

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ศึกษาลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบที่นำไปใช้ในการทำกระเบื้องเซรามิก

##### 4.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบหลัก โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ดังได้แสดงในตารางที่ 4.1

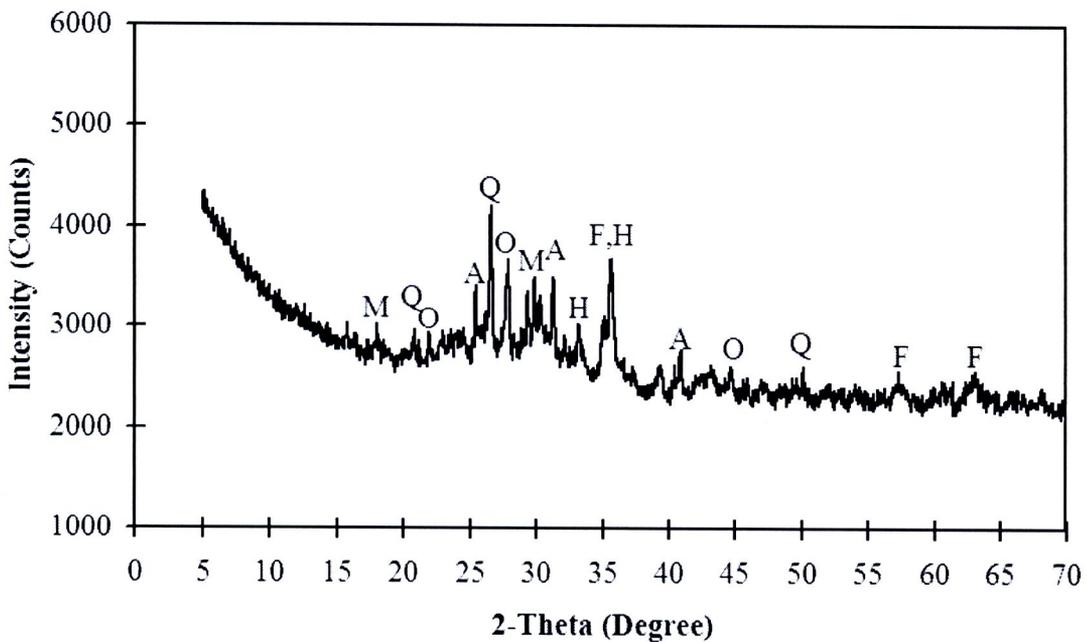
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนัก เถ้าลอย และดิน

องค์ประกอบทางเคมี	เถ้าหนัก (%)	เถ้าลอย (%)	ดิน (%)
SiO <sub>2</sub>	42.22	39.46	69.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.80	18.09	23.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.05	13.62	3.38
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.11	-
MgO	2.33	2.19	-
CaO	15.15	17.43	0.31
SO <sub>3</sub>	3.05	4.19	-
Na <sub>2</sub> O	1.55	2.16	-
K <sub>2</sub> O	2.22	2.29	2.27
TiO <sub>2</sub>	0.53	0.46	0.67

จากตารางแสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนัก เถ้าลอย และดิน พบว่า เถ้าหนัก เถ้าลอย และดิน มีองค์ประกอบหลักคล้ายกันคือ ประกอบด้วย ซิลิกา อะลูมินา มากกว่าร้อยละ 60 นอกจากนี้ยังมี แคลเซียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ และโพแทสเซียมออกไซด์ โดยในเถ้าหนักและเถ้าลอยพบปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ มากกว่าดิน ซึ่งส่งผลให้เถ้าหนักและเถ้าลอย มีความเป็นเบสสูงเมื่อเทียบกับดิน ดังในตารางที่ 4.2 และองค์ประกอบของเหล็กที่มีในเถ้าทั้งสองยังทำให้ชิ้นงานมีสีแดงเข้มขึ้น ให้ลักษณะต่างจากการใช้ดินเพียงอย่างเดียว

#### 4.1.2 องค์ประกอบทางแร่

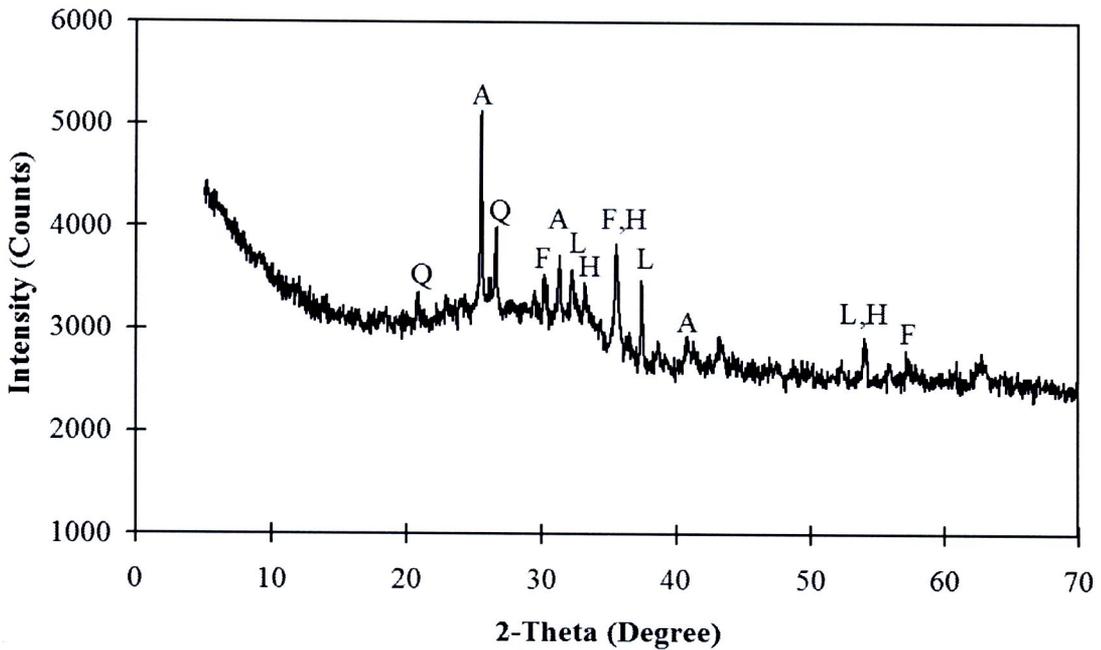
ศึกษาองค์ประกอบทางแร่ของวัตถุคิบลัก โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 – 4.3 และตารางที่ 4.2 โดยจากลักษณะของกราฟในรูปที่ 4.1 – 4.3 สามารถบ่งบอกถึงความเป็นผลึก (Crystalline) หรือ ออสัญฐาน (Amorphous หรือ Glassy phase) ของวัตถุคิบลในแต่ละชนิดได้



รูปที่ 4.1 องค์ประกอบทางแร่ของถ้ำหนัก

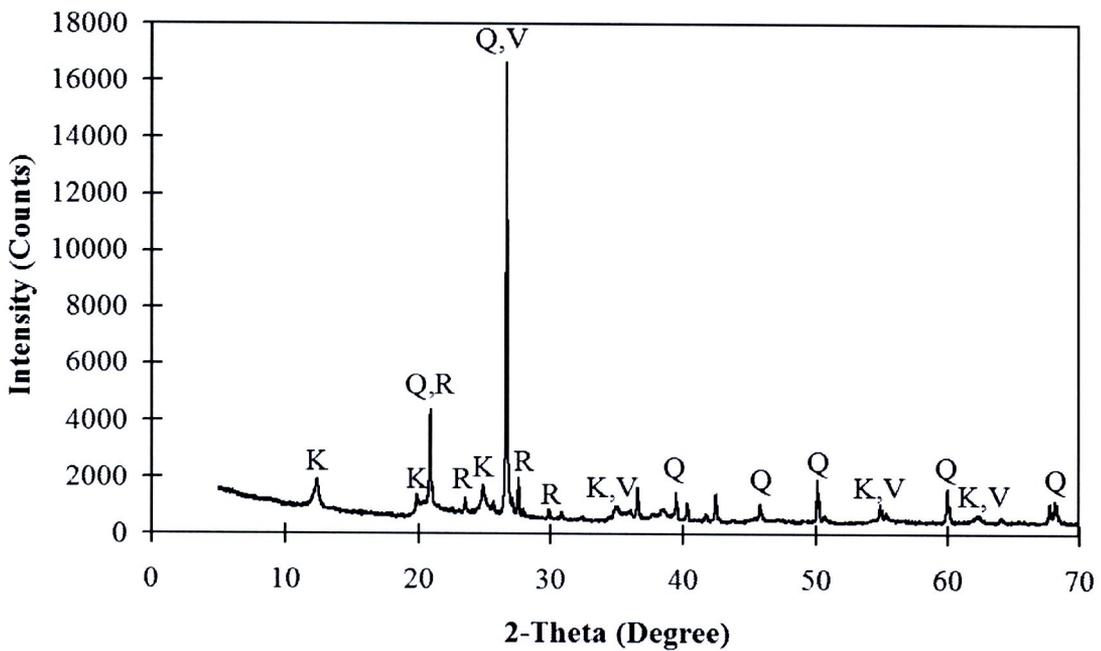
[F:Magnesioferrite ( $MgFe_2O_4$ ), Q:Quartz ( $SiO_2$ ), M:Magnetite ( $Fe_3O_4$ ), A:Anhydrite ( $CaSO_4$ ), O:Anorthite ( $CaAl_2Si_2O_8$ ), H:Hematite ( $Fe_2O_3$ )]

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของถ้ำหนักประกอบด้วย แมกนีซิโอเฟอร์ไรต์ (Magnesioferrite) ควอตซ์ (Quartz) แมกนีไทต์ (Magnetite) แอนไฮไดรต์ (Anhydrite) อะนอร์ไทท์ (Anorthite) และเฮมาไทต์ (Hematite) จากลักษณะของกราฟมีส่วนที่อยู่ในรูปของผลึก และแสดงความเป็นอสัญฐาน เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า ส่วนที่เป็นอสัญฐานประกอบไปด้วย ซิลิกา อะลูมินา แคลเซียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ และพวก Glassy phase เป็นหลัก โดยมี อะนอร์ไทท์ และ Glassy phase เป็นตัวช่วยหลอม เพื่อช่วยในการผุพังตัว



รูปที่ 4.2 องค์ประกอบทางแร่ของเต้าลอย

[L:Lime (CaO), F:Magnesioferrite ( $MgFe_2O_4$ ), A:Anhydrite ( $CaSO_4$ ), Q:Quartz ( $SiO_2$ ), H:Hematite ( $Fe_2O_3$ )]



รูปที่ 4.3 องค์ประกอบทางแร่ของดิน

[Q:Quartz ( $SiO_2$ ), R:Orthoclase ( $K_{0.94}Na_{0.06}(AlSi_3O_8)$ ), K:Kaolinite ( $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ ), V:Muscovite ( $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ )]

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของเถ้าลอยในรูปที่ 4.2 ประกอบด้วย ไลม์ (Lime) แมกนีซิโอเฟอร์ไรต์ แอนไฮไดรต์ ควอตซ์ และเฮมาไทต์ จากลักษณะของกราฟมีส่วนที่อยู่ในรูปของผลึก และแสดงความเป็นอสัณฐาน โดยประกอบไปด้วย ซิลิกา อะลูมินา แคลเซียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ และ Glassy phase เป็นหลัก เหมือนของเถ้าหนัก โดยมี Glassy phase เป็นตัวช่วยในการหลอม

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของดินดังในรูปที่ 4.3 พบว่าประกอบไปด้วย ควอตซ์ ออร์โทเคลส (Orthoclase) เคโอลิไนต์ (Kaolinite) และมัสโคไวท์ (Muscovite) จากลักษณะของกราฟมีความเป็นผลึกค่อนข้างสมบูรณ์ โดยมีออร์โทเคลส และมัสโคไวท์ เป็นตัวช่วยหลอมช่วยในการพ่นกั่วของวัตถุดิบ สามารถสรุปข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางแร่ของเถ้าหนัก เถ้าลอย และดิน

วัตถุดิบ	pH	องค์ประกอบทางแร่	สูตรทางเคมี
เถ้าหนัก	8.9	Magnesioferrite	$MgFe_2O_4$
		Quartz	$SiO_2$
		Magnetite	$Fe_3O_4$
		Anhydrite	$Ca(SO_4)$
		Anorthite	$CaAl_2Si_2O_8$
		Hematite	$Fe_2O_3$
เถ้าลอย	11.0	Lime	$CaO$
		Magnesioferrite	$MgFe_2O_4$
		Anhydrite	$Ca(SO_4)$
		Quartz	$SiO_2$
		Hematite	$Fe_2O_3$
ดิน	7.1	Quartz	$SiO_2$
		Orthoclase	$K_{0.94}Na_{0.06}(AlSi_3O_8)$
		Kaolinite	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$
		Muscovite	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด – เบส พบว่าเถ้าหนัก และเถ้าลอยมีความเป็นเบส และดินมีค่า pH เป็นกลาง โดยเถ้าลอยมีค่า pH สูงถึง 11 จึงมีความเป็นเบสมากกว่าเถ้าหนัก ซึ่งส่งผลให้เกิดคราบเกลือขึ้นที่ผิวของชิ้นงานหลังเผาหากผสมในปริมาณมาก เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี และองค์ประกอบทางแร่ ดังในตารางที่ 4.1 – 4.2 พบว่าแม้เถ้าหนัก เถ้าลอย และดิน จะมีองค์ประกอบหลักทางเคมีคล้ายกัน แต่องค์ประกอบทางแร่ที่พบแตกต่างกันมาก

#### 4.1.3 ขนาดอนุภาค

ศึกษาขนาดอนุภาคของวัสดุดิบ โดยใช้ตะแกรงร่อนและเครื่องวัดขนาดอนุภาค ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ขนาดอนุภาคของเถ้าหนัก เถ้าลอย และดิน

ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)	เถ้าหนัก (%)	เถ้าลอย (%)	ดิน (%)
> 177	63.98	4.49	44.57
176 - 105	20.25	11.37	12.34
104 - 63	10.50	20.80	18.05
< 62	6.27	63.33	25.04

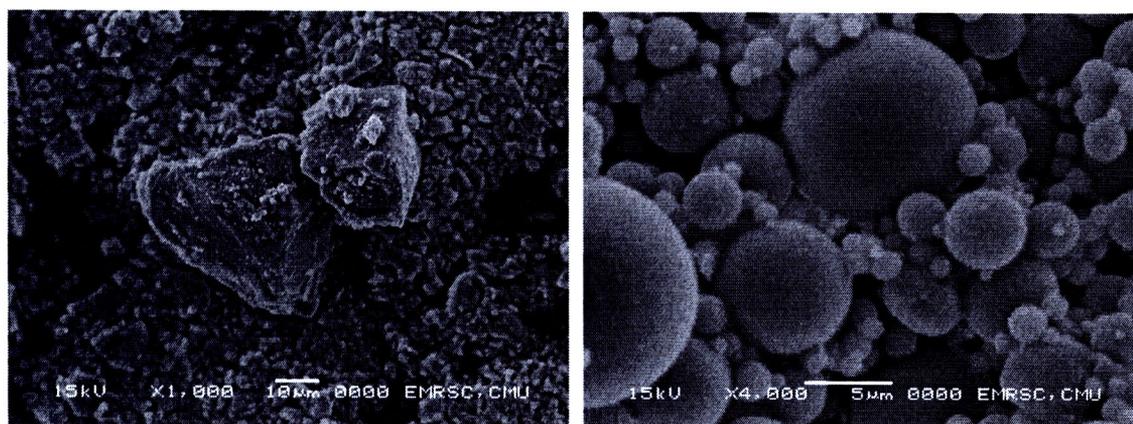
การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดังตารางที่ 4.3 พบว่าเถ้าหนัก และดินมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยมากกว่า 177 ไมโครเมตร เถ้าลอยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยน้อยกว่า 62 ไมโครเมตร ผลการวิเคราะห์โดยเครื่องวัดขนาดอนุภาค พบว่าเถ้าลอยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 37.27 ไมโครเมตร

จากการวิเคราะห์พบว่า ในเถ้าหนัก และเถ้าลอยมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) และออกไซด์ของ ซิลิกา อะลูมินา และเหล็ก ปนอยู่ เมื่อผสมกับน้ำ จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีชนิดพอซโซลานิก (Pozzolanic reaction) เกิดสารประกอบ C – S – H (Calcium silicate hydrate) ซึ่งมีสมบัติในการเชื่อมประสาน ดังพบในปูนซีเมนต์ ทำให้ต้องระวังในเรื่องการขึ้นรูป เนื่องจากส่วนผสมจะแข็งตัวเร็ว โดยเฉพาะอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้าถ่านหินมาก ต้องทำการขึ้นรูปทันทีหลังจากที่เตรียมส่วนผสมเสร็จ

ในการศึกษาพบว่า ขนาดของวัตถุดิบมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิไซคลานิก โดยวัตถุดิบที่มีอนุภาคเล็ก มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดี ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3 เถ้าลอยมีขนาดอนุภาคเล็กละเอียดกว่าเถ้าหนัก เถ้าลอยจึงเกิดปฏิกิริยาได้ดี นอกจากนี้เถ้าลอยยังมีสาร เช่น CaO ที่สำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยา ส่งผลให้สูตรผสมที่มีเถ้าลอยเกิดการแข็งตัวเร็วกว่าผสมด้วยเถ้าหนัก

#### 4.1.4 โครงสร้างจุลภาคของเถ้าหนักและเถ้าลอย

ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเถ้าหนักและเถ้าลอย โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 4.4



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.4 โครงสร้างทางจุลภาคของเถ้าถ่านหิน (ก) เถ้าหนัก (ข) เถ้าลอย

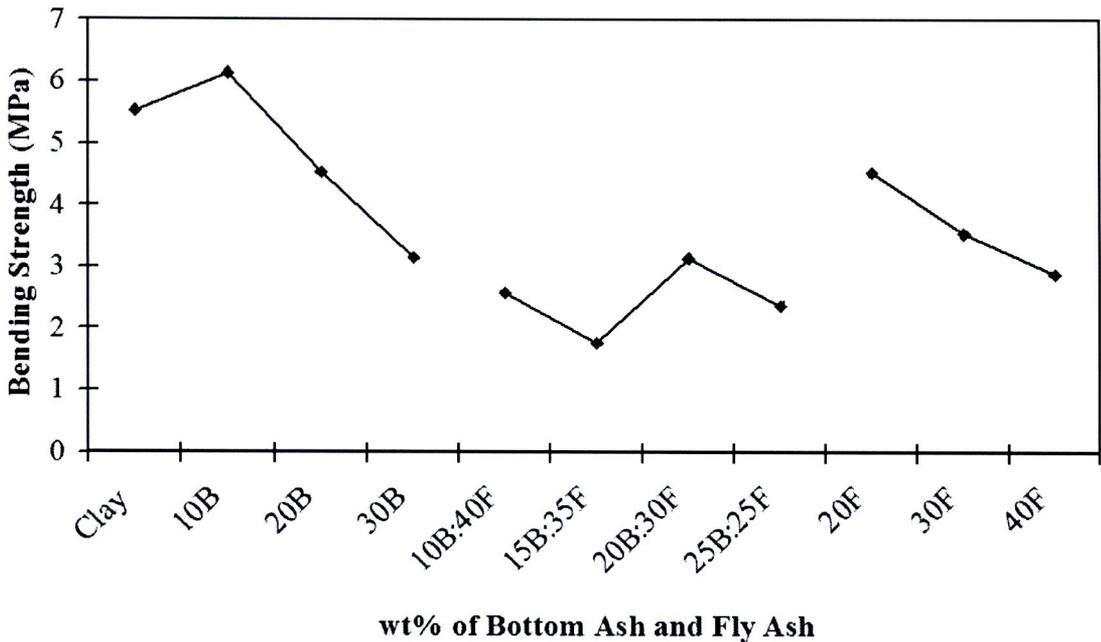
จากภาพโครงสร้างทางจุลภาคของเถ้าหนักและเถ้าลอย ดังรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าเถ้าถ่านหินมีโครงสร้างแบบสามมิติ คือ เถ้าหนักมีลักษณะเป็นก้อนรูปร่างไม่แน่นอน ในขณะที่เถ้าลอยมีลักษณะเป็นทรงกลม โดยเถ้าลอยมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าเถ้าหนัก

## 4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของกระเบื้องเซรามิก

### 4.2.1 ความต้านทานแรงดัด (Bending strength)

ศึกษาความต้านทานแรงดัดของกระเบื้องเซรามิก โดยใช้เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดัด ดังแสดงในรูปที่ 4.5 – 4.8 และสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณเถ้าหนัก และเถ้าลอย กับค่าความต้านทานแรงดัด

## 1) ความต้านทานแรงดัดก่อนผา

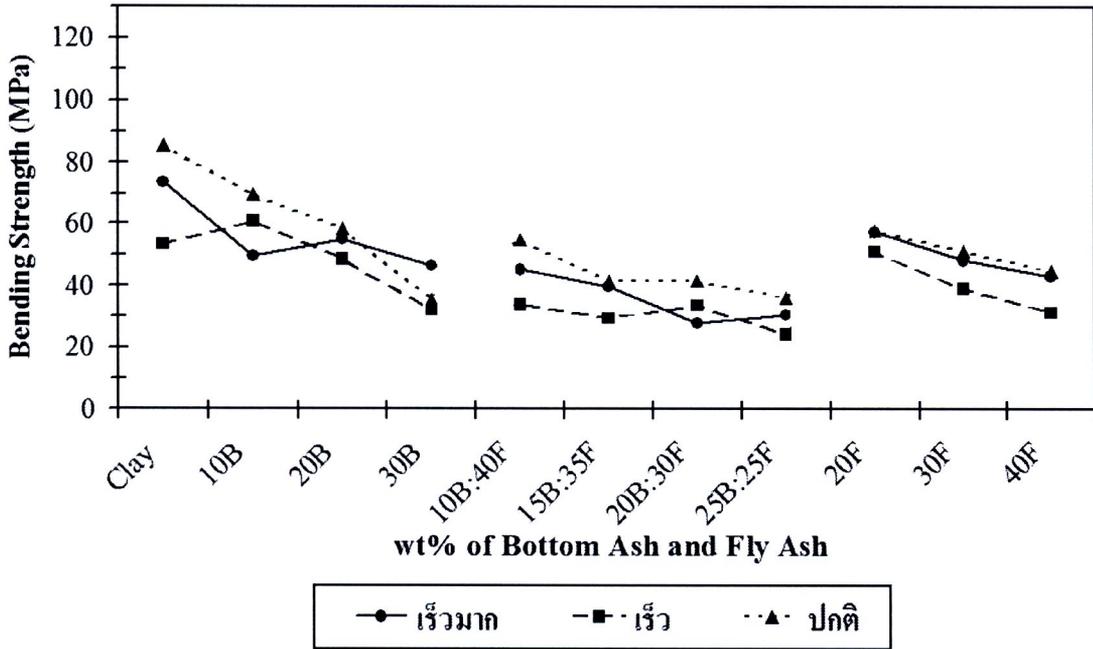


รูปที่ 4.5 ความต้านทานแรงดัดก่อนผาของกระเบื้องเซรามิกที่ผสมเถ้าหนักและเถ้าลอย

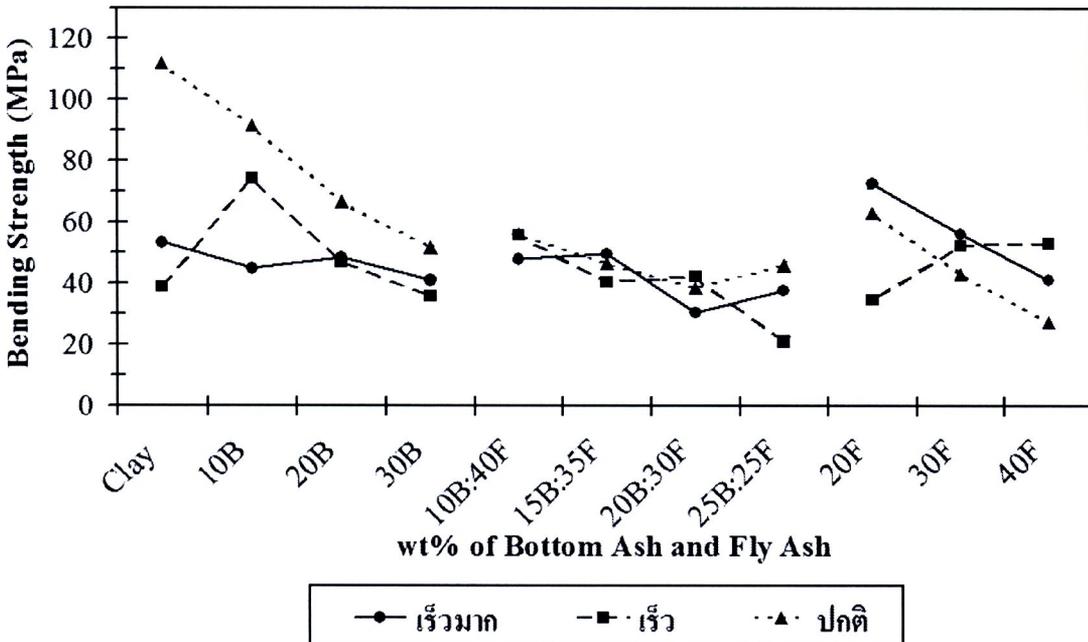
จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อผสมเถ้าหนักและเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดัดจะลดลง ยกเว้นที่ผสมเถ้าหนัก 10% เนื่องจากอนุภาคของเถ้าหนักและดินเหนียวตัวกันอย่างเหมาะสมและเกิดสารประกอบ C – S – H ที่ช่วยในการเชื่อมประสาน ความต้านทานแรงดัดจึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมเถ้าหนัก และเถ้าลอยเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุที่แข็งและไม่มีความเหนียว (Non plastic material) จึงทำให้ชิ้นงานก่อนผามีความต้านทานแรงดัดลดลง ในส่วนที่ผสมดินคงที่ 50% กับเถ้าหนัก และเถ้าลอยในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเถ้าหนัก และเถ้าลอยไม่ส่งผลต่อความต้านทานแรงดัด จากภาคผนวก ก มีค่าความต้านทานแรงดัดตั้งแต่ 1.76 – 3.14 โดยจะเห็นว่าค่าความต้านทานแรงดัดน้อยกว่าดินผสมเถ้าหนัก และดินผสมเถ้าลอย เนื่องจากมีปริมาณดินน้อยกว่า แต่ค่าความต้านทานแรงดัดที่ได้ไม่แตกต่างจากของเถ้าหนัก 30% และเถ้าลอย 40% มากนักแม้จะผสมดินน้อย แสดงว่าการผสมทั้งเถ้าหนักและเถ้าลอยอนุภาคจะมีการเหนียวตัวได้ดีกว่าที่ดินผสมเถ้าหนัก และดินผสมเถ้าลอย หากใช้ในปริมาณเดียวกัน



