ดังนี้ (Singer, 1963)

BaO ร้อยละ 40.85

Al_2O_3 ร้อยละ 27.15

SiO_2 ร้อยละ 32.00

ลิเทียมเฟลด์สปาร์ (Petalite) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$ ลิเทียมเฟลด์สปาร์ หลอมละลายที่อุณหภูมิ 1200°C จากสูตรโครงสร้างของลิเทียมเฟลด์สปาร์ พบว่า มีร้อยละของสารประกอบต่างๆ เป็นหลักสากล ดังนี้ (Singer, 1963)

Li_2O ร้อยละ 8.03

Al_2O_3 ร้อยละ 27.40

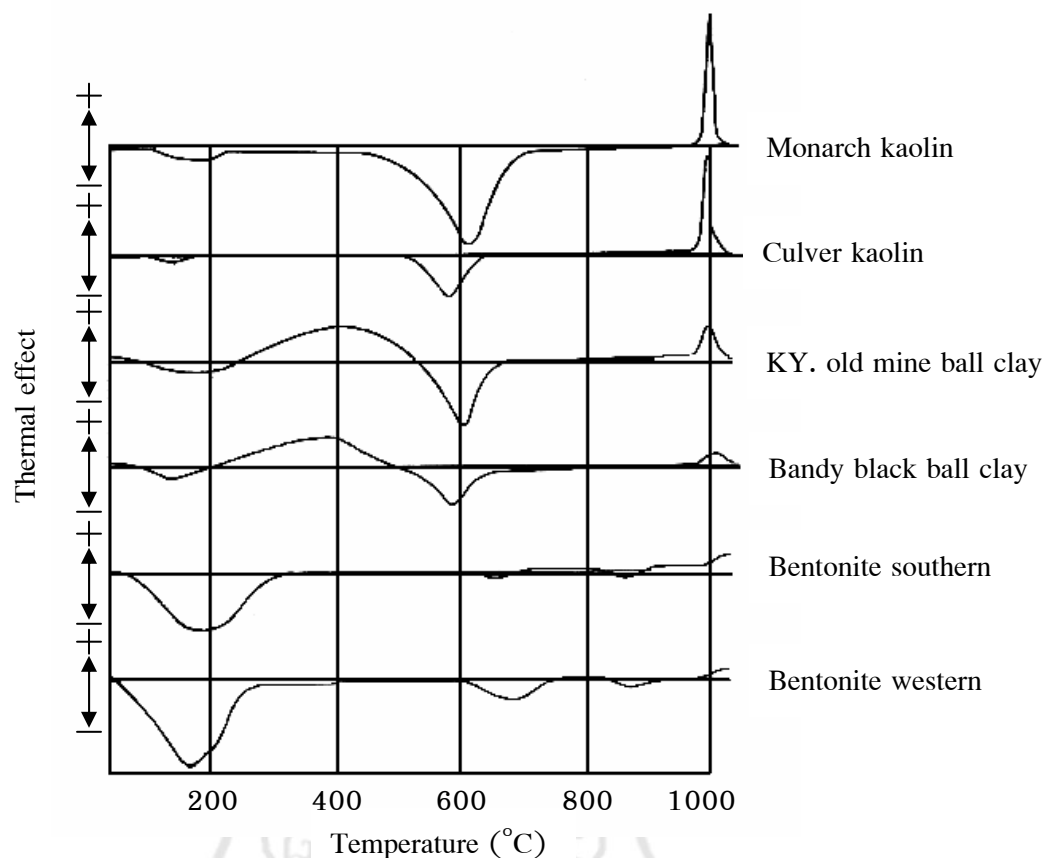
SiO_2 ร้อยละ 64.57

2.2.3 ตัวทนไฟ

วัตถุดิบในการเตรียมเนื้อดินปั้นนอกจากจะมีดินและตัวหลอมละลายแล้ว ยังต้องมีวัตถุดิบที่เป็นตัวทนไฟซึ่งเปรียบเสมือนโครงกระดูก จึงทำให้ลดการบิดเบี้ยวของชิ้นงาน (Dinsdale, 1986 : 32) นอกจากนี้ตัวทนไฟยังช่วยให้ ลดความเหนียว ลดระยะเวลาของการฟุ้งแห้งลง ลดการหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของตัวทนไฟนั้นด้วย (Frank and Janet, 1975) วัตถุดิบที่ใช้เป็นตัวทนไฟในเนื้อดินปั้นมีดังนี้

ซิลิกา หินเขี้ยวหนุมาน ควอตซ์ (Quartz) หินแก้วหรือหินเหล็กไฟ (Flint) มีสูตรทางเคมีคือ SiO_2 โดยปกติในดินและเฟลด์สปาร์จะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบในสูตรเคมีอยู่แล้ว ยังมีซิลิกาที่เจือปนมากับดินที่เกิดในที่ราบลุ่มหรือดินตะกอนและซิลิกาบดละเอียดที่เพิ่มเข้าไปซึ่งไม่ได้อยู่ในโครงสร้างของดิน จะเรียกว่า ซิลิกาอิสระ (Free silica) ซึ่งการมีซิลิกาอิสระในเนื้อดินจะส่งผลให้เนื้อดินมีความเหนียวลดลง การหดตัวเมื่อแห้งและหลังเผาลดลง และในบางกรณีอาจทำให้ลดความแข็งแรงหรือเพิ่มความทนไฟขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคที่ใช้และปริมาณของตัวหลอมละลายที่ผสมอยู่ในดินด้วย กล่าวคือ หากซิลิกามีขนาดอนุภาคที่ละเอียดจะมีความทนไฟน้อยกว่าซิลิกาที่มีขนาดใหญ่ (Grimshaw, 1971 : 273-274)

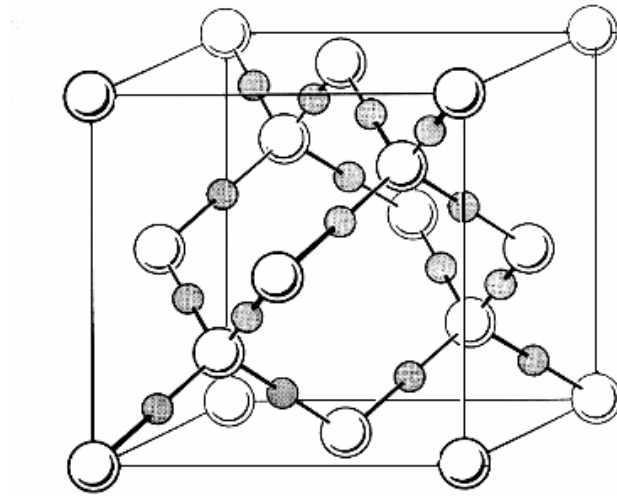
อลูมินา คืออลูมิเนียมออกไซด์ มีสูตรทางเคมีคือ Al_2O_3 อลูมินาอิสระจะพบในแร่ดินบางชนิดที่ได้จากแหล่งกำเนิดของแร่บอกไซต์ (Bauxite) ซึ่งประกอบด้วยแร่สำคัญอยู่ 3 ชนิดได้แก่ จิบไซต์ (Gibbsite) ไโดสเปอร์ (Diaspore) และโบห์ไมท์ (Boehmite) อลูมินาอิสระจะเป็นตัวลดความเหนียวของเนื้อดินและเพิ่มความทนไฟในเนื้อดิน ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี มีความแข็งแรงสูง จึงนิยมนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ทนความร้อนได้สูงๆ เช่น อลูมินาพอร์ซเลน ลูกถ้วยไฟฟ้า วัสดุทนไฟ อลูมินานอกจากจะมีอยู่ในแร่ดินแล้ว ยังมีในเฟลด์สปาร์ ไมกา และอลูมิโนซิลิเกตอื่นๆ (Worrall, 1982)



ภาพที่ 2.4 ผลการวิเคราะห์ DTA แสดงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของดินชนิดต่างๆ
(Lawrence, 1972)

2.5 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของควอตซ์

ควอตซ์เมื่อโดนเผาผ่านความร้อนจะเปลี่ยนโครงสร้างของรูปผลึกอยู่หลายช่วง อุณหภูมิของการเผา โดยอะตอมของรูปผลึกถูกจัดเรียงตัวใหม่จากรูปแบบหนึ่ง เปลี่ยนแปลงเป็นอีกแบบหนึ่ง แต่ละแบบจะสามารถคงสภาพอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิหนึ่ง ที่อุณหภูมิปกติควอตซ์จะอยู่ในรูปของอัลฟาควอตซ์ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็นเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 573°C จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นเบตาควอตซ์ ทำให้เกิดการขยายตัวเนื่องจากความร้อน ที่อุณหภูมิสูงถึง 870°C จะเปลี่ยนโครงสร้างเป็นไตรติไมท์ และหรือคริสโตบาไลต์ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและชนิดของตัวช่วยหลอมที่เจือปนอยู่ เช่นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 1470°C จะเปลี่ยนโครงสร้างเป็นเบตาคริสโตบาไลต์ (ภาพที่ 2.5) จนในที่สุดเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 1723°C คริสโตบาไลต์จะหลอมตัวทำให้เกิดเป็นเนื้อแก้วซิลิกา (Silica glass) (Worrall, 1982 : 11)

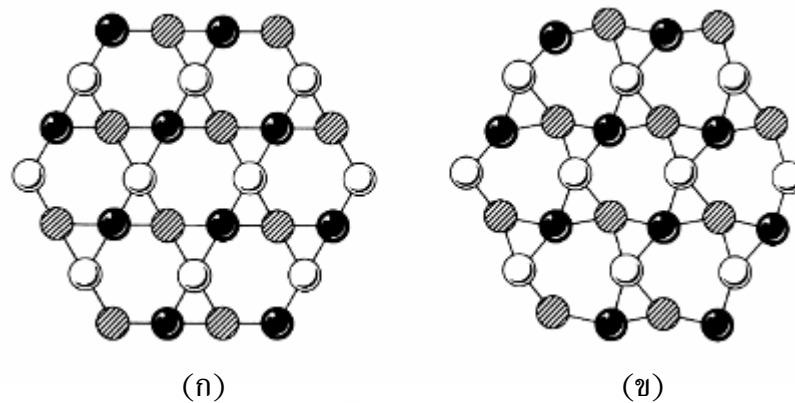


ภาพที่ 2.5 โครงสร้างผลึกของคริสโตบาไลต์ (Kingery, 1991)

นอกจากการเปลี่ยนแปลงที่กล่าวมาแล้วควอตซ์ ไทรติไมท์ และคริสโตบาไลต์ ยังสามารถเปลี่ยนจากอัลฟาเป็นเบตา หรือที่เรียกว่า อินเวอร์ชัน (Inversion) ดังนี้ (Ryan, 1978)



การเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากอัลฟาเป็นเบตาของควอตซ์ (ภาพ 2.6) ไทรติไมท์ และคริสโตบาไลต์จะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำให้มีการขยายตัวที่สูง ในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกจึงต้องควบคุมอุณหภูมิหรือให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนรูปร่างให้เป็นไปอย่างช้าๆ มิฉะนั้นอาจทำให้เกิดการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์หลังการเผาได้



ภาพที่ 2.6 (ก) แสดงรูปร่างของเบตาควอทซ์ (ข) แสดงรูปร่างของอัลฟาควอทซ์
(Kingery, 1991)

2.6 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเฟลด์สปาร์

เฟลด์สปาร์จะใช้เป็นตัวเริ่มและเร่งปฏิกิริยาการกลายเป็นแก้วทั้งในเนื้อดินและเคลือบ ดังนั้นในผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเฟลด์สปาร์ล้วน ๆ จึงมีผู้สนใจน้อย Norton (1974) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเฟลด์สปาร์ชนิดโพแทสและโซดาพบว่า เฟลด์สปาร์ชนิดโพแทสจะสลายตัวให้ลิวไซต์ (Leucite) และแก้วที่อุณหภูมิ 1100°C และลิวไซต์ยังสามารถคงอยู่ได้ถึงอุณหภูมิ 1500°C เมื่อเปรียบเทียบกับเฟลด์สปาร์ชนิดโซดาซึ่งจะหลอมที่อุณหภูมิ 1100°C แสดงว่าที่อุณหภูมิเดียวกันเฟลด์สปาร์ชนิดโซดามีความหนืดน้อยกว่าเฟลด์สปาร์ชนิดโพแทส นอกจากนี้ยังได้มีผู้ศึกษาผลการนำเฟลด์สปาร์และสารอื่นมาใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินดังนี้

Tucci (2004) ได้ศึกษาการนำโซดาไลม์ชนิดผงแก้วละเอียดมาใช้แทนโซดาเฟลด์สปาร์ในเนื้อดินพอร์ซเลนโดยใช้อัตราส่วนร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่า โซดาไลม์ใช้เป็นตัวช่วยหลอมละลายได้ดีที่การใช้ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สามารถลดอุณหภูมิในการเผาและมีการหดตัว การดูดซึมน้ำต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับ Braganca (2004) ที่ได้ศึกษาการใช้โซดาไลม์ชนิดผงแก้วละเอียดมาใช้แทนโซดาเฟลด์สปาร์ในเนื้อดินพอร์ซเลน พบว่าสามารถลดอุณหภูมิในการเผาได้มากกว่าการใช้เฟลด์สปาร์มากถึง 100°C แต่ช่วงอุณหภูมิของการซินเตอร์ (Sinter) แคบกว่าและมีความแข็งแรงที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ Dana และ Das (2004) ได้ศึกษาการนำตะกรัน (Slag) ที่เกิดจากการหลอมเหล็กมาใช้แทนเฟลด์สปาร์ในเนื้อดินพอร์ซเลน โดยใช้ในอัตราส่วนร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนักเผาที่อุณหภูมิ 1200°C จากการศึกษาพบว่า การใช้ตะกรันร้อยละ 5 สามารถทำให้ปริมาณของควอทซ์ลดลงจากร้อยละ 26 ถึง ร้อยละ 9 เนื้อดินมีความ

แข็งแรงและมีการดูดซึมน้ำต่ำ แต่เมื่อใช้ตะกรันเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 10 ทำให้ปริมาณมลโลต์ลดลงจากร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 2 ทำให้ความแข็งแรงลดลงด้วย

2.7 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเนื้อดินปั้น

Norton (1974) ได้สรุปถึงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเนื้อดินไตรแอกเซียล (Triaxial Bodies) ที่มีส่วนผสมของดินร้อยละ 50 ควอทซ์ร้อยละ 25 และเฟลด์สปาร์ร้อยละ 25 ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเนื้อดินปั้นชนิดไตรแอกเซียลหลังเผา

อุณหภูมิ (°C)	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
100-200	น้ำที่อยู่รอบ ๆ อนุภาคหรือที่ผิวดินระเหยออกไป
450	อินทรีย์สารในดินถูกเผาไหม้
500-600	น้ำที่อยู่ในโครงสร้างผลึกของดินถูกสลายตัวไปทำให้ดินเปลี่ยนโครงสร้างเป็นเมตะเคโอลิน
573	ผลึกของซิลิกาหรือควอทซ์เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกทำให้เนื้อดินเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว
980	มีสปิเนลเกิดขึ้น และเนื้อดินเริ่มมีการหดตัว
1000	เริ่มมีมลโลต์ปฐมภูมิ (Primary Mullite) เกิดขึ้นเล็กน้อย
1050-1100	เฟลด์สปาร์ในเนื้อดินเริ่มหลอมละลาย มีมลโลต์เพิ่มขึ้นทำให้เนื้อดินแข็งแรง ส่วนการหดตัวยังเป็นไปอย่างต่อเนื่อง
1200	มีแก้วและมลโลต์มากขึ้น ควอทซ์บางส่วนหลอมละลาย รูปทรงลดลง
1250	เนื้อดินกลายเป็นแก้วร้อยละ 60 มลโลต์ร้อยละ 21 และควอทซ์ร้อยละ

จากตารางจะเห็นว่าเมื่อเนื้อดินได้รับความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและทางกายภาพซึ่งทำให้เนื้อดินเกิดความแข็งแรง จากการทบทวนเอกสารพบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดความแข็งแรงมีได้หลายปัจจัย ได้แก่ ปริมาณและขนาดอนุภาคของควอทซ์ การเกิดมลโลต์ และการเกิดเป็นเนื้อแก้วในเนื้อดิน ซึ่งได้มีผู้ศึกษาดังนี้

Stathis (2004) ได้ศึกษาผลของการเติมอนุภาคของควอทซ์ขนาดที่ต่างกัน ที่มีผลต่อความแข็งแรงและสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินพอร์ซเลนประเภทสุขภัณฑ์ พบว่า ขนาดอนุภาคของควอทซ์ 5-20 ไมครอน จะมีความแข็งแรงมากที่สุดและเพิ่มความแข็งแรงมากขึ้นร้อยละ 20-30 หากขนาดอนุภาคที่เล็กหรือใหญ่กว่านี้ความแข็งแรงจะลดลงซึ่งสอดคล้องกับ Ece และ Nakagawa (2002) ที่ศึกษาปัจจัยในการทำให้เกิดความแข็งแรงในเนื้อดินพอร์ซเลนหลังการเผาที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 1200-1400°C โดยกำหนดให้อนุภาคของควอทซ์ที่ใช้ต่างกัน จากการศึกษาพบว่า ตัวอย่างดินที่มีอนุภาคของควอทซ์ขนาด 10-20 ไมครอน หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1300 และ 1350°C มีความแข็งแรงสูงสุด และนอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคของควอทซ์ที่หยาบไม่หมดเป็นตัวช่วยเพิ่มความแข็งแรงด้วย และนอกจากนี้ Das และคณะ (2005) ได้ศึกษาผลของควอทซ์และเคโอลิไนท์ในเนื้อกระเบื้องบุผนังที่มีผลต่อค่าการหดตัวและค่าความแข็งแรงจากแหล่งดิน 5 แหล่งในอินเดียพบว่า ในดินที่มีควอทซ์ในปริมาณที่มากจะทำให้ค่าการหดตัวต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 1) หลังเผาที่ช่วงอุณหภูมิ 1050-1150 °C ส่วนในเนื้อดินที่มีปริมาณของเคโอลิไนท์สูงจะเพิ่มความแข็งแรงและมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำ

Dana และ Das (2004) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของการใช้เถ้าแกลบแทนควอทซ์ในเนื้อดินพอร์ซเลน จากการศึกษาโดยใช้เถ้าแกลบร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก หลังการเผาช่วงอุณหภูมิระหว่าง 1150-1300°C พบว่า อุณหภูมิที่ใช้เผาและปริมาณควอทซ์ลดลงมีผลึกมัลไลต์และแก้วเพิ่มขึ้นทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย

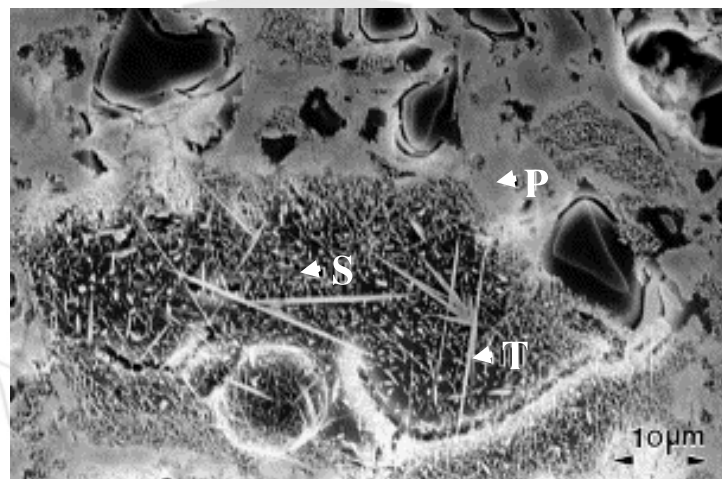
Lee (2001) ได้ศึกษาอิทธิพลของส่วนผสมที่ทำให้เกิดมัลไลต์ในเนื้อดินพอร์ซเลน จากการศึกษาพบว่า การเกิดของมัลไลต์มีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ มัลไลต์ปฐมภูมิ (Primary mullite) มัลไลต์ทุติยภูมิ (Secondary mullite) และมัลไลต์ตติยภูมิ (Tertiary mullite) โดยที่มัลไลต์ปฐมภูมิเกิดจากดินเพียงอย่างเดียว มัลไลต์ทุติยภูมิเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเฟลด์สปาร์กับดินและดินกับควอทซ์ และในส่วนของมัลไลต์ตติยภูมิเกิดจากการตกผลึกของของเหลวที่มีอลูมินาอยู่สูง (Al-rich liquid) ลักษณะของผลึกมัลไลต์แสดงในภาพที่ 2.7

Das (2003) ได้ศึกษาถึงความแตกต่างระหว่างโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์และโซเดียมเฟลด์สปาร์ของการกลายเป็นแก้วในเนื้อดินพอร์ซเลน โดยใช้ DTA และ TGA จากการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000°C ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของเนื้อดินทั้งสององค์ประกอบไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อศึกษาในอุณหภูมิที่สูงขึ้นด้วยไดลาโตมิเตอร์ พบว่าเนื้อดินที่มีโซเดียมเฟลด์สปาร์เป็นองค์ประกอบจะเริ่มหลอมที่อุณหภูมิ 1171°C ซึ่งต่ำกว่าเนื้อดินที่มีโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์เป็นองค์ประกอบและเมื่อเผาที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 1160-1200°C ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคล้ายกันแต่ในเนื้อดินที่มีโซเดียมเฟลด์สปาร์เป็นองค์ประกอบจะมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำและความแข็งแรงที่สูงกว่า

Iqbal และ Lee (2000) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างผลึกทางจุลภาคของเนื้อดินพอร์ซเลนด้วยเทคนิค XRD SEM และ TEM จากการศึกษาพบว่า ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ

ของการเผา มีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างที่ต่างกัน ที่อุณหภูมิประมาณ 550°C ดินจะเปลี่ยนจากเคโอลิไนต์เป็นเมตะเคโอลินและเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นที่ประมาณ 1000°C จะเกิดเป็นสปิเนล (Spinel) และมัลไลต์ปฐมภูมิ ส่วนไมโครไคลนยังคงไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงอุณหภูมิ $700-900^{\circ}\text{C}$ แต่จะหลอมละลายอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิประมาณ 1100°C และมีมัลไลต์ทุติยภูมิและตติยภูมิที่เกิดจากดิน เฟลด์สปาร์และควอตซ์เกิดขึ้น เมื่อเผาในอุณหภูมิที่สูงกว่า 1300°C พบว่ามีความหนาแน่นและความแข็งแรงลดลงเนื่องจากมีฟองอากาศเกิดขึ้น

Sanchez-Soto (2000) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินเคโอลิไนต์หลังการบดด้วยเวลาที่ต่างกัน โดยใช้เทคนิค XRD และ DTA จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้เวลาในการบดเพิ่มขึ้นขนาดของอนุภาคยิ่งเล็กลงและมีผลให้อุณหภูมิในการเผาต่ำลงและนอกจากนี้ยังพบว่าเวลาที่ใช้บดมากขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาการดูดพลังงานของการเปลี่ยนโครงสร้างจากเคโอลิไนต์เป็นเมตะเคโอลินเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ



ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะของผลึกมัลไลต์ P = มัลไลต์ปฐมภูมิ S = มัลไลต์ทุติยภูมิ และ T = มัลไลต์ตติยภูมิ (Lee, 2001)

2.7 การศึกษาและการปรับปรุงเนื้อดิน

ในการศึกษาและปรับปรุงเนื้อดินเซรามิกนั้นได้มีนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศได้ทำการวิจัยมาอย่างต่อเนื่องเพื่อศึกษาและปรับปรุงเนื้อดินให้ได้สมบัติที่ดี ตลอดจนการแก้ไขปัญหาของตำหนิประเภทต่างๆที่เกิดขึ้น ซึ่งจากการทบทวนเอกสารพบว่ามีนักวิจัยที่ได้ทำการศึกษาและปรับปรุงเนื้อดินประเภทต่างๆดังนี้

สมชาย พุ่มอิม (2524) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะการเกิดแร่ประกอบของดินขาวในอำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง และในอำเภอเมือง จังหวัดอุดรดิตถ์ที่อยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้เทคนิค XRF และ XRD ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและชนิดของแร่จากการศึกษาพบว่า ดินขาวทั้งสองแหล่งมีสภาพการเกิดเหมือนกันและมีแร่โอลิไต์มากกว่าแร่อื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 50

Aras (2004) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเฟสของเคโอลิไนท์และโอลิไท์ที่ใช้ในเนื้อดินเซรามิก โดยมีวัตถุประสงค์หลักที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เคโอลิไนท์ โอลิไท์ ควอทซ์ และเฟลด์สปาร์ หลังการเผาศึกษาการเปลี่ยนเฟสด้วย XRD จากการศึกษพบว่า เฟสที่เป็นโครงสร้างผลึกได้แก่ คริสโตบาไลต์ มัลไลต์ ควอทซ์ ซีมาไทต์ และอนาเทส ในเนื้อดินจะพบผลึกของควอทซ์ มัลไลต์ และคริสโตบาไลต์ ซึ่งผลึกของมัลไลต์ที่พบจะมีความแตกต่างจากผลึกตัวอื่นคือมีลักษณะเป็นแท่งคล้ายตะปู ส่วนในโอลิไท์ที่มีโพแทสเซียมสูงๆ จะหลอมปิดทับผลึกมัลไลต์ นอกจากนี้ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้พฤติกรรมของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ แคลเซียมเฟลด์สปาร์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ต่างกัน คือในเนื้อดินที่มีเคโอลิไนท์สูงๆ ฟิตของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์จะหายไปเร็วกว่าในเนื้อดินที่มีโอลิไต์และควอทซ์สูงๆ แต่แคลเซียมเฟลด์สปาร์และโซเดียมเฟลด์สปาร์จะแสดงพฤติกรรมในทางตรงกันข้าม ในขณะที่ฟิตของแคลเซียมเฟลด์สปาร์และโซเดียมเฟลด์สปาร์ค่อยๆ ลดลงและคงที่ที่อุณหภูมิ 1150 - 1250°C แต่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์จะไม่พบฟิตที่อุณหภูมิสูงกว่า 1150°C

Milheiro (2004) ได้ศึกษาการทำให้เกิดความหนาแน่น (Densification) ของดินขาวบราซิลหลังการเผาที่อุณหภูมิ 750-1150°C โดยใช้ XRD และ SEM ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟส ร่วมกับการทดสอบ พื้นที่ผิวจำเพาะ การหดตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นและความแข็งแรง จากผลการศึกษาพบว่า กลไกที่มีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดความหนาแน่นของเนื้อดินขึ้นกับอุณหภูมิในการเผา คือเมื่ออุณหภูมิที่เผาต่ำกว่า 950°C การผุกร่อนของเนื้อดินจะขึ้นกับกลไกของการแพร่เข้าหากันของอนุภาคของดินแต่ละอนุภาค แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 950°C การผุกร่อนของเนื้อดินจะขึ้นอยู่กับกลไกการหลอมตัวกลายเป็นแก้วของวัตถุดิบที่เป็นตัวหลอมละลาย ซึ่งจะเพิ่มความหนาแน่นของเนื้อดินมากขึ้นด้วย

สมบูรณ์ สารสิทธิ์ (2539) ได้ศึกษาสมบัติของดินแดง จังหวัดนครศรีธรรมราชเพื่อใช้ในการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ โดยใช้ดินขาว หินฟันม้า และทรายขาว เป็นส่วนผสมและใช้ตารางสี่เหลี่ยมในการคำนวณ พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ ประกอบด้วยส่วนผสมของดินแดงร้อยละ 40 ดินขาวร้อยละ 15 หินฟันม้าร้อยละ 10 และทรายขาวร้อยละ 35 ใช้น้ำผสมในเนื้อดินร้อยละ 37.5 ความถ่วงจำเพาะ 1.69 สารช่วยกระจายลอยตัว 0.22 เนื้อดินมีการหดตัวน้อย และทนไฟได้ที่อุณหภูมิ 1200°C

พิมพ์วัลค์ วัฒนภาส และสุมาลี ลิขิตวนิชกุล (2546) ได้วิจัยและพัฒนาเนื้อดินปั้นราชบุรี โดยการปรับปรุงวิธีการเตรียมเนื้อดินปั้นอ่างราชบุรี เพื่อลดตำหนิจุดขาวและตุ่มสีน้ำตาล

ในเนื้อดินโดยใช้วิธีการบดด้วยเครื่องบดจาว์ครัสเซอร์ (Jaw crusher) โรลเลอร์ครัสเซอร์ (Roller crusher) กรองผ่านตะแกรง 6 เมช และใช้ทรายที่กรองผ่านตะแกรง 16 เมช ผสมกันในอัตราส่วนของดิน 9 ส่วน ทราย 1 ส่วน โดยน้ำหนัก ความชื้นร้อยละ 30 พบว่า เนื้อดินที่ได้สามารถใช้ปั้นโอ่งได้ดี ผลผลิตหลังเผาพบตำหนิและการแตกร้าว ลดลงอย่างเห็นได้ชัด คุณภาพโดยรวมดีขึ้น

ประนอม มานะกิจ (2536) ได้ทำการวิจัยปรับปรุงดินเหนียวท้องถิ่นจังหวัดนครสวรรค์ให้เป็นเนื้อดินปั้นประเภทสโตนแวร์ โดยใช้ทรายแม่น้ำ 5 แหล่ง เป็นส่วนผสมซึ่งกำหนดให้ทรายที่ใช้ไม่เกินร้อยละ 30 พบว่า เนื้อดินที่ได้มีสมบัติที่อยู่ในเกณฑ์ของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์ ทั้งการหดตัว การดูดซึมน้ำ และอุณหภูมิในการเผา

อรพิน สมมิตร (2538) ได้ปรับปรุงองค์ประกอบของดินแดงบ้านสันจกปก จังหวัดพะเยา เพื่อพัฒนาคุณภาพของเครื่องปั้นดินเผาโดยใช้ ดินโคลนไหม้ ดินคอมปาวด์ และดินโรงงานศรัทธา เป็นส่วนผสม พบว่า การใช้ดินบ้านสันจกปกร้อยละ 80 ผสมกับดินโคลนไหม้ร้อยละ 20 เผาที่อุณหภูมิ 1150°C จะได้สีดินเป็นสีแดงอิฐสวยงาม และใช้ดินดิบบ้านสันจกปกร้อยละ 30 ดินคอมปาวด์ร้อยละ 40 และดินโรงงานศรัทธาร้อยละ 30 พบว่า ดินมีความทนไฟสูงขึ้น และมีเนื้อแกร่ง

จากการทบทวนเอกสารการศึกษาและการปรับปรุงเนื้อดินพบว่า ส่วนใหญ่จะเน้นที่การปรับปรุงเนื้อดินเพื่อให้มีสมบัติตามต้องการ ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาให้สูงขึ้นหรือต่ำลง ลดการหดตัวของเนื้อดิน เปลี่ยนแปลงสีของเนื้อดินหลังการเผา และเพื่อปรับปรุงเนื้อดินให้มีความเหมาะสมกับวิธีการขึ้นรูป ตลอดจนเพื่อแก้ไขตำหนิต่างๆที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในการศึกษาและการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติของดินจึงทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจเพื่อจะนำไปสู่การปรับปรุงหรือพัฒนาให้มีคุณภาพมากขึ้น

ฉะนั้นในการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่ศึกษาและวิเคราะห์ทดสอบทั้งทางเคมีและสมบัติกายภาพของดินเพื่ออธิบายถึงสาเหตุของปัญหาและเป็นข้อมูลขั้นต้นที่จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของดินให้มีความเหมาะสมต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยแบ่งขั้นตอนและสิ่งที่ทำการวิเคราะห์ ทดสอบ ออกเป็นข้อๆ ดังนี้

- 3.1 การเตรียมดิน
- 3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ทางแร่และทางความร้อน
- 3.3 การทดสอบทางกายภาพ
- 3.4 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคและการเปลี่ยนแปลงเฟส

3.1 การเตรียมดิน

ดินที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้จากกลุ่มผู้ประกอบการเซรามิกในตำบลเวียงกาหลง ซึ่งได้กำหนดชื่อตัวอย่างดินเป็น BTC BRC และ BHC

การเตรียมดินเพื่อใช้ในการทดลองจะเตรียมเลียนแบบกลุ่มผู้ผลิตเซรามิกเวียงกาหลง โดยนำดินที่เป็นก้อนมาทำการบดย่อยให้แตกเป็นผงด้วยไม้หรือค้อนแล้วกรองผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่มีอยู่ในดินออกที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ทดสอบ ซึ่งในการทดสอบอาจต้องทำการเตรียมหรือบดเพิ่ม ขึ้นอยู่กับเครื่องมือหรือวิธีการที่ใช้ทดสอบนั้นๆ

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ทางแร่ และทางความร้อน

เนื่องจากดินแต่ละแหล่งมีองค์ประกอบของแร่ธาตุที่ไม่แน่นอนจึงจำเป็นต้องศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของการศึกษาเปรียบเทียบกับ การทดสอบทางกายภาพของดิน โดยแบ่งการศึกษาและวิเคราะห์ทดสอบ ดังนี้

3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของธาตุด้วยเครื่อง X-Ray

Fluorescence (XRF)

การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ โดยการนำดินผงทั้ง 3 ตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช ประมาณ 20 กรัม มาทำการบดด้วยโกร้งบดให้เป็นผงละเอียด อบแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเก็บตัวอย่างไว้ในตู้ดูดความชื้น จากนั้นนำไปอัดให้เป็นก้อนในแบบอัดที่ใช้สำหรับอัดตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์

3.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่

วิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractometer : XRD ของบริษัท PANalytical รุ่น X'Pert PRO MPD ประเทศเนเธอร์แลนด์) ตัวอย่างที่วิเคราะห์เตรียมจากดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช แล้วบดด้วยโกร้งบดมือให้เป็นผงละเอียด จากนั้นนำไปวิเคราะห์ ซึ่งได้กำหนดช่วงของการวิเคราะห์เริ่มจากมุม $5^{\circ} 2\theta$ และสิ้นสุดที่มุม $50^{\circ} 2\theta$ ความละเอียดของการเพิ่มมุม (Step size) เป็น 0.01670 เวลาในการรับสัญญาณในแต่ละมุม (Time/step) เป็น 10.010 วินาที

3.2.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน

1.การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส (Thermogravimetric Analysis : TGA บริษัท Mettler toledo รุ่น TGA/SDTA STAR 851^o เพื่อศึกษาถึงน้ำหนักที่หายไปหลังการเผา (Loss on ignition : LOI) ร่วมกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อน ณ ช่วงอุณหภูมิต่างๆขณะทำการเผาโดยใช้เทคนิคสปอนเทเนียสดีฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอะนาไลซิส (Spontaneous Differential Thermal Analysis : SDTA) ตัวอย่างดินที่จะใช้ทำการวิเคราะห์จะต้องผ่านการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นในเตาอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในตู้ดูดความชื้นจากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยกำหนดให้ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาอยู่ระหว่าง 50 ถึง 1000°C และกำหนดให้อัตราความร้อนที่ให้กับตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบเป็น 20°C ต่อ นาที ในบรรยากาศแบบอากาศ

2.การวิเคราะห์การขยายตัวทางความร้อน (Thermal Expansion) ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเตรียมได้จากผงดินที่ผ่านการกรองด้วยตะแกรงขนาด 35 เมช มาผสมกับน้ำตามสัดส่วนของดินต่อน้ำที่ใช้ในการทดสอบความเหนียวเพื่อเตรียมเป็นดินเหนียว จากนั้นนำดินเหนียวที่ได้ไปรีดด้วยเครื่องรีดดินโดยใช้มีกอดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร ปล่อยให้แห้งแล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูงสุด 1250°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแท่งดินที่ผ่านการเผาไปขัดในเครื่องขัดเพื่อให้ปลายทั้งสองข้างเรียบเป็นระนาบและให้ความยาวของแท่งทดสอบมีความยาวไม่เกินช่องสำหรับใส่ตัวอย่างคือ 25 มิลลิเมตร เมื่อได้ตัวอย่างที่เตรียมเรียบร้อยแล้วก็นำไปวิเคราะห์ทดสอบกับเครื่องโดลาโตมิเตอร์

(Dilatometer ยี่ห้อ NETZSCH รุ่น DIL 402 C ประเทศเยอรมนี) โดยกำหนดให้อัตราความร้อนที่ใช้ 5°C ต่อ นาที และวัดค่าการขยายตัวที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 5°C จนถึงอุณหภูมิสูงสุดคือ 1250°C จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามมาตรฐาน ASTM C 372-94 ซึ่งสัมประสิทธิ์การขยายตัวของดินจะวัดในช่วงอุณหภูมิระหว่าง $25-650^{\circ}\text{C}$ ตามสูตร

$$\alpha = (\Delta L / L_0) / \Delta T \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

α คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน ($\text{mm}/\text{mm}^{\circ}\text{C}$)

ΔL คือความยาวของที่เปลี่ยนไปของชิ้นทดสอบ (mm)

L_0 คือความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (mm)

ΔT คือช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา ($^{\circ}\text{C}$)

3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบทางกายภาพจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบก่อนเผา และหลังเผา

3.3.1 การทดสอบความเหนียว

นำดินจากแหล่งมาบดย่อยให้มีขนาดเล็กละเอียดเป็นผงกรองผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช อบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปล่อยให้ดินเย็นตัวลง แบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 5 ตัวอย่างละ 50 กรัม เพื่อทำการทดสอบหาค่าความเหนียวในเบื้องต้นก่อนว่าควรใช้น้ำในปริมาณมากน้อยเพียงใด โดยกำหนดปริมาณร้อยละมวลของน้ำที่ให้อยู่ในช่วง 20-40 และให้ร้อยละของช่วงห่างของน้ำที่ใช้ห่างกันช่วงละ 5 (ดังตารางที่ 3.1) จากนั้นกำหนดการทดลองครั้งที่ 2 โดยการกำหนดช่วงร้อยละของปริมาณน้ำที่ใช้เตรียมตัวอย่างดินให้มีความถี่เพิ่มมากขึ้นคือให้ห่างกันช่วงละ 2 (ดังตารางที่ 3.2) จากนั้นชั่งดินตัวอย่างละ 500 กรัม ผสมกับน้ำตามที่กำหนด นำไปรีดเป็นเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องรีดดินแบบใช้มือกด (Hand Extruder) โดยกำหนดให้ความยาวของเส้นดินเท่ากัน คือ 6 เซนติเมตร หลังจากรีดเสร็จทำการม้วนปลายของเส้นดินทั้งสองข้างเข้าหากันเป็นรูปวงกลมทันที ตรวจสอบการรานและไม่รานที่เกิดขึ้นแล้วสรุปผล

ตารางที่ 3.1 ร้อยละของปริมาณน้ำที่ใช้เพิ่มความเหนียวของดินแบบกว้าง

ตัวอย่างดิน	ดินแห้ง(กรัม)	ร้อยละของน้ำที่ใช้
1	50	20
2	50	25
3	50	30
4	50	35
5	50	40

ตารางที่ 3.2 ร้อยละของปริมาณน้ำที่ใช้เพิ่มความเหนียวของดินแบบแคบ

ตัวอย่างดิน	ดินแห้ง (กรัม)	ร้อยละของน้ำที่ใช้
1	500	22
2	500	24
3	500	26
4	500	28
5	500	30

3.3.2 การหาขนาดอนุภาค (Particle size)

การหาขนาดของอนุภาคดินจะใช้วิธีการวัดอยู่ 2 วิธี คือ การวัดขนาดอนุภาคโดยการกรองด้วยตะแกรง และการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

1. การกรองด้วยตะแกรง

การกรองด้วยตะแกรงเป็นการหาขนาดอนุภาคของดินแบบง่ายโดยการนำดินที่กรองผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช ที่ได้จากการเตรียมดินเพื่อใช้ในการทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาจำนวน 100 กรัม กวนผสมแบบเปียกโดยกำหนดให้น้ำหนักของน้ำต่อน้ำดินแห้งผสมกันในสัดส่วน 3 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก กวนให้ดินแตกตัวแล้วหมักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำดินที่ได้มากรองผ่านตะแกรงขนาดต่างกัน 4 ขนาด คือ 60 เมช 100 เมช 200 เมช และ 325 เมช ซึ่งตะแกรงทั้ง 4 ต้องวางซ้อนกัน ส่วนชั้นล่างสุดให้ใช้ถังรองไว้ จากนั้นนำตะแกรงแต่ละขนาดไปผ่านก๊อคน้ำไหลรินเบาๆ นำกากที่ค้างตะแกรงเทใส่ปิกเกอร์ แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งหาน้ำหนักแห้งก็จะได้ร้อยละของกากค้างตะแกรงของแต่ละขนาด

2. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Mastersizer รุ่น 2000) ตัวอย่างดินที่ใช้ในการวัดด้วยเครื่องนี้ได้จากดินที่กรองผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช หลังการวัดขนาดอนุภาคด้วยตะแกรง โดยนำดินแห้ง 5 กรัม ผสมกับน้ำ 25 กรัม คนให้ดินแตกตัว แช่ไว้ 30 นาที แล้วทำการวัดโดยใช้หลอดหยดค่อยๆ หยดลงไปในห้องใส่ตัวอย่างตามปริมาณที่เครื่องกำหนด

3.3.3 การทดสอบการหดตัว (Shrinkage)

การทดสอบการหดตัวจะวัดความยาวตามแนวเส้นตรงหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C และหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 1000 1200 และ 1250°C ในการเตรียมดินเพื่อทดสอบการหดตัวก่อนเผาจะเตรียม โดยการนำดินผงที่กรองผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช มาผสมกับน้ำโดยใช้น้ำตามที่ได้มีการทดสอบความเหนียวของเนื้อดินตามหัวข้อที่ 3.3.1 แล้วทำการผสมและนวดด้วยมือ จากนั้นอัดขึ้นรูปเป็นตัวอย่างแท่งทดสอบด้วยแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่เตรียมไว้ มีขนาดความยาว 12 เซนติเมตร กว้าง 2 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร โดยมีเส้นเพื่อใช้วัดการหดตัวมีความยาวเริ่มต้นเท่ากับ 10 เซนติเมตร ปลอยทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววัดค่าการหดตัวหลังอบแห้งและหลังเผา โดยคำนวณหาค่าความหดตัวเป็นร้อยละ ตามสูตร

$$\text{การหดตัวเมื่อแห้ง} = \frac{L_w - L_D}{L_w} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

โดยที่ L_w คือ ความยาวเปียก
 L_D คือ ความยาวหลังอบแห้ง

$$\text{การหดตัวหลังเผา} = \frac{L_w - L_F}{L_w} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

โดยที่ L_w คือ ความยาวเปียก
 L_F คือ ความยาวหลังเผา

3.3.4 การทดสอบความพรุนตัว (Porosity)

การทดสอบความพรุนตัวของเนื้อดินจะวัดจากร้อยละของน้ำที่แท่งทดสอบดูดซับไว้ หรือค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption) การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อใช้ในการทดสอบมีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกันกับการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อใช้วัดการหดตัวหลังเผา การวัดการดูดซึมน้ำจะวัดที่อุณหภูมิ 800 1000 1200 และ 1250°C ซึ่งใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{การดูดซึมน้ำ} = \frac{M_w - M_D}{M_D} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

โดยที่ M_w คือ น้ำหนักเปียก
 M_D คือ น้ำหนักแห้ง

3.3.5 การทดสอบความหนาแน่น (Density)

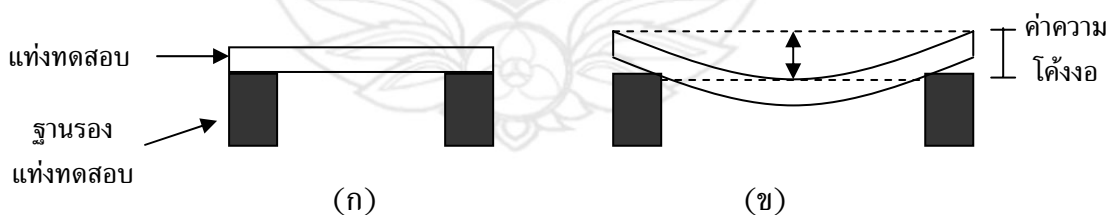
การทดสอบความหนาแน่นจะวัดหาความหนาแน่นมวล (Bulk density) ของแท่งทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 1000 1200 และ 1250°C โดยใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{M_D}{M_w - M_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

โดยที่ M_w คือ น้ำหนักเปียก
 M_D คือ น้ำหนักแห้ง
 M_s คือ น้ำหนักในน้ำ

3.3.6 การทดสอบความทนไฟ

การทดสอบความทนไฟจะวัดจากค่าความโค้งงอของแท่งทดสอบหลังทำการเผา ซึ่งการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อใช้ในการทดสอบมีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกันกับการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อใช้วัดการหดตัวหลังเผา หลังจากนั้นนำแท่งทดสอบเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1200 1250 และ 1280°C โดยให้แท่งทดสอบวางอยู่บนแท่งดินที่เตรียมไว้ให้ปลายทั้งสองข้างของแท่งทดสอบมีระยะห่างเท่าๆกัน ดังภาพที่ 3.1(ก) หลังการเผานำมาวัดค่าโค้งงอที่เกิดจากการอ่อนตัว ดังภาพที่ 3.1(ข)



ภาพที่ 3.1 (ก) การวางแท่งทดสอบก่อนการเผา (ข) การวัดความโค้งงอหลังการเผา

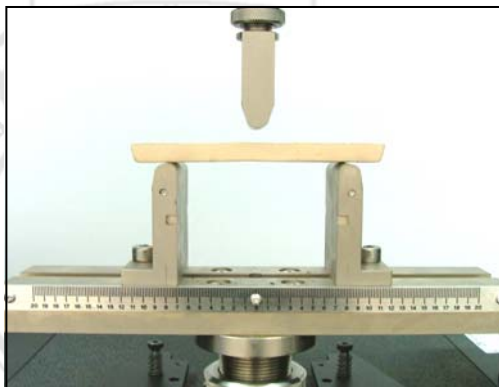
3.3.7 การทดสอบความแข็งแรง (strength)

การทดสอบความแข็งแรงเป็นการทดสอบความต้านทานต่อแรงดัด (Bending strength) ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรง (Universal Testing Machine : UTM ยี่ห้อ Instron) จะทดสอบหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C และหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 1000 1200

และ 1250°C การเตรียมดินมีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมดินเพื่อใช้วัดการหดตัวของเนื้อดิน ซึ่งการวัดเป็นการวัดแบบสามจุด (Three point) ดังแสดงในภาพที่ 3.2 โดยกำหนดให้ระยะห่างของลิ่มเป็น 8 เซนติเมตร และอัตราเร็วของแรงที่ใช้กดแท่งทดสอบคงที่คือ 5 มิลลิเมตร ต่อ 60 วินาที เมื่อได้ค่าแรงที่ใช้กดแล้วนำไปคำนวณหาความแข็งแรงของแท่งทดสอบแบบเหลี่ยม ตามสูตร

$$\text{ความแข็งแรง} = \frac{3LD}{2bd^2} \dots\dots\dots(3.5)$$

- โดยที่
- L คือค่าน้ำหนักแรงกดที่หัก
 - D คือระยะห่างของลิ่มที่รองรับแผ่นทดสอบ
 - b คือความกว้างของแผ่นทดสอบ
 - d คือความหนาของแผ่นทดสอบ



ภาพที่ 3.2 การวางแท่งทดสอบบนลิ่มเพื่อใช้วัดความแข็งแรงแบบสามจุด

3.3.8 การทดสอบสี (Color)

การทดสอบสี จะดูด้วยตาเปล่าทั้งหลังอบแห้งและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 1000 1200 และ 1250°C

3.4 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคและการเปลี่ยนแปลงเฟส

3.4.1 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของดินหลังเผา

การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope) เป็นเครื่องมือในการศึกษาของตัวอย่างดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 1000 1200 และ 1250°C ซึ่งตัวอย่างดินจะเตรียมแบบภาพตัดขวางโดยการหัก (Fracture) ขัดมัน (Polish) และกัดกรด (Etch) HF ความเข้มข้น 4% เป็นเวลา 20 วินาที

3.4.2 การเปลี่ยนแปลงเฟส

การเปลี่ยนแปลงเฟสของเนื้อดินศึกษาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 800 1000 1200 และ 1250°C ซึ่งได้กำหนดช่วงของการวิเคราะห์เริ่มจากมุม $10^{\circ} 2\theta$ และสิ้นสุดที่มุม $50^{\circ} 2\theta$ ความละเอียดของการเพิ่มมุม (Step size) เป็น 0.01670 เวลาในการรับสัญญาณในแต่ละมุม (Time/step) เป็น 10.010 วินาที

3.4.3 การศึกษาตำหนิที่เกิดขึ้นหลังการเผา

การศึกษาตำหนิที่เกิดขึ้นหลังการเผาด้วยเทคนิค EDX (Energy dispersive x-ray spectroscopy) และศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และ SEM

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

จากที่ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติของดินจากแหล่งเวียงกาหลง ตามวิธีดำเนินการทดลองในบทที่ 3 สามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็น 4 หัวข้อใหญ่ ดังนี้

- 4.1 ลักษณะทางกายภาพของดินและการเตรียมดินก่อนการทดสอบ
- 4.2 ผลการวิเคราะห์ทดสอบทางเคมี ทางแร่ และทางความร้อน
- 4.3 ผลการทดสอบทางกายภาพ
- 4.4 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค

ซึ่งได้แสดงไว้ตามลำดับ ดังต่อไปนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพของดินและการเตรียมดินก่อนการทดสอบ

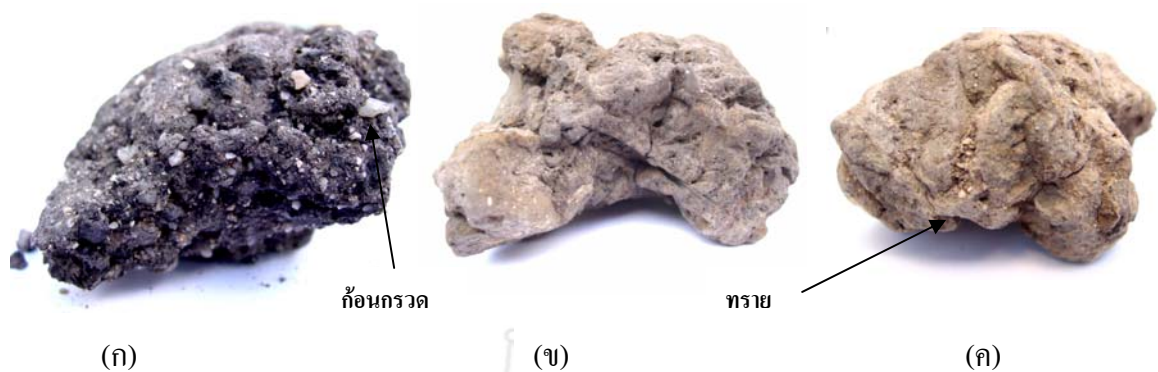
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของดิน

ดินที่นำมาวิเคราะห์ทดสอบในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ตัวอย่าง ซึ่งลักษณะของตัวอย่างดินเมื่อดูด้วยตาเปล่าจะเห็นความแตกต่างทั้ง สี และสิ่งที่เจือปนมากับดิน (ดังแสดงในภาพที่ 4.1) ดังนี้

ตัวอย่างดิน BTC เป็นดินที่มีสีดำ และมีเม็ดกรวดผสมอยู่เป็นจำนวนมาก มีขนาดประมาณ 1 ถึง 5 มิลลิเมตร

ตัวอย่างดิน BRC สีของเนื้อดินเมื่อแห้งจะเป็นสีเทา ลักษณะของก้อนดินมองเห็นเป็นเนื้อเดียวกันไม่มีก้อนกรวดขนาดใหญ่เจือปน

ตัวอย่างดิน BHC สีของเนื้อดินเมื่อแห้งจะเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ ก้อนดินมองเห็นเป็นเนื้อเดียวกันทั้งก้อน มีทรายปนบ้างเล็กน้อย



ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างดินจากแหล่งก่อนทำการบด (ก) ตัวอย่างดิน BTC ขนาดจริง กว้าง 7 ซม. ยาว 9 ซม. (ข) ตัวอย่างดิน BRC ขนาดจริงกว้าง 5 ซม. ยาว 9 ซม. และ (ค) ตัวอย่างดิน BHC ขนาดจริง กว้าง 4 ซม. ยาว 7 ซม.