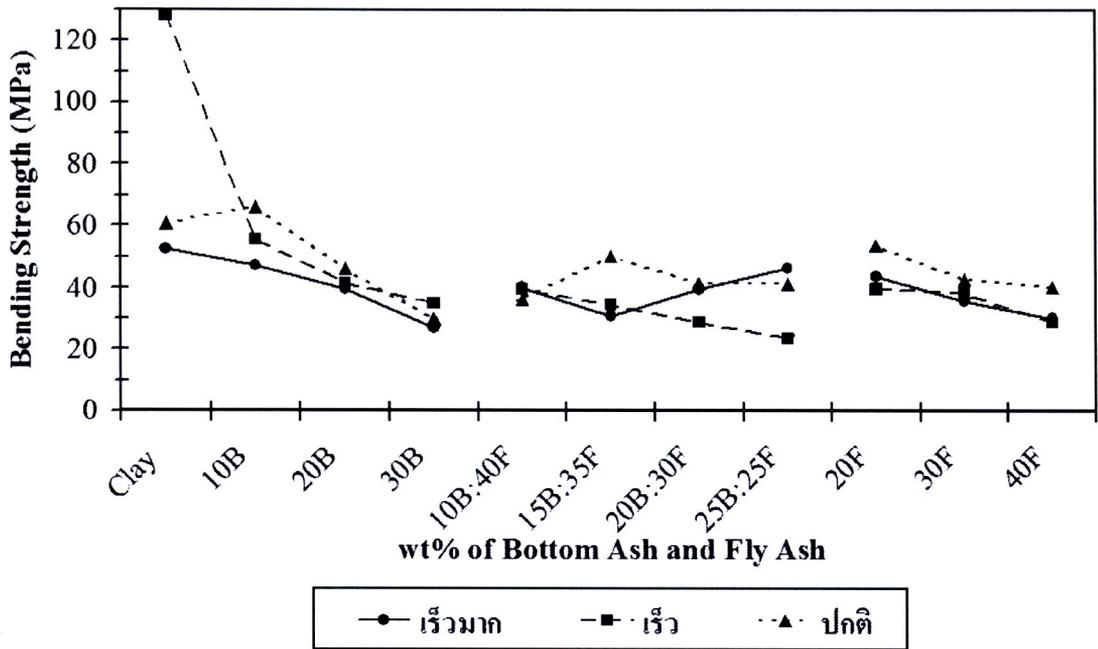
2) ความต้านทานแรงดัดหลังเผา



รูปที่ 4.6 ความต้านทานแรงดัดของกระเบื้องเซรามิก เผาที่อุณหภูมิ 850 °ซ.



รูปที่ 4.7 ความต้านทานแรงดัดของกระเบื้องเซรามิก เผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ.

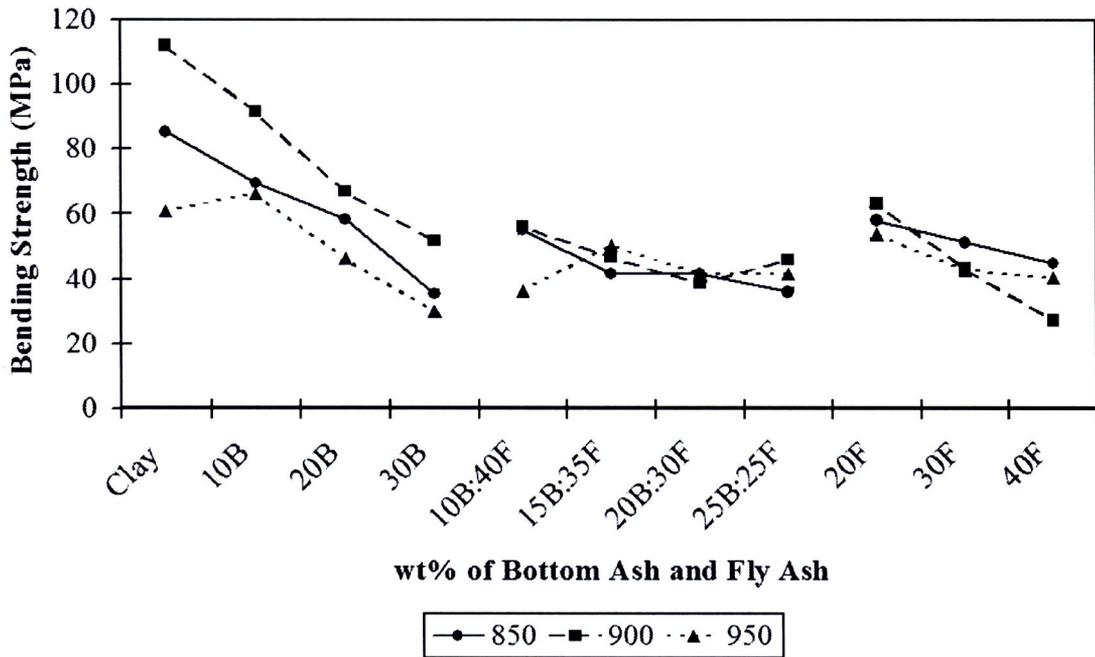


รูปที่ 4.8 ความต้านทานแรงคัดของกระเบื้องเซรามิก เเผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ.

จากรูปที่ 4.6 – 4.8 สังเกตได้ว่าเมื่อผสมเถ้าหนัก และเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงคัดจะลดลง คล้ายกับความต้านทานแรงคัดของชิ้นงานก่อนเผาในทุกส่วนผสม อาจเนื่องจากมีปริมาณแก้วหลอมมากเกินไป และการผนึกตัวของอนุภาคหลังเผาไม่ดีเหมือนกับใช้ดินอย่างเดียว ในส่วนที่ผสมดินคงที่ 50% กับเถ้าหนัก และเถ้าลอย พบว่าส่วนใหญ่เมื่อผสมเถ้าหนักเพิ่มมากขึ้น ความต้านทานแรงคัดมีค่าลดลง เนื่องจากเถ้าหนักมีอนุภาคขนาดใหญ่ จึงทำให้การผลึกตัวของอนุภาคหลังเผาไม่ดีเท่าผสมเถ้าลอย นอกจากนี้ยังพบว่าสูตรที่ผสมดินคงที่ 50% กับเถ้าหนัก และเถ้าลอย มีความต้านทานแรงคัดใกล้เคียงกับดินผสมเถ้าหนักเถ้าหนัก 30% และเถ้าลอย 40% แม้จะมีส่วนผสมของดินน้อยกว่า อาจเนื่องจากการผนึกตัวของอนุภาค ดิน เถ้าหนัก และเถ้าลอย หลังเผา มีความเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงคัดก่อนเผา ที่ส่วนผสมดินคงที่ 50% มีค่าความต้านทานแรงคัดใกล้เคียงกับสูตรดินผสมเถ้าหนัก 30% และเถ้าลอย 40%

หากเปรียบเทียบอัตราการเผาแบบต่างๆ ของดินผสมเถ้าหนัก 10% – 30% และเถ้าลอย 20% – 40% อัตราการเผาแบบปกติจะให้ค่าความต้านทานแรงคัดสูงกว่าในอัตราการเผาแบบอื่นเกือบทุกส่วนผสม ยกเว้นที่ผสมกับเถ้าลอยเผาที่ 900 °ซ. ในอัตราการเผาแบบเร็ว และเร็วมากมีค่าความต้านทานแรงคัดสูงกว่าอัตราการเผาแบบปกติ อาจเนื่องจากที่อัตราการเผาแบบปกติมีปริมาณแก้วหลอม (Glassy phase) มาก ความหนืดของของหลอมจึงลดลง จึงอาจทำให้เกิดการเดือดของ

Glassy phase แล้วทำให้มีรูพรุนปิดได้ ค่าความต้านทานแรงดัดจึงน้อยกว่าอัตราการเผาแบบอื่น สำหรับส่วนผสมที่มีดินคงที่ 50% เเผาที่อุณหภูมิต่ำ 850 และสูงที่ 950 °ซ. อัตราการเผาปกติจะให้ค่าความต้านทานแรงดัดสูงในทุกส่วนผสม แต่เมื่อเผาด้วยอุณหภูมิ 900 °ซ. ค่าความต้านทานแรงดัดมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามอัตราการเผา



รูปที่ 4.9 ความต้านทานแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกผสมเถ้าหนักและเถ้าลอย เเผาแบบปกติ ที่อุณหภูมิการเผาแบบต่างๆ

จากข้อมูลในรูปที่ 4.6 – 4.8 จึงเลือกศึกษาความต้านทานแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกผสมเถ้าหนักและเถ้าลอย เเผาด้วยอัตราปกติ ซึ่งหากเปรียบเทียบอุณหภูมิการเผาที่ 850, 900 และ 950 °ซ. กับค่าความต้านทานแรงดัด ดังในรูปที่ 4.9 และในส่วนภาคผนวก ก พบว่าอุณหภูมิการเผาที่ 900 °ซ. จะให้ค่าความต้านทานแรงดัดสูงเกือบทุกส่วนผสม โดยเฉพาะสูตรดินผสมเถ้าหนัก และสูตรผสมดินคงที่ 50% เกือบทุกส่วนผสม อาจเนื่องจากมีปริมาณแก้วหลอมพอเหมาะช่วยในการปิดรูพรุน หากเผาที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ คือ 950 °ซ. ปริมาณแก้วหลอมมีมากเกินไปจนความต้านทานแรงดัดที่ได้จึงน้อยกว่าเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ. ส่วนการผสมเถ้าลอยที่ 20% เเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ. จะให้ค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยเป็น 30% และ 40% การเผาที่อุณหภูมิต่ำ 850 °ซ. จะได้ความต้านทานแรงดัดสูงกว่าการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น อาจเพราะมีปริมาณแก้วหลอมพอเหมาะช่วยในการผนึกตัวของอนุภาค

### 3) สมการทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณเถ้าหนักและเถ้าลอย กับค่าความต้านทานแรงดัด

จากข้อมูลจึงได้เลือกศึกษาอุณหภูมิเผาที่ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ เนื่องจากให้สมบัติด้านความต้านทานแรงดัดดีที่สุด ดังที่กล่าวมาแล้วในรูปที่ 4.6 – 4.9

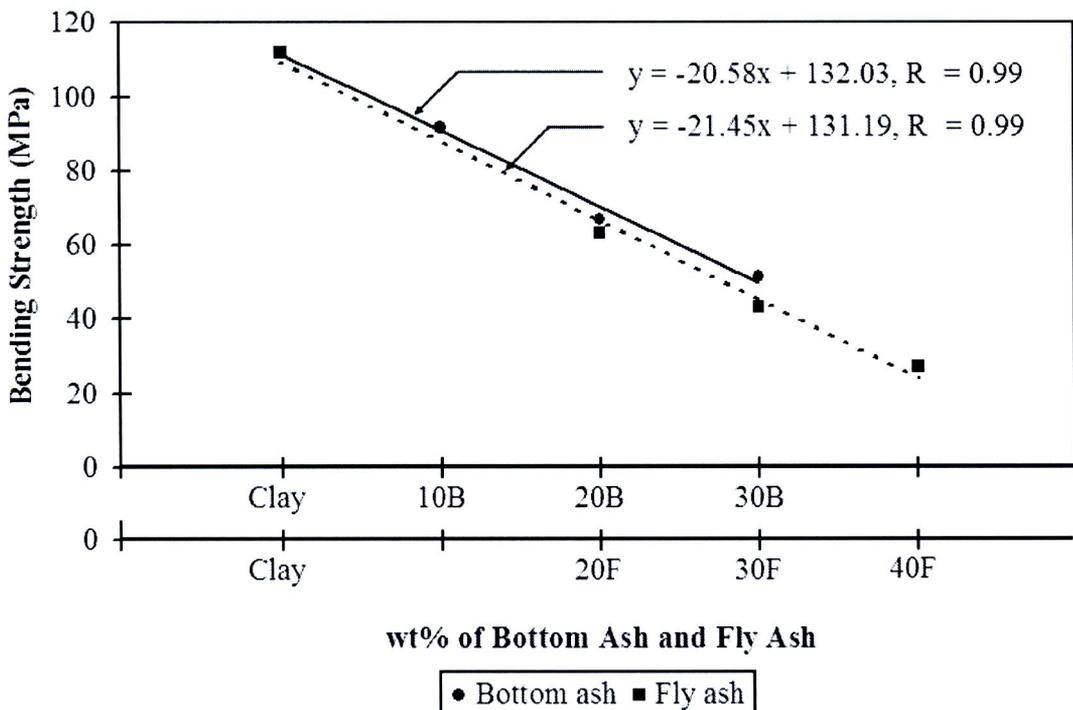
การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานแรงดัดกับ ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าหนักและเถ้าลอย ดังในรูปที่ 4.10 สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 4.1 – 4.2 โดยจากรูปจะสังเกตได้ว่าเมื่อผสมเถ้าลอยเพิ่มขึ้นจะให้ค่าความต้านทานแรงดัดลดลงมากกว่าการเติมเถ้าหนัก เนื่องจากความชื้นของกราฟมีค่ามากกว่า

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดัดกับปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าหนัก

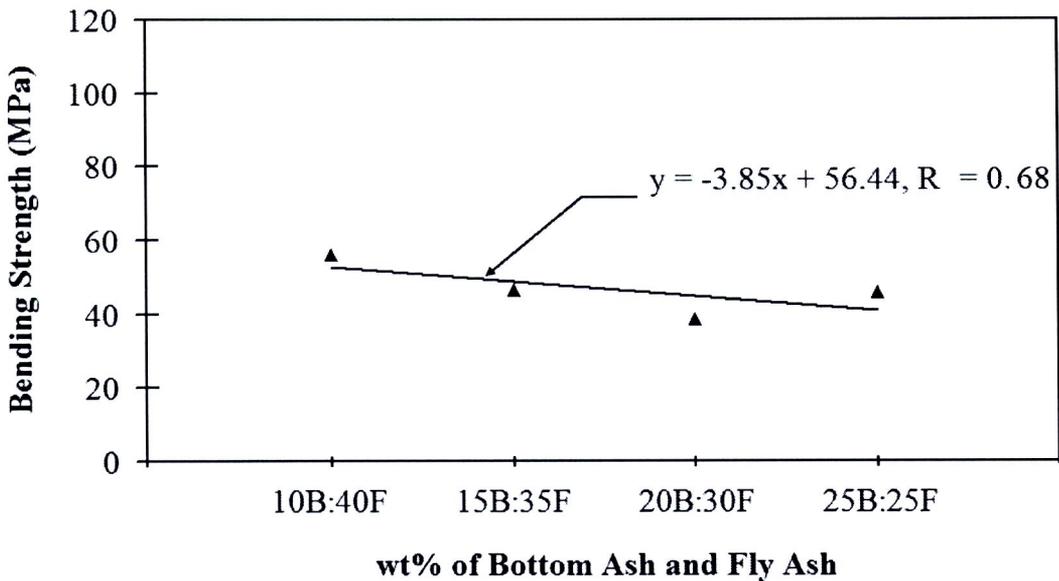
$$Y = -20.58X + 132.03 \quad R = 0.99 \quad (4.1)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดัดกับปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าลอย

$$Y = -21.45X + 131.19 \quad R = 0.99 \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.10 ความต้านทานแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกกับปริมาณเถ้าหนักและเถ้าลอยเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ



รูปที่ 4.11 ความต้านทานแรงคดของกระเบื้องเซรามิกที่ประกอบด้วยดินร้อยละ 50 กับปริมาณเถ้าหนักต่อเถ้าลอยเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ. แบบปกติ

การเปลี่ยนแปลงระหว่างค่าความต้านทานแรงคดกับปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าหนัก:เถ้าลอย ที่ดินคงที่ 50% ดังในรูปที่ 4.11 สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 4.3 โดยจากรูปสังเกตได้ว่าเมื่อผสมเถ้าหนักเพิ่มขึ้นจะให้ค่าความต้านทานแรงคดลดลง เนื่องจากความชันของกราฟมีค่าเป็นลบ และจากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) มีค่า 0.68 แสดงว่าความต้านทานแรงคดและปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าหนัก:เถ้าลอย ที่ดินคงที่ มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูง [32] อาจเนื่องจากจำนวนของข้อมูลน้อย

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงคดกับปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าหนักต่อเถ้าลอยที่ดินคงที่ 50%

$$Y = -3.85X + 56.44 \quad R = 0.68 \quad (4.3)$$

เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานจากดินผสมเถ้าหนัก และดินผสมเถ้าลอย ในรูปที่ 4.10 กับในรูปที่ 4.11 ชิ้นงานจากดิน 50% ผสมทั้งเถ้าหนักและเถ้าลอย พบว่าชิ้นงานที่ผสมทั้งเถ้าหนักและเถ้าลอยมีความชันของกราฟน้อย คือ มีการลดลงของความต้านทานแรงคดไม่มากเมื่อเติมเถ้าหนักเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวโน้มสอดคล้องกับการเติมเถ้าหนักเพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่าการเติมเถ้าหนักและเถ้าลอยเพียงอย่างเดียว เนื่องจากใช้ดินในปริมาณน้อยกว่า

#### 4.2.2 ความหนาแน่น (Density) การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ความพรุน (Porosity)

ศึกษาความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความพรุน ของกระเบื้องเซรามิก ดังแสดงในรูปแบบที่ 4.12 – 4.17 ตารางที่ 4.4 และสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณเนื้อแห้งและเนื้อลอยกับการดูดซึมน้ำและความพรุน (ความหนาแน่นของข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันจึงไม่สร้างสมการ)

##### 1) ความหนาแน่น

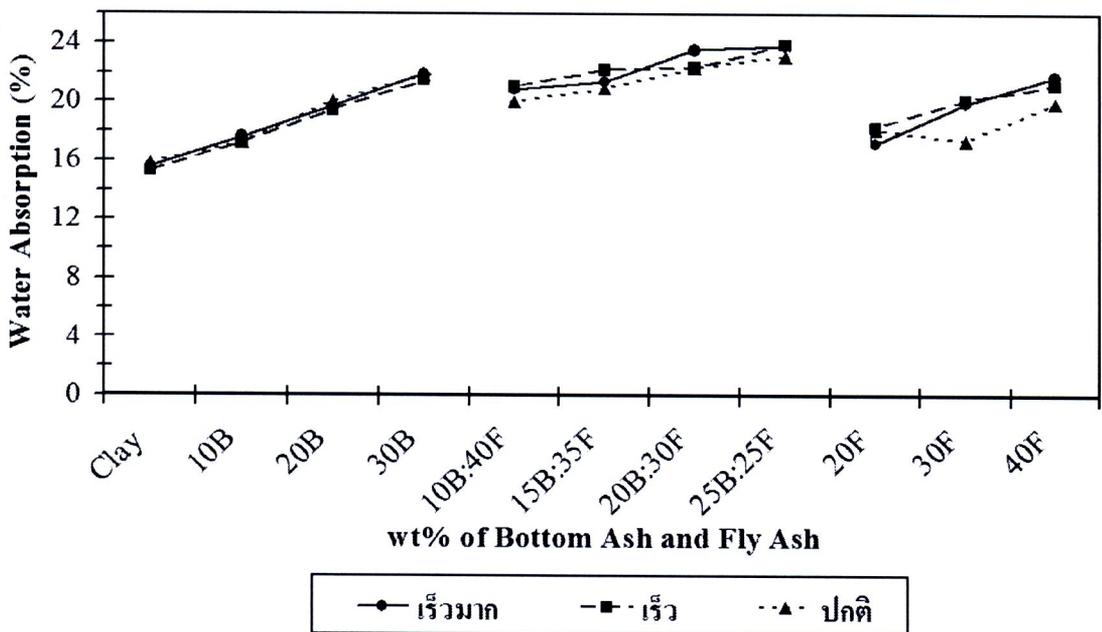
ตารางที่ 4.4 ความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกหลังเผา

สูตร	เผา 850 °ซ. (g/cm <sup>3</sup> )			เผา 900 °ซ. (g/cm <sup>3</sup> )			เผา 950 °ซ. (g/cm <sup>3</sup> )		
	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ
โรงงาน									1.87
ดิน	1.81	1.82	1.82	1.81	1.82	1.84	1.84	1.85	1.82
10B	1.79	1.78	1.79	1.78	1.78	1.84	1.79	1.85	1.85
20B	1.73	1.73	1.73	1.73	1.71	1.73	1.75	1.76	1.76
30B	1.67	1.67	1.67	1.67	1.66	1.65	1.67	1.68	1.71
10B:40F	1.68	1.67	1.70	1.69	1.68	1.67	1.74	1.72	1.68
15B:35F	1.67	1.64	1.68	1.66	1.65	1.65	1.68	1.69	1.66
20B:30F	1.61	1.63	1.65	1.63	1.65	1.61	1.67	1.66	1.63
25B:25F	1.61	1.61	1.64	1.62	1.64	1.61	1.64	1.63	1.62
20F	1.75	1.73	1.76	1.76	1.76	1.76	1.78	1.79	1.82
30F	1.69	1.72	1.78	1.74	1.72	1.71	1.75	1.74	1.71
40F	1.65	1.66	1.70	1.72	1.71	1.71	1.71	1.73	1.71