4.1.2 การเตรียมดิน

การเตรียมดินเพื่อใช้ในการทดลองจะเตรียมเลียนแบบกลุ่มผู้ผลิตเซรามิกเวียกาทหลง โดยนำดินที่เป็นก้อนมาทำการบดย่อยให้แตกเป็นผงด้วยไม้หรือค้อนแล้วกรองผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่มีอยู่ในดินที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ทดสอบ ซึ่งในการทดสอบอาจต้องทำการเตรียมหรือบดเพิ่ม ขึ้นอยู่กับเครื่องมือหรือวิธีการที่ใช้ทดสอบนั้นๆ

ผลจากการเตรียมดินของทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่า ในตัวอย่างดิน BTC มีปริมาณของกากค้ำตะแกรง (ขนาด 35 เมช) ค่อนข้างมากและมีอนุภาคขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับตัวอย่างดิน BRC และ BHC (ดังภาพที่ 4.2) ซึ่งขนาดของกากค้ำตะแกรงหรือกรวดที่พบมีขนาดตั้งแต่ 0.5 ถึง 5 มิลลิเมตร ส่วนในตัวอย่างดิน BRC และ BHC มีปริมาณกากค้ำตะแกรงที่น้อยและมีขนาดอนุภาคของกากค้ำตะแกรงประมาณ 0.5 ถึง 1 มิลลิเมตร เท่านั้น



ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของกากค้ำตะแกรงขนาด 35 เมช (ก) ตัวอย่างดิน BTC (ข) ตัวอย่างดิน BRC และ (ค) ตัวอย่างดิน BHC

4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ทางแร่ และการวิเคราะห์ทางความร้อน

4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของธาตุ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของธาตุโดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของธาตุในดิน ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะแสดงในรูปของสารประกอบออกไซด์ ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินจากแหล่งต่างๆที่ใช้ในการวิจัย

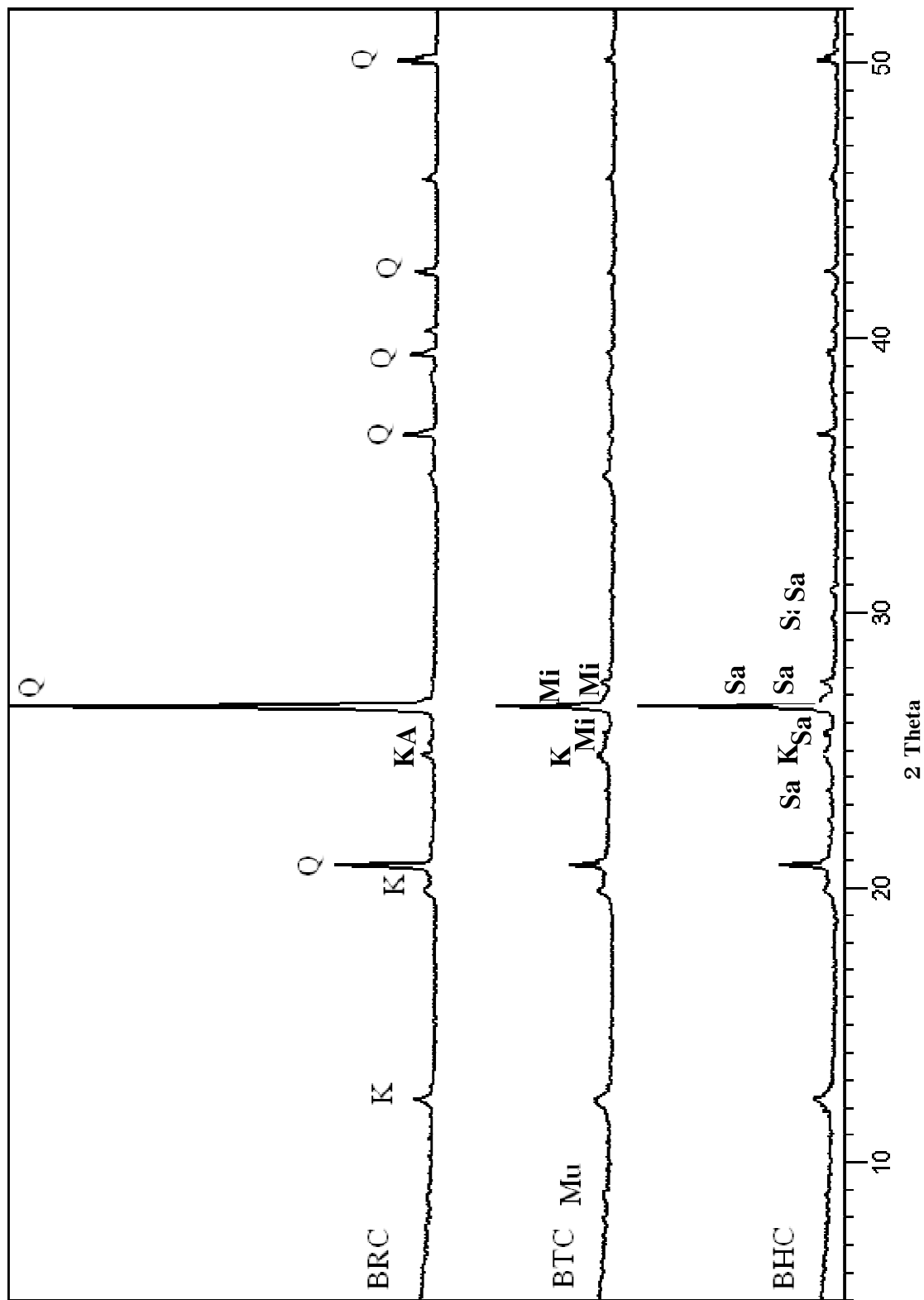
ตัวอย่างดิน	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	L.O.I
BTC	63.46	24.19	2.50	0.26	1.43	0.75	7.41
BRC	75.17	17.06	0.81	0.44	1.32	1.43	3.77
BHC	67.59	22.91	2.08	0.21	2.03	0.61	4.57

* หมายเหตุ ค่า L.O.I. ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการสลายตัวทางความร้อน (TGA)

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าดินทั้งสามตัวอย่างมีปริมาณออกไซด์ที่พบมากน้อยแตกต่างกันไป ออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักในดินที่นิยมนำมาเขียนในตารางผลวิเคราะห์ทางเคมีมี 8 ชนิด (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541 : 245) คือ ซิลิกา อลูมินา เหล็ก ไทเทเนียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม เป็นต้น ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ของดินทั้งสามแหล่งที่พบมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักอยู่ 6 ชนิด คือ ซิลิกา อลูมินา โพแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก และไทเทเนียม แต่ซิลิกาและอลูมินาที่ได้จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นนั้น ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นธาตุประกอบของแร่ชนิดใด ซิลิกาและอลูมินาอาจจะเป็นธาตุประกอบของ แร่ดิน แร่เฟลด์สปาร์หรือซิลิกาอิสระก็ได้ ฉะนั้นจึงต้องนำผลวิเคราะห์ทางเคมีที่ได้ดังกล่าวไปคำนวณหาส่วนประกอบของแร่ต่างๆในดิน เพื่อจะได้รู้ว่าซิลิกาอิสระหรือแร่ที่พบในแต่ละตัวอย่างดินนั้นมีอยู่มากน้อยเท่าใด ซึ่งในการคำนวณจะต้องใช้ข้อมูลจากผลการวิเคราะห์ทางแร่ด้วยด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ร่วมด้วย

4.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction : XRD) เพื่อศึกษาถึงชนิดของแร่ที่มีอยู่ในดิน แสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 พิกของแร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน BTC BRC และ BHC ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

Q = Quartz K = Kaolinite Mi = Microcline Mu = Muscovite Sa = Sanidine

จากผลการวิเคราะห์ในภาพที่ 4.3 พบว่าในทุกตัวอย่างดินมีแร่ที่เหมือนกันคือแร่ควอตซ์ (Quartz) มีสูตรทางเคมีคือ SiO_2 และแร่เคลอิไนท์ (Kaolinite) สูตรทางเคมี คือ $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$ ส่วนแร่ที่ต่างกันคือแร่ในกลุ่มของไมกาและเฟลด์สปาร์ ซึ่งในตัวอย่างดิน BTC จะพบอยู่ 2 ชนิด คือมัสโคไวต์ (Muscovite) มีสูตรทางเคมี คือ $\text{KAl}_2(\text{Al Si}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ และไมโครไคลน์ (Microcline) ซึ่งอยู่ในกลุ่มของเฟลด์สปาร์มีสูตรทางเคมีคือ KAlSi_3O_8 ซึ่งแร่ทั้งสองชนิดนี้จะมีโพแทสเซียมอยู่ในโครงสร้างผลึกและมีโครงสร้างผลึกแบบไตรคลินิก (Triclinic) เหมือนกัน ดิน BRC ไม่พบว่ามีแร่ในกลุ่มเฟลด์สปาร์ซึ่งน่าจะเกิดจากแร่กลุ่มนี้มีในปริมาณน้อย ส่วนในตัวอย่างดิน BHC จะพบแร่ซานิดีน (Sanidine) มีสูตรทางเคมี เช่นเดียวกับแร่ไมโครไคลน์ แต่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิก (Monoclinic) (Chris Pallant, 1992)

จากผลวิเคราะห์ทางเคมี (ตารางที่ 4.1) และผลวิเคราะห์ทางแร่ (ภาพที่ 4.3) สามารถนำไปคำนวณหาปริมาณของแร่ต่างๆ ที่มีในดินโดยประมาณ โดยใช้วิธีการคำนวณจากปริมาตร พีมพ์ข้าวขา (2539 : 105) ซึ่งวิธีคำนวณอยู่ในภาคผนวก ก และผลการคำนวณของดินแต่ละตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณร้อยละของแร่ที่ได้จากการคำนวณ

แร่	ตัวอย่างดิน		
	BTC	BRC	BHC
Quartz	28.43	52.02	34.36
Kaolinite	37.66	40.15	50.90
Muscovite	16.82	–	–
Microcline	14.67	4.70*	
Sanidine	–	–	11.97
Calcium oxide	0.26	0.43	0.20
Ferric oxide	1.42	1.30	1.98
Titanium dioxide	0.74	1.40	0.59
รวม	100.00	100.00	100.00

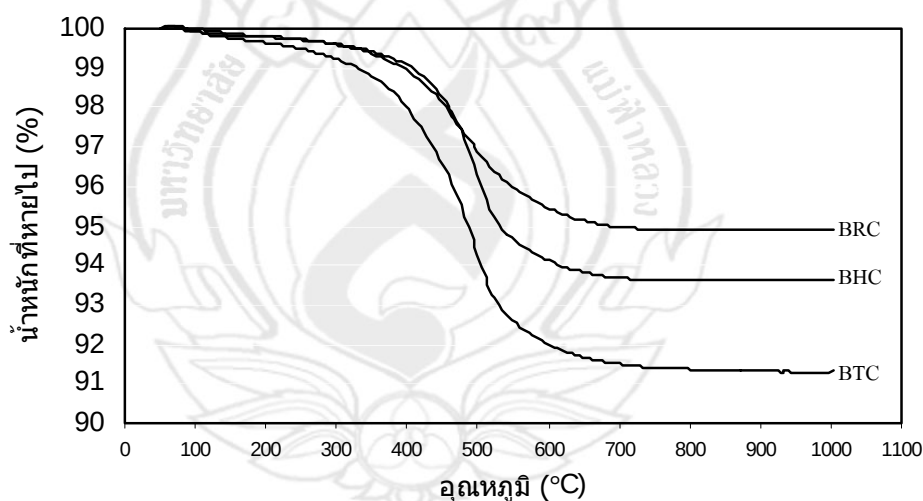
*หมายเหตุ: เนื่องจากในผลของ XRD ไม่พบแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอาจเนื่องมาจากปริมาณที่น้อยเกินไปแต่ผลวิเคราะห์ XRF พบว่ามีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ เพื่อเปรียบเทียบให้มีความชัดเจนมากขึ้นจึงใช้แร่ Microcline ในการคำนวณองค์ประกอบทางแร่

จากผลการคำนวณหาปริมาณของแร่ในดิน พบว่า ในตัวอย่างดิน BRC มีปริมาณของซิลิกาอิสระที่มากกว่าตัวอย่างดิน BHC และ BTC ซึ่งผลของปริมาณซิลิกาอิสระที่มีอยู่ในเนื้อดินจะอธิบายไว้ในผลการทดสอบทางกายภาพของดิน

4.2.3 การวิเคราะห์ทางความร้อน

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนโดยใช้เทคนิค เทอร์โมกราวิเมตริก อะนาไลซิส (Thermogravimetric Analysis : TGA) เพื่อศึกษาถึงน้ำหนักที่หายไปหลังการเผา (Loss on ignition :LOI) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อน ณ ช่วงอุณหภูมิต่างๆขณะทำการเผาโดยใช้เทคนิค สปอนเทเนียส ดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอลอะนาไลซิส (Spontaneous Differential Thermal Analysis : SDTA) และการหาสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Thermal expansion) ของเนื้อดินเมื่อทำการเผาด้วยเครื่องไดลาโตมิเตอร์ (Dilatometer) ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงในภาพที่ 4.4 - 4.6

1. ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA



ภาพที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์เชิงความร้อนของตัวอย่างดิน BTC BRC และ BHC

จากผลการวิเคราะห์เชิงความร้อนในภาพที่ 4.4 จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่หายไปของดินหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C เกิดขึ้นอยู่ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกจะเกิดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 100°C ถึง 200°C น่าจะเป็นการหายไปของน้ำหรือความชื้นที่อยู่ผิวหน้าหรือระหว่างอนุภาคของดิน ส่วนขั้นตอนที่ 2 จะเกิดในช่วงอุณหภูมิประมาณ 400°C ถึง 700°C น่าจะเป็นการหายไปของน้ำที่อยู่ในโครงสร้างผลึกของดินและอินทรีย์สารที่มีอยู่ในดิน จากน้ำหนักที่หายไปของทั้งสามตัวอย่างดิน พบว่า ตัวอย่างดิน BTC มีน้ำหนักหายไปหลังการเผา

มากที่สุดคือร้อยละ 8 รองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC ร้อยละ 4.79 และตัวอย่างดิน BRC ร้อยละ 3.92 ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SDTA

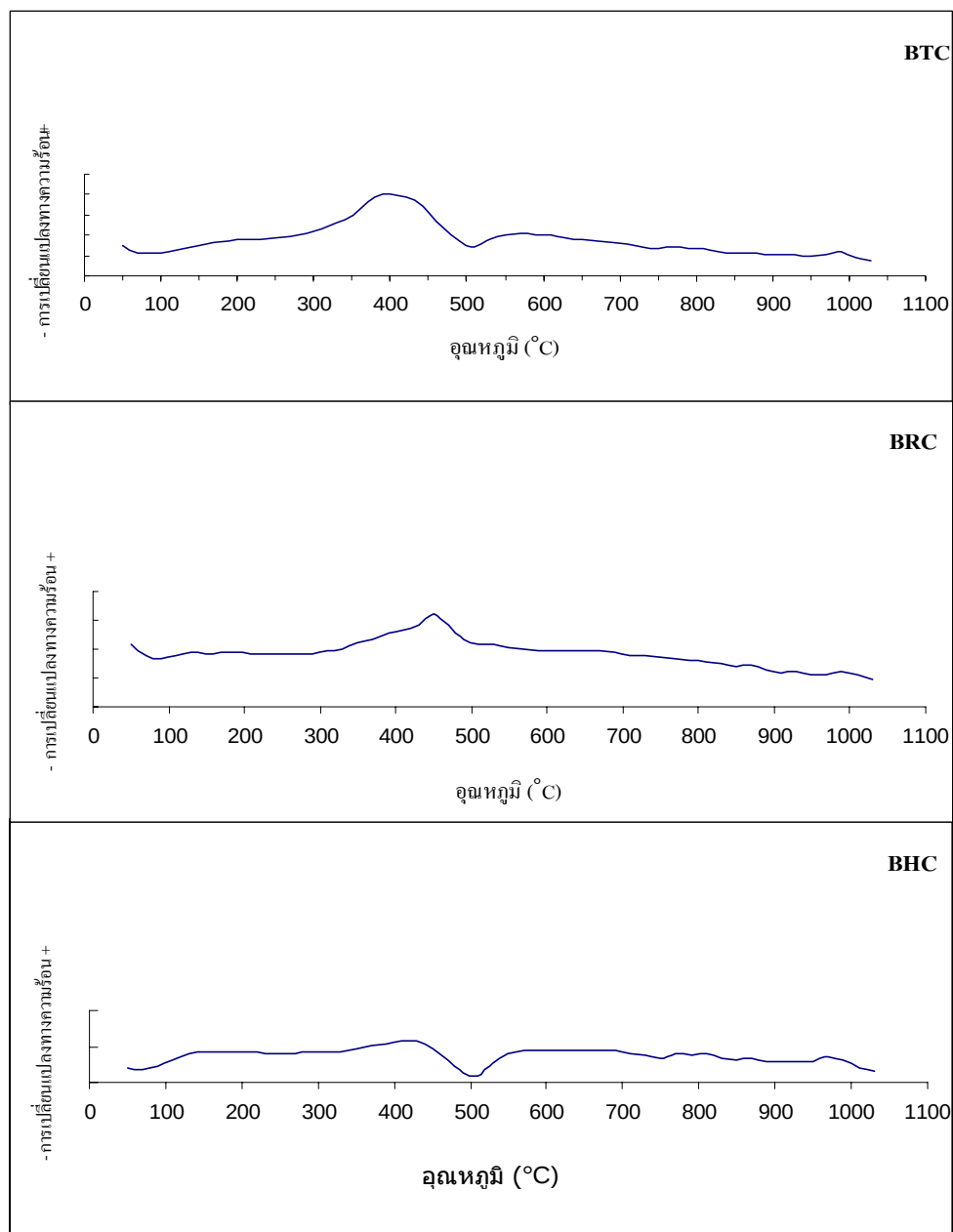
การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของดินหลังการเผาในแต่ละช่วง อุณหภูมิสามารถอธิบายจากผลของ SDTA (ภาพที่ 4.5) โดยใช้ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของดินจาก Lawrence (1972 : 50) ในการอ้างอิง ดังนี้

ในการทดลองจะเริ่มวัดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของตัวอย่างดินที่อุณหภูมิ 50 °C และสิ้นสุดที่ 1000°C

ตัวอย่างดิน BTC ที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 100°C ถึง 200°C กราฟจะแสดงการดูดพลังงาน เป็นการหายไปของน้ำที่อยู่ระหว่างอนุภาคหรือผิวของดิน ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 300°C ถึง 450°C กราฟจะแสดงการคายพลังงานออกมา การเปลี่ยนแปลงที่ช่วงอุณหภูมินี้ น่าจะเป็นการเผาไหม้ของพวกอินทรีย์สารที่มีอยู่ในดิน ซึ่งในตัวอย่างดินนี้จะได้กราฟที่แสดงลักษณะของการคายพลังงานได้ชัดเจนกว่าตัวอย่างดิน BRC และ BHC อาจเนื่องมาจากตัวอย่างดินนี้มีปริมาณของอินทรีย์สารที่มากก็เป็นได้ ที่อุณหภูมิ 450°C ถึง 550°C เป็นการสูญเสียน้ำที่อยู่ในโครงสร้างผลึกของดิน ทำให้โครงสร้างผลึกเปลี่ยนเป็นเมตะเคโอลิน กราฟจะแสดงการดูดพลังงาน เขียนเป็นปฏิกิริยาทางเคมี ดังสมการที่ 2.1(บทที่ 2) และที่อุณหภูมิ 980 °C จะเกิดการตกผลึกของสปิเนล (Spinel) กราฟจะแสดงการคายพลังงานออกมา ดังปฏิกิริยาทางเคมี ในสมการที่ 2.2 (บทที่ 2)

ในตัวอย่างดิน BRC ส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนในแต่ละช่วงอุณหภูมิจะมีลักษณะที่คล้ายกับตัวอย่างดิน BTC แต่มีบางช่วงที่มีความแตกต่างคือ ที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 450°C ถึง 550°C จะแสดงกราฟของการดูดพลังงานหรือกราฟที่แสดงการหายไปของน้ำที่อยู่ในโครงสร้างผลึกของดินที่ไม่ชัดเจน อาจเนื่องมาจากตัวอย่างดินนี้มีแร่ควอตซ์ผสมอยู่ในปริมาณที่มาก (ดูจากผลการวิเคราะห์ทางแร่ในหัวข้อที่ 4.2.2 และผลการคำนวณหาปริมาณซิลิกาอิสระในตารางที่ 4.3)

ในตัวอย่างดิน BHC การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนในแต่ละช่วงอุณหภูมิที่คล้ายกับตัวอย่างดิน BTC อาจจะมีแตกต่างบ้างในส่วนของการเปลี่ยนแปลงพลังงานในแต่ละช่วงอุณหภูมิ



ภาพที่ 4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของตัวอย่างดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SDTA

3. สัมประสิทธิ์การขยายตัว

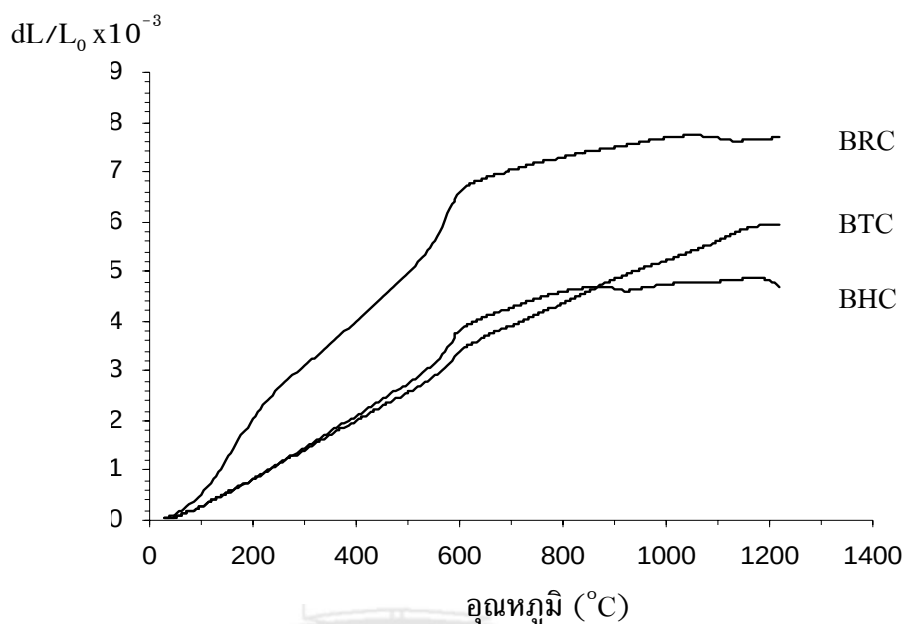
จากการศึกษาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อดินทั้งสามตัวอย่างเมื่อทำการเผาเนื้อดินจะมีการขยายตัว ซึ่งสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อดินทั้งสามตัวอย่าง (ดังภาพที่ 4.6) พบว่า ตัวอย่างดิน BTC และ BHC มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 200 ถึง 550°C ที่ใกล้เคียงกัน ส่วนตัวอย่างดิน BRC มีการขยายตัวที่มากกว่า และในช่วงอุณหภูมิ

ประมาณ 620°C ถึง 1000°C ตัวอย่างดิน BTC ยังมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่วนตัวอย่างดิน BHC และ BRC เริ่มหยุดการขยายตัว ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อดินทั้งสามตัวอย่างแตกต่างกัน อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สัดส่วนของผลึกและแก้วในเนื้อดินหรือปริมาณของตัวช่วยหลอมละลายในเนื้อดิน อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา จึงทำให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวต่างกันด้วย (Lawrance, 1972)

จากการหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อดินตามมาตรฐาน ASTM C 372-94 ในช่วงอุณหภูมิ 25-650°C (ในตารางที่ 4.3) พบว่าตัวอย่างดิน BRC จะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเท่ากับ 11×10^{-6} mm/mm°C ที่สูงกว่าตัวอย่างดิน BTC และ BHC อาจเนื่องมาจากในตัวอย่างดิน BRC มีปริมาณของซิลิกาหรือควอตซ์อยู่ในปริมาณที่มากกว่าแต่มีตัวช่วยหลอมในเนื้อดินน้อย (จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในหัวข้อ 4.1.1 และจากการคำนวณหาปริมาณแร่ในหัวข้อที่ 4.2.2) เมื่อเทียบกับตัวอย่างดิน BTC และ BHC ซึ่งซิลิกาหรือควอตซ์จะเป็นตัวที่เพิ่มสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อดินเนื่องจากการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกอยู่หลายช่วงอุณหภูมิในการเผา เช่น การเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากแอลฟาควอตซ์ (α - Quartz) เป็นเบต้าควอตซ์ (β - Quartz) ที่อุณหภูมิ 573°C และค่อยๆ เปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากเบต้าควอตซ์เป็นคริสโตบาไลต์ (Cristobalite) ที่อุณหภูมิ 1200°C ขึ้นไป จึงส่งผลให้เนื้อดินมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่มากขึ้น ส่วนในตัวอย่างดิน BTC และ BHC มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ใกล้เคียงกัน อาจเนื่องจากมีปริมาณของตัวหลอมละลายหรือตัวที่เป็นแก้วและปริมาณของซิลิกาที่ใกล้เคียงกัน (จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในหัวข้อ 4.2.1) ซึ่งปริมาณของตัวหลอมละลายถ้ามีมากเกินไปก็จะส่งผลให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวมากขึ้น แต่ถ้าตัวหลอมละลายมีในสัดส่วนที่เหมาะสมกับปริมาณของผลึกหรือซิลิกาในเนื้อดินจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำลงด้วย (Lawrance, 1972)

ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์การขยายตัวของเนื้อดิน

ตัวอย่างดิน	สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน
	วัดช่วงอุณหภูมิ 25-650°C ($\times 10^{-6}$ mm/mm°C)
BTC	5.8
BRC	11
BHC	6.6



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงการขยายตัวของเนื้อดินเมื่อเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

4.3 การทดสอบทางกายภาพ

4.3.1 การทดสอบความเหนียว

ผลการทดสอบความเหนียวโดยการใช้น้ำเป็นตัวทำให้เกิดความเหนียวแล้วเปรียบเทียบกับการรันทัวของเส้นดินที่ม้วนเป็นวงกลมที่ผ่านการรีดด้วยเครื่องรีดดิน มีความกว้างและความยาวเท่ากันทุกเส้น ซึ่งในการทดลองจะแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนที่หนึ่งเป็นการทดลองใช้น้ำผสมแบบกว้างๆ และขั้นตอนที่สองเป็นการทดลองโดยเพิ่มช่วงความถี่ของน้ำที่ใช้ผสมให้มากขึ้น และรีดออกมาเป็นเส้นพร้อมทำการม้วนเพื่อดูการรันทัวของดิน

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของการใช้น้ำเป็นส่วนผสมของดินแบบกว้าง ๆ

ชื่อวัตถุดิบ	ตัวอย่างที่	ร้อยละของน้ำที่ใช้ผสม	ผลการทดลอง
BTC	1	20	ดินยังเป็นผงไม่เกาะกัน
	2	25	ดินเริ่มมีความเหนียวแต่แข็ง
	3	30	ดินมีความเหนียวดี เนื้อดินนึ่ม
	4	35	ดินเหลวและปั้นไม่เป็นก้อน
BRC	1	15	ดินยังเป็นผงไม่เกาะกัน
	2	20	ดินเริ่มมีความเหนียวแต่แข็ง
	3	25	ดินมีความเหนียวดี เนื้อดินนึ่ม
	4	30	ดินเหลวและปั้นไม่เป็นก้อน
BHC	1	20	ดินเริ่มมีความเหนียวแต่แข็ง
	2	25	ดินมีความเหนียวดี เนื้อดินนึ่ม
	3	30	ดินเหลวและปั้นไม่เป็นก้อน

เมื่อทราบถึงปริมาณการใช้น้ำแบบกว้าง ๆ แล้วทำการเพิ่มความถี่ของการให้น้ำให้มีช่วงความถี่มากยิ่งขึ้นดังแสดงผลในตารางที่ 4.5 พร้อมกับนำดินที่เพิ่มช่วงความถี่นั้นมาทำการรีดด้วยเครื่องรีดดินที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 ซม. ยาว 6 ซม. จากนั้นทำการม้วนปลายเส้นดินทั้งสองข้างเข้าหากันเป็นวงกลมทำตัวอย่างละ 5 ชิ้น แล้วดูการรานและไม่รานของเส้นดินนั้น ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ร้อยละของการใช้น้ำที่เพิ่มช่วงความถี่มากขึ้นและผลของการม้วนเส้นดินเป็นรูปวงกลม

ชื่อวัตถุดิบ	ตัวอย่าง	ร้อยละโดยมวลของน้ำที่ใช้	ผลการทดลอง
BTC	1	24	เส้นดินจะขาดไม่สามารถโค้งเป็นรูปวงกลมได้
	2	26	โค้งเป็นรูปวงกลมได้และมีการรานมาก
	3	28	โค้งเป็นรูปวงกลมได้มีการรานน้อย
	4	30	โค้งเป็นรูปวงกลมได้ไม่ราน
	5	32	โค้งเป็นรูปวงกลมได้แต่ดินนิ่มและแฉะเกินไป
BRC	1	20	เส้นดินจะขาดไม่สามารถโค้งเป็นรูปวงกลมได้
	2	22	โค้งเป็นรูปวงกลมได้แต่มีการรานมาก
	3	24	โค้งเป็นรูปวงกลมได้ไม่มีการราน
BHC	1	22	โค้งเป็นรูปวงกลมได้และมีการรานมาก
	2	24	โค้งเป็นรูปวงกลมได้และมีการรานมาก
	3	26	โค้งเป็นรูปวงกลมได้และมีการรานเล็กน้อย
	4	28	โค้งเป็นรูปวงกลมได้ไม่มีการรานแต่ดินแฉะ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ดินในแต่ละแหล่งจะมีช่วงของการใช้น้ำเพื่อเพิ่มความเหนียวอยู่ในช่วงที่ต่างกันและเห็นได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อเพิ่มช่วงความถี่ของปริมาณน้ำที่ใช้มากขึ้น และเมื่อทำการรีดออกมาเป็นเส้นแล้วทำการม้วนดินเป็นรูปวงกลม พบว่า

ดิน BTC ใช้น้ำร้อยละ 30 ดินมีความเหนียวดีสามารถม้วนเป็นรูปวงกลมได้โดยไม่มีการแตกร้าวแต่ถ้าเพิ่มน้ำเป็นร้อยละ 32 ดินจะแฉะและดินที่ผ่านการรีดจะขาดเป็นท่อนๆ

ดิน BRC ใช้น้ำร้อยละ 24 ดินมีความเหนียวดีม้วนเป็นเส้นแล้วไม่มีการแตกร้าว แต่เมื่อเพิ่มน้ำเป็นร้อยละ 26 เนื้อดินจะเหลวและแฉะไม่สามารถรีดออกมาเป็นเส้นได้

ดิน BHC ใช้น้ำร้อยละ 26 ดินมีความเหนียวดีมีการแตกร้าวเล็กน้อยแต่เมื่อเพิ่มปริมาณการใช้น้ำเป็นร้อยละ 28 ดินที่ได้จะแฉะเมื่อทำการรีดและเส้นที่ได้จะขาดเป็นท่อนๆ ซึ่งลักษณะของการรานหลังการม้วนเป็นเส้น แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ภาพการรานตัวของเส้นดินหลังการม้วนดินเป็นวงกลมและร้อยละโดยมวลของการใช้น้ำ

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณร้อยละโดยมวลของน้ำที่ใช้
BTC	 24 26 28 30 32
BRC	 20 22 24
BHC	 22 24 26 28

จากผลการทดลองสามารถสรุปถึงช่วงปริมาณการใช้น้ำที่ช่วยให้เกิดความเหนียว และใช้เป็นส่วนผสมจริงในการเตรียมชั้นทดลองเพื่อใช้วัดการทดสอบทางกายภาพ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สรุปผลของการทดสอบความเหนียวของดินโดยการใช้น้ำเป็นส่วนผสม

ตัวอย่างดิน	ร้อยละของช่วงการใช้น้ำ	ร้อยละของน้ำที่นำไปใช้จริง
BTC	26-32	30
BRC	22-24	24
BHC	26-28	26

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่า ผลของการใช้น้ำเพื่อเพิ่มความเหนียวของตัวอย่างดินจะใช้ในปริมาณที่ต่างกัน ตัวอย่างดิน BTC จะใช้น้ำมากที่สุดและช่วงของการใช้น้ำจะกว้างคืออยู่ในช่วงร้อยละ 26-32 รองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC ร้อยละ 26-28 และตัวอย่างดิน BRC ร้อยละ 22-24 ตามลำดับ การใช้น้ำเพื่อเพิ่มความเหนียวในปริมาณที่ต่างกันอาจเนื่องมาจากในดินมีส่วนประกอบที่ต่างกัน เช่น ปริมาณซิลิกาอิสระที่อยู่ในดิน หากมีในปริมาณที่มากจะทำให้ปริมาณการใช้น้ำเพื่อเพิ่มความเหนียวน้อย ดังผลการคำนวณหาปริมาณซิลิกาอิสระจากผลวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างดินในหัวข้อ 4.2.2 พบว่า ตัวอย่างดิน BRC มีปริมาณซิลิกาอิสระมากที่สุดคือร้อยละ 53 และเมื่อนำมาทดสอบความเหนียว พบว่า ปริมาณการใช้น้ำเพื่อให้เกิดความเหนียวน้อยที่สุด อาจเนื่องมาจากซิลิกาอิสระที่ว่าเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีความเหนียวหากมีในปริมาณมากก็将会ทำให้ความเหนียวลดลง ดังนั้นในงานเครื่องปั้นดินเผาการเติมซิลิกาอิสระในเนื้อดินจึงใช้เพื่อเป็นตัวช่วยลดความเหนียวและลดการหดตัวของเนื้อดิน (Ryan, 1978 p.73)

4.3.2 การหาขนาดอนุภาคของดิน

ผลการหาค่าความละเอียดของดิน ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและการกรองด้วยตะแกรงที่มีความละเอียดต่างกัน ซึ่งจะใช้ผลการทดลองทั้งสองวิธีเปรียบเทียบกัน ดังนี้

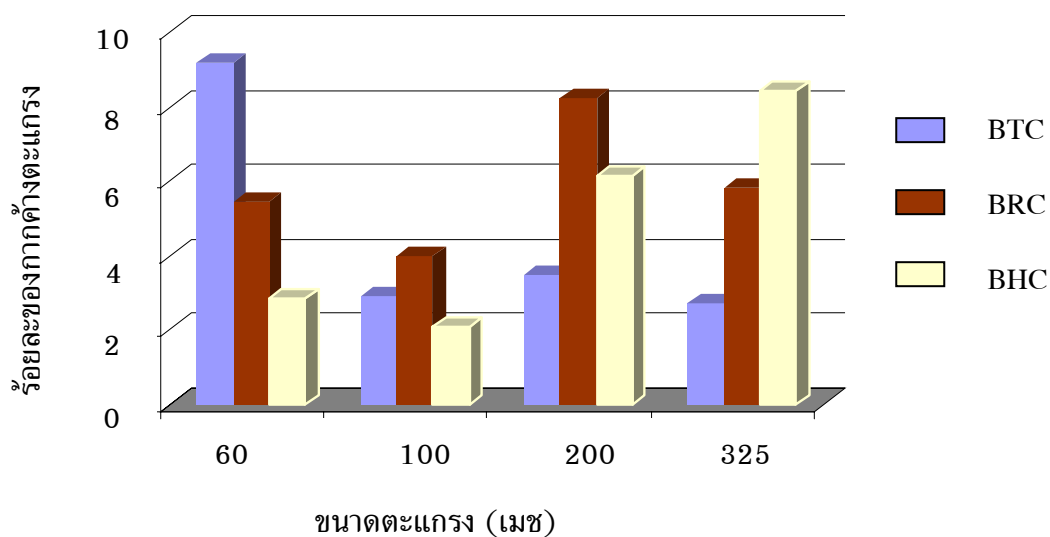
1. การกรองด้วยตะแกรง

เป็นการหาขนาดอนุภาคของดินแบบง่าย ๆ โดยการกรองผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ ด้วยวิธีกวนผสมแบบเปียกคิดเป็นน้ำหนักของน้ำต่อดินในสัดส่วน 3 ต่อ 1 โดยมวล ผลของการทดสอบจะบอกถึงปริมาณของอนุภาคหรือกากค้างตะแกรงและปริมาณของอนุภาคดินที่ผ่านตะแกรง ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และกราฟแสดงปริมาณของกากค้างตะแกรงในภาพที่ 4.3 ส่วนการแปลงขนาดของเมชเป็นหน่วยไมครอนแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกากค้ำตะแกรงของดินโดยวิธีกวนน้ำดินกรองผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

ตัวอย่างดิน	ขนาดตะแกรง (เมช)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	กากค้ำตะแกรง (กรัม)
BTC	60	100	9.17
	100		2.90
	200		3.50
	325		2.74
	ผลรวมของอนุภาคดินที่ค้ำตะแกรง		18.31
ร้อยละของอนุภาคดินที่ล้างได้		81.69	
BRC	60	100	5.46
	100		3.96
	200		8.25
	325		5.82
	ผลรวมของอนุภาคดินที่ค้ำตะแกรง		23.49
ร้อยละของอนุภาคดินที่ล้างได้		76.51	
BHC	60	100	2.87
	100		2.07
	200		6.14
	325		8.41
	ผลรวมของอนุภาคดินที่ค้ำตะแกรง		19.49
ร้อยละของอนุภาคดินที่ล้างได้		80.51	

จากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างดิน BTC มีผลรวมของอนุภาคดินที่ผ่านตะแกรงมากที่สุดคือร้อยละ 81.69 รองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC ร้อยละ 80.51 และตัวอย่างดิน BRC ร้อยละ 76.51 ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามหากอนุภาคของดินที่ค้ำตะแกรงมากย่อมมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าอนุภาคของดินที่ค้ำตะแกรงน้อยๆ ปริมาณกากค้ำตะแกรงซึ่งมีความละเอียดต่างๆแสดงในรูปของกราฟแท่งในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงปริมาณกากค้ำตะแกรง

จากภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างดิน BTC มีปริมาณของกากค้ำตะแกรงขนาด 60 เมช มากที่สุด ซึ่งเมื่อนำกากค้ำตะแกรงนี้ไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงพบว่า มีขนาดประมาณ 250 ไมครอน ถึง 500 ไมครอน กากที่ค้ำตะแกรงของตัวอย่างดินนี้น่าจะเป็นทรายหรือซิลิกาอิสระที่มีอยู่ในเนื้อดินเนื่องจากเมื่อนำกากที่ค้ำตะแกรงนี้ไปวิเคราะห์หองค์ประกอบของธาตุ พบว่ามีธาตุประกอบของซิลิกาในปริมาณที่มากกว่ากากดินที่ผ่านตะแกรงขนาดอื่นๆ ส่วนที่ตะแกรงขนาด 100 เมช ถึง 325 เมช พบว่า ปริมาณกากค้ำตะแกรงน้อยมาก เมื่อเทียบกับตัวอย่างดิน BRC และ BHC

ในตัวอย่างดิน BRC จะมีปริมาณกากค้ำตะแกรงมากที่สุดที่ตะแกรงขนาด 100 เมช และ 200 เมช แสดงว่าตัวอย่างดินนี้มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า 75 ไมครอน ถึง 150 ไมครอน อยู่ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างดิน BTC และตัวอย่างดิน BHC

ส่วนตัวอย่างดิน BHC พบว่ามีปริมาณกากค้ำตะแกรงขนาด 325 เมช มากที่สุด แสดงว่าตัวอย่างดินนี้มีขนาดอนุภาคประมาณ 44 ไมครอน ถึง 75 ไมครอน ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างดิน BTC และ BRC

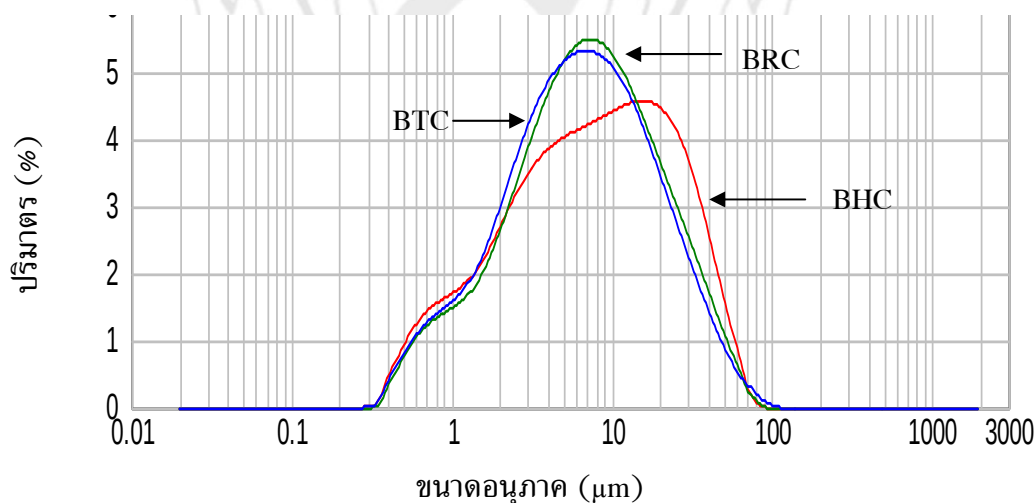
2. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Mastersizer) รุ่น 2000 จะวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่กรองผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช ผลวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.8 และกราฟแสดงการกระจายตัวของอนุภาคในภาพที่ 4.8

ตารางที่ 4.9 ผลขนาดอนุภาคของดินที่ได้จากการวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

ตัวอย่างดิน	ร้อยละ 10	ร้อยละ 50	ร้อยละ 90	อนุภาคเฉลี่ย D(4,3)
BTC	<1.34 μm	6.14 μm	<24.24 μm	10.11 μm
BRC	<1.42 μm	6.90 μm	<26.75 μm	11.07 μm
BHC	<1.24 μm	7.81 μm	<32.04 μm	12.81 μm

จากตารางที่ 4.9 พบว่าขนาดอนุภาคของดินที่ได้มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน ตัวอย่างดิน BTC มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กที่สุดประมาณ 10 ไมครอน ตัวอย่างดิน BRC มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 11 ไมครอน และตัวอย่างดิน BHC มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่ที่สุดประมาณ 13 ไมครอน



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงการกระจายตัวของอนุภาคของดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

จากการทดสอบหาขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินทั้งสองวิธีสามารถสรุปได้ว่า ตัวอย่างดิน BTC มีขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคอยู่ 2 ลักษณะคือ อนุภาคที่หยาบมากดูได้จากปริมาณกากค้างตะแกรงขนาด 60 เมช (ตารางที่ 4.8) พบว่ามีกากค้างตะแกรงขนาด 60 เมช อยู่ร้อยละ 9.17 ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่าตัวอย่างดินอื่นๆ และขนาดอนุภาคที่ละเอียดมากดูได้จากค่าเฉลี่ยของอนุภาคดินที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องเฉลี่ยประมาณ 10 ไมครอน (ในตารางที่ 4.9)

ตัวอย่างดิน BRC มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับตัวอย่างดิน BTC และ BHC ดูจากผลรวมของอนุภาคดินที่ค้างตะแกรง (ตารางที่ 4.8) พบว่า มีปริมาณที่มากกว่าตัวอย่างดินอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 23.49 และเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคที่กรองผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช (ในตารางที่ 4.9) พบว่ามีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าตัวอย่างดิน BTC มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 11 ไมครอน การกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

ตัวอย่างดิน BHC มีขนาดอนุภาคปานกลางดูจากร้อยละของอนุภาคดินที่ล้างได้ (ตารางที่ 4.8) พบว่ามีผลรวมของอนุภาคดินที่ค้างตะแกรงใกล้เคียงกันกับตัวอย่างดิน BTC คิดเป็นร้อยละ 19.49 และเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค พบว่า มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าตัวอย่างดิน BTC ซึ่งมีอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 13 ไมครอน (ในตารางที่ 4.9)

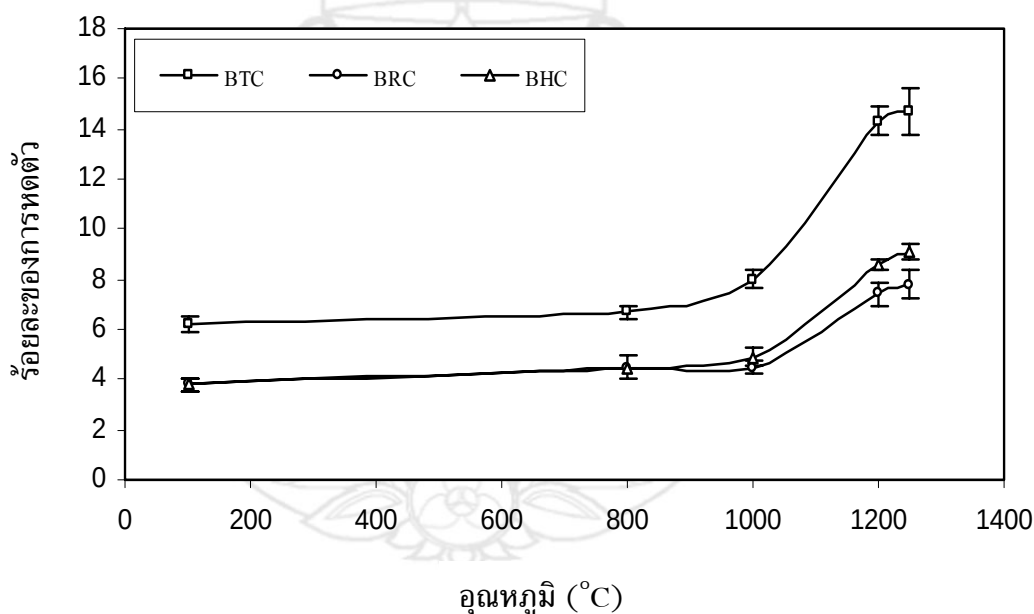
4.3.3 การทดสอบการหดตัว

การทดสอบการหดตัวจะวัดจากการหดตัวตามความยาว ซึ่งในการวัดจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การหดตัวเมื่อแห้งหรือก่อนเผาและการหดตัวหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.10 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับการหดตัวแสดงอยู่ในภาพที่ 4.9

ตารางที่ 4.10 ค่าการหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผา

ตัวอย่าง ดิน	ร้อยละของการหดตัว				
	หลังอบแห้ง	หลังเผา (°C)			
		800	1000	1200	1250
BTC	6.20 ±0.27	6.70 ±0.27	8.00 ±0.35	14.30 ±0.57	14.70 ±0.97
BRC	3.80 ±0.27	4.40 ±0.42	4.50 ±0.35	7.40 ±0.22	7.80 ±0.27
BHC	3.80 ±0.27	4.50 ±0.00	4.90 ±0.22	8.60 ±0.42	9.10 ±0.55

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่าค่าความหดตัวของตัวอย่างดิน BTC จะมีค่าการหดตัวมากกว่าตัวอย่างดิน BRC และ BHC ทั้งก่อนเผาและหลังเผา การหดตัวของเนื้อดินจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การหดตัวหลังอบแห้งและหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800°C (ดังภาพที่ 4.9) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันมากนักเนื่องจากการเปลี่ยนโครงสร้างของดินหลังอบแห้งและหลังเผาที่อุณหภูมิดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่ใช้ในการเพิ่มความเหนียวและน้ำที่อยู่ในโครงสร้างผลึกเท่านั้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้ดูได้จากผล SDTA (ภาพที่ 4.5) น้ำที่ใช้เพื่อให้เกิดความเหนียวจะหมดไปที่อุณหภูมิ 100°C ถึง 200°C ส่วนน้ำที่อยู่ในโครงสร้างผลึกจะหมดไปที่อุณหภูมิ 450 ถึง 550°C ในตัวอย่างดิน BTC ใช้น้ำเพื่อให้เกิดความเหนียวมากที่สุดหรือร้อยละ 30 (ตารางที่ 4.5) จึงทำให้การหดตัวมากขึ้นด้วย ส่วนการหดตัวของเนื้อดินที่อุณหภูมิ 1200°C ถึง 1250°C อาจเนื่องมาจากการฉีกตัวของเนื้อดินแน่นมากขึ้น (Sintering) ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลงจึงเกิดการหดตัวมากขึ้น (Norton, 1973 : 140) ดังแสดงในภาพที่ 4.14-4.16 ของเนื้อดินหลังการเผาซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับความพรุนตัวจะให้ผลผกผันกัน ดังผลการทดสอบความพรุนตัวในหัวข้อที่ 4.3.4



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงร้อยละการหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