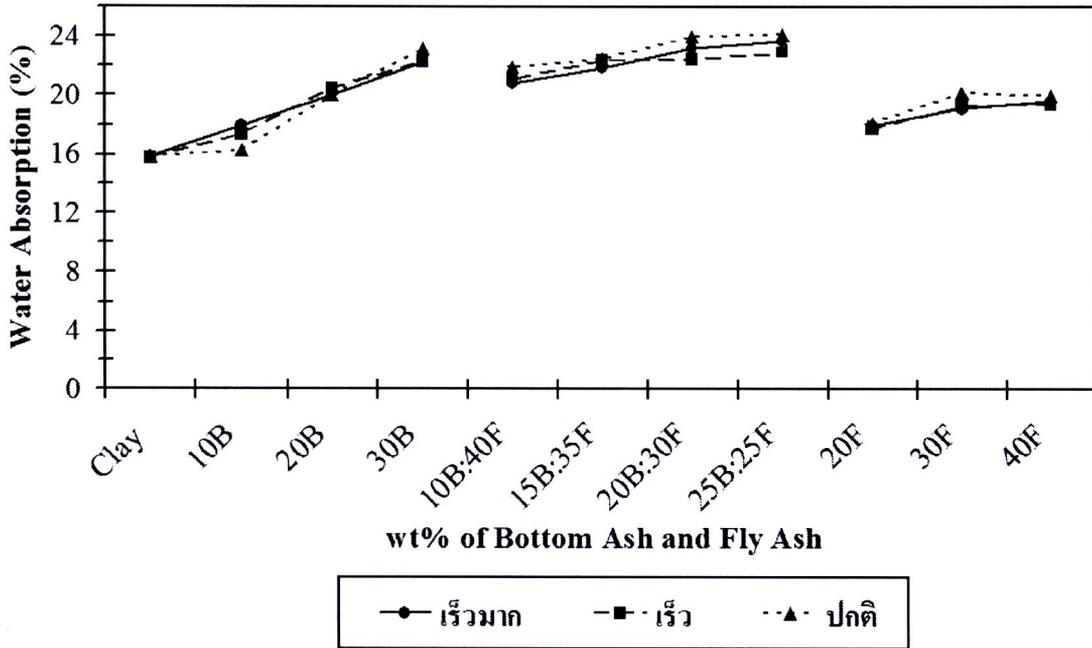
จากตารางที่ 4.4 จะพบว่าค่าความหนาแน่นของชิ้นงานในทุกส่วนผสมมีค่าน้อยกว่าของโรงงานแม้จะเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า หรืออัตราการเผาที่เร็วกว่าของโรงงาน โดยจากข้อมูลทั้งหมดมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.61 – 1.85 ซึ่งจะเห็นว่า การเปลี่ยนอุณหภูมิการเผาที่ 850, 900 และ 950 °ซ. ไม่มีความสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน และการเปลี่ยนอัตราการเผาทั้งสามแบบ คือ แบบเร็วมาก เร็ว และปกติ ก็ไม่ส่งผลกับความหนาแน่นของชิ้นงานเช่นเดียวกัน

แต่เมื่อผสมเถ้าหนักและเถ้าลอยเพิ่มขึ้นจะได้ว่า ความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าลดลง สอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงคดที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ ซึ่งพบว่าเมื่อผสมเถ้าหนักและเถ้าลอยเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงคดจะลดลง อาจเนื่องจากชิ้นงานที่ผสมเถ้าหนัก และเถ้าลอย หลังจากการเผามีรูพรุนมาก เพราะการผนึกตัวของอนุภาคไม่ดี จึงส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง สำหรับส่วนผสมที่มีดินคงที่ 50% พบว่าเมื่อผสมเถ้าหนักเพิ่มขึ้นความหนาแน่นลดลง เพราะขนาดอนุภาคเฉลี่ยของเถ้าหนักใหญ่กว่าเถ้าลอย การผลึกตัวของอนุภาคจึงไม่ดีเท่าผสมเถ้าลอย นอกจากนี้ จะเห็นว่าสูตรดินคงที่ 50% มีค่าความหนาแน่นส่วนใหญ่้น้อยกว่าสูตรดินผสมเถ้าหนัก และดินผสมเถ้าลอย เพราะมีปริมาณดินน้อย

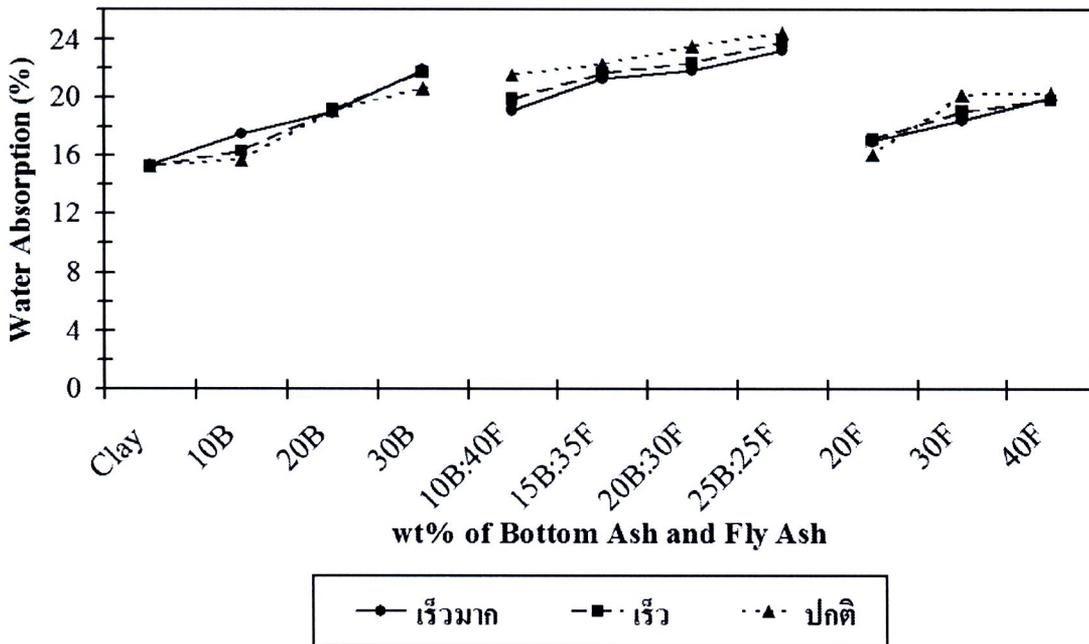
## 2) การดูดซึมน้ำและความพรุน



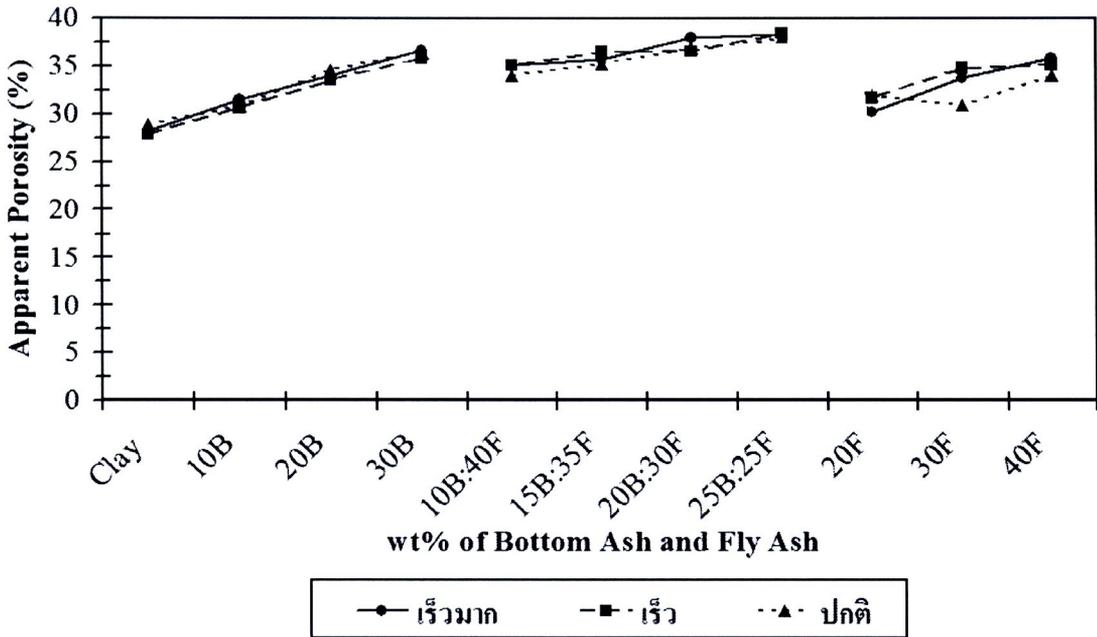
รูปที่ 4.12 การดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิก เผาที่อุณหภูมิ 850 °ซ.



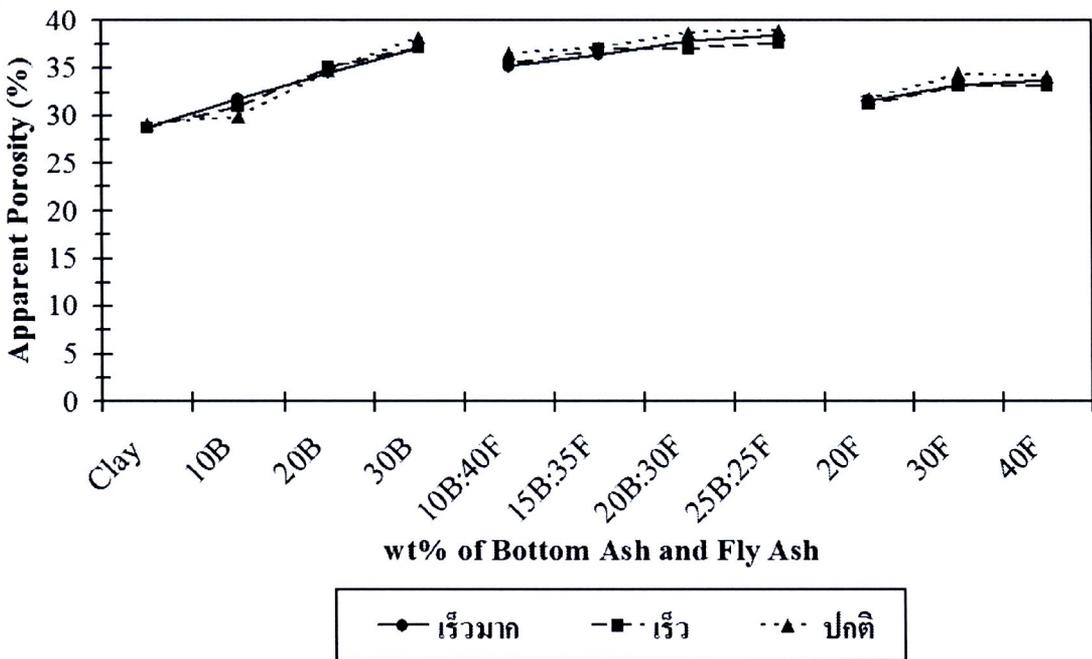
รูปที่ 4.13 การดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิก เผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ.



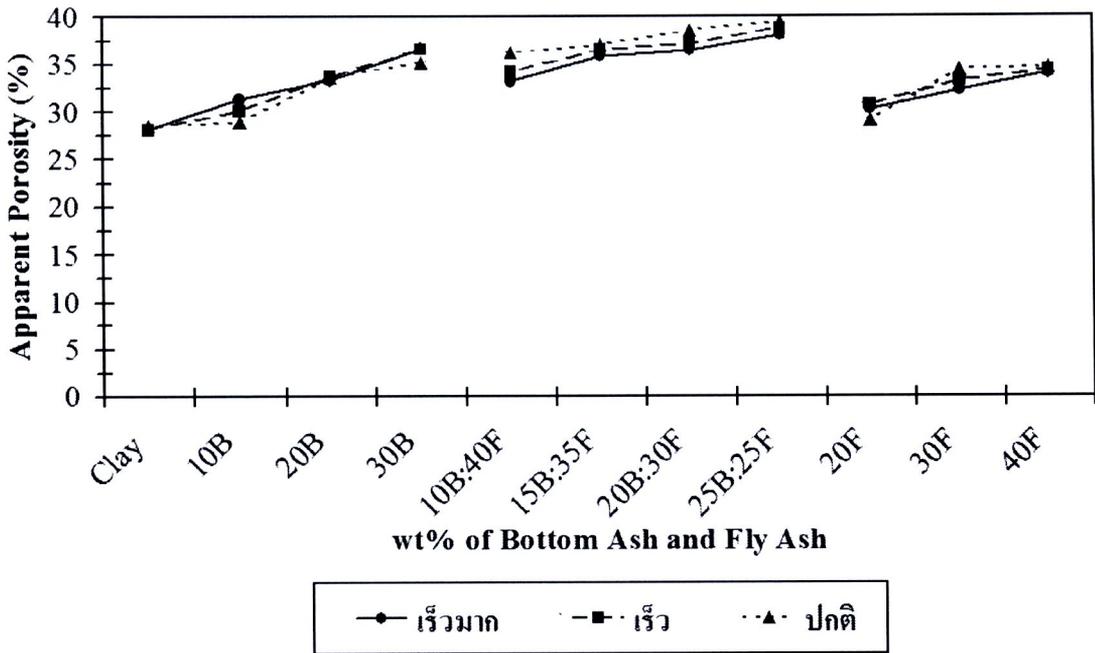
รูปที่ 4.14 การดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิก เผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ.



รูปที่ 4.15 ความพรุนของกระเบื้องเซรามิก เผาที่อุณหภูมิ 850 °ซ.



รูปที่ 4.16 ความพรุนของกระเบื้องเซรามิก เผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ.

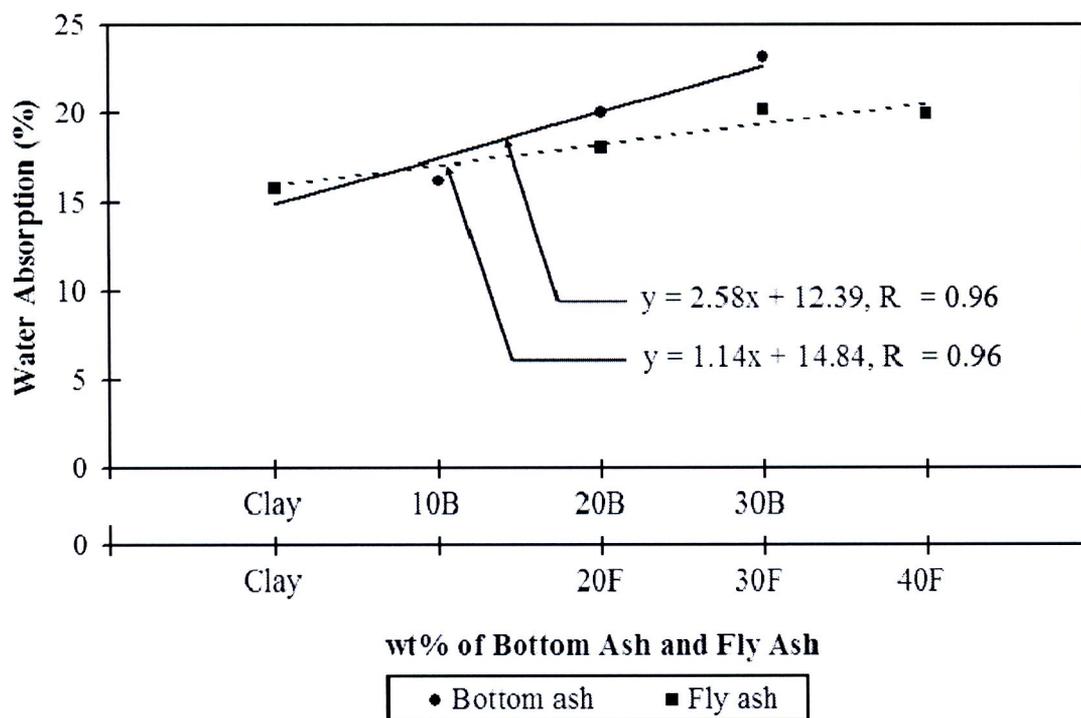


รูปที่ 4.17 ความพรุนของกระเบื้องเซรามิก เผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ.

จากรูปที่ 4.12 – 4.14 พบว่าเมื่อผสมเถ้าหลักและเถ้าลอยเพิ่มขึ้น การดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้น สัมพันธ์กับความพรุนดังในรูปที่ 4.15 – 4.17 และความหนาแน่นที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ เนื่องจากอนุภาคของเถ้าหนัก เถ้าลอย และดินมีโครงสร้างของอนุภาคที่แตกต่างกัน การผกผันจึงอยู่อย่างหลวมๆ ทำให้เกิดรูพรุนเปิดในชิ้นงาน ส่งผลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น จึงสามารถดูดซึมน้ำได้ดี ส่วนการผสมดินคงที่ 50% กับเถ้าหนักและเถ้าลอยในอัตราส่วนต่างๆ พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำและความพรุนส่วนใหญ่มากกว่าสูตรดินผสมเถ้าหนัก 10 – 30% และเถ้าลอย 20 – 40% นอกจากนี้ยังพบว่า การดูดซึมน้ำและความพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อผสมเถ้าหนักเพิ่มขึ้น เพราะเถ้าหนักมีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าเถ้าลอย

เมื่อสังเกตอัตราการเผาแบบต่างๆ ของดินผสมเถ้าหนัก จะได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการเผาไม่ส่งผลใดๆ กับการดูดซึมน้ำและความพรุน เนื่องจากเส้นกราฟเกือบทับกันสนิทมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่า 3% และจากข้อมูลในภาคผนวก ก อุณหภูมิการเผาที่ 950 °ซ. จะมีค่าการดูดซึมน้ำและความพรุนต่ำสุด เนื่องจากปริมาณแล้วหลอมมีมาก ทำให้มีรูพรุนเปิดน้อย สอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงคัตที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ ในส่วนดินผสมเถ้าลอยให้แนวโน้มของกราฟและข้อมูลเช่นเดียวกับดินผสมเถ้าหนัก สำหรับส่วนผสมที่มีดินคงที่ 50% พบว่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิต่ำ 850 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติจะมีค่าการดูดซึมน้ำและความพรุนต่ำสุด แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 900 °ซ. และ 950 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติมีค่าการดูดซึมน้ำและความพรุนมากกว่าอัตราการเผาแบบอื่นเล็กน้อยประมาณ 3% ซึ่งอาจเนื่องมาจากมีรูพรุนเปิดเกิดขึ้นในชิ้นงาน การดูดซึมน้ำจึงเพิ่มขึ้น

### 3) สมการทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณเถ้าหนักและเถ้าลอย กับการดูดซึมน้ำและความพรุน



รูปที่ 4.18 การดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกกับปริมาณเถ้าหนักและเถ้าลอยเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ

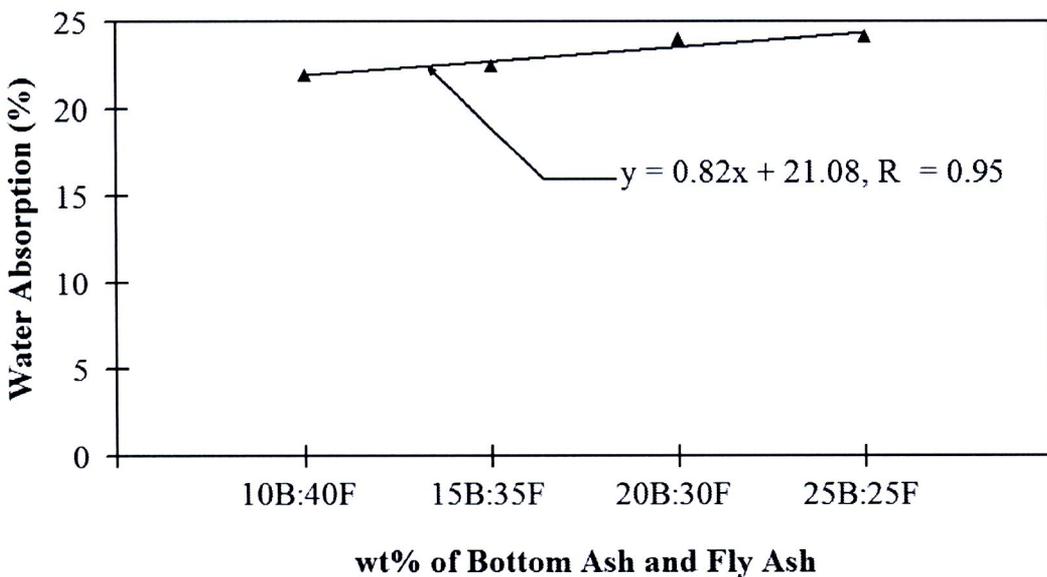
จากข้อมูลของความต้านทานแรงค้ำ จึงเลือกศึกษาอุณหภูมิการเผาที่ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงการดูดซึมน้ำกับปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าหนักและเถ้าลอย ดังรูปที่ 4.18 สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ ได้ดังในสมการ 4.4 – 4.5 จากรูปจะสังเกตได้ว่าเมื่อผสมเถ้าหนักมากขึ้น จะให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มมากกว่าการเติมเถ้าลอย เนื่องจากความชันของกราฟมีค่ามากกว่า การดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่ผสมเถ้าหนัก จึงมากกว่าที่ผสมเถ้าลอย

ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าหนัก

$$Y = 2.58X + 12.39 \quad R = 0.96 \quad (4.4)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าลอย

$$Y = 1.14X + 14.84 \quad R = 0.96 \quad (4.5)$$



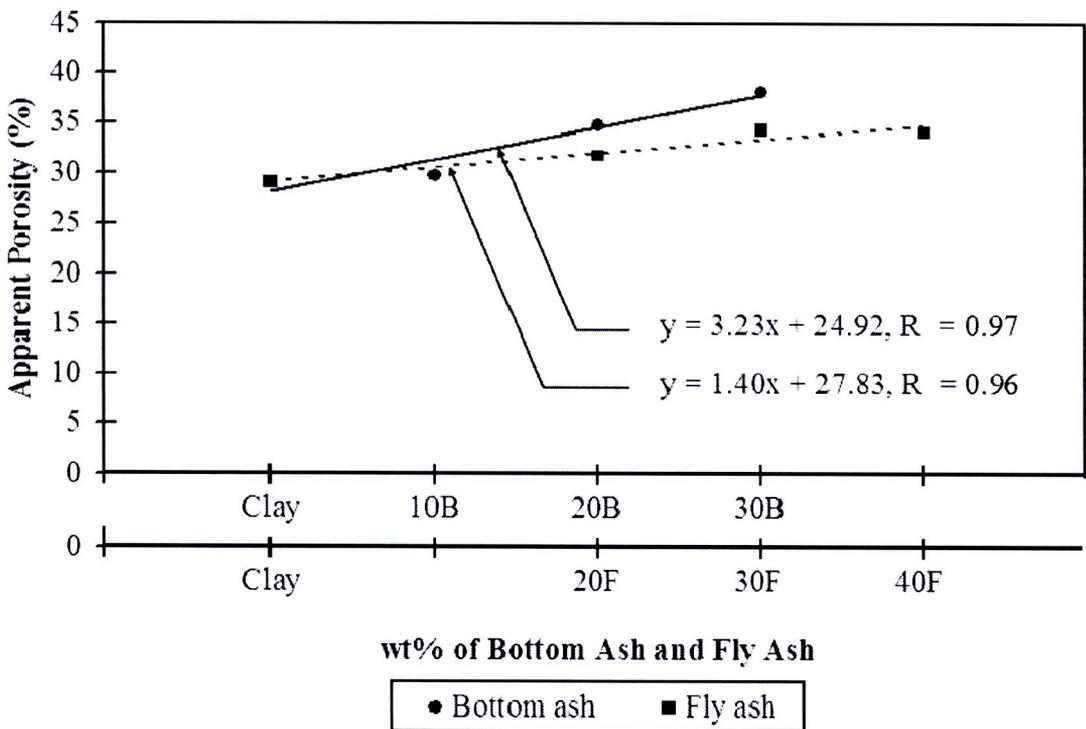
รูปที่ 4.19 การดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ประกอบด้วยดินร้อยละ 50 กับปริมาณเถ้าหนักต่อเถ้าลอยเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ. แบบปกติ

การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซึมน้ำกับปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าหนัก:เถ้าลอย ที่ดินคงที่ 50% ดังในรูปที่ 4.19 สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ ได้ดังสมการที่ 4.6 โดยจากรูปจะสังเกตได้ว่าเมื่อผสมเถ้าหนักเพิ่มขึ้นจะให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากความชันของกราฟมีค่าเป็นบวก

ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนักของเถ้าหนักต่อเถ้าลอยที่ดินคงที่ 50%

$$Y = 0.82X + 21.08 \quad R = 0.95 \quad (4.6)$$

เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานจากดินผสมเถ้าหนักและเถ้าลอยเพียงอย่างเดียว ในรูปที่ 4.18 กับในรูปที่ 4.19 ชิ้นงานจากดิน 50% ผสมทั้งเถ้าหนักและเถ้าลอย พบว่าชิ้นงานที่ผสมทั้งเถ้าหนักและเถ้าลอยมีความชันของกราฟน้อย คือ มีการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดซึมน้ำไม่มากเมื่อเติมเถ้าหนักเพิ่มขึ้น และค่าการดูดซึมน้ำของดินผสมทั้งเถ้าหนักและเถ้าลอยมีค่าสูงกว่าการเติมเถ้าหนักและเถ้าลอยเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเกิดรูพรุนเปิดในชิ้นงาน



รูปที่ 4.20 ความพรุนของกระเบื้องเซรามิกกับปริมาณเถ้าหนักและเถ้าลอยเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ

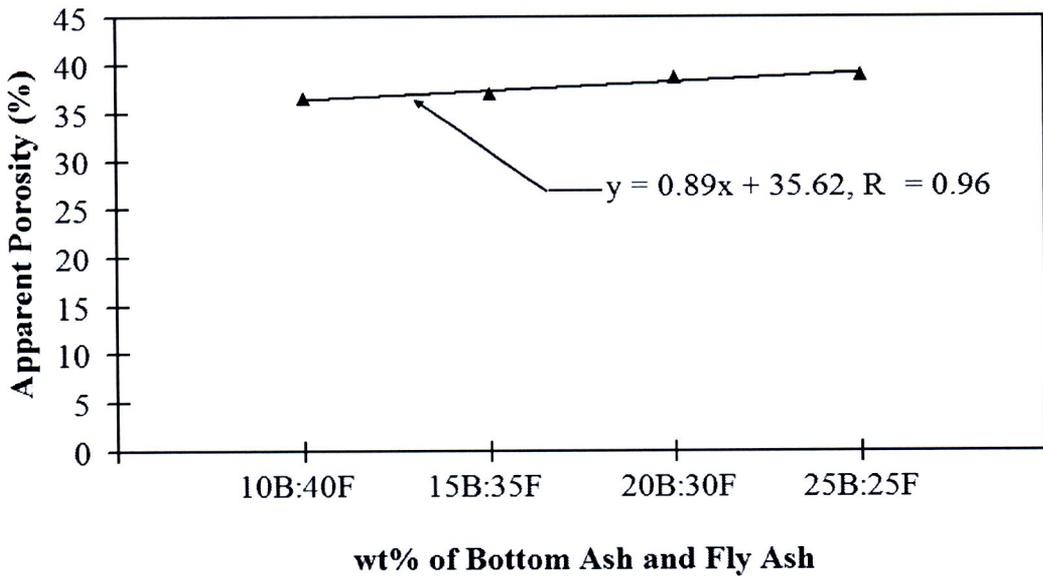
จากที่กล่าวมาแล้วจึงเลือกศึกษาอุณหภูมิการเผาที่ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ พบว่าการเปลี่ยนแปลงความพรุนกับปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าหนักและเถ้าลอย ดังรูปที่ 4.20 สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ ดังในสมการที่ 4.7 – 4.8 โดยจากรูปจะสังเกตได้ว่าเมื่อผสมเถ้าหนักมากขึ้น ชิ้นงานจะมีความพรุนเพิ่มมากกว่าการเติมเถ้าลอย เนื่องจากความชันของกราฟมีค่ามากกว่า ซึ่งสัมพันธ์กับการดูดซึมน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าหนัก

$$Y = 3.23X + 24.92 \quad R = 0.97 \quad (4.7)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าลอย

$$Y = 1.40X + 27.83 \quad R = 0.96 \quad (4.8)$$



รูปที่ 4.21 ความพรุนของกระเบื้องเซรามิกที่ประกอบด้วยดินร้อยละ 50 กับปริมาณเถ้าหนักต่อเถ้าลอยเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ. แบบปกติ

การเปลี่ยนแปลงค่าความพรุนกับปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนักของเถ้าหนัก:เถ้าลอย ที่ดิน  
 คงที่ 50% ดังในรูปที่ 4.21 สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 4.9 โดยจากรูปสังเกต  
 ได้ว่าเมื่อผสมเถ้าหนักเพิ่มขึ้นจะให้ค่าความพรุนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความชันของกราฟมีค่าเป็นบวก  
 ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนักของเถ้าหนักต่อเถ้าลอยที่  
 ดินคงที่ 50%

$$Y = 0.89X + 35.62 \quad R = 0.96 \quad (4.9)$$

เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานจากดินผสมเถ้าหนัก และดินผสมเถ้าลอย ดังในรูปที่ 4.20 กับรูป  
 ที่ 4.21 ชิ้นงานจากดิน 50% ผสมทั้งเถ้าหนักและเถ้าลอย พบว่าชิ้นงานที่ผสมทั้งเถ้าหนักและ  
 เถ้าลอยมีความชันของกราฟน้อย คือ มีการเพิ่มขึ้นของค่าความพรุน ไม่มากเมื่อเติมเถ้าหนักเพิ่มขึ้น  
 สอดคล้องกับค่าการดูดซึมน้ำ ด้านความพรุนของชิ้นงานจากดินผสมทั้งเถ้าหนักและเถ้าลอยมีค่า  
 สูงกว่าการเติมเถ้าหนักและเถ้าลอยอย่างเดียว

#### 4.2.3 การหดตัว (Shrinkage)

ได้ศึกษาการหดตัวเมื่อแห้ง การหดตัวหลังเผา และการหดตัวรวม ของกระเบื้องเซรามิก  
 โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier calipers) ในการวัดขนาดชิ้นงาน ได้ข้อมูลดังแสดงในรูปที่  
 4.22 – 4.24 กับตาราง 4.5 – 4.6 และสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณเถ้าหนัก และ  
 เถ้าลอย กับการหดตัวรวม

##### 1) การหดตัวเมื่อแห้ง

ตารางที่ 4.5 การหดตัวเมื่อแห้งของกระเบื้องเซรามิก

สูตร	ดิน	10B	20B	30B	10B:40F	15B:35F	20B:30F	25B:25F	20F	30F	40F
การหดตัวเมื่อ แห้ง (%)	6.11	5.36	4.93	4.20	1.26	1.28	1.59	1.77	5.38	2.85	1.51

จากตารางที่ 4.5 การหดตัวเมื่อแห้งของส่วนผสมที่มีเถ้านหินเป็นองค์ประกอบจะมีค่าน้อยกว่าดินเพียงอย่างเดียวในทุกส่วนผสม เนื่องจากดินมีโครงสร้างเป็นแบบแผ่นจึงเกิดการผืนักตัวและหดตัวได้ดีกว่าที่ผสมเถ้านหินและเถ้าลอยที่มีโครงสร้างเป็นสามมิติ และอาจเพราะน้ำในส่วนผสมถูกใช้ในปฏิกิริยาพอซโซลานิก จึงทำให้ชิ้นงานที่ผสมเถ้านหินมีการหดตัวเมื่อแห้งน้อยสังเกตได้จากส่วนผสมดินคงที่ 50% เมื่อผสมเถ้านหินเพิ่มขึ้นการหดตัวเมื่อแห้งจะเพิ่มขึ้น เพราะการผสมเถ้าลอยทำให้เกิดการหดตัวน้อยกว่าผสมเถ้านหิน ทั้งที่เถ้าลอยมีอนุภาคขนาดเล็กการหดตัวควรมากกว่าเถ้านหิน แต่เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาพอซโซลานิก เถ้าลอยที่มีอนุภาคขนาดเล็กจึงสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีชิ้นงานจึงหดตัวน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลของขนาดต่อการทำปฏิกิริยา นอกจากนี้พบว่าส่วนผสมที่มีดินคงที่ 50% มีค่าการหดตัวเมื่อแห้งส่วนใหญ่น้อยกว่าสูตรที่มีดินผสมเถ้านหิน 10 – 30% และเถ้าลอย 20 – 40% เนื่องจากมีดินผสมอยู่น้อย

## 2) การหดตัวหลังเผา

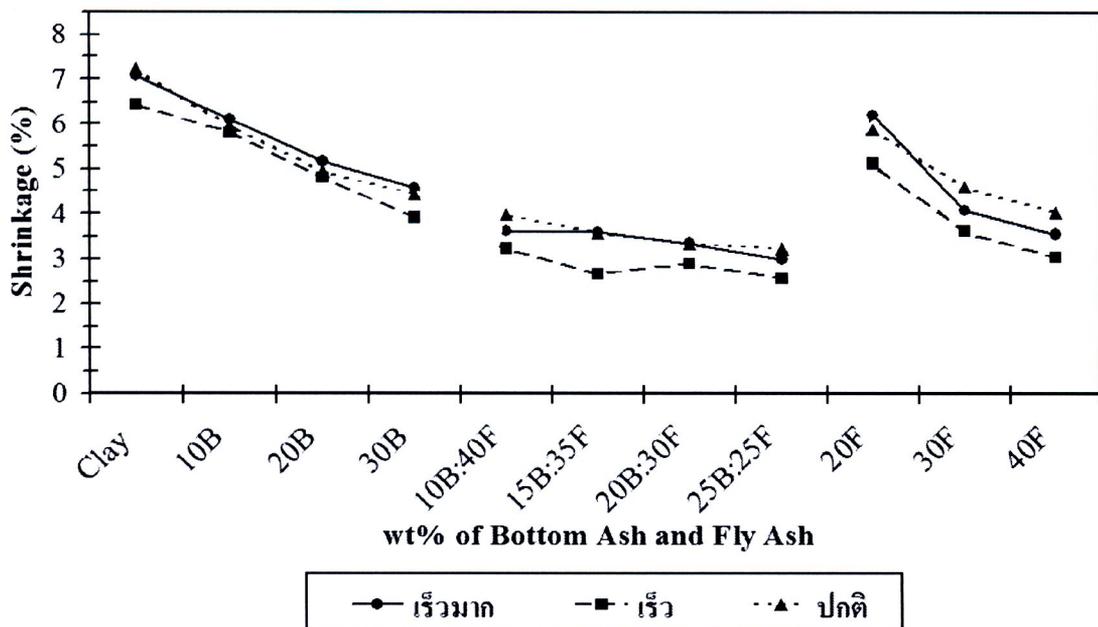
ตารางที่ 4.6 การหดตัวหลังเผาของกระเบื้องเซรามิก

สูตร	เผา 850 °ซ. (%)			เผา 900 °ซ. (%)			เผา 950 °ซ. (%)		
	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ
ดิน	0.33	0.41	0.54	0.80	0.60	0.79	0.86	0.87	1.21
10B	0.40	0.33	0.51	0.78	0.67	0.86	1.43	0.96	1.09
20B	0.36	0.33	0.51	0.70	0.80	0.85	0.86	0.92	1.39
30B	0.42	0.33	0.46	0.72	0.71	0.67	0.94	0.83	1.38
10B:40F	2.48	1.56	2.79	2.73	2.64	3.10	2.74	2.98	3.05
15B:35F	2.22	1.51	2.32	2.44	2.37	2.77	2.54	2.64	2.87
20B:30F	1.70	1.02	1.72	1.91	1.91	2.28	2.01	2.19	2.44
25B:25F	1.22	0.94	1.43	1.65	1.53	1.73	1.87	1.68	2.05
20F	0.83	0.58	0.94	1.21	1.30	1.49	1.64	2.00	2.76
30F	1.19	0.96	1.73	2.64	1.79	2.34	2.04	2.21	2.95
40F	2.13	1.71	2.41	2.73	2.69	3.12	3.01	2.72	3.20

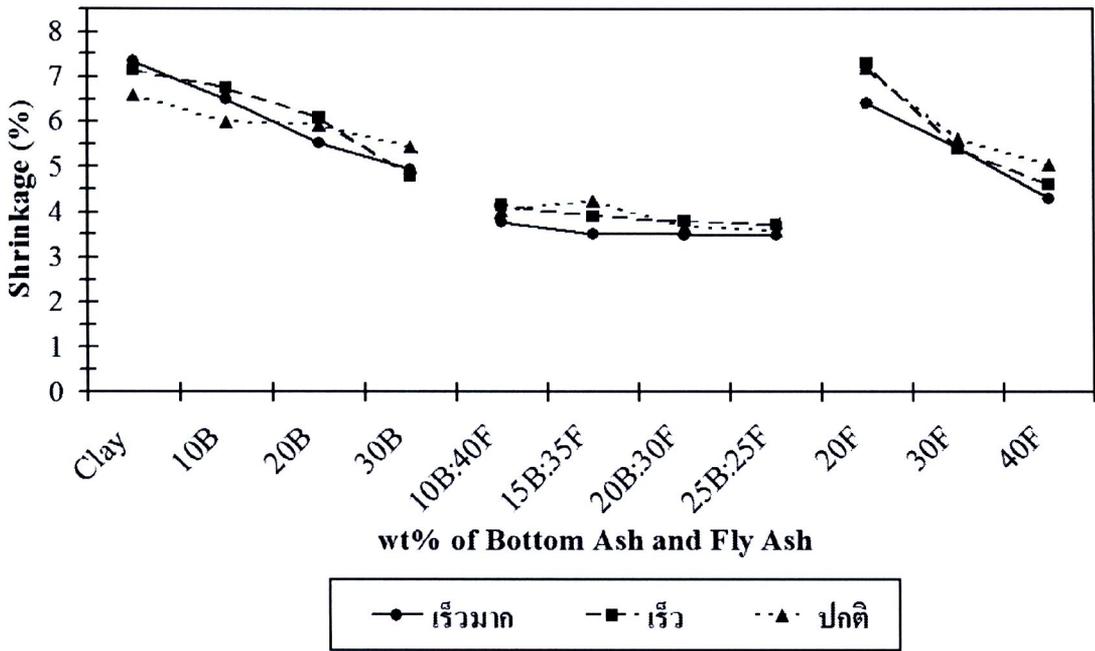
ในด้านการหดตัวหลังเผาจากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าชิ้นงานที่ผสมเถ้าถ่านหินเพิ่มขึ้นจะมีการหดตัวหลังเผาเพิ่มขึ้น และมีการหดตัวหลังเผามากกว่าใช้ดินเพียงอย่างเดียวในเกือบทุกส่วนผสม โดยเฉพาะที่ผสมเถ้าลอยมีการหดตัวมาก เพราะวัตถุดิบเกิดการหลอมตัวได้ดีเนื่องจากมีอนุภาคขนาดเล็ก และน้ำที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาพอลิไซคลานิกก่อนเผาได้ระเหยไป ส่วนในการหดตัวหลังเผาของเถ้าหนักในแต่ละส่วนผสมมีค่าน้อยและใกล้เคียงกัน แตกต่างจากการใช้ดินอย่างเดียวไม่มากนัก ส่วนการผสมดินคงที่ 50% เมื่อผสมเถ้าหนักเพิ่มขึ้นการหดตัวจะน้อย เพราะเถ้าหนักสามารถหลอมเป็นแก้วไม่ตีเท่าเถ้าลอยที่มีขนาดเล็ก สอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงดัดที่ผสมเถ้าหนักเพิ่มขึ้นความต้านทานแรงดัดลดลง

การเปลี่ยนอุณหภูมิการเผาที่ 850, 900 และ 950 °ซ. พบว่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงที่ 950 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติการหดตัวหลังเผาจะมีค่ามาก ในทุกส่วนผสมเพราะวัตถุดิบเกิดการหลอมตัวได้ดีการหดตัวจึงเพิ่ม

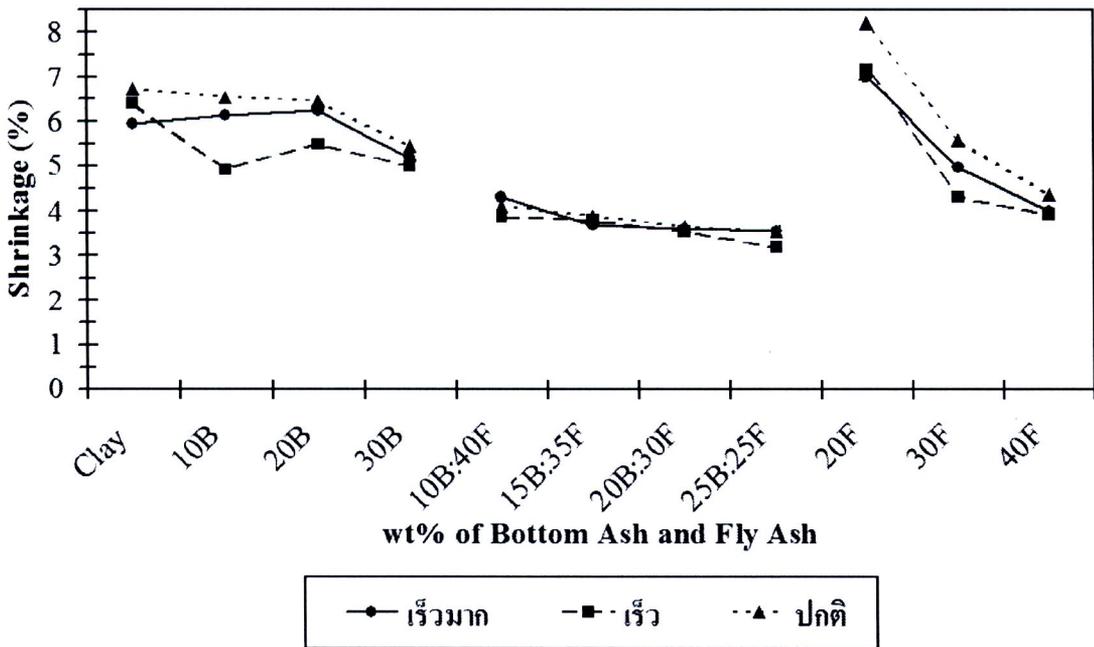
### 3) การหดตัวรวม



รูปที่ 4.22 การหดตัวของกระเบื้องเซรามิก เเผาที่อุณหภูมิ 850 °ซ.



รูปที่ 4.23 การหดตัวของกระเบื้องเซรามิก เผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ.

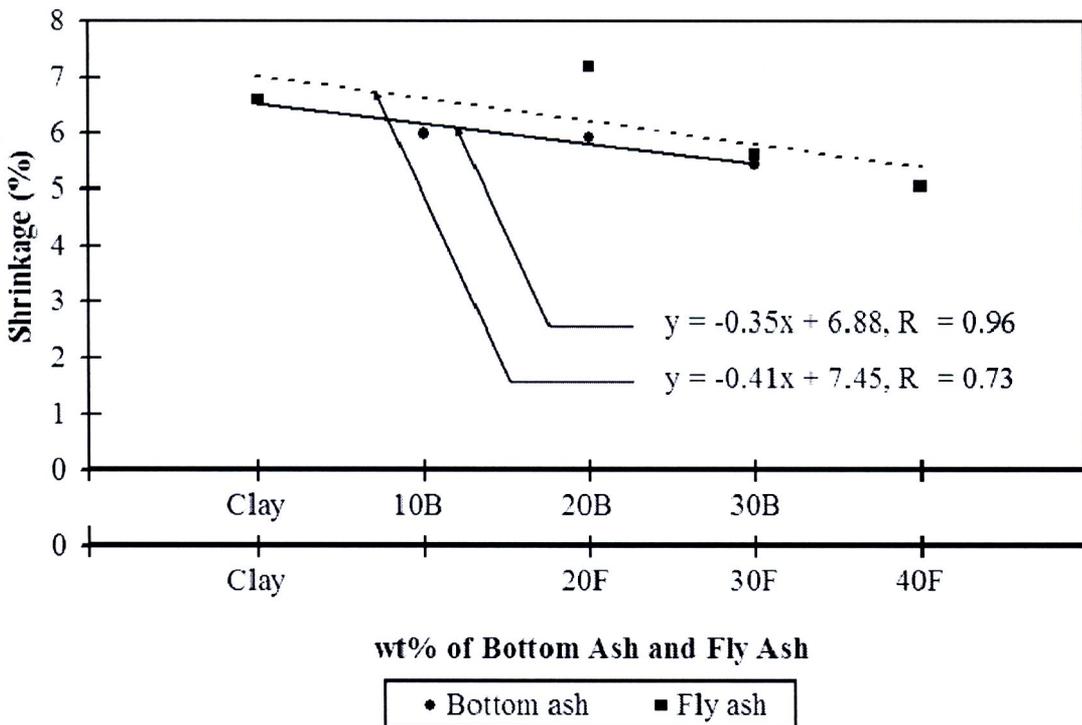


รูปที่ 4.24 การหดตัวของกระเบื้องเซรามิก เผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ.

จากรูปที่ 4.22 – 4.24 พบว่าชิ้นงานที่ผสมเถ้าหนัก และเถ้าลอยเพิ่มขึ้น มีการหดตัวรวมลดลง ซึ่งดีกว่าการใช้ดินอย่างเดียว โดยเฉพาะสูตรที่ผสมดิน 50% มีค่าการหดตัวรวมต่ำกว่าดินผสมเถ้าหนัก 10 – 30% และเถ้าลอย 20 – 40% และเมื่อผสมเถ้าหนักเพิ่มขึ้นค่าการหดตัวรวมของชิ้นงานจะลดลง

ในด้านอุณหภูมิการเผาที่ 850, 900 และ 950 °ซ. พบว่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงที่ 950 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติการหดตัวรวมของดินผสมเถ้าหนัก ดินผสมเถ้าลอย และดินผสมทั้งเถ้าหนัก และเถ้าลอย มีค่ามากเกือบทุกส่วนผสม ยกเว้นการผสมดินคงที่ 50% เผาอุณหภูมิ 900 – 950 °ซ. การเปลี่ยนอัตราการเผาไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการหดตัวรวมมากนัก สังเกตได้จากกราฟรูปที่ 4.23 และ 4.24 มีค่าการหดตัวรวมเกือบทับกันพอดี

#### 4) สมการทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณเถ้าหนักและเถ้าลอยกับการหดตัว



รูปที่ 4.25 การหดตัวรวมของกระเบื้องเซรามิกกับปริมาณเถ้าหนักและเถ้าลอยเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ

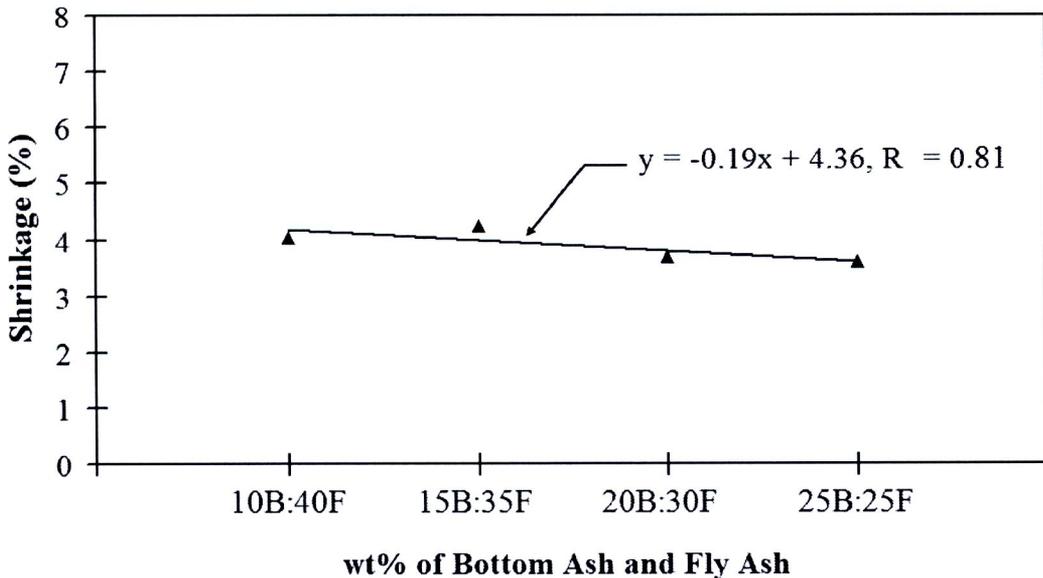
จากที่กล่าวมาแล้วจึงเลือกศึกษาอุณหภูมิการเผาที่ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ พบว่าการเปลี่ยนแปลงการหดตัวรวมกับปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าหนักและเถ้าลอย ดังรูป 4.25 สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ ตามในสมการที่ 4.10 – 4.11 โดยจากรูปสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อผสมเถ้าลอยมากขึ้น การหดตัวลดลงมากกว่าการเติมเถ้าหนัก เนื่องจากความชันของกราฟมีค่ามากกว่าจากสมการที่ 4.11 จะเห็นว่าค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) มีค่า 0.73 แสดงว่าการหดตัวรวมและปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของเถ้าลอยมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูง [32] อาจเนื่องจากจำนวนของข้อมูลน้อย และค่าความต้านทานแรงคัดของเถ้าลอย 20% มีค่ามาก

ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวรวมกับปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนักของเถ้าหนัก

$$Y = -0.35X + 6.88 \quad R = 0.96 \quad (4.10)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวรวมกับปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนักของเถ้าลอย

$$Y = -0.41X + 7.45 \quad R = 0.73 \quad (4.11)$$



รูปที่ 4.26 การหดตัวรวมของกระเบื้องเซรามิกที่ประกอบด้วยดินร้อยละ 50 กับปริมาณเถ้าหนักต่อเถ้าลอยเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ. แบบปกติ

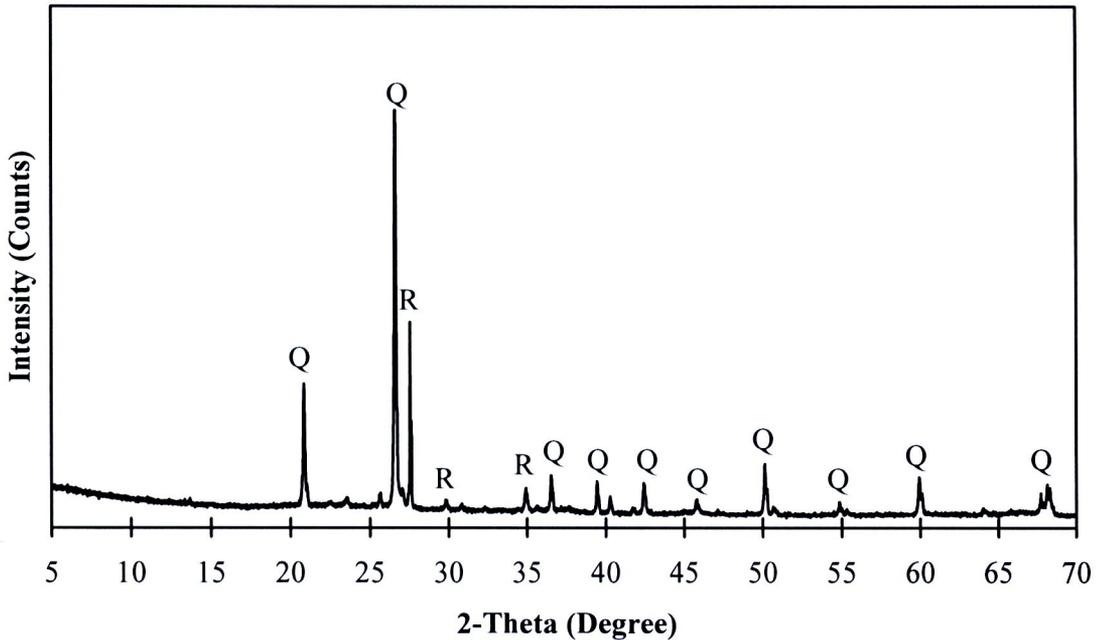
การเปลี่ยนแปลงค่าการหดตัวรวมกับปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนักของเถ้านัก:เถ้าลอย ที่ดินคงที่ 50% ดังในรูปที่ 4.26 สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 4.12 โดยจากรูปสังเกตได้ว่าเมื่อผสมเถ้านักเพิ่มขึ้นจะให้ค่าการหดตัวรวมลดลง เนื่องจากความชันของกราฟมีค่าเป็นลบ และจากรูป 4.26 จะเห็นว่าค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) มีค่า 0.81 แสดงว่าการหดตัวรวมและปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนักของเถ้านัก:เถ้าลอย ที่ดินคงที่มีความสัมพันธ์กันสูง [32]

ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวกับปริมาณร้อยละ โดยน้ำหนักของเถ้านักต่อเถ้าลอยที่ ดินคงที่ 50%

$$Y = -0.19X + 4.36 \quad R = 0.81 \quad (4.12)$$

เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานจากดินผสมเถ้านัก และดินผสมเถ้าลอย ในรูปที่ 4.25 กับรูปที่ 4.26 ชิ้นงานจากดิน 50% ผสมทั้งเถ้านักและเถ้าลอย พบว่าชิ้นงานที่ผสมทั้งเถ้านักและเถ้าลอย มีความชันของกราฟน้อย คือ มีการเพิ่มขึ้นของการหดตัวรวมไม่มากเมื่อเติมเถ้านักเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวโน้มสอดคล้องกับการเติมเถ้านักเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้จะเห็นว่าชิ้นงานของดินผสมทั้งเถ้านักและเถ้าลอยมีค่าการหดตัวรวมต่ำกว่าการเติมเถ้านักและเถ้าลอยเพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีปริมาณดินผสมอยู่น้อยกว่า

#### 4.2.4 องค์ประกอบทางแร่

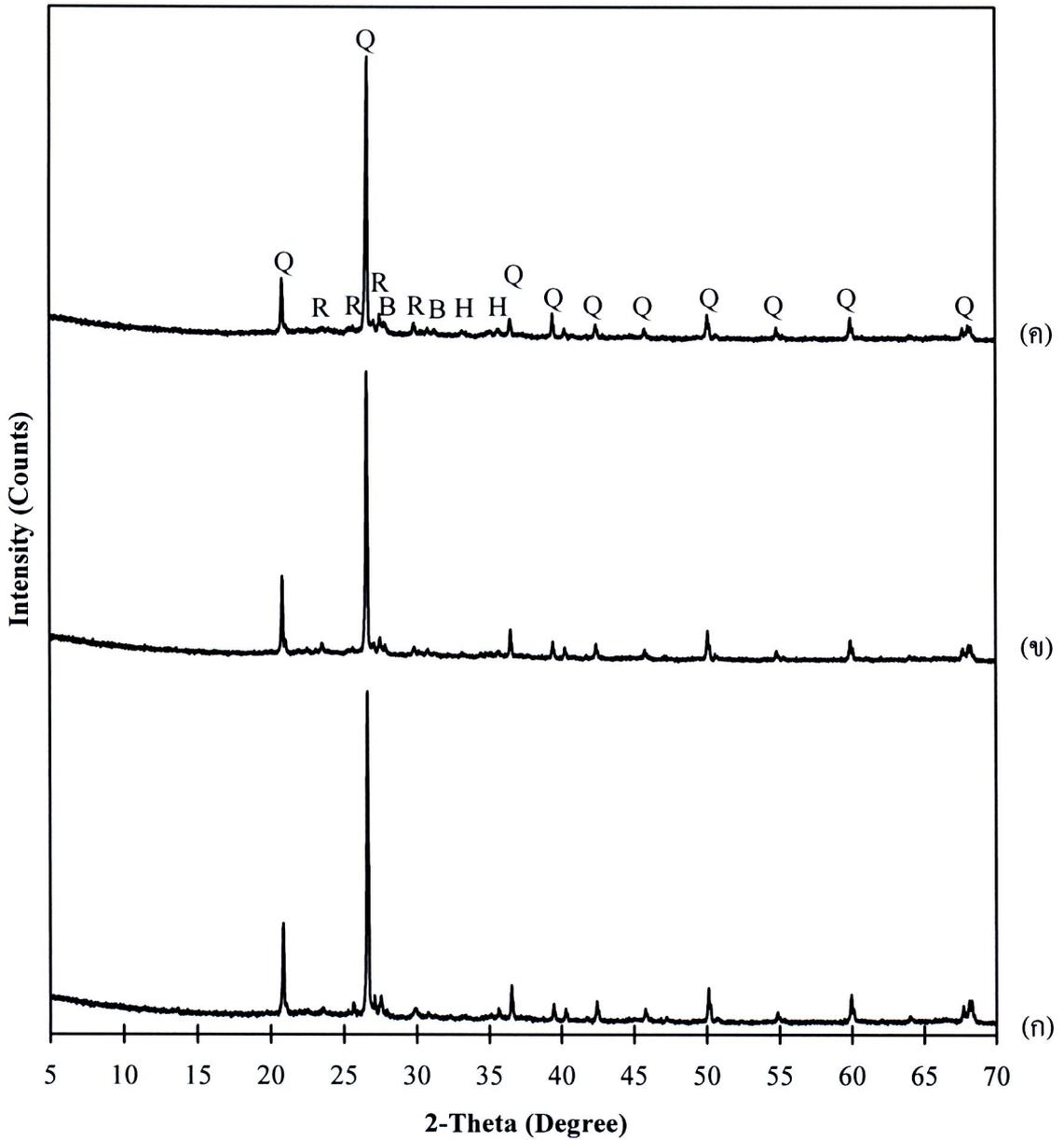


รูปที่ 4.27 องค์ประกอบทางแร่หลังเผาของกระเบื้องเซรามิกจากดินเผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ. อัตราการเผาแบบเร็วมาก

[Q:Quartz ( $\text{SiO}_2$ ), R:Orthoclase ( $\text{K}_{0.94}\text{Na}_{0.06}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ )]

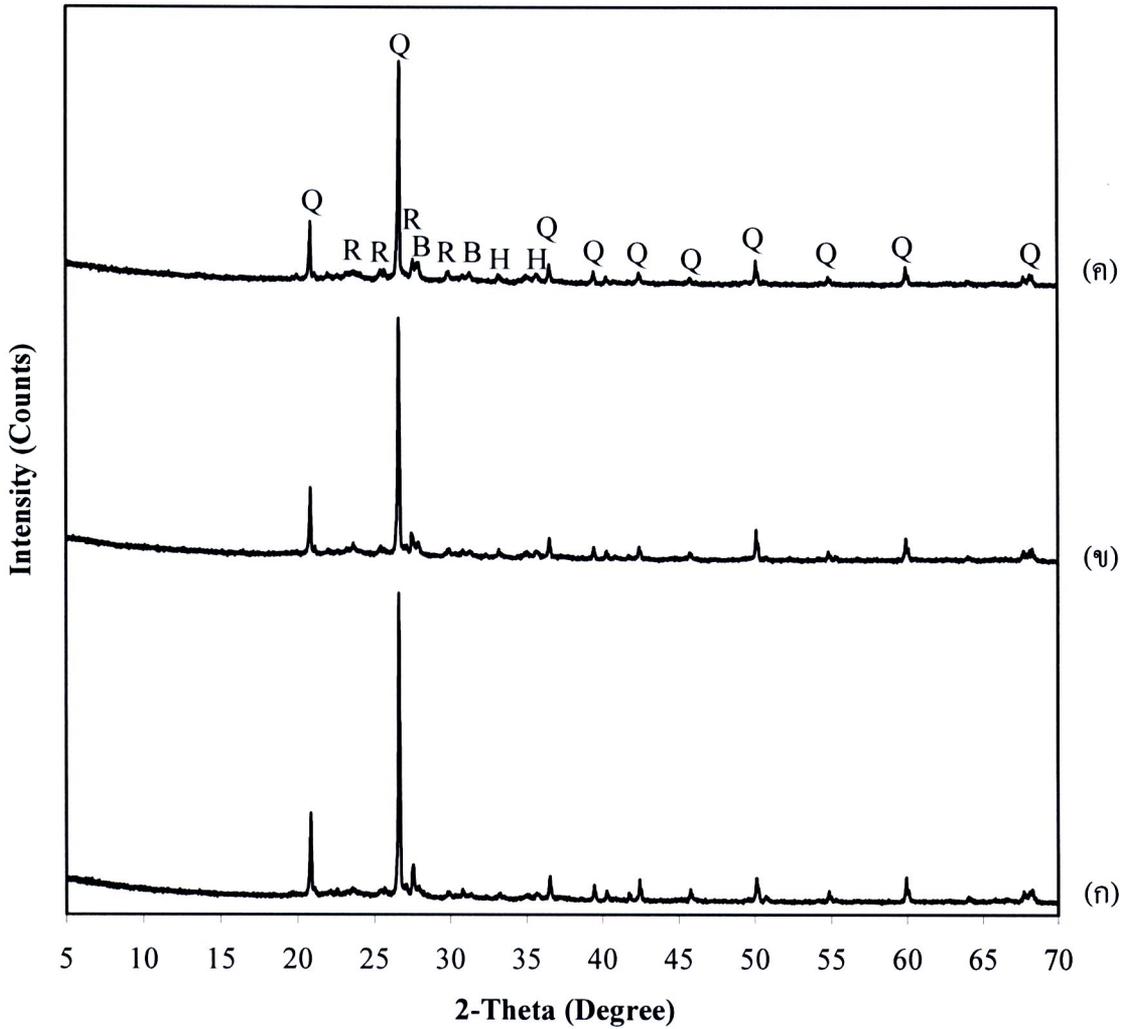
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่หลังเผาของกระเบื้องเซรามิกจากดิน ดังในรูปที่ 4.27 พบว่าประกอบด้วย ควอตซ์ และออร์โทเคลส ต่างจากรูปที่ 4.3 เนื่องจากองค์ประกอบในวัตถุดิบได้เกิดการหลอมตัว และเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เช่น แร่คาโอไลน์เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นแบบออสติฐาน เรียกว่า Metakaolin จึงไม่สามารถตรวจพบ และคาโอไลน์อาจเปลี่ยนสภาพไปอยู่ในรูปของอะลูมิโนซิลิเกต ซึ่งคาดว่าจะทำปฏิกิริยาเคมีกับมัสโคไวต์ เปลี่ยนเป็นออร์โทเคลส ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) และจากลักษณะของกราฟมีความเป็นผลึกค่อนข้างสมบูรณ์

ในส่วนองค์ประกอบทางแร่หลังเผาของกระเบื้องเซรามิกจากดินผสมเถ้าหนัก ดังในรูปที่ 4.28 และดินผสมเถ้าลอย ดังในรูปที่ 4.29 พบว่าประกอบด้วย ควอตซ์ ออร์โทเคลส เฮมาไทต์ และแอลไบต์ เหมือนกันทุกส่วนผสม ต่างจากรูปที่ 4.1 – 4.2 เนื่องจากวัตถุดิบได้เกิดการหลอมเป็นแก้ว และเปลี่ยนแปลงโครงสร้างรวมกันเป็น แอลไบต์ ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) จากลักษณะของกราฟมีความเป็นผลึกค่อนข้างสมบูรณ์



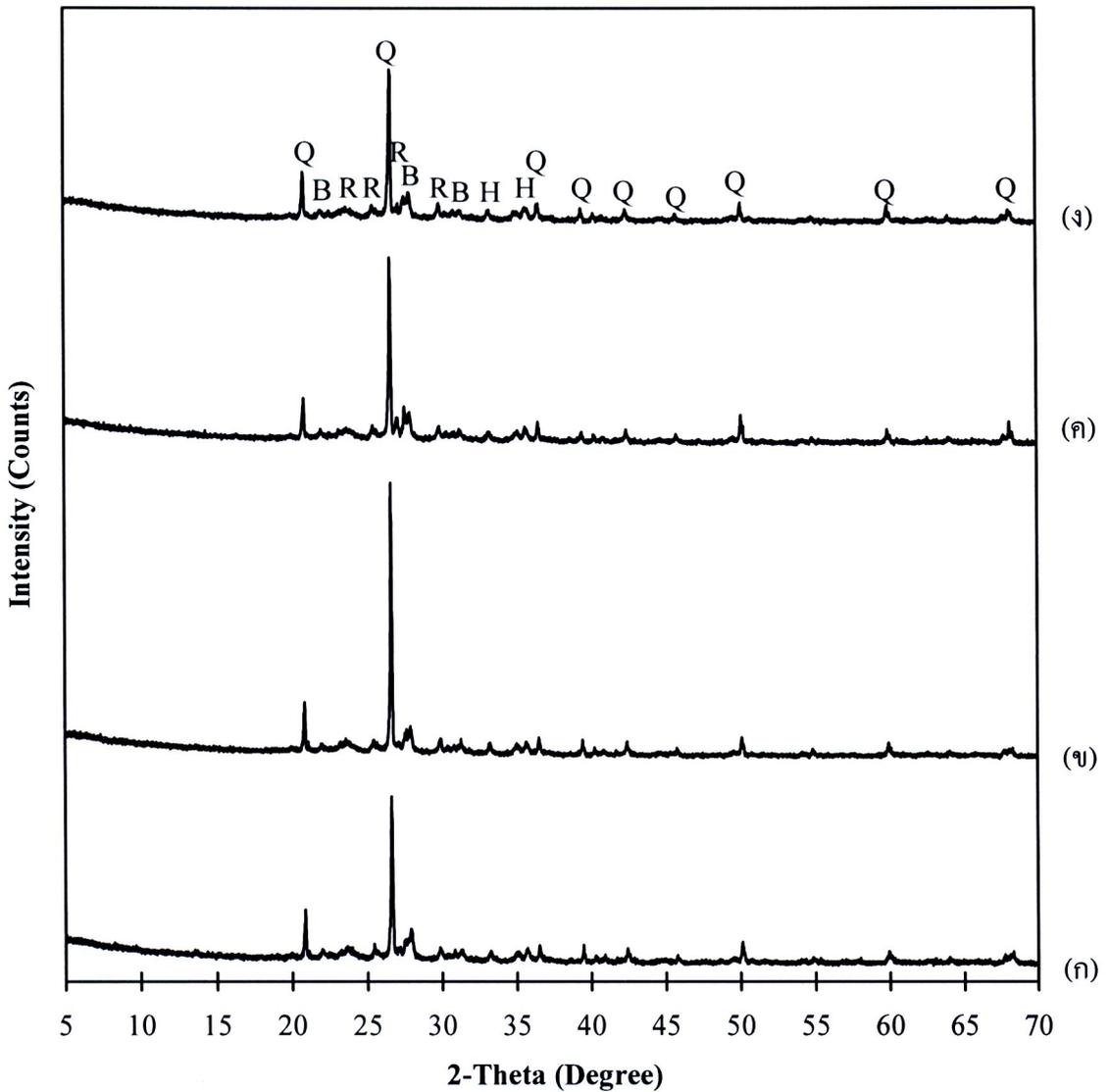
**รูปที่ 4.28** องค์ประกอบทางแร่หลังเผาของกระเบื้องเซรามิกจากดินผสมเถ้าหนักในอัตราส่วน  
(ก) เถ้าหนัก 10% (ข) เถ้าหนัก 20% (ค) เถ้าหนัก 30% เผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ. อัตรา  
การเผาแบบเร็วมาก

[Q:Quartz ( $\text{SiO}_2$ ), R:Orthoclase ( $\text{K}_{0.94}\text{Na}_{0.06}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), H:Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ),  
B:Albite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )]



**รูปที่ 4.29** องค์ประกอบทางแร่หลังเผาของกระเบื้องเซรามิกจากดินผสมเถ้าลอยในอัตราส่วน (ก) เถ้าลอย 20% (ข) เถ้าลอย 30% (ค) เถ้าลอย 40% เผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ. อัตราการเผาแบบเร็วมาก

[Q:Quartz ( $\text{SiO}_2$ ), R:Orthoclase ( $\text{K}_{0.94}\text{Na}_{0.06}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), H:Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), B:Albite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )]



**รูปที่ 4.30** องค์ประกอบทางแร่หลังเผาของกระเบื้องเซรามิกจากดิน ผสมเถ้าหนักและเถ้าลอยในอัตราส่วน (ก) เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 10:40 (ข) เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 15:35 (ค) เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 20:30 (ง) เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 25:25 เผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ. แบบเร็วมาก [Q:Quartz ( $\text{SiO}_2$ ), R:Orthoclase ( $\text{K}_{0.94}\text{Na}_{0.06}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), H:Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), B:Albite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )]

ในส่วนองค์ประกอบทางแร่หลังเผาของกระเบื้องเซรามิกจากดิน 50% ผสมเถ้าหนัก และเถ้าลอยในอัตราส่วนต่างๆ ดังในรูปที่ 4.30 พบว่าประกอบด้วย ควอตซ์ ออร์โทเคลส เฮมาไทต์ และแอลไบต์ เหมือนที่พบในดินผสมเถ้าหนักและดินผสมเถ้าลอย ดังในรูปที่ 4.27 – 4.28 และจากลักษณะของกราฟมีความเป็นผลึกค่อนข้างสมบูรณ์

ตารางที่ 4.7 แสดงองค์ประกอบทางแร่ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงหลังเผา

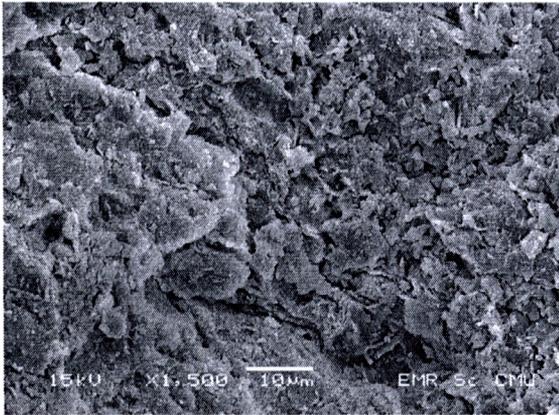
ชิ้นงานเผา 950 °ซ. แบบเร็วมาก	องค์ประกอบทางแร่ก่อนเผา	แร่ที่ หายไป	แร่ที่เกิดขึ้นใหม่
ดิน	Quartz (SiO <sub>2</sub> )		
	Orthoclase (K <sub>0.94</sub> Na <sub>0.06</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ))		
	Kaolinite (Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub> )	✓	
	Muscovite (KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub> )	✓	
ดินผสมเถ้าหนัก 10%, 20% และ 30%	Quartz (SiO <sub>2</sub> )		Albite (NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
	Orthoclase (K <sub>0.94</sub> Na <sub>0.06</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ))		
	Kaolinite (Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub> )	✓	
	Muscovite (KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub> )	✓	
	Magnesioferrite (MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	✓	
	Magnetite (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	✓	
	Anhydrite (Ca(SO <sub>4</sub> ))	✓	
	Anorthite (CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	✓	
	Hematite (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		
ดินผสมเถ้าลอย 20%, 30% และ 40%	Quartz (SiO <sub>2</sub> )		Albite (NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
	Orthoclase (K <sub>0.94</sub> Na <sub>0.06</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ))		
	Kaolinite (Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub> )	✓	
	Muscovite (KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub> )	✓	
	Lime (CaO)	✓	
	Magnesioferrite (MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	✓	
	Anhydrite (Ca(SO <sub>4</sub> ))	✓	
	Hematite (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		

ตารางที่ 4.7(ต่อ) แสดงองค์ประกอบทางแร่ของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงหลังเผา

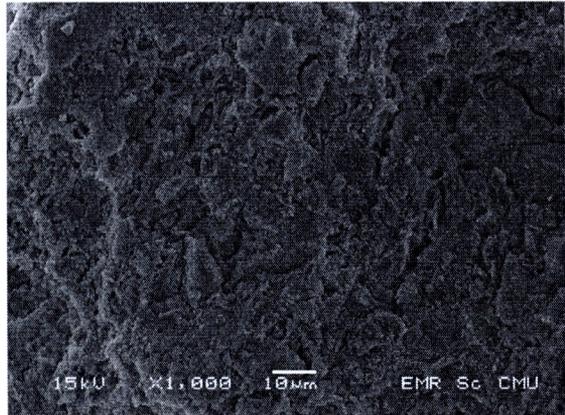
ชิ้นงานเผา 950 °ซ. แบบเร็วมาก	องค์ประกอบทางแร่ก่อนเผา	แร่ที่ หายไป	แร่ที่เกิดขึ้นใหม่
ดิน 50% ถ้ำหนัก:ถ้ำลอย 10:40, 15:35, 20:30 และ 25:25	Quartz (SiO <sub>2</sub> )		Albite (NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
	Orthoclase (K <sub>0.94</sub> Na <sub>0.06</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ))		
	Kaolinite (Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(OH) <sub>4</sub> )	✓	
	Muscovite (KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub> )	✓	
	Magnesioferrite (MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	✓	
	Magnetite (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	✓	
	Anhydrite (Ca(SO <sub>4</sub> ))	✓	
	Anorthite (CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	✓	
	Hematite (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		
	Lime (CaO)	✓	

จากข้อมูลองค์ประกอบทางแร่ของชิ้นงานที่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังเผาด้วยอุณหภูมิ 950 °ซ. อัตราการเผาแบบเร็วมาก ดังในตารางที่ 4.7 พบว่าองค์ประกอบทางแร่ของชิ้นงานที่ผสมถ้ำถ้ำหนักก่อนเผามีแร่เจือปนอยู่มาก หลังจากเผาก็จะเห็นว่าแร่ที่เจือปนอยู่เกิดการหลอมเป็นแก้วเหลือเพียงเฮมาไทต์ และมีแอลไบต์เกิดขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้ความต้านทานแรงดัดของชิ้นงานที่มีถ้ำถ้ำหนักและถ้ำลอยผสมอยู่มีน้อยกว่าที่ใช้ดินเพียงอย่างเดียว เนื่องจากแร่ที่หลอมกลายเป็นแก้วจากถ้ำถ้ำหนักให้ความแข็งแรงน้อยกว่าแร่ที่มาจากดิน และพบว่าเมื่อผสมถ้ำถ้ำหนักถ้ำลอย หรือทั้งถ้ำถ้ำหนักและถ้ำลอย หลังการเผาจะเกิดแร่แอลไบต์เหมือนกันในทุกส่วนผสมซึ่งต่างจากชิ้นงานที่ใช้ดินเพียงอย่างเดียว