4.3.4 การทดสอบความพรุนตัว

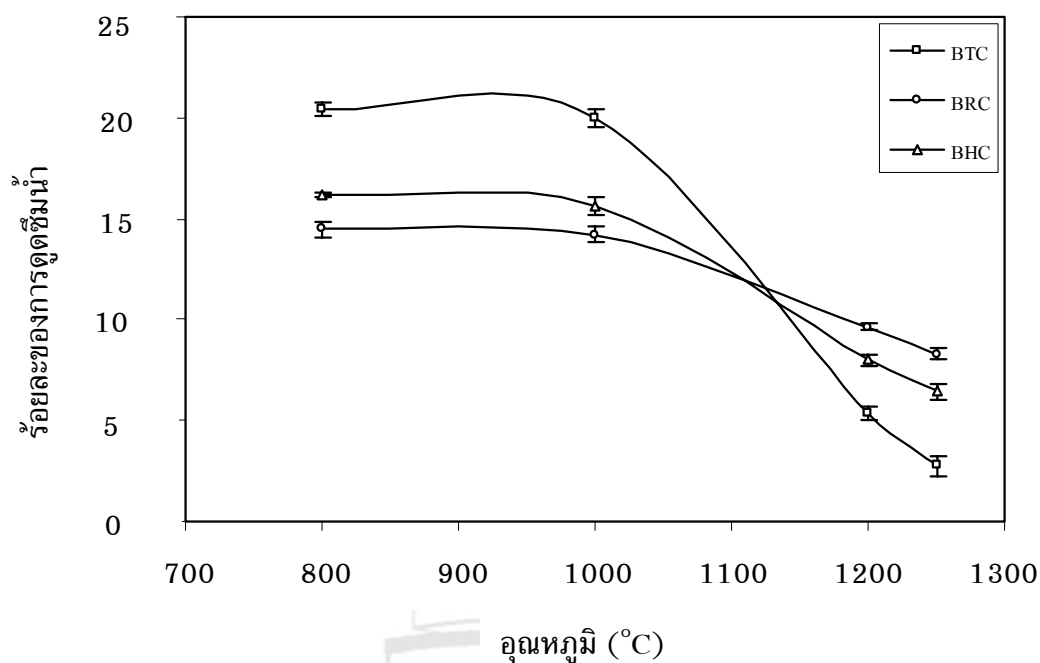
ความพรุนตัวของเนื้อดินวัดจากร้อยละของน้ำที่แท่งทดสอบดูดซับไว้ ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำแสดงในตารางที่ 4.11 ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซึมน้ำแสดงในภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.11 ค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังการเผา

ตัวอย่างดิน	ร้อยละการดูดซึมน้ำ			
	800°C	1000°C	1200°C	1250°C
BTC	20.36 ±0.33	20.23 ±0.43	5.40 ±0.33	2.80 ±0.49
BRC	14.18 ±0.36	14.49 ±0.42	9.63 ±0.14	8.29 ±0.30
BHC	16.18 ±0.11	15.65 ±0.44	7.98 ±0.32	6.45 ±0.39

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาสูงขึ้นค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลง ที่อุณหภูมิ 800°C ถึง อุณหภูมิ 1000°C ค่าการดูดซึมน้ำของแต่ละตัวอย่างดินไม่มีความแตกต่างกันมากนัก อาจเนื่องมาจากในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว อิทธิพลของความร้อนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของดินมากนัก ดูได้จากผลของ SDTA (ภาพที่ 4.5) ซึ่งความพรุนตัวที่เกิดขึ้นน่าจะมาจากการหายไปของน้ำในโครงสร้างของดินและการหายไปของอินทรีย์สารในดิน หากเปรียบเทียบถึงการดูดซึมน้ำของตัวอย่างดินทั้งสามที่อุณหภูมิ 800°C ถึง 1000°C พบว่า ตัวอย่างดิน BTC มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด คือประมาณร้อยละ 20 รองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC ประมาณร้อยละ 16 และตัวอย่างดิน BRC ประมาณร้อยละ 14 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ TGA (ภาพที่ 4.5) ที่แสดงผลของน้ำหนักที่หายไปหลังการเผาของตัวอย่างดิน กล่าวคือตัวอย่างดิน BTC มีน้ำหนักหายไปมากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC และ BRC ตามลำดับ

ที่อุณหภูมิ 1200°C ถึง 1250°C ค่าการดูดซึมน้ำจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในภาพที่ 4.10 ตัวอย่างดิน BTC จะมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดคือประมาณร้อยละ 2 ถึง 5 ส่วนตัวอย่างดิน BHC และดิน BRC ยังมีการดูดซึมน้ำที่สูงคือประมาณร้อยละ 6 ถึง 9 ซึ่งผลที่ได้จะตรงกันข้ามกับค่าการดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิ 800°C และ 1000°C อาจจะเป็นเนื่องจากที่อุณหภูมิ 1200°C ถึง 1250°C เกิดการหลอมละลายของเนื้อดินเปลี่ยนเป็นแก้วและมัลไลต์มากขึ้นทำให้ช่องว่างหรือรูพรุนลดลง ความสามารถในการดูดซึมน้ำจึงลดลงด้วย (Norton, 1973 : 140) ซึ่งการเกิดในลักษณะดังกล่าวดูได้จากภาพถ่าย SEM แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.4 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาค



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงร้อยละการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

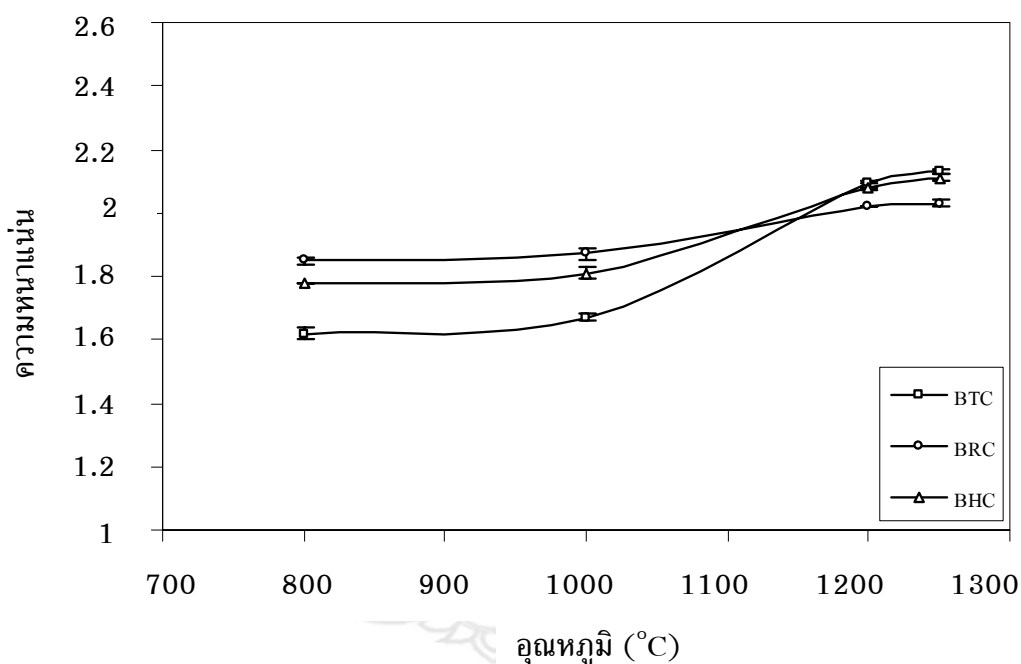
4.3.5 การทดสอบความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่นของเนื้อดินเป็นการทดสอบหาความหนาแน่นมวล (Bulk density) ซึ่งผลความหนาแน่นแสดงในตารางที่ 4.12 และกราฟแสดงความหนาแน่นแสดงในภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.12 ค่าความหนาแน่นของเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวอย่างดิน	ความหนาแน่น			
	800°C	1000°C	1200°C	1250°C
BTC	1.62 ±0.02	1.67 ±0.01	2.09 ±0.01	2.13 ±0.01
BRC	1.86 ±0.01	1.86 ±0.02	2.02 ±0.00	2.03 ±0.01
BHC	1.78 ±0.00	1.81 ±0.44	2.08 ±0.02	2.11 ±0.01

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นว่าความหนาแน่นของเนื้อดินทั้ง 3 ตัวอย่าง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนาแน่นก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ที่อุณหภูมิ 800°C ถึง 1000°C ตัวอย่างดิน BRC และ BHC จะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าตัวอย่างดิน BTC แต่ที่อุณหภูมิ 1250°C ตัวอย่างดิน BTC และ BHC จะมีค่าความหนาแน่นที่มากกว่าดิน BRC (ภาพที่ 4.11) ซึ่งผลของความหนาแน่นจะสัมพันธ์กับค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดิน กล่าวคือ เนื้อดินที่มีความหนาแน่นมากจะมีค่าการดูดซึมน้ำน้อย และในเนื้อดินที่มีความหนาแน่นน้อยจะมีค่าการดูดซึมน้ำมาก ซึ่งค่าความหนาแน่นของตัวอย่างดินเดียวกันที่อุณหภูมิ 1200°C และ 1250°C มีความแตกต่างกันน้อยมาก อาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิดังกล่าวเนื้อดินเริ่มหลอมตัวเป็นแก้วและมีมวลโลต์เกิดขึ้นช่องว่างหรือรูพรุนจะลดลงทำให้มีความหนาแน่นมากขึ้น (Norton, 1973 : 140) ซึ่งการเกิดในลักษณะดังกล่าวดูได้จากภาพถ่าย SEM ภาพที่ 4.14 ในหัวข้อที่ 4.4 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาค



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความหนาแน่นของเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

4.3.6 การทดสอบความทนไฟ

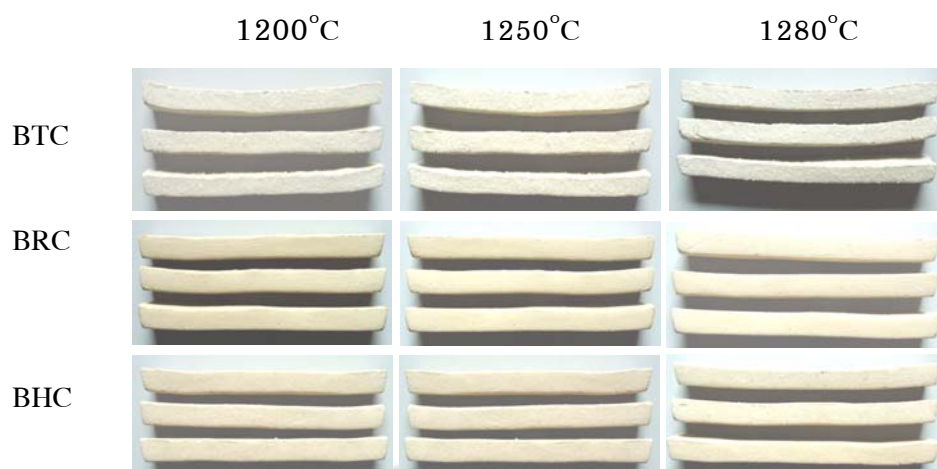
ผลของความทนไฟของเนื้อดินดูได้จากค่าความโค้งงอของเนื้อดินหลังทำการเผา เนื้อดินที่มีช่วงของการเผายาวเมื่อสุกตัวแล้วค่าความโค้งงอจะน้อย ค่าความโค้งงอแสดงในตารางที่ 4.13 และการโค้งงอของชิ้นทดลองหลังเผาแสดงในภาพที่ 4.12

ตารางที่ 4.13 ค่าความโค้งงอของเนื้อดินหลังเผา

ตัวอย่างดิน	ค่าความโค้งงอ (มิลลิเมตร)		
	1200°C	1250°C	1280°C
BTC	0.33 ±0.29	3.33 ±0.58	3.50 ±1.00
BRC	0.00 ±0.00	0.00 ±0.00	1.33 ±0.29
BHC	0.00 ±0.00	1.33 ±0.29	2.33 ±0.58

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นว่าค่าความโค้งงอของเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 °C ตัวอย่างดิน BTC เริ่มมีการโค้งงอเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างดิน BRC และ BHC ยังไม่มีการโค้งงอ (ภาพที่ 4.13) ค่าความโค้งงอของตัวอย่างดินมีค่ามากขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ตัวอย่างดิน BHC เริ่มมีการโค้งงอเล็กน้อย และพบว่าที่ผิวด้านนอกของตัวอย่างดิน BTC และ BHC จะมีตุ่มเล็กๆผุดออกมาจากเนื้อดินพบในตัวอย่างดิน BTC มากกว่าตัวอย่างดิน BHC ซึ่งตำหนิหรือตุ่มเล็กๆที่เกิดขึ้นนี้ หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1280°C ยังคงพบตุ่มเล็กๆเหมือนเดิม แต่ในตัวอย่างดิน BRC ไม่พบตำหนิในลักษณะดังกล่าว อีกทั้งค่าความโค้งงอของแท่งดินก็มีค่าที่ต่ำกว่าตัวอย่างดิน BTC และ BHC ซึ่งสาเหตุของตำหนิจะอธิบายในส่วนของการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาค ในหัวข้อที่ 4.4

ผลของค่าความโค้งงอที่ได้แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างดิน BRC มีความทนไฟมากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC และ BTC ความทนไฟของเนื้อดินน่าจะมาจากปริมาณของซิลิกาอิสระที่ผสมอยู่ในเนื้อดินในปริมาณมากและมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ (Grimshaw, 1971 : 273) ซึ่งจากผลวิเคราะห์ทางเคมีและการคำนวณหาปริมาณซิลิกาอิสระในเนื้อดินพบว่าตัวอย่างดิน BRC มีปริมาณของซิลิกาอิสระมากที่สุด และมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่เห็นได้จากปริมาณร้อยละของกากค้างตะแกรง (ในหัวข้อที่ 4.3.2 1) ที่มากกว่าตัวอย่างดิน BTC และ BHC ร้อยละ 23.49 จึงทำให้มีความทนไฟที่มากกว่า และนอกจากนี้ ความทนไฟของเนื้อดินจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่เป็นตัวช่วยหลอมละลายในเนื้อดิน ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ไมกา และอัลคาไลชนิดอื่นๆ หากมีตัวช่วยหลอมละลายที่มากจะทำให้ความทนไฟหรืออุณหภูมิในการเผาต่ำ (Grimshaw, 1971 : 274) ซึ่งในตัวอย่างดิน BRC พบว่า มีวัตถุดิบที่เป็นตัวช่วยหลอมที่ต่ำกว่าตัวอย่างดิน BTC และ BHC จึงน่าจะเป็นเหตุผลที่ทำให้ตัวอย่างดิน BRC มีความทนไฟที่สูงกว่าตัวอย่างดินอื่น



ภาพที่ 4.12 การโค้งงอของดินหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

4.3.7 การทดสอบความแข็งแรง

ผลการวัดความต้านทานต่อแรงดัด (Bending strength) ของแท่งทดสอบซึ่งผ่านการอบแห้งและการเผาแสดงในตารางที่ 4.14

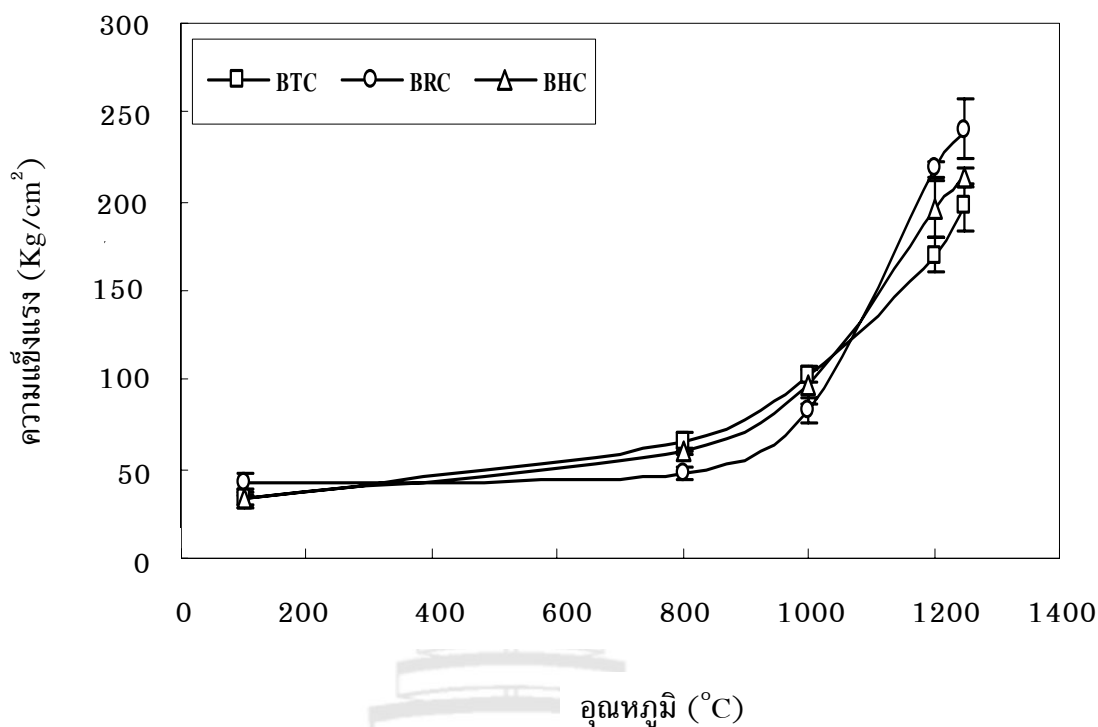
ตารางที่ 4.14 ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

ตัวอย่างดิน	ค่าความแข็งแรง (Kg/cm^2)				
	หลังอบแห้ง	หลังเผา ($^{\circ}\text{C}$)			
		800	1000	1200	1250
BTC	32.70 ± 2.68	65.67 ± 5.74	103.02 ± 4.92	170.16 ± 10.04	196.96 ± 13.33
BRC	42.61 ± 4.90	47.42 ± 3.31	82.96 ± 6.31	218.70 ± 4.30	240.56 ± 16.60
BHC	33.37 ± 5.94	60.83 ± 1.75	96.49 ± 9.15	196.89 ± 16.18	213.48 ± 5.86

ผลการทดสอบความแข็งแรงของเนื้อดินจากตารางที่ 4.14 จะเห็นว่าความแข็งแรงของตัวอย่างดินมีความแตกต่างกันทั้งหลังอบแห้งและหลังเผา ซึ่งความแข็งแรงของเนื้อดินจะขึ้นอยู่กับชนิดหรือองค์ประกอบของดิน สมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบ วิธีการเตรียมวัตถุดิบ วิธีการขึ้นรูป และเงื่อนไขของการทำให้แห้งและการเผา (Grimshaw, 1971 : 871)

ตัวอย่างดินหลังอบแห้ง ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินไม่แตกต่างกันมากนัก ในตัวอย่างดิน BTC มีความแข็งแรงน้อยที่สุด อาจเนื่องมาจากตัวอย่างดินนี้มีปริมาณของทรายหรือซิลิกาอิสระที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ผสมอยู่ในเนื้อดินค่อนข้างสูงดูจากปริมาณร้อยละของกากค้างตะแกรงขนาด 60 เมช (ตารางที่ 4.8) จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่ำ ส่วนตัวอย่างดินหลังการเผา พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความแข็งแรงก็มากขึ้นด้วย ที่อุณหภูมิ 800°C และ 1000°C ตัวอย่างดิน BTC มีความแข็งแรงมากที่สุด ส่วนตัวอย่างดิน BRC มีความแข็งแรงต่ำสุด แต่ที่อุณหภูมิ 1200°C ถึง 1250°C พบว่า ตัวอย่างดิน BTC มีความแข็งแรงน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองค่าความทนไฟของเนื้อดิน (หัวข้อ 4.3.6) ที่มีค่าความทนไฟที่ต่ำและมีตำหนิตุ่มเล็กๆเกิดขึ้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ตัวอย่างดิน BTC มีความแข็งแรงต่ำกว่าตัวอย่างดินอื่น ซึ่งจากการศึกษาลักษณะของตำหนิ (หัวข้อ 4.4.3) พบว่าตำหนิไม่ได้เกิดเฉพาะที่ผิวของเนื้อดินแต่พบอยู่ภายในเนื้อดินด้วย สาเหตุน่าจะเกิดจากตัวหลอมละลายที่มีในเนื้อดินคือแร่ซันดินซึ่งอยู่ในกลุ่มของแร่เฟลด์สปาร์ชนิดที่ให้อะลูมิเนียม (K) ที่มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่เมื่อหลอมแล้วมีความหนืดสูงและยังคงเหลือบางส่วนที่หลอมไม่หมดจึงทำให้เกิดตำหนิและลดความแข็งแรงของเนื้อดินลดลง

ส่วนปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความแข็งแรงของเนื้อดินที่ได้จากการทดลองคือปริมาณของซิลิกาอิสระที่ผสมอยู่ในเนื้อดิน ซึ่งจากผลวิเคราะห์ทางเคมี (ตารางที่ 4.1) และจากการคำนวณหาซิลิกาอิสระในดิน (ตารางที่ 4.3) พบว่าตัวอย่างดิน BRC มีซิลิกาอิสระมากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC และ BTC ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงที่ได้หลังการเผา โดยทั่วไปซิลิกาอิสระจะเป็นตัวลดความแข็งแรงในเนื้อดินทั้งก่อนเผาและหลังเผา แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของซิลิกาอิสระที่อยู่ในส่วนผสม ถ้าอนุภาคใหญ่จะลดความแข็งแรงหากมีอนุภาคขนาดเล็กจะเพิ่มความแข็งแรง (Grimshaw, 1971 : 871) ซึ่ง Stathis และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของควอทซ์ในเนื้อดินพอร์ซเลน พบว่าขนาดอนุภาคของควอทซ์ที่อยู่ระหว่าง 5-20 ไมครอน มีความแข็งแรงมากกว่าขนาดอนุภาคช่วงที่เล็กกว่า 5 ไมครอน และช่วงระหว่าง 20-40 ไมครอน มากถึงร้อยละ 20 อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนอาจต้องมีการทดลองอย่างละเอียดโดยศึกษาปริมาณของซิลิกาอิสระในปริมาณที่ต่างกันอาจจะได้ผลสรุปที่ชัดเจนมากขึ้น และเนื่องจากดินที่นำมาศึกษาเป็นดินคนละแหล่ง ฉะนั้นสมบัติบางอย่างของเนื้อดินจึงแตกต่างกันออกไป ซึ่งไม่เหมือนกับเนื้อดินที่เตรียมขึ้นเองโดยใช้วิธีการคำนวณจากผลวิเคราะห์ทางเคมีและการคำนวณเนื้อดินปั้นด้วยตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า (Triaxial Diagram) ที่รู้อัตราส่วนผสมที่แน่นอน



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความแข็งแรงของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผา

4.3.8 สีของเนื้อดิน

การศึกษาลักษณะสีของเนื้อดินโดยการดูด้วยตาเปล่าจากสีหลังเผาด้วยบรรยากาศออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่างๆดังแสดงในตารางที่ 4.15 ซึ่งลักษณะของสีจะมีความแตกต่างกัน สีของเนื้อดินหลังอบแห้งหรือก่อนเผาของตัวอย่างดิน BTC จะเป็นสีดำ ตัวอย่างดิน BRC และ BHC เป็นสีน้ำตาล ซึ่งสีของดินก่อนเผาน่าจะขึ้นอยู่กับชนิดหรือปริมาณของอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารที่ผสมอยู่ในเนื้อดิน แต่เมื่อหลังเผาพวกอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารจะสลายให้ออกไซด์ของโลหะนั้นๆออกมา ซึ่งการสลายตัวไปขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรีย์สารหรืออนินทรีย์สารนั้นๆ สีหลังเผาของตัวอย่างดินที่อุณหภูมิ 800°C ตัวอย่างดิน BTC และ BRC จะเป็นสีขาวอมชมพู ส่วนตัวอย่างดิน BHC จะเป็นสีน้ำตาลแดง ซึ่งความแตกต่างของสีในตัวอย่างดิน BHC เนื่องมาจากมีปริมาณของเหล็กออกไซด์ที่มากกว่าเล็กน้อยดูได้จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4.1) ซึ่งนอกจากสีจะได้จากเหล็กออกไซด์แล้วไทเทเนียมไดออกไซด์ก็ยังมีผลต่อสีของเนื้อดินในลักษณะเดียวกันด้วย การเผาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นสีของเนื้อดินก็จะเปลี่ยนไปด้วย จากตัวอย่างดินทั้งสามตัวอย่างหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1250°C พบว่า สีของเนื้อดินไม่แตกต่างกันมากนัก คือจะเป็นสีขาวอมเหลือง เนื่องจากปริมาณเหล็กออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่พบในเนื้อดินไม่ต่างกันมากนัก สีหลังการเผาก็มีลักษณะดังกล่าว

ตารางที่ 4.15 สีของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังการเผาบรรยากาศออกซิเดชัน

ตัวอย่างดิน	สีหลัง อบแห้ง	สีหลังเผา			
		800°C	1000°C	1200°C	1250°C
BTC					
BRC					
BHC					

4.4 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคและการเปลี่ยนแปลงเฟส

การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคเป็นการศึกษาลักษณะของโครงสร้างที่มีขนาดเล็กเพื่ออธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ ให้ความชัดเจนยิ่งขึ้น โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Light microscope) และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope) เป็นเครื่องมือในการศึกษา ซึ่งได้ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