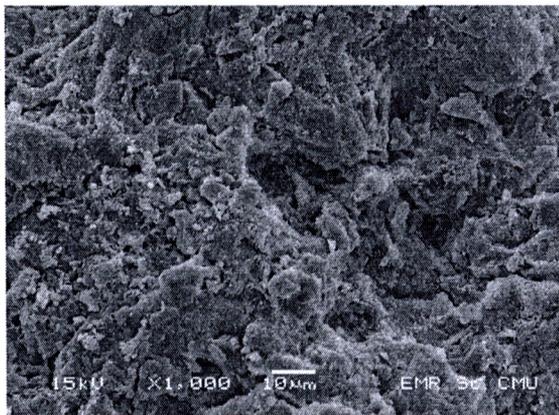
#### 4.2.5 โครงสร้างจุลภาค (SEM)



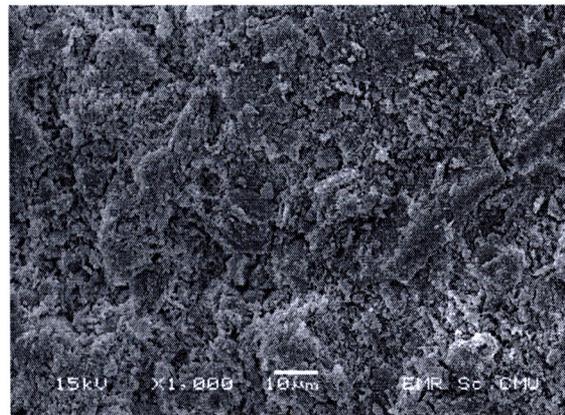
(ก)



(ข)



(ค)

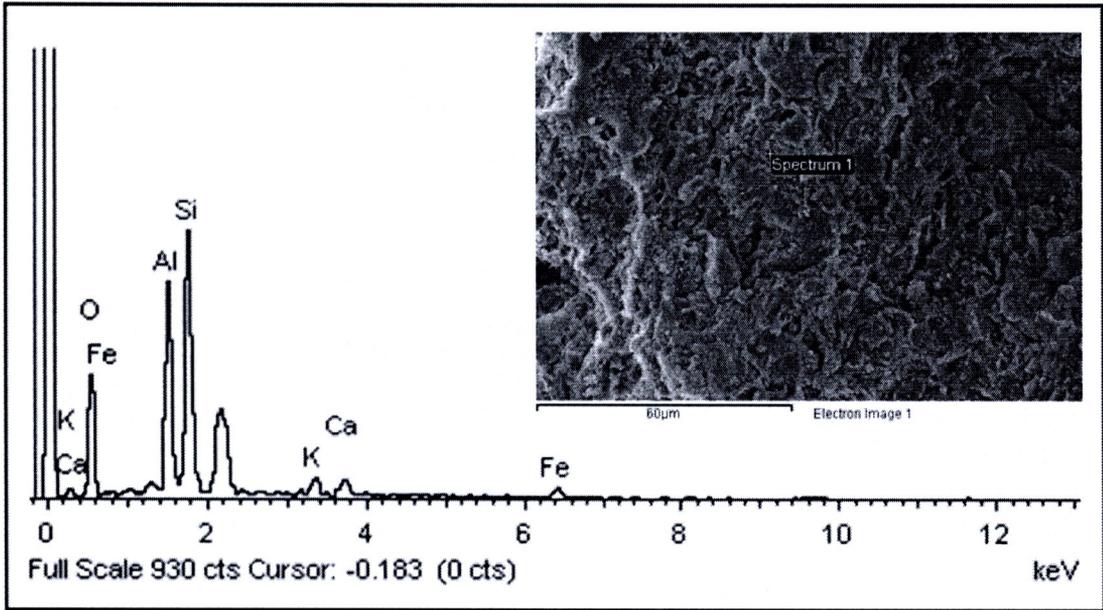


(ง)

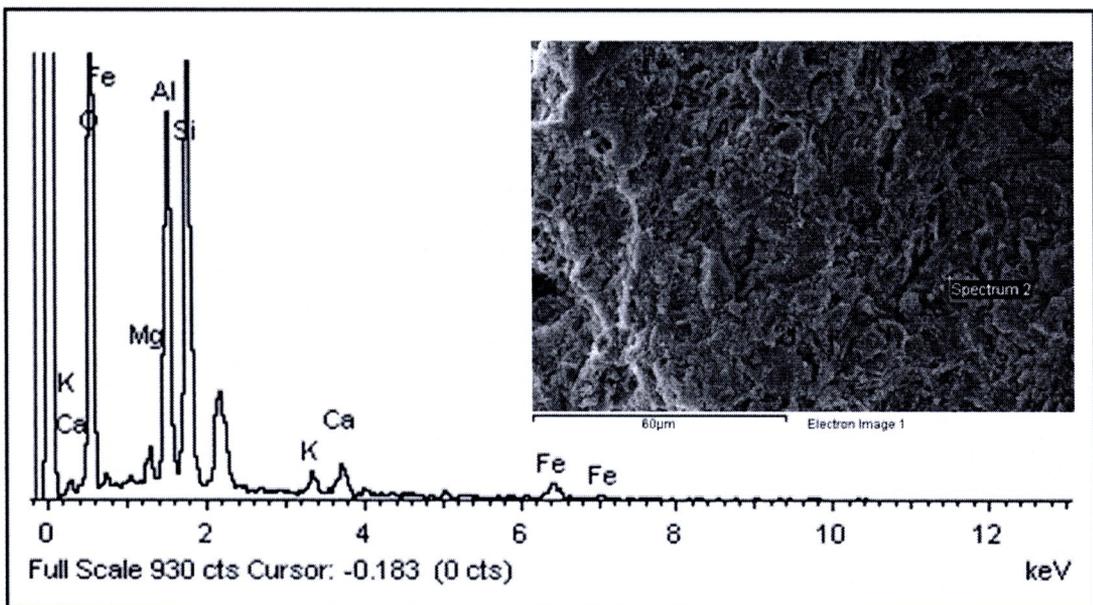
**รูปที่ 4.31** โครงสร้างทางจุลภาคของดิน ผสมแก้วลอยในอัตราส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้ (ก) ดินเผาที่ 900 °ซ. แบบปกติ (ข) แก้วลอย 20% เผา 900 °ซ. แบบเร็ว (ค) แก้วลอย 30% เผา 900 °ซ. แบบเร็ว (ง) แก้วลอย 40% เผา 900 °ซ. แบบปกติ

จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของกระเบื้องเซรามิกพบว่า กระเบื้องที่ทำจากดินเพียงอย่างเดียวดังในรูปที่ 4.31 (ก) เผาด้วยอุณหภูมิ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ มีความต่อเนื่องของเฟสต่างๆ เป็นอย่างดี มีความแน่นตัวสูง และไม่พบอนุภาคของแร่ดิน (Clay mineral) ที่เป็นสารตั้งต้น ส่วนกระเบื้องเซรามิกจากดินผสมแก้วลอย 20% และ 30% เผาที่ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบเร็ว และส่วนผสมแก้วลอย 40% เผา 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ ดังรูปที่ 4.31 (ข – ง) มีลักษณะโครงสร้างจุลภาคโดยทั่วไปไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างจากการใช้ดินเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับความพรุนและการดูดซึมน้ำในรูปที่ 4.13 และ 4.16 ที่มีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก (น้อยกว่า 5%)

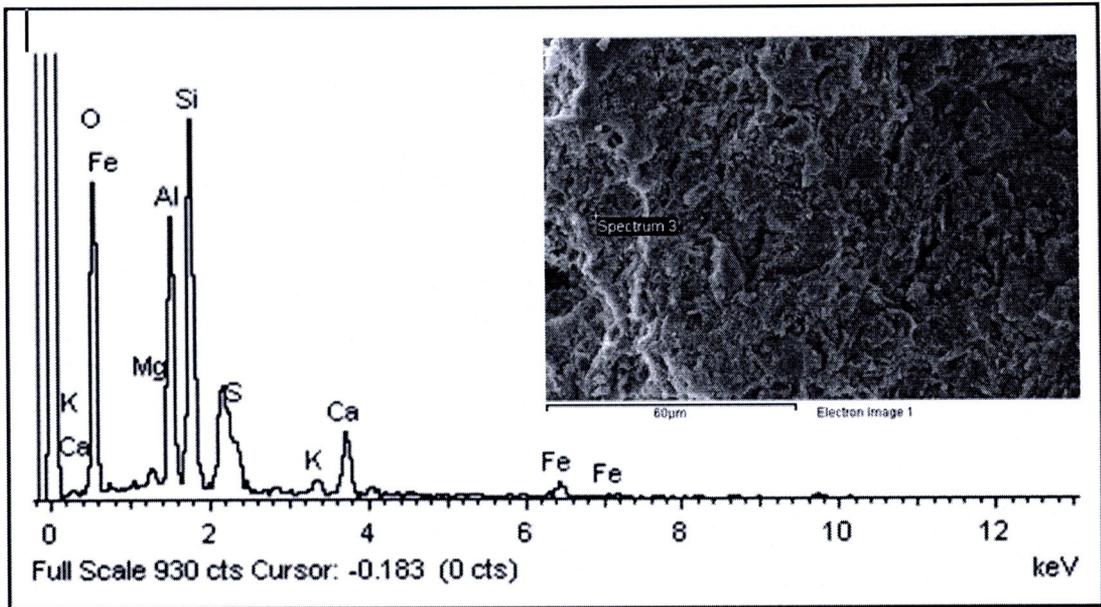
ซึ่งต่างจากความต้านทานแรงคัตในรูปที่ 4.7 ที่มีค่าความต้านทานแรงคัตแตกต่างกันในแต่ละส่วนผสม ดังได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.32 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของถ้ำลอย 20% เเผา 900 °ซ. แบบเร็ว ในตำแหน่งที่ 1 ของรูปที่ 4.31 (จ)



รูปที่ 4.33 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของถ้ำลอย 20% เเผา 900 °ซ. แบบเร็ว ในตำแหน่งที่ 2 ของรูปที่ 4.31 (จ)

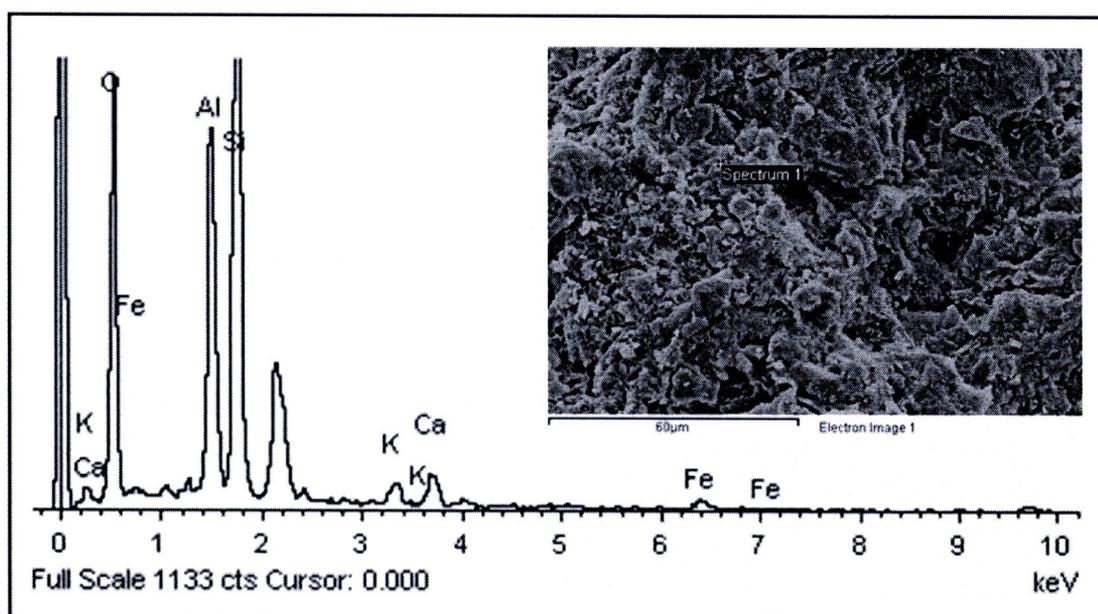


รูปที่ 4.34 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของถ้ำลอย 20% เผา 900 °ซ. แบบเร็ว ในตำแหน่งที่ 3 ของรูปที่ 4.31 (ข)

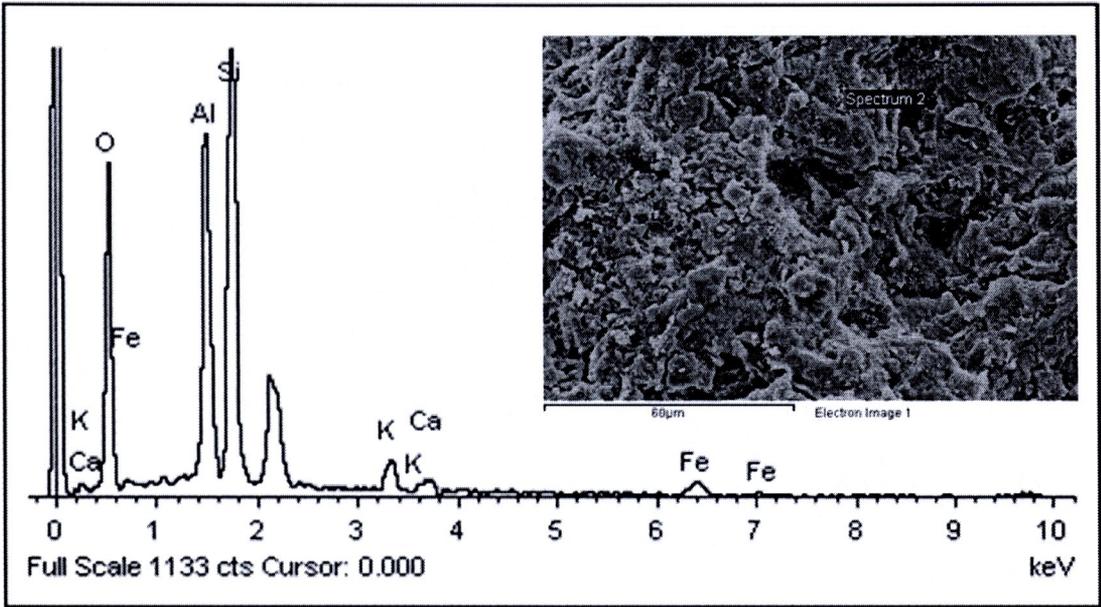
ตารางที่ 4.8 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถ้ำลอย 20% เผา 900 °ซ. แบบเร็ว รูปที่ 4.31 (ข) เมื่อวิเคราะห์โดยเทคนิค EDS

Element	Weight%			Atomic%		
	1	2	3	1	2	3
O	37.10	51.16	47.05	52.85	66.21	63.14
Mg	–	1.58	0.83	–	1.35	0.74
Al	19.38	16.14	14.57	16.37	12.39	11.59
Si	29.12	21.27	21.82	23.63	15.68	16.68
S	–	–	1.47	–	–	0.98
K	3.46	1.84	1.55	2.02	0.97	0.85
Ca	4.12	2.94	7.42	2.34	1.52	3.98
Fe	6.82	5.07	5.30	2.78	1.88	2.04

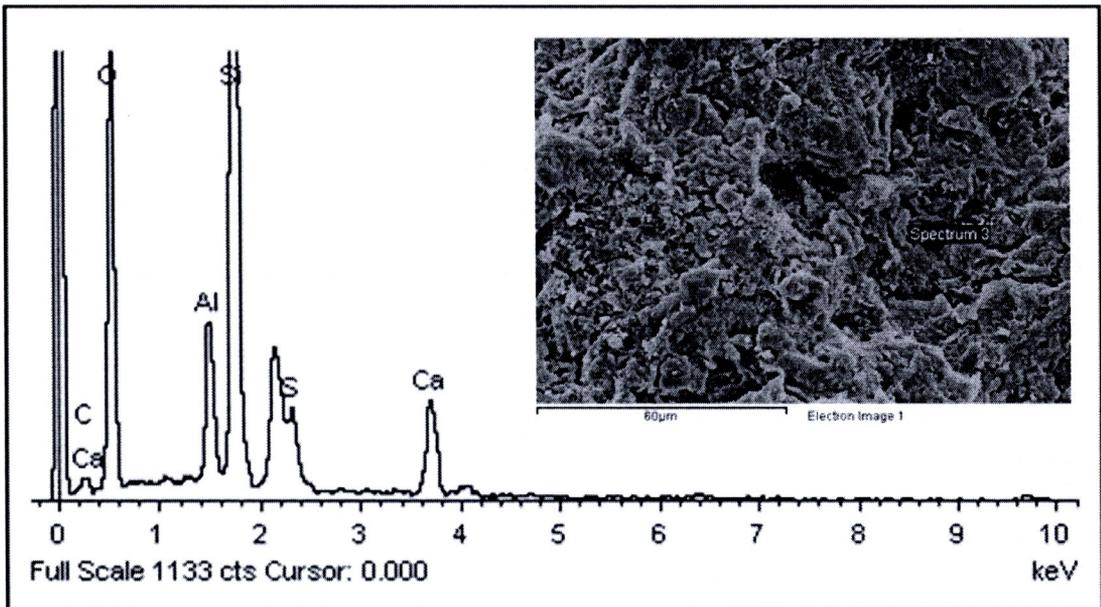
จากรูปที่ 4.32 – 4.34 และข้อมูลในตารางที่ 4.8 แสดงร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight%) และร้อยละโดยอะตอม (Atomic%) เมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS พบว่ากระเบื้องผสมเถ้าลอย 20% เเผาที่ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบเร็ว พบองค์ประกอบทางเคมีในตำแหน่งที่ 3 ได้แก่ ออกซิเจน แมกนีเซียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน ซัลเฟอร์ โพแทสเซียม แคลเซียม และเหล็ก โดยในตำแหน่งที่ 1 คล้ายตำแหน่งที่ 3 แต่ไม่พบแมกนีเซียมและซัลเฟอร์ และตำแหน่งที่ 2 ไม่พบซัลเฟอร์ แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานไม่ความสม่ำเสมอ เนื่องจากแต่ละตำแหน่งมีองค์ประกอบทางเคมี ค่าร้อยละโดยน้ำหนัก และร้อยละโดยอะตอมแตกต่างกัน



รูปที่ 4.35 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของเถ้าลอย 30% เเผา 900 °ซ. แบบเร็ว ในตำแหน่งที่ 1 ของรูปที่ 4.31 (ค)



รูปที่ 4.36 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของถ้ำลอย 30% เผา 900 °ซ. แบบเร็ว ในตำแหน่งที่ 2 ของรูปที่ 4.31 (ค)



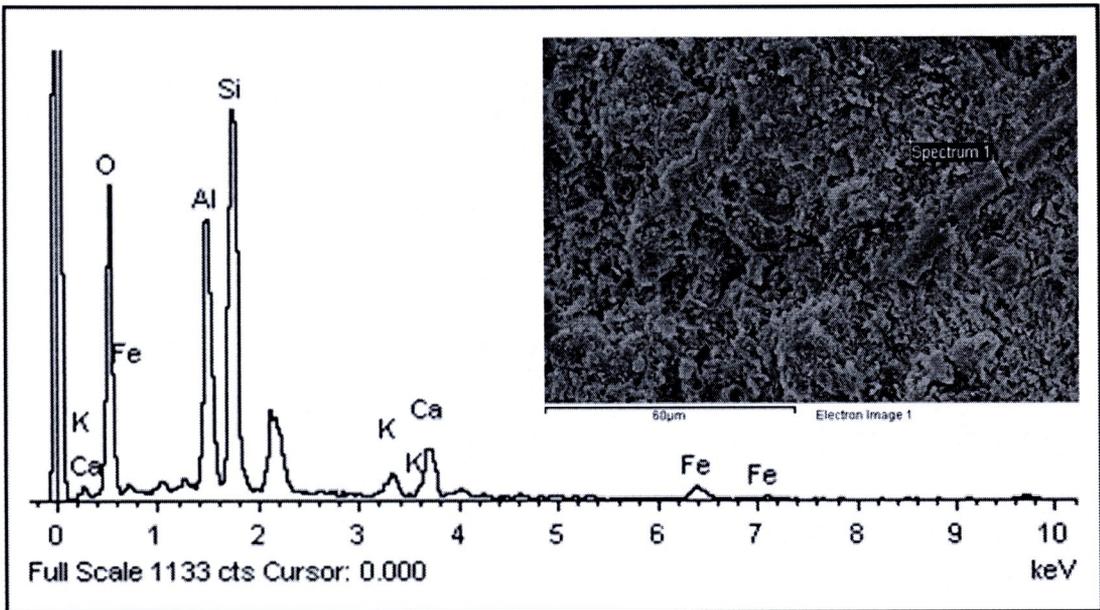
รูปที่ 4.37 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของถ้ำลอย 30% เผา 900 °ซ. แบบเร็ว ในตำแหน่งที่ 3 ของรูปที่ 4.31 (ค)

ตารางที่ 4.9 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถ้ำลอย 30% เเผา 900 °ซ. แบบเร็ว รูปที่ 4.31 (ค) เมื่อวิเคราะห์โดยเทคนิค EDS

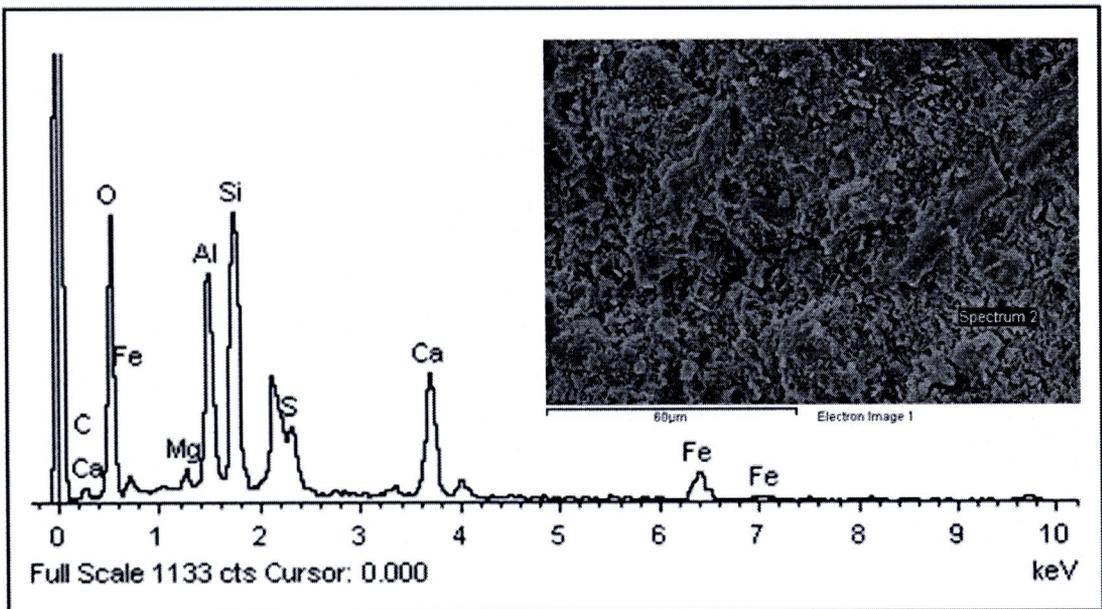
Element	Weight%			Atomic%		
	1	2	3	1	2	3
C	–	–	3.84	–	–	6.22
O	50.04	45.36	55.27	64.97	60.95	67.19
Al	16.05	17.29	5.88	12.36	13.77	4.24
Si	25.07	26.54	24.44	18.54	20.31	16.93
S	–	–	2.39	–	–	1.45
K	1.97	3.34	–	1.04	1.84	–
Ca	3.66	1.64	8.18	1.90	0.88	3.97
Fe	3.21	5.82	–	1.19	2.24	–

จากรูปที่ 4.35 – 4.37 และข้อมูลในตารางที่ 4.9 แสดงร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight%) และร้อยละโดยอะตอม (Atomic%) เมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS พบว่ากระเบื้องผสมถ้ำลอย 30% เเผาที่ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบเร็ว พบองค์ประกอบทางเคมีในตำแหน่งที่ 1 และ 2 ได้แก่ ออกซิเจน อะลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม แคลเซียม และเหล็ก ในตำแหน่งที่ 3 พบธาตุคาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียม ซิลิกอน ซัลเฟอร์ และแคลเซียม แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานที่ได้ไม่มีความสม่ำเสมอ เนื่องจากแต่ละตำแหน่งมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ค่าร้อยละโดยน้ำหนักและร้อยละโดยอะตอมของแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน





รูปที่ 4.38 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของถ้ำลอย 40% เเผา 900 °ซ. แบบปกติ ในตำแหน่งที่ 1 ของรูปที่ 4.31 (ง)