4.4.1 การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของดินหลังเผา

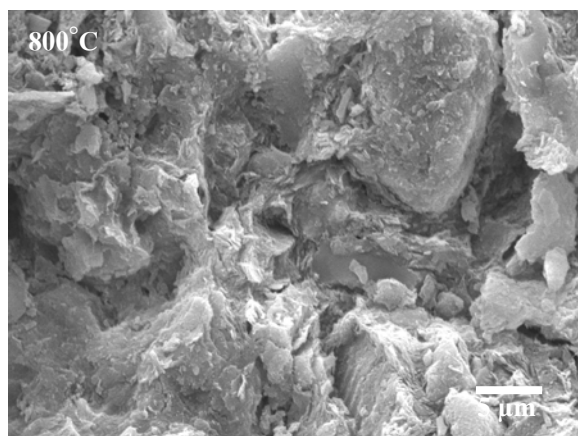
ผลการศึกษาโครงสร้างของตัวอย่างดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 1000 1200 และ 1250°C แสดงในภาพที่ 4.14-4.17 ซึ่งจะศึกษาจากพื้นผิวที่ได้จากการหัก (Fracture surface) ของตัวอย่างดินที่เตรียมโดยการหัก ชัดมัน และกัดกรด

การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของตัวอย่างดินในภาพที่ 4.14-4.16 จะเห็นถึงความแตกต่างของเนื้อดินหลังเผาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับสมบัติทางกายภาพของเนื้อดิน อันได้แก่ ความพรุนตัว และความแข็งแรง

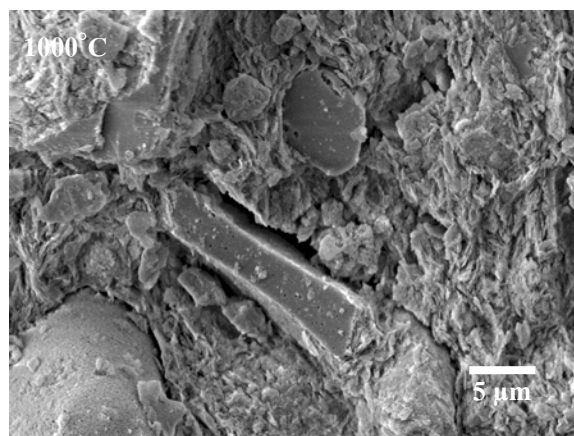
ความพรุนตัว เนื้อดินต่างชนิดกันหรือองค์ประกอบทางเคมีต่างกันความพรุนตัวก็ต่างกันด้วยซึ่งความพรุนตัวของเนื้อดินทั้ง 3 ตัวอย่างหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C และ 1000°C จะมีความพรุนตัวสูงซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดความพรุนตัวของเนื้อดิน (หัวข้อ 4.3.4)

พบว่าตัวอย่างดิน BTC มีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุดรองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC และ BRC ตามลำดับ ความพรุนตัวในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวน่าจะเกิดจากการหายไปของอินทรีย์สารดูได้จาก คำนวณน้ำหนักที่หายไปหลังการเผา (ในหัวข้อ 4.2.3(ก)) พบว่าตัวอย่างดิน BTC มีน้ำหนักที่หายไปมากที่สุดรองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC และ BRC ตามลำดับ และอีกสาเหตุหนึ่งน่าจะเกิดจากการหายไปของน้ำที่อยู่ระหว่างพื้นผิวในช่วงอุณหภูมิ 100–200°C และน้ำที่อยู่ในโครงสร้างผลึกของดินในช่วงอุณหภูมิ 450–550°C ทำให้โครงสร้างผลึกของเคโอลิไนต์เปลี่ยนเป็นเมตะเคโอลิน ดังผลการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของ SDTA (ดังสมการที่ 2.1) จึงทำให้เกิดความพรุนตัวหรือช่องว่างในเนื้อดิน ส่วนในช่วงอุณหภูมิ 1200 และ 1250°C เนื้อดินทั้งสามตัวอย่างมีความพรุนตัวลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัดความพรุนตัวของแต่ละตัวอย่างดิน (หัวข้อ 4.3.4) พบว่าตัวอย่างดิน BTC มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC และ BRC ตามลำดับ สาเหตุของความพรุนตัวที่ลดลงน่าจะมาจากการกลายเป็นแก้ว (Vitrification) ของตัวช่วยหลอมละลายกับเนื้อดินทำให้เนื้อดินมีความพรุนตัวลดลง (Ryan, 1978 : 38)

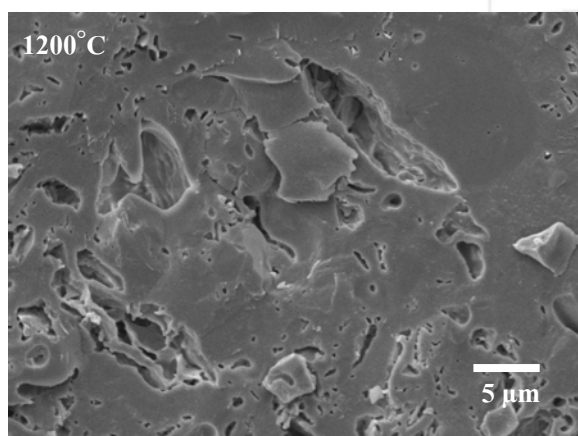
ความแข็งแรง เนื้อดินจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งความแข็งแรงจะมีค่าผกผันกับความพรุนตัว กล่าวคือ เนื้อดินที่มีความพรุนตัวมากความแข็งแรงจะต่ำ และเนื้อดินที่มีความพรุนตัวน้อยความแข็งแรงจะสูง ซึ่งความแข็งแรงของดินนอกจากความพรุนตัวที่มีส่วนเกี่ยวข้องแล้ว มัลไลต์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อดินหลังเผาด้วย ซึ่งมัลไลต์จะเป็นผลึกคล้ายเข็มพบในเนื้อดินหลังการเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 1050°C ขึ้นไป และมัลไลต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Ryan, 1978 : 38) ดังในภาพถ่ายจาก SEM (ภาพที่ 4.17) และผลการเปลี่ยนแปลงทางเฟสของเนื้อดิน (ในหัวข้อที่ 4.4.2) ที่ได้จากการทดลอง ฉะนั้นมัลไลต์ที่เกิดขึ้นจึงส่งผลให้เนื้อดินทั้งสามตัวอย่างหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 และ 1250°C มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (ดังผลการทดสอบในหัวข้อที่ 4.3.7)



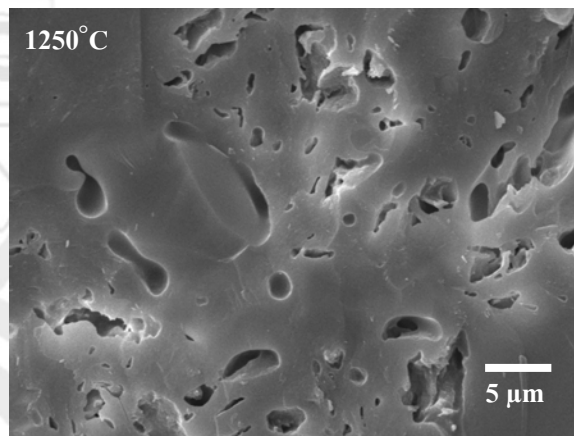
(ก)



(ข)

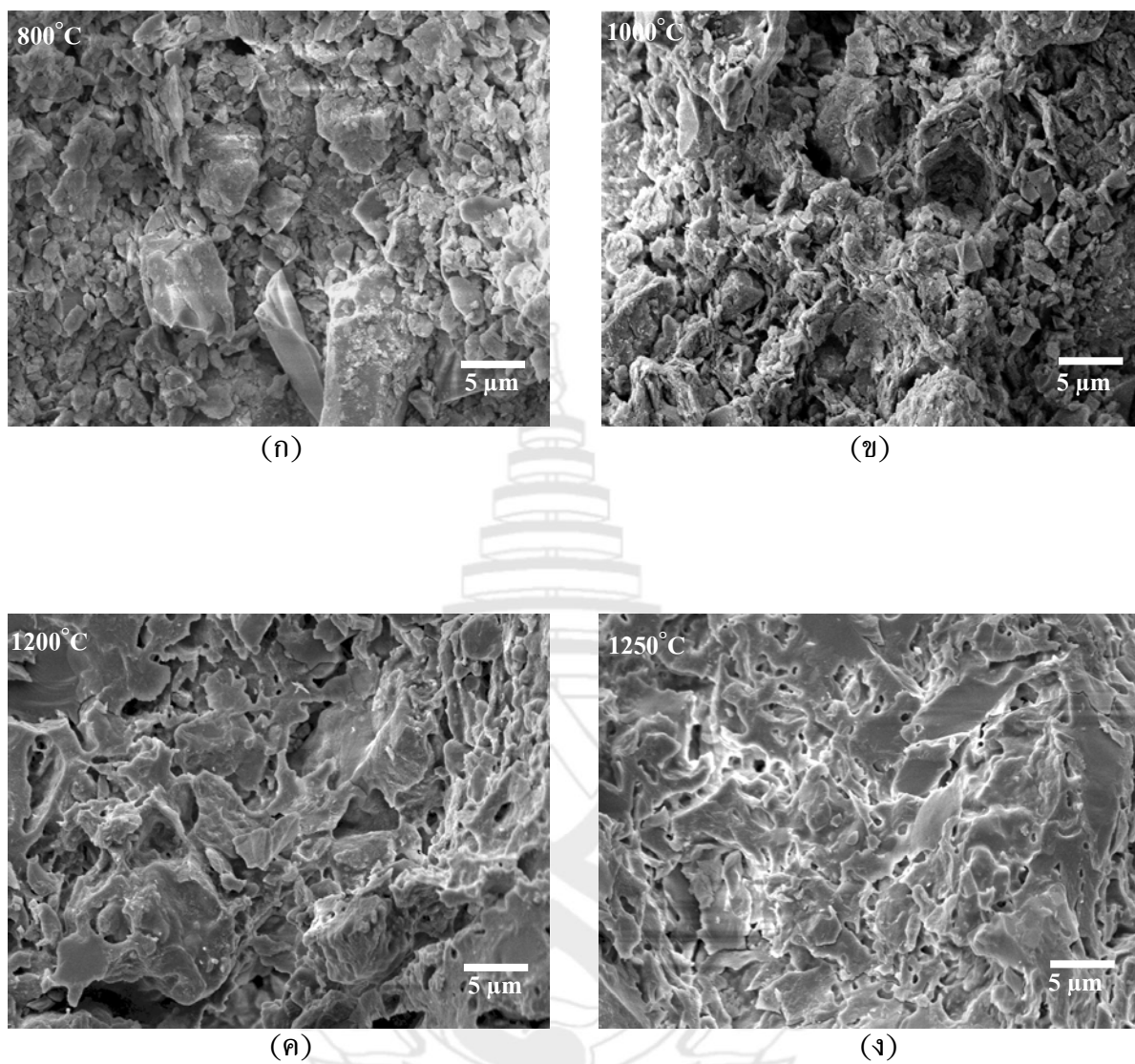


(ค)

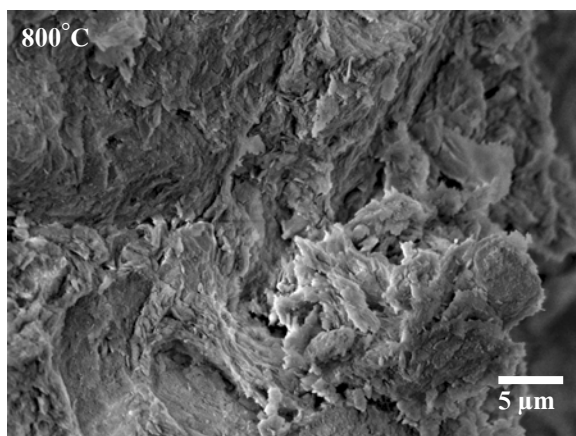


(ง)

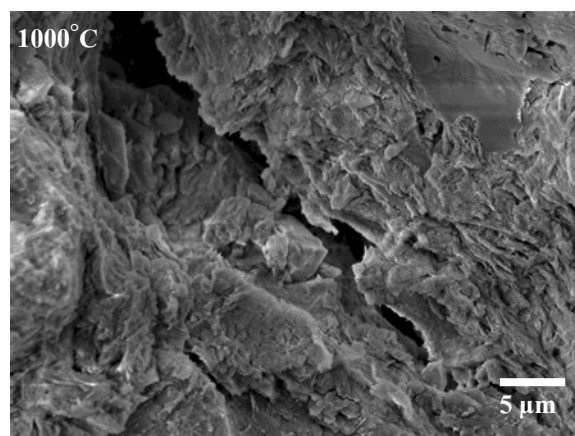
ภาพที่ 4.14 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะผิวของรอยหักของเนื้อดิน BTC หลังเผา (ก) 800 °C (ข) 1000 °C (ค) 1200 °C และ (ง) 1250 °C



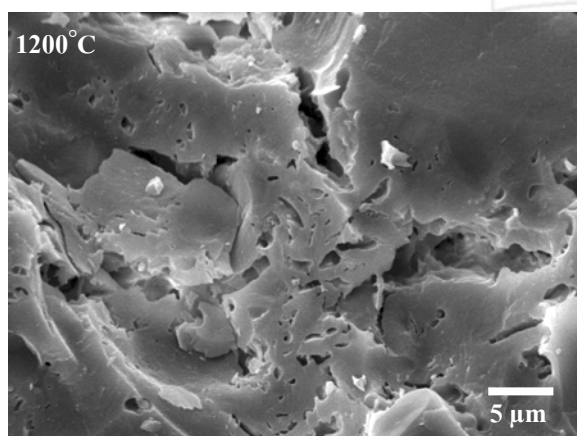
ภาพที่ 4.15 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะผิวของรอยหักของเนื้อดิน BRC (ก) 800 °C
(ข) 1000 °C (ค) 1200 °C และ (ง) 1250 °C



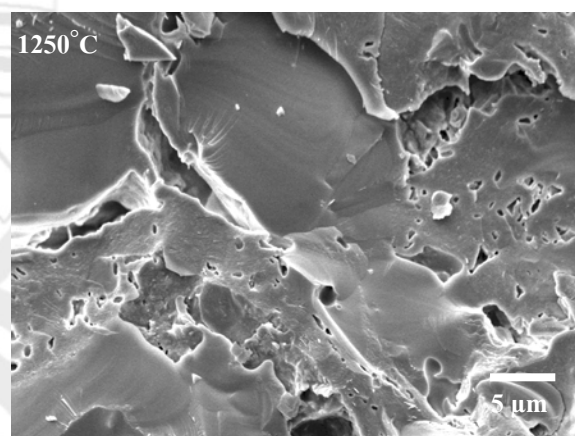
(ก)



(ข)

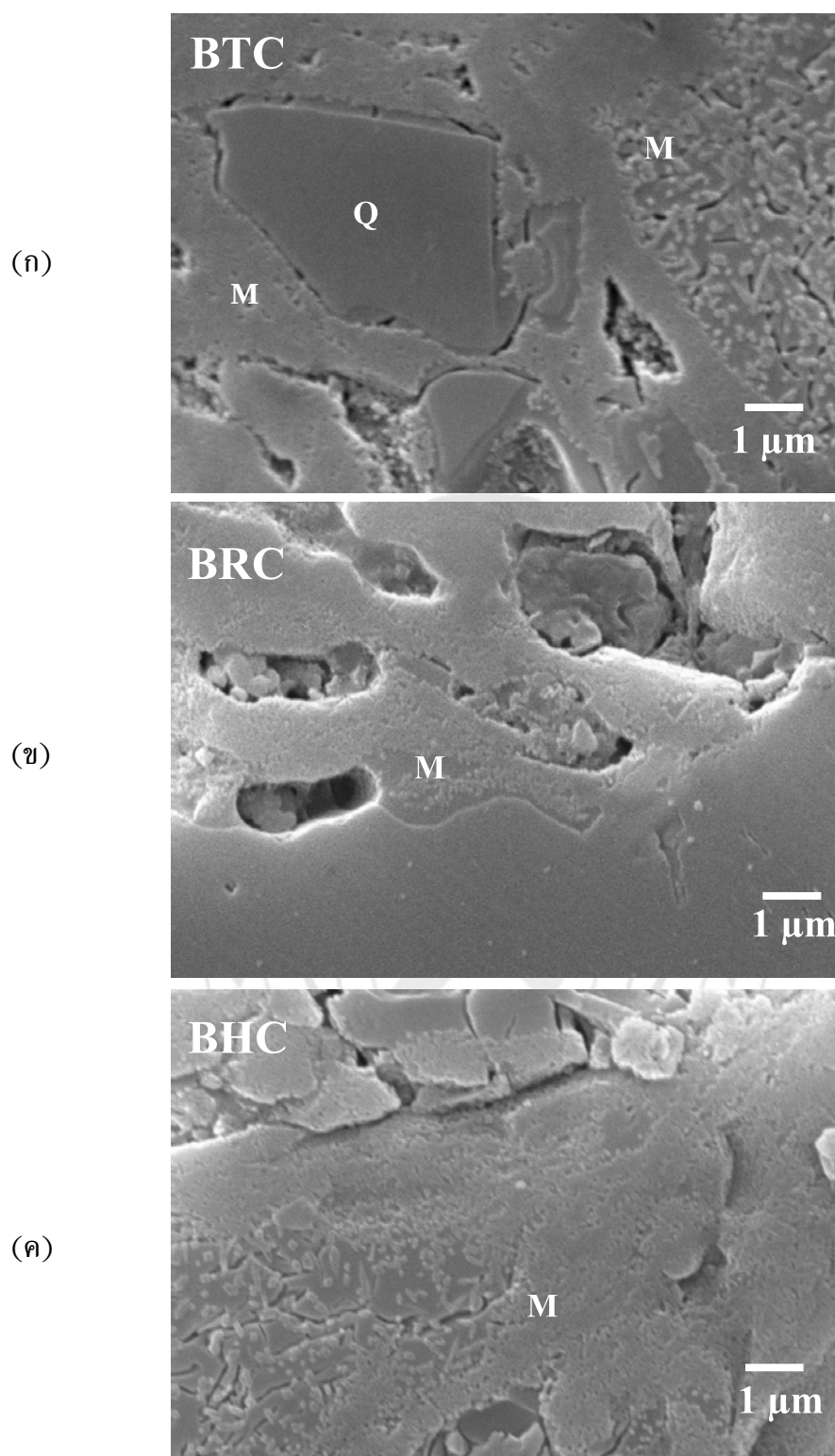


(ค)



(ง)

ภาพที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะผิวของรอยหักของเนื้อดินBHC หลังเผา (ก) 800 °C (ข) 1000 °C (ค) 1200 °C (ง) 1250°C



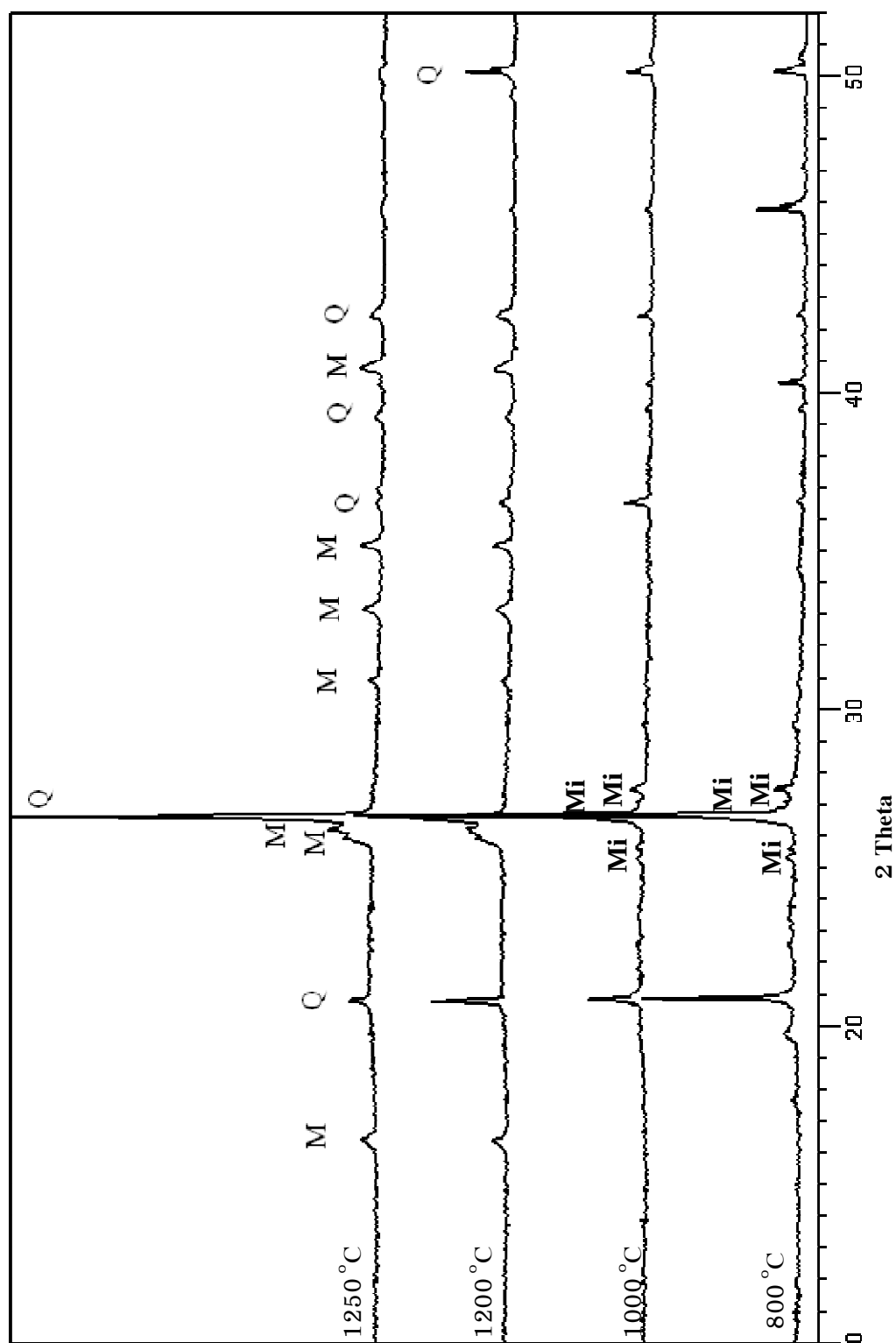
ภาพที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM แสดงผลึกมลิลไต์ของตัวอย่างดิน (ก) BTC (ข) BRC และ (ค) BHC หลังเผา 1250°C ชัดมันและกัดกรด HF เข้มข้น 4 % เวลา 30 วินาที (Q = Quartz M = Mullite)

4.4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟส

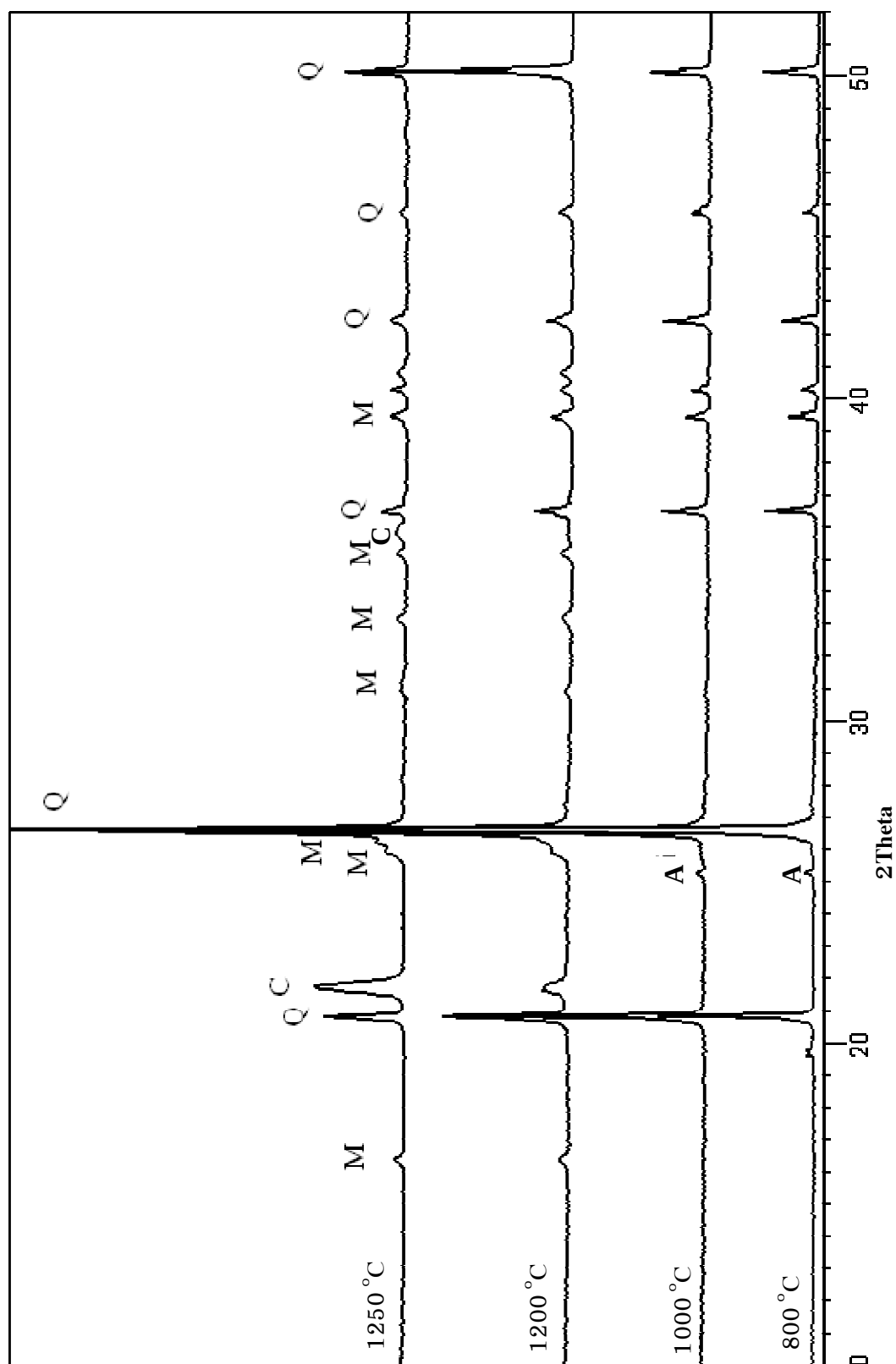
การเปลี่ยนแปลงเฟสของเนื้อดินด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 800 1000 1200 และ 1250°C แสดงในภาพที่ 4.18–4.20

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟสของตัวอย่างดินหลังการเผาจะให้ผล คล้ายคลึงกัน ที่อุณหภูมิ 800 และ 1000°C จะมีแร่หลักอยู่สองชนิด คือ แร่ควอตซ์และแร่ เฟลด์สปาร์แต่ไม่พบแร่เคโอลินไนท์ อาจเนื่องมาจากแร่เคโอลินไนท์เปลี่ยนโครงสร้างเป็นเมตะเค โอลินเนื่องจากการหายไปของน้ำที่อยู่ในโครงสร้างผลึกดินในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 450–550°C (ในหัวข้อ 4.2.3 2) ซึ่งไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) จึงไม่มีพีคของแร่เคโอลินไนท์ (Carroll, 1970 : 52) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังกล่าวส่งผลให้เนื้อดินมีความพรุนตัวสูง ที่อุณหภูมิ 1200°C มีการเปลี่ยนแปลงทางเฟสเกิดขึ้น คือมีเฟสมัลไลต์ ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ปรากฏขึ้นและ ยังคงอยู่หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1250°C นอกจากนี้ในตัวอย่างดิน BRC ยังพบพีคของคริสโต บาไลต์ในช่วงอุณหภูมิ 1200–1250°C อาจเนื่องมาจากในตัวอย่างดินนี้มีปริมาณของแร่ควอตซ์ที่ มากกว่าตัวอื่นๆ มัลไลต์ที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อดินหลังการเผา (Worrall, 1982)



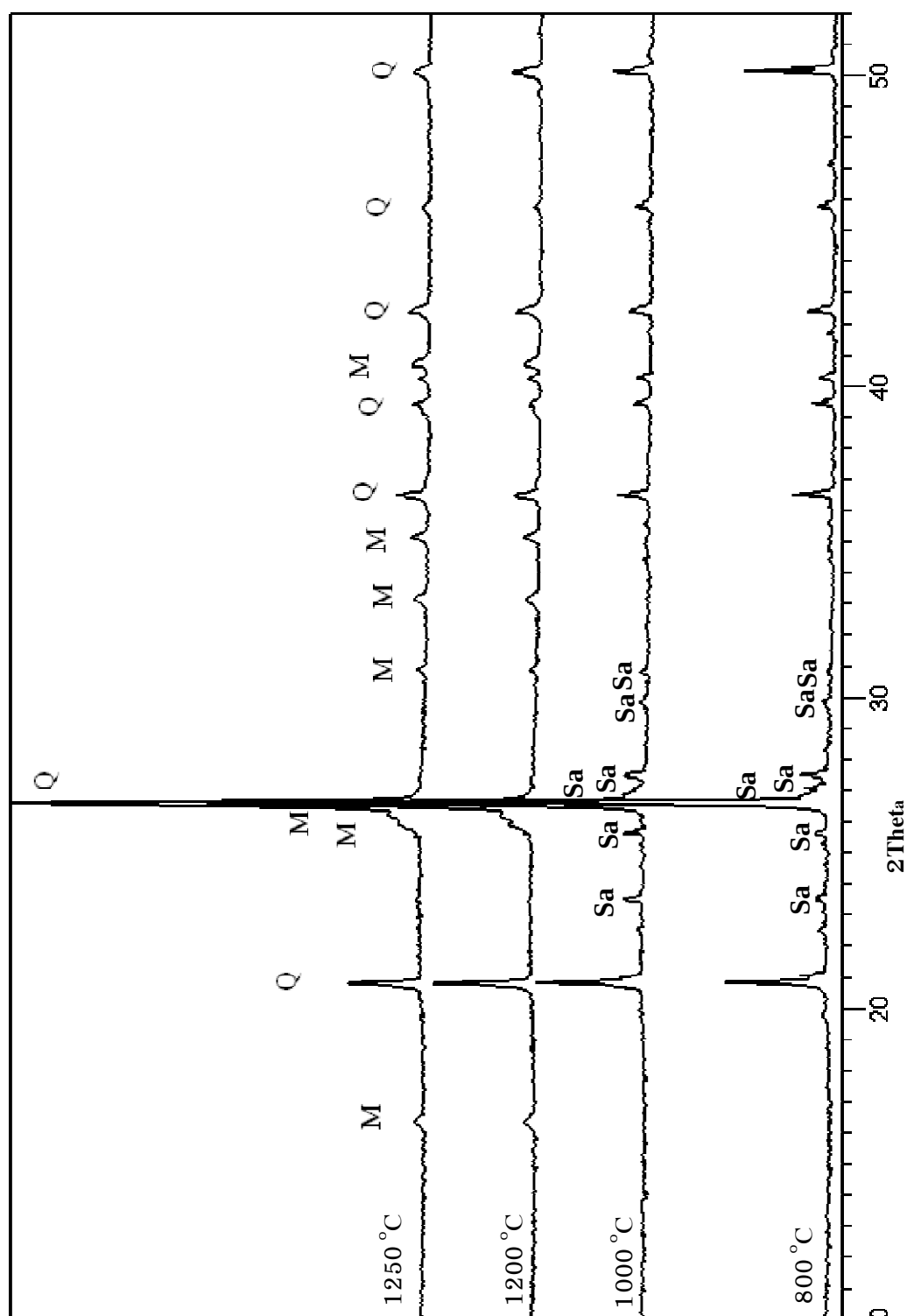


ภาพที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) หลังเผาของตัวอย่างดิน BTC
(M = Mullite, Q = Quartz, Mi = Microcline)



ภาพที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) หลังเผาของตัวอย่างดิน BRC

(M = Mullite Q = Quartz C = Cristobalite A = Anatase)



ภาพที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) หลัเผา ของตัวอย่างดิน BHC

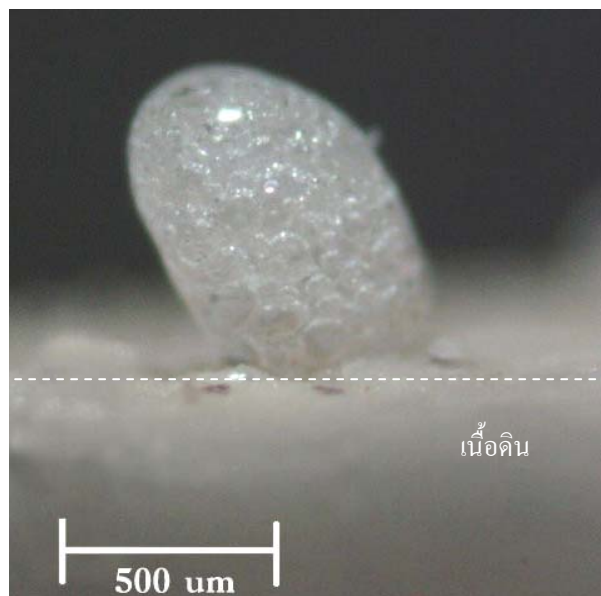
(M = Mullite, Q = Quartz, Sa = Sanidine)

4.4.3 การศึกษาตำหนิที่เกิดขึ้นหลังการเผา

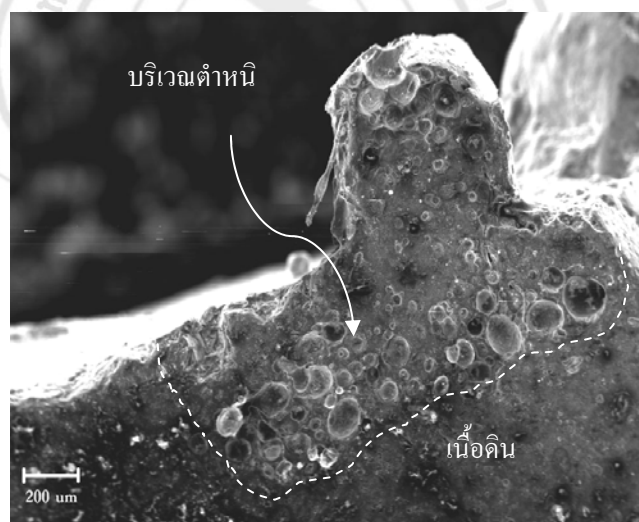
ผลจากการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินทั้งสามตัวอย่างหลังการเผา พบว่า ในตัวอย่างดิน BTC และ BHC หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1250°C มีตำหนิเกิดขึ้น (ดังภาพที่ 4.21) ซึ่งลักษณะของตำหนิที่พบเหมือนฟองอากาศผุดออกมาจากผิวของเนื้อดิน และพบในตัวอย่างดิน BTC มากที่สุด เมื่อศึกษาโดยการเตรียมตัวอย่างแบบตัดขวาง (Cross section) จะเห็นลักษณะของตำหนิที่พบนั้นเริ่มมีขึ้นภายในเนื้อดิน (ภาพ 4.22) และภายในเนื้อดินยังพบตำหนิที่เป็นฟองอากาศอยู่กระจายไปทั่ว (ดังภาพที่ 4.23) เมื่อทำการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDX (Energy dispersive x-ray spectroscopy) (ดังภาพที่ 4.24) บริเวณที่เป็นตำหนิเปรียบเทียบกับบริเวณที่เป็นเนื้อดินทั่วไปของแท่งทดสอบเดียวกัน พบว่าบริเวณที่เป็นตำหนิมีปริมาณของโพแทสเซียม (K) ที่สูงกว่าบริเวณที่เป็นเนื้อดินทั่วไป (ดังภาพที่ 4.24 (ข)) จากผลวิเคราะห์สารประกอบดังกล่าวโพแทสเซียมที่พบน่าจะมาจากแร่เฟลด์สปาร์และแร่ไมกา เนื่องจากสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) (ในหัวข้อที่ 4.2.2) ซึ่งแร่ที่พบในตัวอย่างดิน BTC เป็นแร่ในกลุ่มของแร่เฟลด์สปาร์คือแร่ไมโครไคลน์ (Microcline) ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ KAlSi_3O_8 ที่คล้ายกับแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์และมีโพแทสเซียมเป็นสารประกอบ ส่วนในกลุ่มของแร่ไมกาน่าจะเป็นมัสโคไวท์ (Muscovite) เนื่องจากมัสโคไวท์มีโพแทสเซียมเป็นสารประกอบในสูตรเคมี

สาเหตุของการเกิดตำหนิในลักษณะดังกล่าวน่าจะมาจากขนาดของแร่ที่เป็นตัวหลอมละลายมีขนาดค่อนข้างใหญ่เนื่องจากการเตรียมดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นการเลียนแบบผู้ประกอบการคือไม่ได้ทำการบดก่อนการขึ้นรูปเพียงแค่กรองผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช เท่านั้น ซึ่งวัตถุดิบที่ผ่าน 35 เมช จะมีขนาดอนุภาคประมาณ 500 ไมครอน เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นแท่งทดสอบและเผาที่อุณหภูมิ 1250°C จึงเกิดการหลอมตัวของพวกเฟลด์สปาร์หรือตัวหลอมละลายที่มีในเนื้อดิน แต่เนื่องจากขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างใหญ่และในขณะที่หลอมจะมีความหนืดสูง เมื่อสิ้นสุดการเผาแล้วและปล่อยให้เย็นตัวลงจะพบลักษณะของตำหนิดังกล่าว

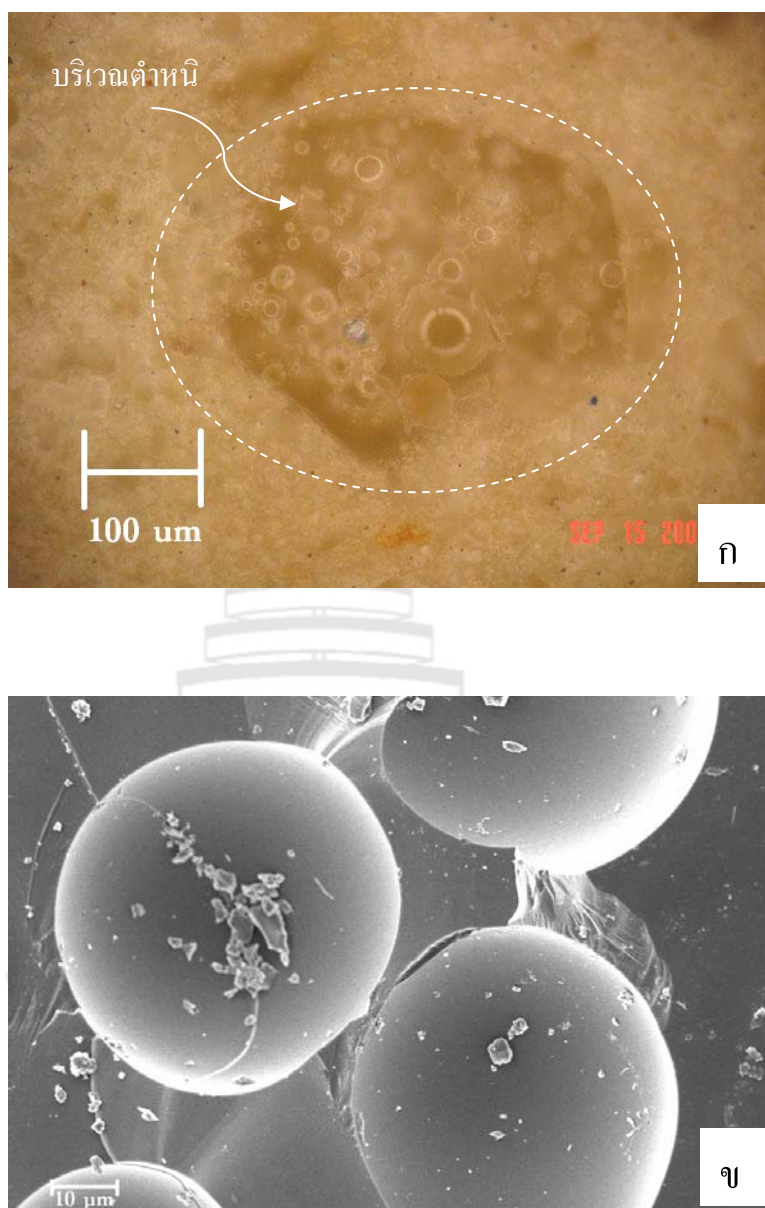
และเพื่อพิสูจน์ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในลักษณะดังกล่าวจึงได้ทำการทดสอบโดยการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างเนื้อดินที่ทำการบดกับไม่บดอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบแห้งเป็นรูปทรงกระบอก (ดังภาพที่ 4.25) แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1250°C หลังการเผาพบว่า ดินที่ผ่านการบดจะไม่พบลักษณะของตำหนิ แต่ดินที่ไม่ผ่านการบดจะพบตำหนิในลักษณะดังกล่าวอยู่เป็นจำนวนมาก แสดงให้เห็นว่าขนาดของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่เป็นสาเหตุของการเกิดตำหนิในลักษณะดังกล่าวจริง



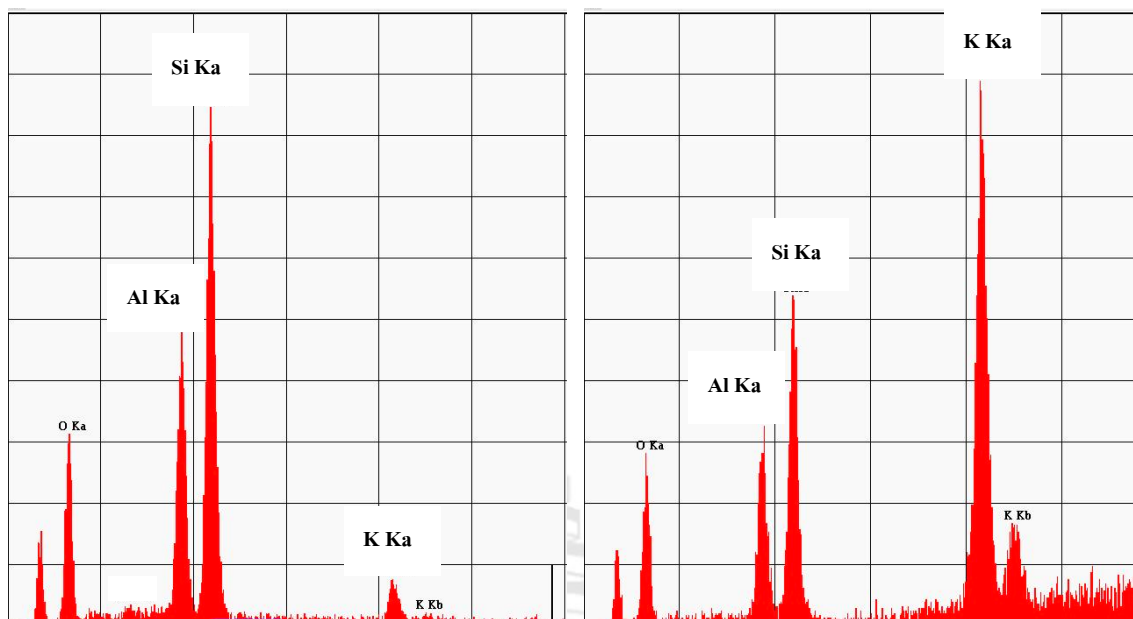
ภาพที่ 4.21 ลักษณะตำหนิหลังการเผาของเนื้อดิน BTC ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง แสดงตำหนิที่ต้นตัวออกมาจากเนื้อดิน



ภาพที่ 4.22 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะตำหนิหลังการเผาของเนื้อดิน BTC เตรียมตัวอย่างแบบตัดขวาง



ภาพที่ 4.23 ลักษณะของตำหนิหลังการเผาที่ 1250°C ของตัวอย่างดิน BTC
 แบบ ภาพตัดขวาง (ก) ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงแสดง
 ตำหนิที่อยู่ภายในเนื้อดิน (ข) ภาพ SEM แสดงตำหนิที่อยู่ภายในเนื้อ
 ดิน



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.24 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX (ก) บริเวณเนื้อดินทั่วไป
(ข) บริเวณตำหนิ



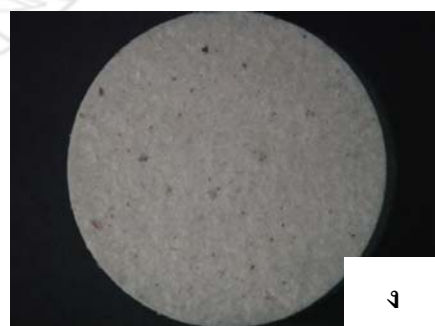
ก



ข



ค



ง

ภาพที่ 4.25 ผลการทดลองเปรียบเทียบเนื้อดินที่เตรียมโดยการบดและไม่บดเพื่อหาที่มาของตำหนิหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C (ก) ไม่บดก่อนเผา (ข) บดด้วยโกร่งบดก่อนเผา (ค) ไม่บดหลังเผา 1250°C และ (ง) บดหลังเผา 1250°C

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติของดินจากแหล่งเวียงกาหลง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาให้ทราบถึงองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และโครงสร้างระดับจุลภาคของดิน ซึ่งดินที่ทำการศึกษาได้จากกลุ่มผู้ประกอบการเซรามิกเวียงกาหลงแบ่งออกเป็น 3 ตัวอย่าง คือ BTC BRC และ BHC ผลจากการศึกษาดังสรุปไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ชนิด ปริมาณของแร่ และสมบัติทางกายภาพของดิน

ปริมาณของแร่ที่เป็นองค์ประกอบหลัก และสมบัติทางกายภาพของดิน	BTC	BRC	BHC
แร่ควอตซ์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	28.4	52.0	34.4
แร่เคลอไลต์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	37.7	40.2	50.9
แร่ไมโครไคลน์/ซานิติน/มัสโคไวต์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	31.5	4.7	12.0
น้ำหนักที่หายไปหลังการเผา (L.O.I.) (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	8.0	4.8	3.9
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน ($\text{mm/mm}^{\circ}\text{C}$)	5.8	11.0	6.6
กากค้ำตะแกรง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	18.3	23.5	19.5
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)	10.0	11.1	12.8
ช่วงการใช้น้ำเพื่อให้มีความเหนียว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	26-32	22-24	26-28
กาหดตัวหลังเผาที่ 1250°C (ร้อยละ)	14.7	7.8	9.1
การดูดซึมน้ำหลังเผาที่ 1250°C (ร้อยละ)	2.8	8.3	6.4
ความโค้งงอหลังเผาที่ 1280°C (mm.)	3.5	1.3	2.3
ความแข็งแรงหลังเผาที่ 1250°C (kg/cm^2)	197	240	213

จากข้อมูลในตารางที่ 5.1 และจากผลการทดลองในบทที่ 4 สามารถเปรียบเทียบสมบัติด้านต่างๆของดินทั้ง 3 ตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี องค์ประกอบทางแร่ และสมบัติทางความร้อน

ดินทั้ง 3 ตัวอย่าง มีองค์ประกอบทางเคมีและทางแร่ในปริมาณต่างกัน ตัวอย่างดิน BRC มีปริมาณแร่ควอตซ์มากที่สุดมีประมาณร้อยละ 52 รองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC มีประมาณร้อยละ 34 และตัวอย่างดิน BTC ประมาณร้อยละ 28 ในขณะที่ตัวอย่างดิน BTC พบว่ามีแร่มีสโคไวต์และไมโครไคลน์ซึ่งเป็นตัวช่วยหลอมละลายมากกว่าตัวอย่างดินอื่นคือประมาณร้อยละ 30 รองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC ประมาณร้อยละ 10 และตัวอย่างดิน BRC ประมาณร้อยละ 4 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA ร่วมกับ SDTA พบว่า ตัวอย่างดิน BTC มีน้ำหนักหายไปหลังการเผาสูงกว่าตัวอย่างดินอื่นคือประมาณร้อยละ 8 และในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 200–450°C แสดงปฏิกิริยาการคายพลังงานที่ชัดเจนซึ่งบ่งชี้ให้ทราบว่าปริมาณของสารอินทรีย์มากกว่าตัวอย่างดินอื่นๆ ส่วนการขยายตัวทางความร้อนพบว่าตัวอย่างดิน BRC มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวมากที่สุดรองลงมาคือตัวอย่างดิน BHC และ BTC ตามลำดับ

5.1.2 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของดินที่ได้ทำการทดสอบ ได้แก่ ความเหนียว ขนาดอนุภาค การหดตัว การดูดซึมน้ำ ความทนไฟ ความแข็งแรง และสี มีความแตกต่างกันดังนี้ ตัวอย่างดิน BTC เป็นดินที่มีความเหนียวสูงเนื่องจากมีขนาดอนุภาคละเอียดจึงมีปริมาณของการใช้น้ำเพื่อเพิ่มความเหนียวสูงสุด (ร้อยละ 32) ทำให้มีการหดตัวทั้งก่อนเผาและหลังการเผาสูง หลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำ (ประมาณร้อยละ 2) แต่พบว่าความทนไฟต่ำ เนื่องจากแท่งทดสอบมีค่าโค้งงอที่สูงและเกิดตำหนิพุตพองเกิดขึ้นที่ผิวของตัวอย่างดิน ทำให้มีค่าความแข็งแรงต่ำกว่าตัวอย่างดินอื่น จากการศึกษาตำหนิพุตพองที่เกิดขึ้น โดยใช้เทคนิค EDX พบว่าตำหนิเกิดจากตัวช่วยหลอมละลายหรือเฟลด์สปาร์ชนิดโพแทสเซียมที่มีในปริมาณที่มากและมีอนุภาคขนาดใหญ่ (100–500 μm) เมื่อนำดินไปบดให้ละเอียดเพิ่มขึ้นพบว่าสามารถแก้ปัญหาตำหนิชนิดนี้ได้ ในตัวอย่างดิน BRC และ BHC พบว่ามีสมบัติทางกายภาพหลายอย่างที่ใกล้เคียงกันแต่มีสมบัติบางอย่างที่ตัวอย่างดิน BRC ดีกว่า คือความทนไฟและความแข็งแรง สีหลังเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ของดินทั้ง 3 ตัวอย่างมีสีคล้ายกันคือสีขาวอมเหลือง