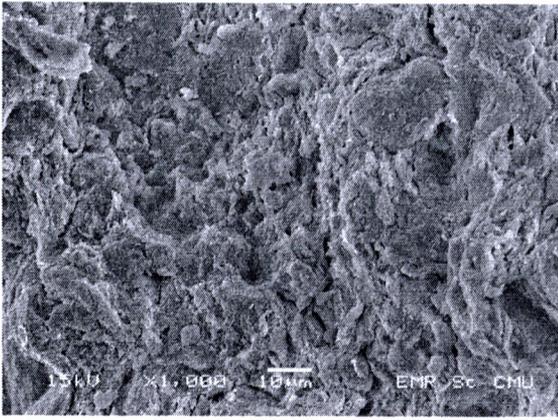
รูปที่ 4.39 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของถ้ำลอย 40% เเผา 900 °ซ. แบบปกติ ในตำแหน่งที่ 2 ของรูปที่ 4.31 (ง)

ตารางที่ 4.10 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถ้ำลอย 40% เเผา 900 °ซ. แบบปกติ รูปที่ 4.31 (ง)  
เมื่อวิเคราะห์โดยเทคนิค EDS

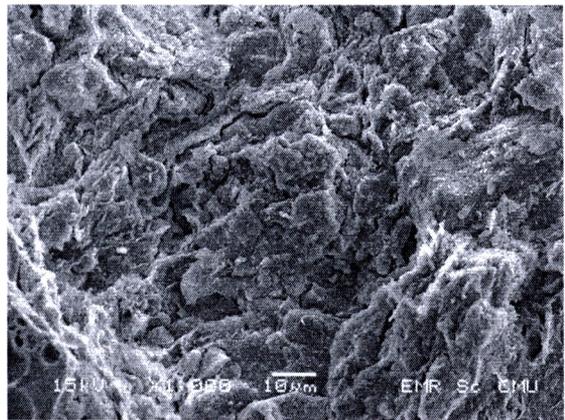
Element	Weight%		Atomic%	
	1	2	1	2
C	–	4.43	–	7.95
O	47.48	43.84	63.55	59.04
Mg	–	1.01	–	0.90
Al	14.67	10.43	11.64	8.33
Si	23.68	14.73	18.05	11.30
S	–	2.51	–	1.68
K	2.02	–	1.10	–
Ca	6.57	12.59	3.51	6.77
Fe	5.58	10.46	2.14	4.03

จากรูปที่ 4.38 – 4.39 และข้อมูลในตารางที่ 4.10 แสดงร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight%) และร้อยละโดยอะตอม (Atomic%) เมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS พบว่ากระเบื้องผสมถ้ำลอย 40% เเผาที่ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ พบองค์ประกอบทางเคมีในตำแหน่งที่ 1 ได้แก่ ออกซิเจน อะลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม แคลเซียม และเหล็ก ในตำแหน่งที่ 2 พบธาตุ คาร์บอน ออกซิเจน แมกนีเซียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน ซัลเฟอร์ แคลเซียม และเหล็ก แสดงให้เห็นว่าผิวชิ้นงานไม่มีความสม่ำเสมอ เนื่องจากแต่ละตำแหน่งมีองค์ประกอบทางเคมี ร้อยละโดยน้ำหนัก และร้อยละโดยอะตอมแตกต่างกัน

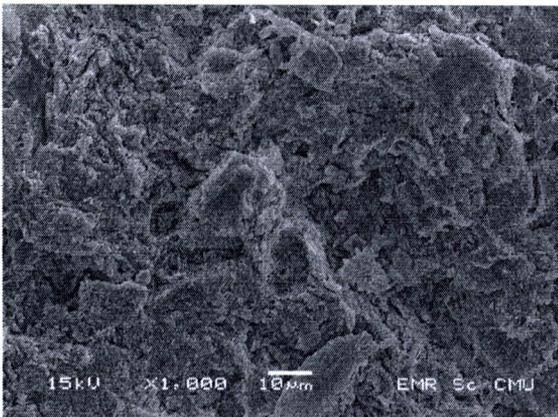
เมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS ดังแสดงในรูปที่ 4.32 – 4.39 และจากข้อมูลในตารางที่ 4.8 – 4.10 แสดงร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight%) และร้อยละโดยอะตอม (Atomic%) พบว่ากระเบื้องที่ทำจากดินผสมถ้ำลอย 20% และ 30% เเผาที่ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบเร็ว และถ้ำลอย 40% เเผา 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ สังเกตได้ว่าเมื่อผสมถ้ำลอยเพิ่มขึ้นปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) ที่พบในชิ้นงานจะมากขึ้น ส่งผลให้กระเบื้องเซรามิกมีสีแดงเข้มขึ้นตามปริมาณการเติมถ้ำลอย และผิวชิ้นงานที่ได้ไม่มีความสม่ำเสมอเนื่องจากแต่ละตำแหน่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่พบแตกต่างกัน



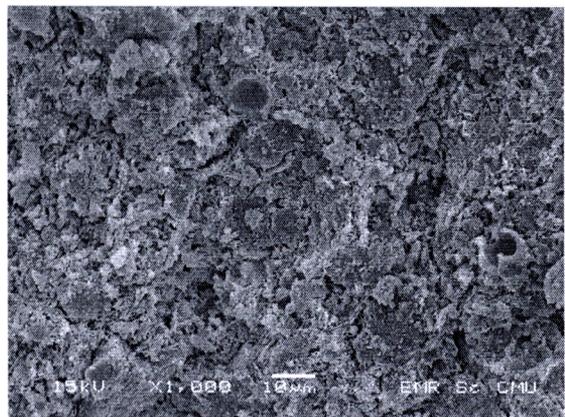
(ก)



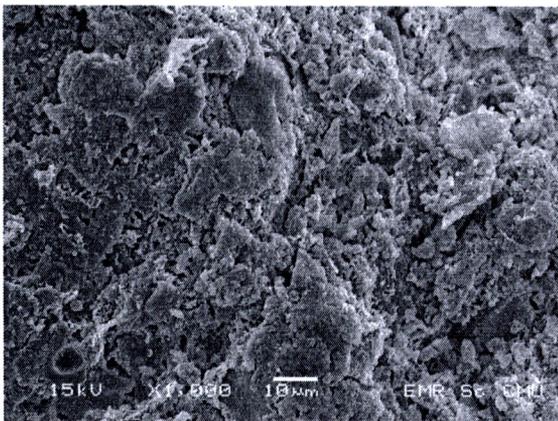
(ข)



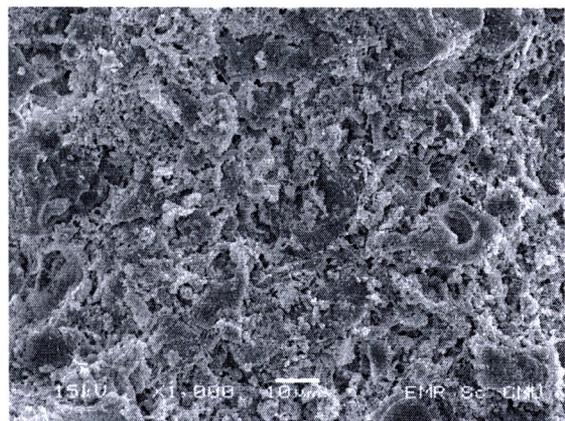
(ค)



(ง)



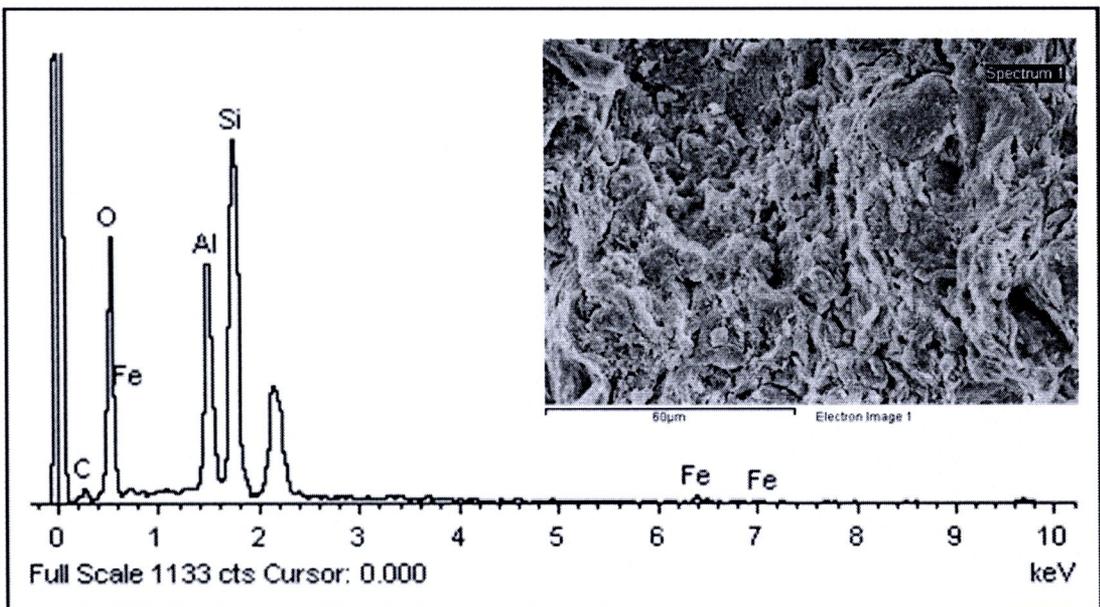
(จ)



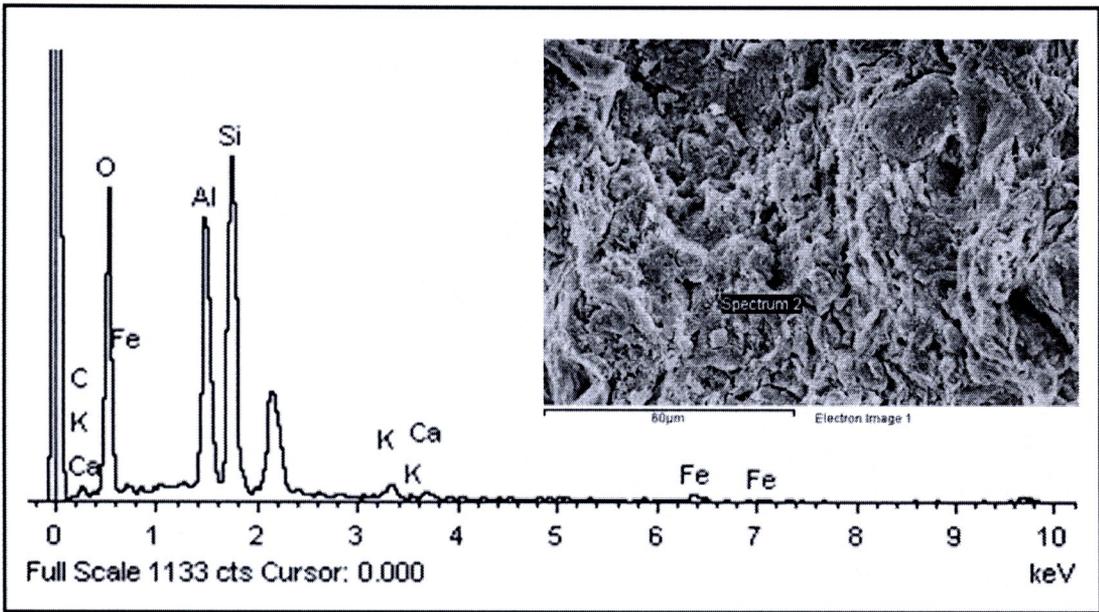
(ฉ)

**รูปที่ 4.40** โครงสร้างทางจุลภาคของดิน ผสมเถ้าหนักในอัตราส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้ (ก) เถ้าหนัก 10% เเผา 900 °ซ. แบบเร็วมาก (ข) เถ้าหนัก 20% เเผา 900 °ซ. แบบเร็วมาก (ค) เถ้าหนัก 20% เเผา 950 °ซ. แบบเร็วมาก (ง) 10B:40F เเผา 900 °ซ. แบบปกติ (จ) 10B:40F เเผา 950 °ซ. แบบปกติ (ฉ) 15B:35F เเผา 950 °ซ. แบบปกติ

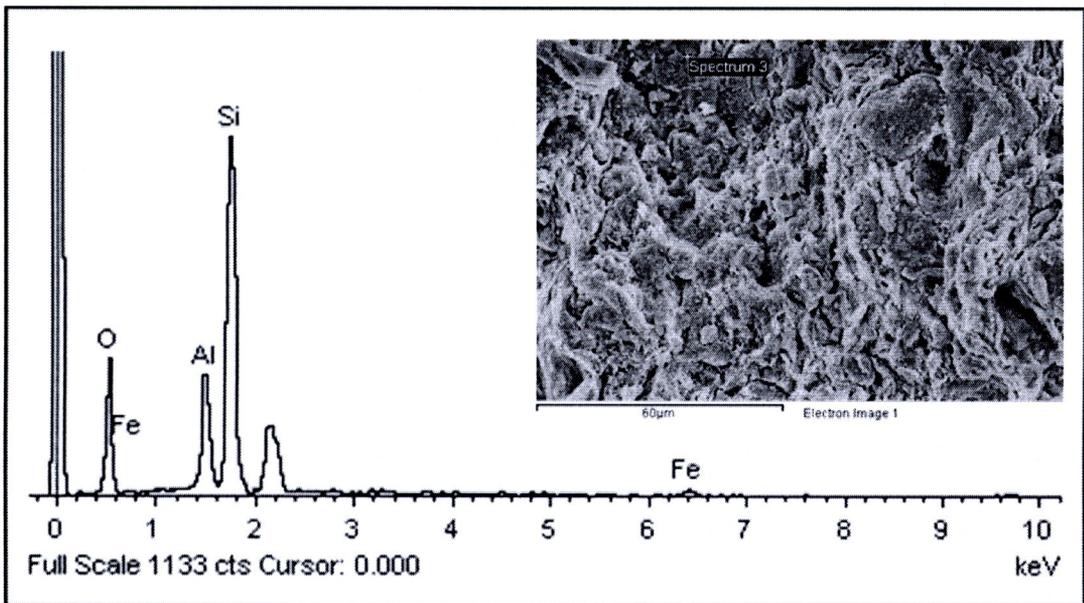
โครงสร้างจุลภาคของกระเบื้องเซรามิกจากเถ้าหนัก 10% และ 20% เผาที่ 900 °ซ. ด้วย อัตราการเผาแบบเร็วมาก และเถ้าหนัก 20% เผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ. แบบเร็วมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.40 (ก – ค) จะเห็นว่าโครงสร้างจุลภาคของเถ้าหนักโดยทั่วไปมีลักษณะคล้ายชิ้นงานจากดิน และดินผสมเถ้าลอยในรูปที่ 4.31 สอดคล้องกับค่าความพรุนและการดูดซึมน้ำในรูป 4.13 และ 4.16 ที่มีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก (น้อยกว่า 5%) ซึ่งต่างจากความต้านทานแรงดัดในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ที่มีความต้านทานแรงดัดแตกต่างกันในแต่ละส่วนผสม ในส่วนดิน 50% ผสมกับเถ้าหนัก:เถ้าลอย ที่ 10:40 เผาที่ 900 °ซ. แบบปกติ และที่ 10:40 และ 15:35 เผา 950 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ ดังในรูปที่ 4.40 (ง – จ) พบว่ามีพื้นผิวของชิ้นงานที่ขรุขระ มีความต่อเนื่องของเฟสน้อยเมื่อเทียบกับดินดินผสมเถ้าหนัก และดินผสมเถ้าลอย ซึ่งส่งผลให้มีการดูดซึมน้ำและค่าความพรุนสูงดังในรูปที่ 4.13 – 4.14 และ 4.16 – 4.17 ในด้านความต้านทานแรงดัดสูตรที่ผสมดิน 50% กับเถ้าหนักและเถ้าลอยมีค่าใกล้เคียงกับของส่วนผสมในรูปที่ 4.31 คือ ดินผสมเถ้าลอยในอัตราส่วน 20% และ 30% เผา 900 °ซ. อัตราเผาแบบเร็ว และเถ้าลอย 40% เผา 900 °ซ. อัตราเผาแบบปกติ และใกล้เคียงกับเถ้าหนัก 10% และ 20% เผา 900 °ซ. เผาแบบเร็วมาก และดินผสมเถ้าหนัก 20% เผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ. อัตราเผาแบบเร็วมาก แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างจุลภาคของพื้นผิวชิ้นงานไม่สัมพันธ์กับค่าความต้านทานแรงดัด



รูปที่ 4.41 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของเถ้าหนัก 10% เผา 900 °ซ. แบบเร็วมาก ในตำแหน่งที่ 1 ของรูปที่ 4.40 (ก)



รูปที่ 4.42 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของถ้ำหนัก 10% เผา 900 °ซ. แบบเร็วมาก ในตำแหน่งที่ 2 ของรูปที่ 4.40 (ก)

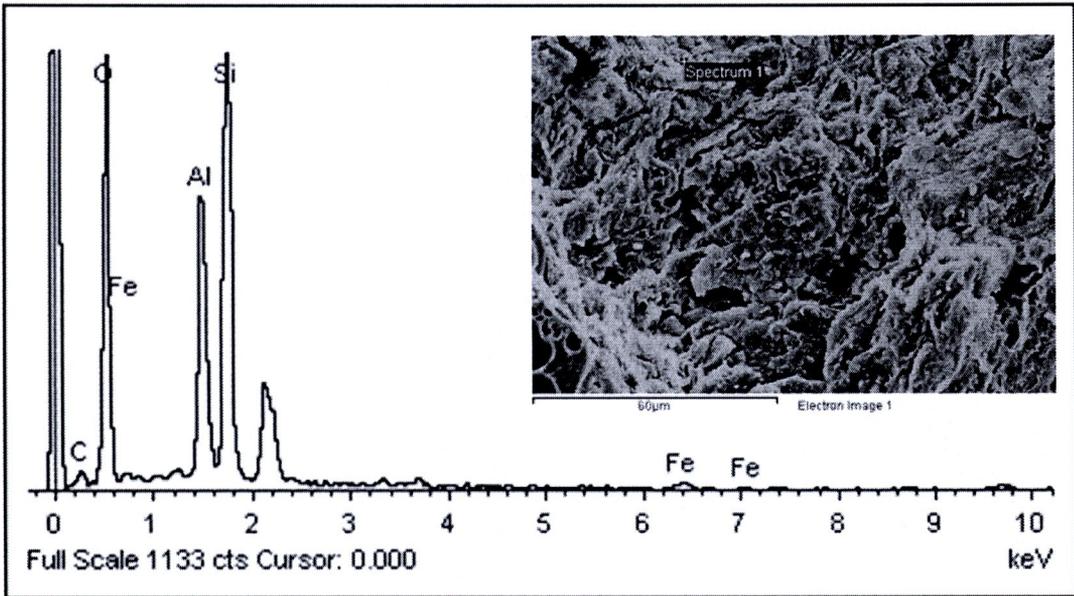


รูปที่ 4.43 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของถ้ำหนัก 10% เผา 900 °ซ. แบบเร็วมาก ในตำแหน่งที่ 3 ของรูปที่ 4.40 (ก)

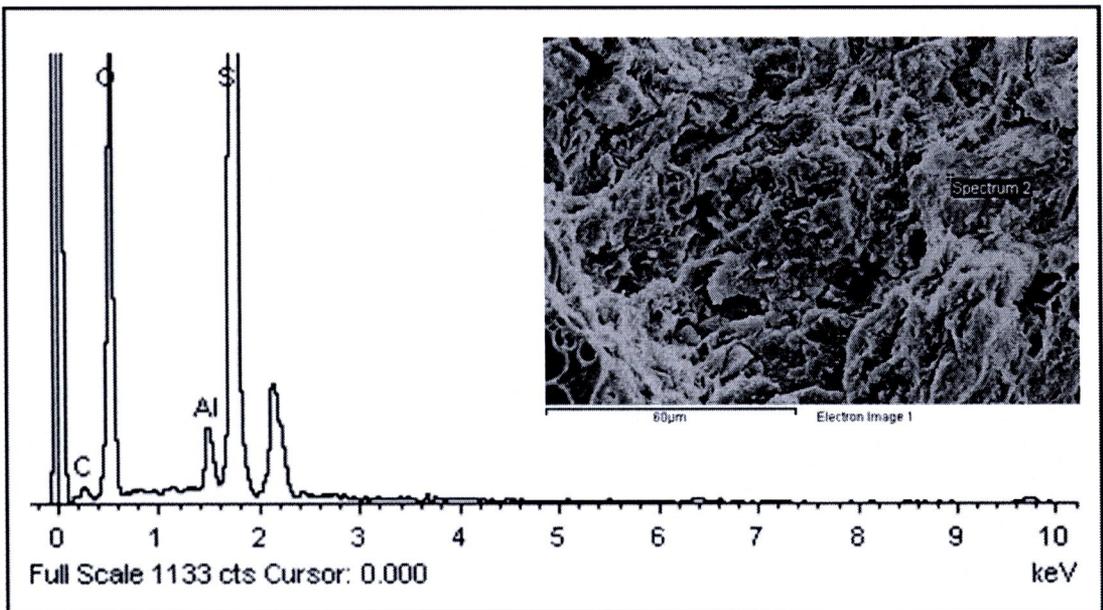
ตารางที่ 4.11 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแผ่นเหล็ก 10% เเผา 900 °ซ. แบบเร็วมาก รูปที่ 4.40  
(ก) เมื่อวิเคราะห์โดยเทคนิค EDS

Element	Weight%			Atomic%		
	1	2	3	1	2	3
C	7.61	8.04	–	12.29	12.86	–
O	46.75	48.72	40.13	56.70	58.49	54.66
Al	15.21	15.95	11.97	10.94	11.36	9.67
Si	27.65	22.30	44.01	19.10	15.25	34.15
K	–	1.44	–	–	0.71	–
Ca	–	0.90	–	–	0.43	–
Fe	2.79	2.64	3.89	0.97	0.91	1.52

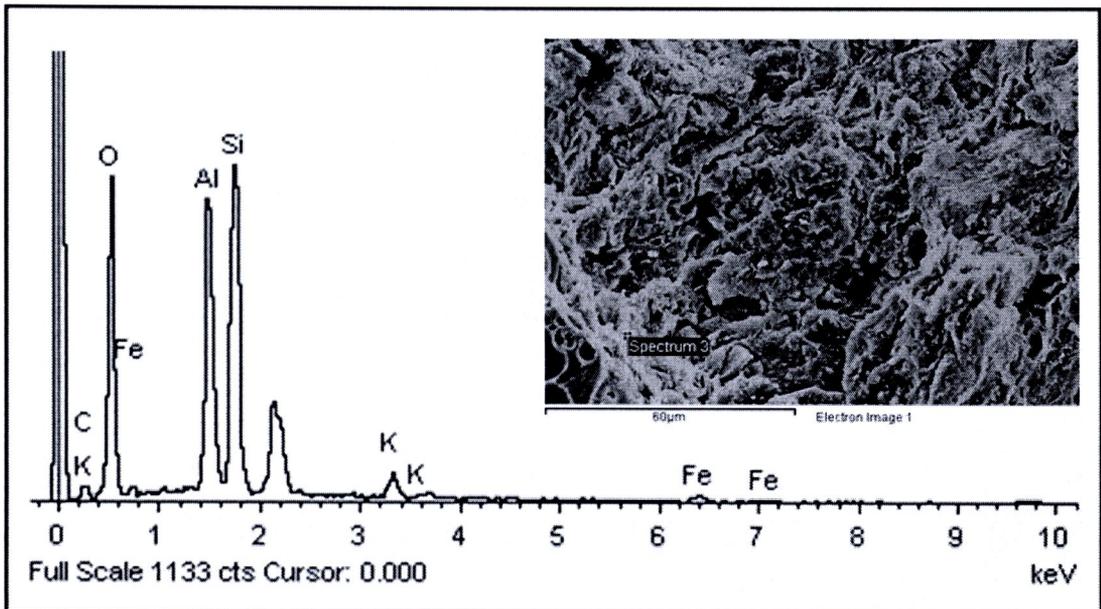
จากรูปที่ 4.41 – 4.43 และข้อมูลในตารางที่ 4.11 แสดงร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight%) และร้อยละโดยอะตอม (Atomic%) เมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS พบว่ากระเบื้องผสมเหล็ก 10% เเผาที่ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบเร็วมาก พบองค์ประกอบทางเคมีในตำแหน่งที่ 2 ได้แก่ คาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม แคลเซียม และเหล็ก โดยในตำแหน่งที่ 1 คล้ายตำแหน่งที่ 2 แต่ไม่พบโพแทสเซียม และแคลเซียม และตำแหน่งที่ 3 ไม่พบคาร์บอน โพแทสเซียม และแคลเซียม แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานไม่มีความสม่ำเสมอ เนื่องจากแต่ละตำแหน่งมีองค์ประกอบทางเคมี ค่าร้อยละโดยน้ำหนัก และร้อยละโดยอะตอมแตกต่างกัน



รูปที่ 4.44 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของถ่านกัก 20% เผา 900 °ซ. แบบเร็วมาก ในตำแหน่งที่ 1 ของรูปที่ 4.40 (ข)



รูปที่ 4.45 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของถ่านกัก 20% เผา 900 °ซ. แบบเร็วมาก ในตำแหน่งที่ 2 ของรูปที่ 4.40 (ข)

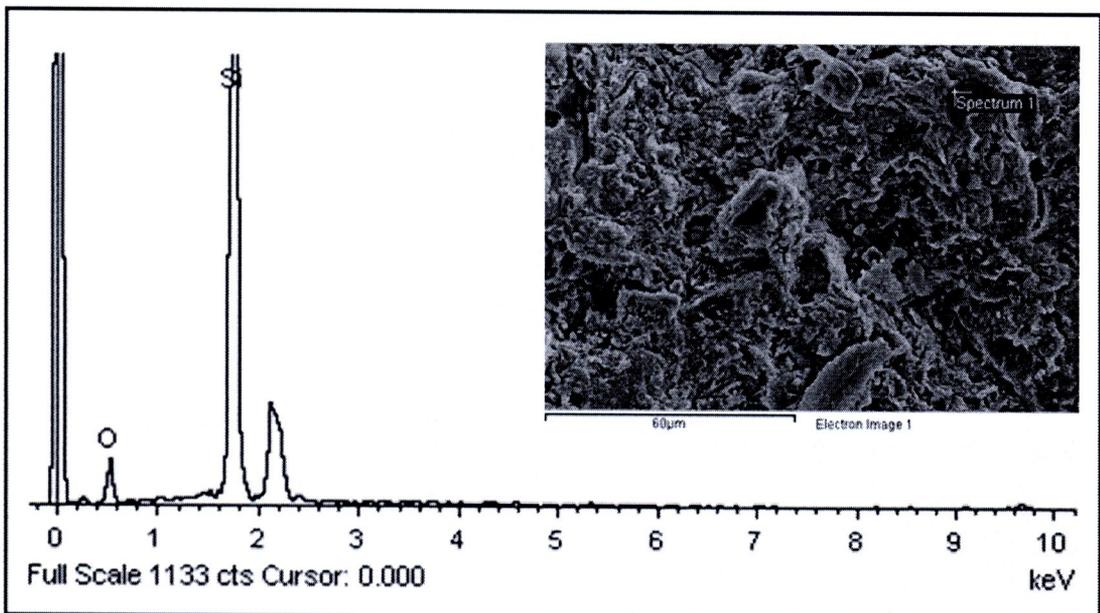


รูปที่ 4.46 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของถ้ำหนัก 20% เผา 900 °ซ. แบบเร็วมาก ในตำแหน่งที่ 3 ของรูปที่ 4.40 (ข)

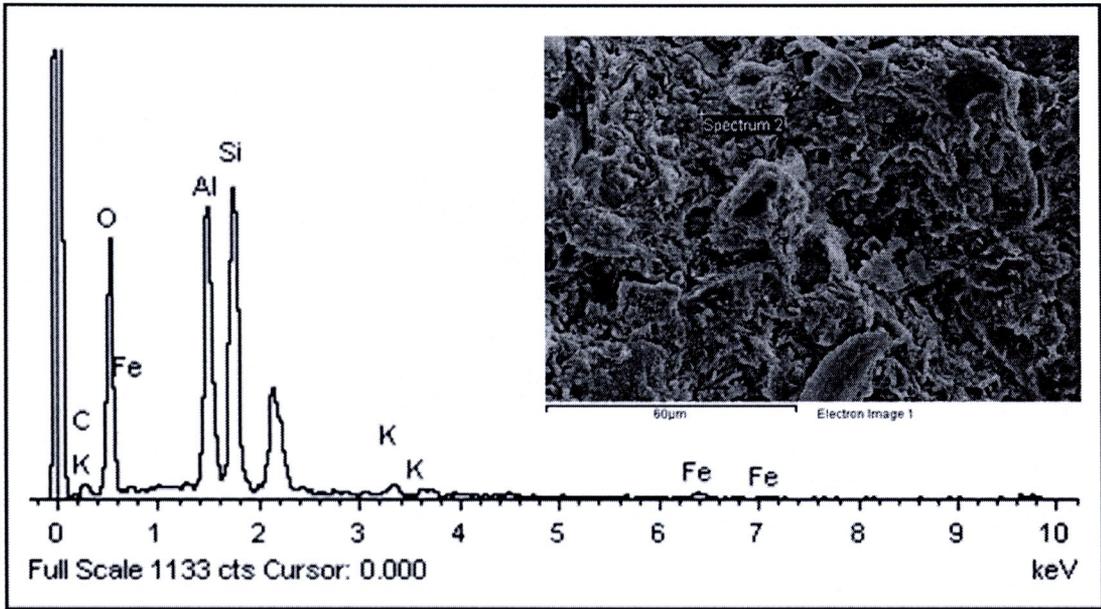
ตารางที่ 4.12 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของถ้ำหนัก 20% เผา 900 °ซ. แบบเร็วมาก รูปที่ 4.40 (ข) เมื่อวิเคราะห์โดยเทคนิค EDS

Element	Weight%			Atomic%		
	1	2	3	1	2	3
C	6.15	5.29	4.10	9.81	8.26	6.80
O	51.80	56.19	49.02	62.02	65.91	61.05
Al	14.19	3.18	17.43	10.08	2.21	12.87
Si	25.16	35.34	23.67	17.16	23.62	16.79
K	–	–	2.73	–	–	1.39
Fe	2.70	–	3.06	0.93	–	1.09

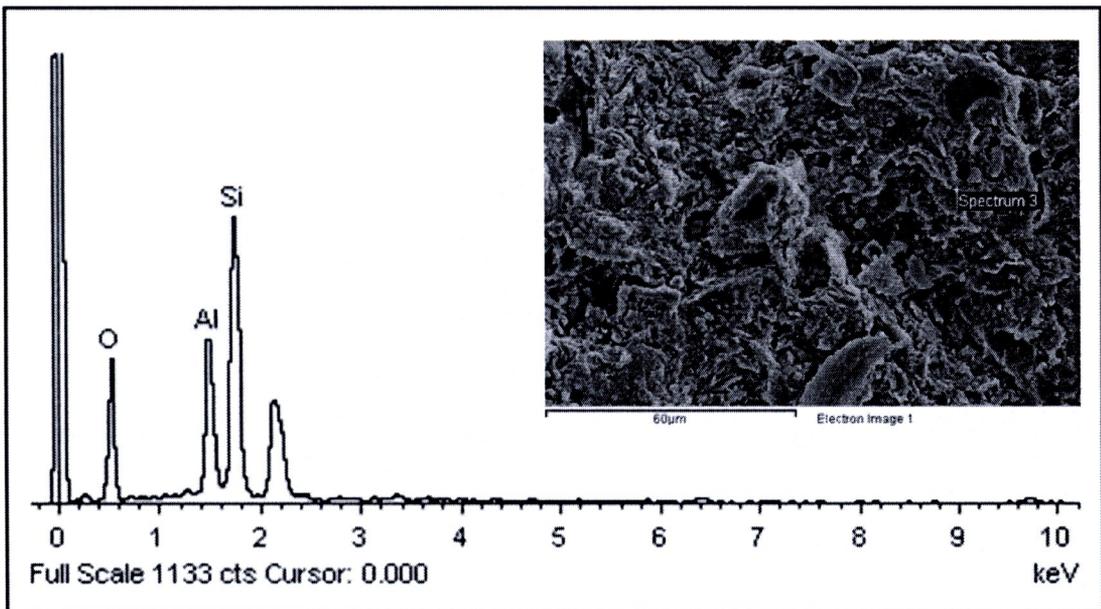
จากรูปที่ 4.44 – 4.46 และข้อมูลในตารางที่ 4.12 แสดงร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight%) และร้อยละโดยอะตอม (Atomic%) เมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS พบว่ากระเบื้องผสม เถ้าหนัก 20% เเผาที่ 900 °ซ. ด้วยอัตราการเผาแบบเร็วมาก พบองค์ประกอบทางเคมีในตำแหน่งที่ 3 ได้แก่ คาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม และเหล็ก โดยตำแหน่งที่ 1 คล้ายกับ ตำแหน่งที่ 3 แต่ไม่พบโพแทสเซียม และตำแหน่งที่ 3 ไม่พบโพแทสเซียม และเหล็ก แสดงว่า ชิ้นงานไม่มีความสม่ำเสมอ เนื่องจากแต่ละตำแหน่งมีองค์ประกอบทางเคมี ค่าร้อยละโดยน้ำหนัก และร้อยละโดยอะตอมแตกต่างกัน



รูปที่ 4.47 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของเถ้าหนัก 20% เเผา 950 °ซ. แบบเร็วมาก ในตำแหน่งที่ 1 ของรูปที่ 4.40 (ค)



รูปที่ 4.48 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของเก้าหนัก 20% เผา 950 °ซ. แบบเร็วมาก ในตำแหน่งที่ 2 ของรูปที่ 4.40 (ค)



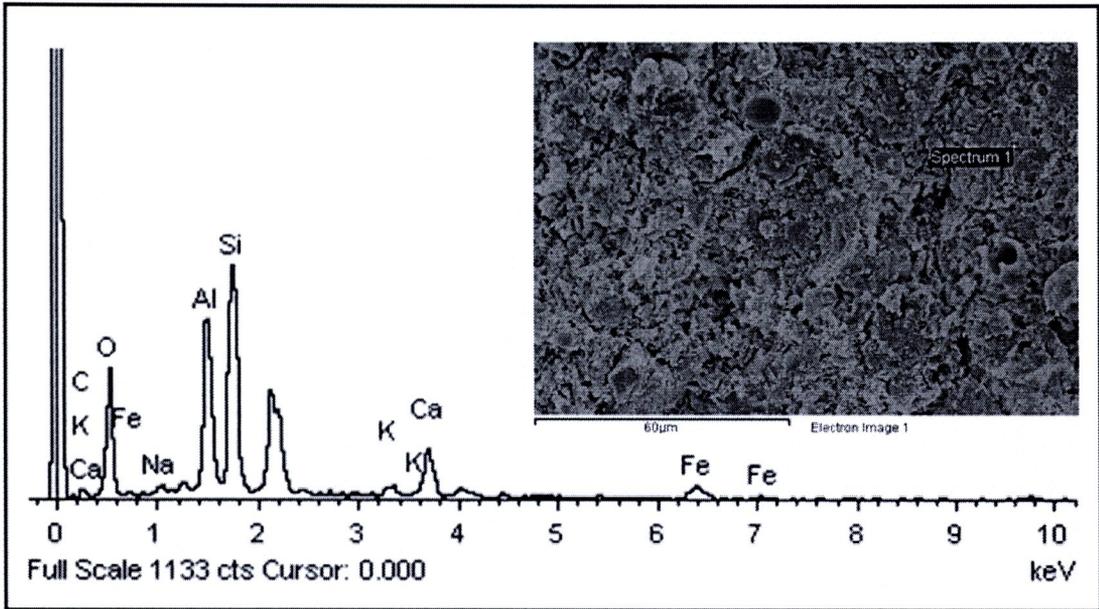
รูปที่ 4.49 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของเก้าหนัก 20% เผา 950 °ซ. แบบเร็วมาก ในตำแหน่งที่ 3 ของรูปที่ 4.40 (ค)

ตารางที่ 4.13 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแผ่น 20% เผา 950 °ซ. แบบเร็วมาก รูปที่ 4.40  
(ค) เมื่อวิเคราะห์โดยเทคนิค EDS

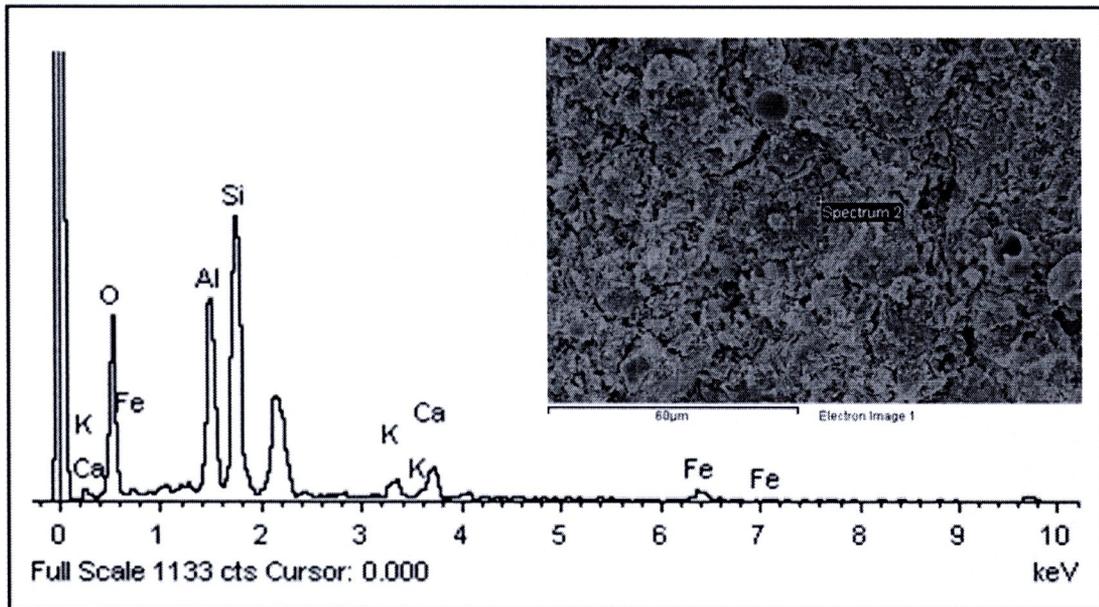
Element	Weight%			Atomic%		
	1	2	3	1	2	3
C	–	8.57	–	–	13.81	–
O	25.05	46.04	44.53	36.98	55.68	58.17
Al	–	18.05	18.01	–	12.94	13.95
Si	74.95	22.98	37.47	63.02	15.83	27.88
K	–	1.52	–	–	0.75	–
Fe	–	2.85	–	–	0.99	–

จากรูปที่ 4.47 – 4.49 และข้อมูลในตารางที่ 4.13 แสดงร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight%) และร้อยละโดยอะตอม (Atomic%) เมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS พบว่ากระเบื้องผสมแผ่น 20% เผาที่ 950 °ซ. ด้วยอัตราการเผาแบบเร็วมาก พบองค์ประกอบทางเคมีในตำแหน่งที่ 2 ได้แก่ คาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม และเหล็ก ตำแหน่งที่ 1 พบออกซิเจนและซิลิกอน ส่วนในตำแหน่งที่ 3 พบออกซิเจน อะลูมิเนียมและซิลิกอน แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานไม่มีความสม่ำเสมอ เนื่องจากแต่ละตำแหน่งมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ค่าร้อยละโดยน้ำหนักและร้อยละโดยอะตอมของแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน

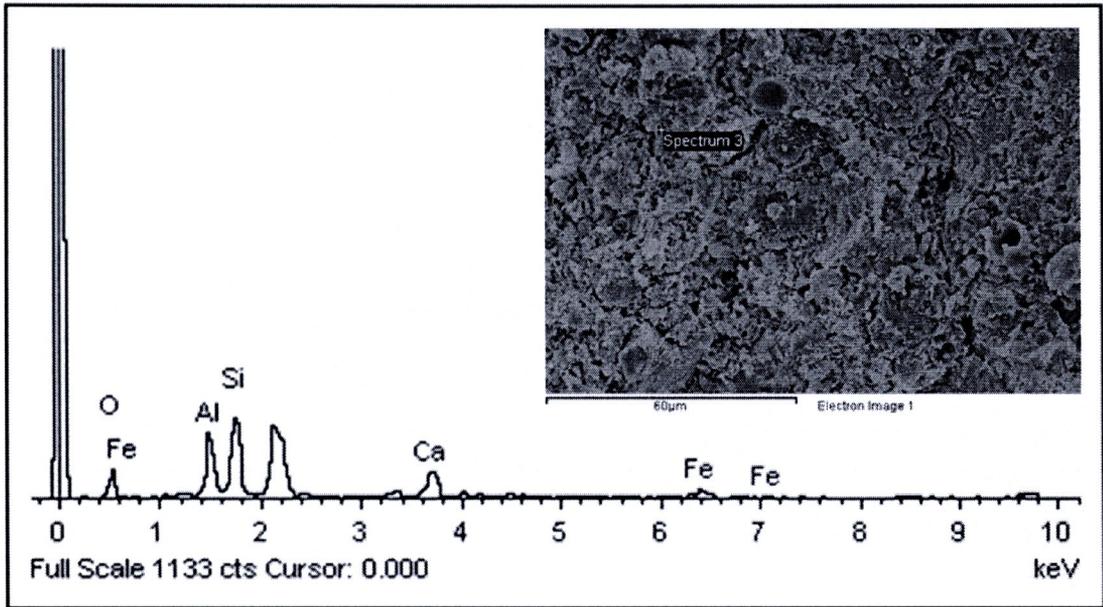
เมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS ดังแสดงในรูปที่ 4.41 – 4.49 และจากข้อมูลในตารางที่ 4.11 – 4.13 พบว่ากระเบื้องที่ทำจากดินผสมแผ่น 10% และ 20% เผาที่ 900 °ซ. ด้วยอัตราการเผาเร็วมาก และแผ่น 20% เผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ. อัตราการเผาแบบเร็วมาก สังเกตพบว่าปริมาณธาตุเหล็ก (Fe) ในกระเบื้องแต่ละส่วนผสมมีปริมาณใกล้เคียงกัน สีผิวของชิ้นงานที่ได้จึงไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อผสมแผ่นเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบตารางที่ 4.11 – 4.13 กับตาราง 4.8 – 4.10 จะเห็นว่าการผสมเถ้าลอยมีปริมาณของเหล็กที่พบมากกว่าผสมแผ่น ชิ้นงานที่ได้จึงมีสีเข้มขึ้นมากกว่าผสมแผ่น นอกจากนี้จะเห็นว่าพื้นผิวของชิ้นงานที่ผสมแผ่นในอัตราส่วนต่างๆ ไม่มีความสม่ำเสมอ เนื่องจากพบองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่งของชิ้นงาน แต่หากเปรียบเทียบกับดินผสมเถ้าลอยจะเห็นว่าการผสมเถ้าลอยมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันมากกว่าผสมแผ่น ผิวของชิ้นงานที่ผสมแผ่นจึงมีความสม่ำเสมอมากกว่าการผสมเถ้าลอย



รูปที่ 4.50 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของดิน 50% ผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 10:40 เตา 900 °ซ. แบบปกติ ในตำแหน่งที่ 1 ของรูปที่ 4.40 (ง)



รูปที่ 4.51 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของดิน 50% ผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 10:40 เตา 900 °ซ. แบบปกติ ในตำแหน่งที่ 2 ของรูปที่ 4.40 (ง)

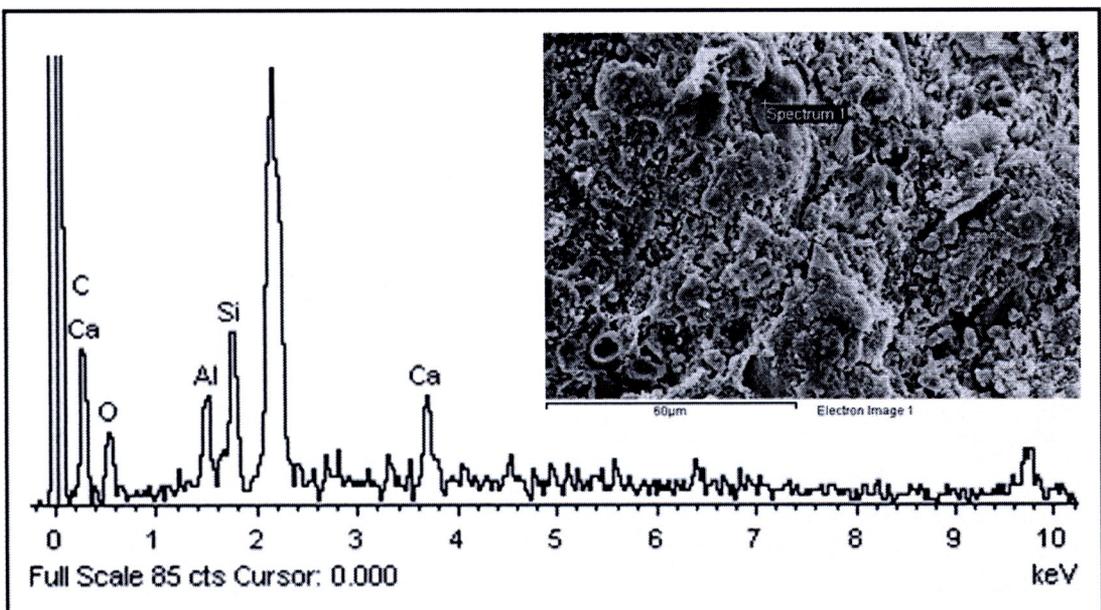


รูปที่ 4.52 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของดิน 50% ผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 10:40 เพา 900 °ซ. แบบปกติ ในตำแหน่งที่ 3 ของรูปที่ 4.40 (ง)

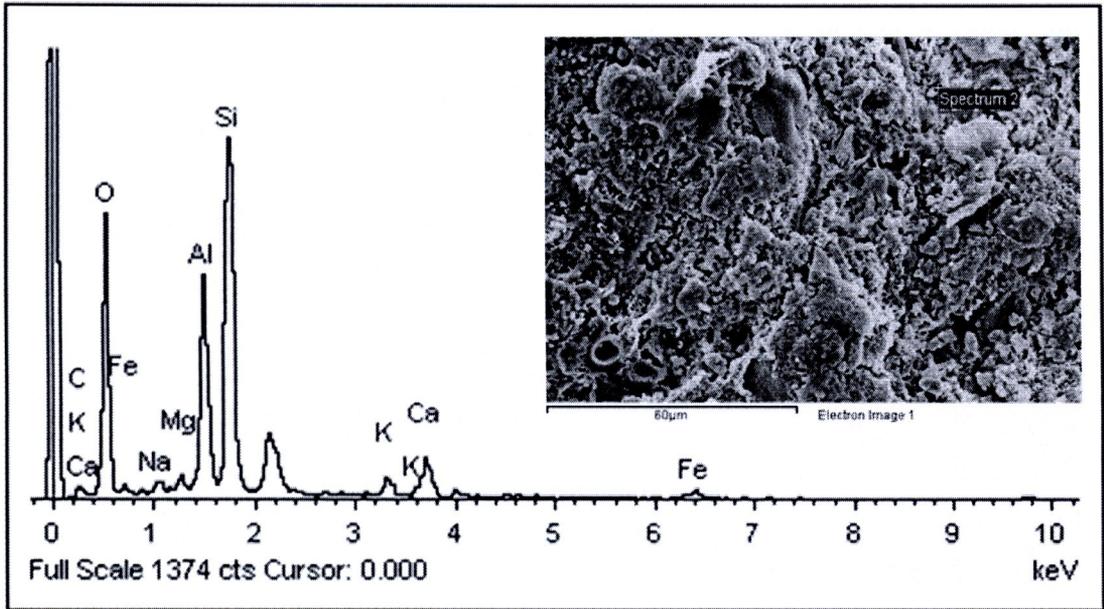
ตารางที่ 4.14 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของดิน 50% ผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 10:40 เพา 900 °ซ. แบบปกติ รูปที่ 4.40 (ง) เมื่อวิเคราะห์โดยเทคนิค EDS

Element	Weight%			Atomic%		
	1	2	3	1	2	3
C	5.62	—	—	10.17	—	—
O	37.05	43.42	28.77	50.35	59.55	45.81
Na	1.15	—	—	1.08	—	—
Al	15.22	16.40	16.67	12.26	13.34	15.74
Si	22.26	25.58	23.65	17.23	19.99	21.45
K	1.47	2.95	—	0.82	1.65	—
Ca	9.03	5.78	16.12	4.90	3.16	10.25
Fe	8.20	5.87	14.79	3.19	2.30	6.75