5.1.3 การเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค

การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคโดยใช้ SEM และ XRD จากการศึกษพบว่าตัวอย่างดินหลังการเผาที่ช่วงอุณหภูมิ 800 และ 1000°C มีความพรุนตัวสูงทำให้มีการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงที่ต่ำ หลังการเผาที่ช่วงอุณหภูมิ 1200 – 1250°C พบว่าเนื้อดินมีรูพรุนลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะในตัวอย่างดิน BTC เนื่องจากตัวอย่างดินนี้มีปริมาณตัวหลอมละลายสูงกว่าตัวอย่างดินอื่น จากผลการวิเคราะห์ XRD ของตัวอย่างดินทั้ง 3 หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200-1250°C ไม่พบแร่เฟลด์สปาร์ที่เป็นตัวหลอมละลาย แต่พบเฟสของมัลไลต์เกิดขึ้น ส่วนในตัวอย่างดิน BRC นอกจากมัลไลต์แล้วยังมีคริสโตบาไลต์เกิดขึ้นอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

ตัวอย่างดิน BTC เป็นดินที่มีขนาดอนุภาคละเอียด มีอินทรีย์สารสูง มีซิลิกาอิสระต่ำ จึงมีความเหนียวสูง ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งกับการนำไปใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยความเหนียว โดยเฉพาะการขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน แต่ควรระมัดระวัง ในขั้นตอนการฝั่งลมหรืออบผลิตภัณฑ์ให้แห้ง และขั้นตอนการเผา เนื่องจากดิน BTC เป็นดินที่มีการหดตัวเมื่อแห้งและหดตัวหลังเผาสูงถึงประมาณร้อยละ 14 การทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วเกินไปหรือแห้งไม่สม่ำเสมอตลอดชิ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยวและแตกร้าวได้โดยเฉพาะบริเวณก้นผลิตภัณฑ์ ในขั้นตอนของการเผาการให้ความร้อนหรือการเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 100-200°C ต้องเป็นไปอย่างช้าๆ ถ้าให้ความร้อนที่เร็วเกินไปจะทำให้ชิ้นงานเกิดการระเบิดได้ นอกจากนี้ปริมาณของตัวช่วยหลอมละลายที่มีมากในดินนี้ทำให้มีความทนไฟต่ำและดินมีตำหนิปิดพองหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ดินนี้จึงเหมาะในการนำไปใช้กับเคลือบที่เผาไม่เกิน 1200°C ในกรณีที่ต้องการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก เช่น จาน ชาม แจกัน ควรบดให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นด้วยหม้อบด (Ball mill) หรือกรอกรินด้วยตะแกรงที่มีความละเอียดขนาด 100 เมช (150 μm) เพื่อลดตำหนิปิดพอง ถ้าต้องการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ (ความสูงมากกว่า 50 ซม.) หรือต้องการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาให้สูงขึ้นควรกรอกรินด้วยตะแกรงขนาด 35 เมช (500 μm) และเพิ่มวัตถุดิบที่เป็นตัวทนไฟในเนื้อดิน เช่น การใช้ดิน BRC มาเป็นส่วนผสมเนื่องจากเป็นดินที่มีปริมาณของซิลิกาอิสระสูง หรือใช้วัตถุดิบอื่น เช่น ซิลิกา หรือทราย ดินขาว และดินเชื้อ (Grog) โดยใช้เป็นส่วนผสมประมาณร้อยละ 5-20 จะทำให้มีความทนไฟเพิ่มขึ้นและการหดตัวที่ต่ำลง สามารถเผาได้ถึง 1250°C

ตัวอย่างดิน BRC และ BHC เป็นดินที่มีตัวทนไฟคือแร่ควอตซ์ในปริมาณที่สูงและมีตัวหลอมละลายที่ต่ำเมื่อเทียบกับตัวอย่างดิน BTC โดยเฉพาะดิน BRC จึงมีความเหนียวต่ำและมี

ความทนไฟที่สูงสามารถเผาได้ถึง 1250°C แต่ในการนำไปใช้ปูนผลิตภัณฑ์ควรเพิ่มความเหนียวของดินให้มากขึ้นโดยการนำดินนี้ไปบดให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นหรือการใช้ดินอื่นที่มีความเหนียวสูงกว่ามาผสม เช่น ดิน BTC โดยใช้เป็นส่วนผสมประมาณร้อยละ 10-20 และ ในขั้นตอนของการเผาควรค่อยๆ ให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง $500-600^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากในช่วงอุณหภูมิ 573°C ควอทซ์มีการขยายตัวสูงจากการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากแอลฟาควอทซ์เป็นเบตาควอทซ์ หากเผาเร็วเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าวหลังการเผาได้

5.3 ข้อเสนอแนะในโอกาสต่อไป

จากการศึกษาสมบัติของดินแหล่งเวียงกาหลงทำให้ทราบถึงข้อดีข้อด้อยที่แตกต่างกันของดินจากแต่ละแหล่งไม่ว่าจะเป็นองค์ประกอบทางเคมี องค์ประกอบทางแร่ สมบัติทางกายภาพ และโครงสร้างทางจุลภาค หากมีการนำดินที่ศึกษานี้ผสมกันเพื่อปรับปรุงสมบัติของดินแต่ละแหล่งให้มีความเหมาะสมในการใช้งาน เช่น การเพิ่มความทนไฟหรือลดการหดตัวของดิน BTC โดยการใช้ดิน BRC ที่มีปริมาณแร่ควอทซ์สูงๆ มาเป็นส่วนผสม หรือการเพิ่มความเหนียวของดิน BRC โดยการใช้ดิน BTC มาเป็นส่วนผสม อาจทำให้ได้ดินผสมที่มีสมบัติที่ดีในทุกๆ ด้านและมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้นในการนำไปใช้ต่อไป

บรรณานุกรม

- ทวี พรหมพฤษ. (2523). เครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- ประนอม มานะกิจ. (2536). การทดลองเนื้อดินปั้นจังหวัดนครสวรรค์เพื่อใช้ในงาน
เครื่องปั้นดินเผาประเภทสโตนแวร์. การศึกษามหาบัณฑิต สาขาอุตสาหกรรม
การศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- พิมพ์วัลค์ วัฒนภาส และสุมาลี ลิขิตวนิชกุล. (2546). การวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงเนื้อ
ดินปั้นราชบุรี. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรม
วิทยาศาสตร์บริการ.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541). เนื้อดินเซรามิก. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- ศูนย์สารสนเทศเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2548). แนวทาง
การพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกส์ แหล่งที่มา
<http://www.oie.go.th/industrystatus2/96.doc> (30 มิถุนายน 2548).
- สถิติข้อมูลโรงงานเซรามิกของประเทศไทย. (2544). กรุงเทพฯ : ศูนย์สารสนเทศ. กรม
โรงงานอุตสาหกรรม.
- สมชาย พุ่มอิม. (2524). การเปรียบเทียบลักษณะการเกิดแร่ประกอบของดินขาวบางแหล่ง
ในภาคเหนือของประเทศไทย. วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาธรณีวิทยา บัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมบูรณ์ สารสิทธิ์. (2539). การทดลองเนื้อดินปั้นจากดินแดงจังหวัดนครศรีธรรมราชเพื่อ
การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบและน้ำเคลือบที่เหมาะสม. การศึกษามหาบัณฑิต สาขา
อุตสาหกรรมการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สุมิตร ปิติพัฒน์ และคณะ. (2544). เวียงกาหลงมหัศจรรย์เครื่องถ้วยล้านนา. กรุงเทพฯ :
แอดมี พรินต์.
- อรพิน สมมิตร. (2538). การปรับปรุงองค์ประกอบของดินแดงบ้านสันจกปกจังหวัดพะเยา
เพื่อพัฒนาคุณภาพเครื่องปั้นดินเผา. วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ASTM STANDARDS. (2002). "Standard test method for linear thermal expansion of
porcelain enamel and glaze frits and fired ceramic whiteware products by the
dilatometer method" Baltimore : ASTM international.

- Aras Aydin. (2004). "The change of phase compositions in kaolinite-and illite-rich clay-based ceramic bodies" **Applied Clay Science**. 24, 3-4 (February); 257-269.
- Braganca S.R. (2004). "Traditional and glass powder porcelain : Technical and microstructure analysis" **Journal of the European Ceramic Society**. 24, 8 (July); 2383-2388.
- Carroll Dorothy. (1970). **Clay Mineral : A Guide to Their X-ray Identification**. Colorado : The geological society of American.
- Dana Kausik and Das Swapan Kumar. (2004). "Evolution of microstructure in flyash-containing porcelain body on heating at different temperatures" **Bull.Mater. Sci.**, 27, 2 (April); 183-188.
- Dana Kausik and Das Swapan Kumar. (2004). "Partial substitution of feldspar by B.F. slag intriaxial porcelain phase and microstructure evolution" **Journal of the European Ceramic Society**. 24, 15-16 (December); 3833-3839.
- Das Swapan Kr. (2003). "Differences in densification behavior of K-and Na-feldspar-containing porcelain bodies" **Thermochimica Acta**. 406, 1-2, 28 (November); 199-206.
- Das Swapan Kr. (2005) "Shrinkage and strength behaviour of quartzitic and kaolinitic clays in wall tile compositions." **Applied clay Science**. 29, 2 (April); 137-143.
- Ece O.Isik and Nakagawa Zenbe-e. (2002). "Bending strength of porcelains." **Ceramics International**. 28, 2 (February); 131-140.
- Frank and Jarnet Hamer. (1975). **The pottery's dictionary of material and Technique**. London : Ritman.
- Georges Millot. (1970). **Geology of clays**. Translated by Farrand W.R. and Helene Paquet. London : Chapman and Hall.
- Grimshaw REX W. (1971) **The chemistry and physics of clays**. London : Ernest Benn.
- Iqbal, Yaseen and Lee, William Edward. (2000). "Microstructure evolution in triaxial porcelain." **J.Am Ceram. Soc.**, 83 (December); 3121-3127.
- Kingery, W.D. Bowen H.K. And Uhlmann D.R. (1991). **Introduction to Ceramics**. 2nd Ed. New York : John Wiley and Sons.
- Lawrence W.G. (1972). **Ceramic Science for the Potter**. Radnor : Chilton Book.

- Lee W.E. (2001). "Influence of mixing on mullite formation in porcelain" **Journal of the European Ceramic Society**. 21, 14; 2583–2586.
- Milheiro F.A.C. (2004). "Densification behaviour of a red firing Brazilian kaolinitic clay" **Ceramics International**. 31, 5 (June); 757–763.
- Norton F.H. (1974). **Elements of Ceramics**. London : Addison–Wesley.
- Queensland University of Technology. (2005). "**Inorganic materials**" Available www.Sci.qut.edu.au/profile/frost/ (18 Aug 2005).
- Ryan W. (1978). **Properties of ceramic raw materials**. Oxford : Pergamon.
- Sanchez–Soto. (2000). "Effects of dry grinding the structure changes of kaolinite powders" **J. Am Ceram.Soc.**, 83, (July); 1649–1657.
- Singer Felix. (1963). **Industrial Ceramics**. New York : Chemical.
- Stathis G. (2004). "Effect of firing conditions, filler grain size and quartz content on bending strength and physical properties of sanitaryware porcelain" **Journal of the European Ceramic Society**. 24,8 (July); 2557–2566.
- Tucci A. (2004). "Use of soda–lime scape–glass as a fluxing agent in porcelain stoneware tile mix". **Journal of the European Ceramic Society**. 24, 1 (January); 83–92.
- Worrall. W.E. (1982). **Ceramic Raw Materials**. Oxford : Pergamon.

ภาคผนวก ก

การคำนวณหาส่วนประกอบของแร่ต่างๆในดิน



การคำนวณหาส่วนประกอบของแร่ต่าง ๆ ในตัวอย่างดิน BTC

1. ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างดิน BTC

SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	L.O.I.
63.46	24.19	2.50	0.26	1.43	0.75	7.41

2. ผลการวิเคราะห์ แร่ด้วย XRD พบว่า มีแร่ในกลุ่มของไมกาและเฟลด์สปาร์ คือ มัสโคไวต์ (K₂O.3Al₂O₃.6 SiO₂. 2H₂O) และ ไมโครไคลน์ (K₂O.Al₂O₃.6 SiO₂) เป็นส่วนประกอบ ซึ่งในทางทฤษฎีแล้ว มัสโคไวต์ และ ไมโครไคลน์ มีร้อยละของธาตุประกอบทางเคมี ดังนี้

มัสโคไวต์				ไมโครไคลน์		
K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	H ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂
11.81	38.44	45.23	4.52	16.92	18.32	64.76

3. หาร้อยละของธาตุในมัสโคไวต์

3.1 หา K₂O ในมัสโคไวต์

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีมี K₂O ร้อยละ 2.50 ในแร่ มัสโคไวต์ มี K₂O ร้อยละ 11.81

$$\text{เพราะฉะนั้นในมัสโคไวต์จะมี K}_2\text{O} = \frac{2.50 \times 100}{11.81} = 16.93\%$$

3.2 หาลูมินาในมัสโคไวต์

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีมีลูมินาร้อยละ 24.19 ในแร่มัสโคไวต์มีลูมินาร้อยละ 38.44

$$\text{เพราะฉะนั้นในมัสโคไวต์จะมีลูมินา} = \frac{16.93 \times 38.44}{100} = 6.50$$

$$\text{เหลือลูมินา} = 24.19 - 6.50 = 17.69$$

3.3 หา SiO₂ ในมัสโคไวต์

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีมี SiO₂ ร้อยละ 63.46 ในแร่มัสโคไวต์มี SiO₂ ร้อยละ 45.23

$$\text{เพราะฉะนั้นในมัสโคไวต์จะมี SiO}_2 = \frac{16.93 \times 45.23}{100} = 7.65$$

$$\text{เหลือ SiO}_2 = 63.46 - 7.65 = 55.81$$

3.4 หา H₂O ในมัสโคไวต์

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีมี LOI ร้อยละ 7.41 ในแร่ มัสโคไวต์ มี H₂O ร้อยละ 4.52

$$\text{เพราะฉะนั้นในมัสโคไวต์จะมี H}_2\text{O} = \frac{16.93 \times 4.52}{100} = 0.76$$

$$\text{เหลือ } \text{H}_2\text{O} = 7.41 - 0.76 = 6.65$$

4. หาร้อยละของธาตุในไมโครโคลน

4.1 หา K_2O ในไมโครโคลน

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีมี K_2O ร้อยละ 2.50 ในแร่ไมโครโคลน มี K_2O ร้อยละ 16.92

$$\text{เพราะฉะนั้นในไมโครโคลน จะมี } \text{K}_2\text{O} = \frac{2.50 \times 100}{16.92} = 14.77$$

$$\text{รวม } \text{K}_2\text{O} \text{ ในมัสโคไวต์และซานิติน} = 16.93 + 14.77 = 31.70$$

4.2 หาลูมินาในไมโครโคลน

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมี ในแร่ไมโครโคลน มีลูมินาร้อยละ 18.32

$$\text{เพราะฉะนั้นในไมโครโคลน จะมี ลูมินา} = \frac{14.77 \times 18.32}{100} = 2.70$$

$$\text{เหลือลูมินา (จากแร่ มัสโคไวต์ 17.69)} = 17.69 - 2.70 = 14.99$$

4.3 หา SiO_2 ในไมโครโคลน

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของแร่ ไมโครโคลน มี SiO_2 ร้อยละ 64.76

$$\text{เพราะฉะนั้นในไมโครโคลน จะมี } \text{SiO}_2 = \frac{14.77 \times 64.76}{100} = 9.56$$

$$\text{เหลือ } \text{SiO}_2 \text{ (จากมัสโคไวต์ 55.81)} = 55.81 - 9.56 = 46.25$$

5. หาร้อยละของธาตุในเคโอลิไนท์

ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วมีร้อยละของธาตุประกอบทางเคมีของเคโอลิไนท์ ดังนี้

$$\begin{array}{ccc} \text{Al}_2\text{O}_3 & \text{SiO}_2 & \text{H}_2\text{O} \\ 39.53 & 46.51 & 13.96 \end{array}$$

5.1 หาลูมินาในเคโอลิไนท์

ลูมินาที่เหลือจากไมโครโคลน 14.99

$$\text{เพราะฉะนั้นในเคโอลิไนท์จะมี } \text{Al}_2\text{O}_3 = \frac{14.99 \times 100}{39.53} = 37.92$$

5.2 หา SiO_2 ในเคโอลิไนท์

จากผลการวิเคราะห์ในทางทฤษฎีมี SiO_2 ร้อยละ 46.51

$$= \frac{46.51 \times 37.92}{100} = 17.63$$

$$\text{เหลือ } \text{SiO}_2 \text{ อิสระ (จากไมโครโคลน 46.25)} = 46.25 - 17.63 = 28.62$$

5.3 หา H_2O ในเคโอลิไนท์

จากผลการวิเคราะห์ในทางทฤษฎีมี H_2O ร้อยละ 13.96

$$= \frac{13.96 \times 54.40}{100} = 7.62$$

$$\text{เหลือน้ำ (จาก มัสโคไวต์ 6.65)} = 6.65 - 7.62 = -0.97$$

6. ส่วนประกอบของแร่ต่างๆในดิน BTC และการทำให้ผลรวมเป็นร้อยละ

มัสโคไวต์	16.93	16.82
ไมโครไคลน์	14.77	14.67
เคโอลิไนท์	37.92	37.66
ควอทซ์	28.62	28.43
แคลเซียมออกไซด์	0.26	0.26
เฟอร์ริก ออกไซด์	1.43	1.42
ไทเทเนียม ไดออกไซด์	0.75	0.74
รวม	<u>100.68</u>	<u>100.00</u>

การคำนวณหาส่วนประกอบของแร่ต่างๆในดิน BRC

1. ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างดิน BRC

SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	L.O.I.
75.17	17.06	0.81	0.44	1.32	1.43	3.77

2. ผลวิเคราะห์ทางเคมีของไมโครไคลน์ คือ

K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂
16.92	18.32	64.76

3. หาร้อยละของธาตุในไมโครไคลน์

3.1 หาร้อยละ K₂O ในไมโครไคลน์

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดิน BRC มี K₂O ร้อยละ 0.81 ในแร่ไมโครไคลน์มี K₂O ร้อยละ 16.92

$$\text{เพราะฉะนั้นในไมโครไคลน์ จะมี K}_2\text{O} = \frac{0.81 \times 100}{16.92} = 4.79$$

3.2 หาลูมินาในไมโครไคลน์

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีมี อลูมินา ของแร่ ไมโครไคลน์ร้อยละ 18.32

$$\text{เพราะฉะนั้นในไมโครไคลน์จะมีอลูมินา} = \frac{4.79 \times 18.32}{100} = 0.88$$

เหลืออลูมินา (จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดิน BRC ร้อยละ 17.06)

$$= 17.06 - 0.88 = 16.18$$

3.3 หา SiO₂ ในไมโครไคลน์

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของแร่ไมโครไคลน์มี SiO₂ ร้อยละ 64.76

$$= \frac{4.79 \times 64.76}{100} = 3.10$$

เหลือ SiO_2 (จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดิน BRC ร้อยละ 75.17)

$$= 75.17 - 3.10 = 72.07$$

4. หาร้อยละของธาตุในเคโอลิไนท์

ผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่เคโอลิไนท์ คือ

Al_2O_3	SiO_2	H_2O
39.53	46.51	13.96

4.1 หาอลูมินาจากแร่เคโอลิไนท์

อลูมินา เหลือจากไมโครไคลน์ 16.18 และจากผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่เคโอลิไนท์ มีอลูมินาร้อยละ 39.53

$$\text{เพราะฉะนั้นในเคโอลิไนท์จะมีอลูมินา} = \frac{16.18 \times 100}{39.53} = 40.93$$

4.2 หา SiO_2 ในแร่เคโอลิไนท์

จากผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่เคโอลิไนท์ที่มี SiO_2 ร้อยละ 46.51

$$\text{เพราะฉะนั้นในเคโอลิไนท์จะมี } \text{SiO}_2 = \frac{46.51 \times 40.93}{100} = 19.04$$

$$\text{เหลือ } \text{SiO}_2 \text{ อีสระ (จากไมโครไคลน์ 72.07)} = 72.07 - 19.04 = 53.03$$

4.3 หา H_2O ในแร่เคโอลิไนท์

จากผลการวิเคราะห์ในทางทฤษฎีมี H_2O ร้อยละ 13.96

$$= \frac{13.96 \times 40.93}{100} = 5.71$$

$$\text{เหลือ } \text{H}_2\text{O} = 3.77 - 5.71 = -1.94$$

5. ส่วนประกอบของแร่ต่างๆในดิน BRC และการทำให้ผลรวมเป็นร้อยละ

ไมโครไคลน์	4.79	4.70
เคโอลิไนท์	40.93	40.15
ควอตซ์	53.03	52.02
แคลเซียมออกไซด์	0.44	0.43
เฟอร์ริก ออกไซด์	1.32	1.29
ไทเทเนียม ไดออกไซด์	1.43	1.40
รวม	<u>101.94</u>	<u>100.00</u>

การคำนวณหาส่วนประกอบของแร่ต่าง ๆ ในดิน BHC

1. ผลวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างดิน BHC

SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	L.O.I.
67.59	22.91	2.08	0.21	2.03	0.61	4.57

2. ผลวิเคราะห์ทางเคมีของชาตินดิน K₂O, Al₂O₃, SiO₂

K₂O 16.92

Al₂O₃ 18.32

SiO₂ 64.76

3. หาร้อยละของธาตุในชาตินดิน 3.1 หา K₂O ในชาตินดิน

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดิน BHC มี K₂O ร้อยละ 2.08 ในแร่ชาตินดินมี K₂O ร้อยละ 16.92

$$\text{เพราะฉะนั้นในชาตินดินจะมี K}_2\text{O} = \frac{2.08 \times 100}{16.92} = 12.29$$

3.2 หาอลูมินาในชาตินดินจากผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่ชาตินดินมีอลูมินาร้อยละ 18.32

$$\text{เพราะฉะนั้นในชาตินดินจะมีอลูมินา} = \frac{12.29 \times 18.32}{100} = 2.25$$

อลูมินาจากผลวิเคราะห์ทางเคมีมีร้อยละ 22.91

$$\text{เหลืออลูมินาในชาตินดิน} = 22.91 - 2.25 = 20.66$$

3.3 หา SiO₂ ในชาตินดิน

จากผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่ชาตินดินมี SiO₂ ร้อยละ 64.76

$$\text{เพราะฉะนั้นในชาตินดินจะมี SiO}_2 = \frac{12.29 \times 64.76}{100} = 7.96$$

จากผลวิเคราะห์ทางเคมีของดิน BHC มี SiO₂ ร้อยละ 67.59

$$\text{เหลือ SiO}_2 \text{ ในชาตินดิน} = 67.59 - 7.96 = 59.60$$

4. หาร้อยละของธาตุในเคโอลิไนท์

ผลวิเคราะห์ทางเคมีเคโอลิไนท์ คือ

Al₂O₃ SiO₂ H₂O

39.53 46.51 13.96

4.1 หาร้อยละของ Al₂O₃ ในเคโอลิไนท์

มี Al₂O₃ เหลือจากชาตินดินร้อยละ 20.66 และผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่เคโอลิไนท์มีอลูมินาร้อยละ 39.53

$$\text{เพราะฉะนั้นในเคโอลิไนท์จะมีอลูมินา} = \frac{20.66 \times 100}{39.53} = 52.26$$

4.2 หาร้อยละ SiO₂ ในเคโอลิไนท์

จากผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่เคโอลิไนท์มี SiO₂ ร้อยละ 46.51

$$\text{เพราะฉะนั้นในเคโอลิไนต์จะมี SiO}_2 = \frac{46.51 \times 52.30}{100} = 24.32$$

$$\text{SiO}_2 \text{ อีสระเหลือจากชาดิน} = 59.60 - 24.32 = 35.28$$

4.3 หา H₂O ในแร่เคโอลิไนต์

จากผลการวิเคราะห์ในทางทฤษฎีมี H₂O ร้อยละ 13.96

$$\text{เพราะฉะนั้นมี H}_2\text{O ในเคโอลิไนต์} = \frac{13.96 \times 52.30}{100} = 7.30$$

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดิน BHC มี LOI ร้อยละ 4.57

$$\text{เพราะฉะนั้นเหลือ H}_2\text{O เคโอลิไนต์} = 4.57 - 7.30 = -2.73$$

5. ส่วนประกอบของแร่ต่างๆในดิน BHC และการทำให้ผลรวมเป็นร้อยละ

ชาดิน	12.29	11.97
เคโอลิไนต์	52.26	50.90
ควอทซ์	35.28	34.36
แคลเซียมออกไซด์	0.21	0.20
เฟอร์ริก ออกไซด์	2.03	1.97
ไทเทเนียม ไดออกไซด์	0.61	0.58
รวม	<u>102.68</u>	<u>100.00</u>

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงขนาดของรูตะแกรงขนาดต่างๆตามมาตรฐานของ ASTM



Sieve number (Mesh)	Aperture (Microns)
400	38
325	45
270	53
230	63
200	75
170	90
140	106
120	125
100	150
80	180
70	212
60	250
50	300
45	355
40	425
35	500
30	600
25	710
20	850
18	1000
16	1180
14	1400
12	1700
10	2000
8	2360
7	2800
6	3350
5	4000
4	4750
3.5	5600

ที่มา : Cookson Ceramics Limited . Ceramists Handbook

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายเชียวชาญ แสงทอง
วัน เดือน ปี เกิด	1 มกราคม 2519
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	โรงเรียนชานุมานวิทยาคม จ.อำนาจเจริญ พ.ศ. 2538
ระดับอนุปริญญา	วิทยาศาสตร์สาขาเซรามิกส์ สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี พ.ศ. 2544
ระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์สาขาเทคโนโลยีเซรามิก สถาบันราชภัฏลำปาง พ.ศ. 2546
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2546-2548 ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง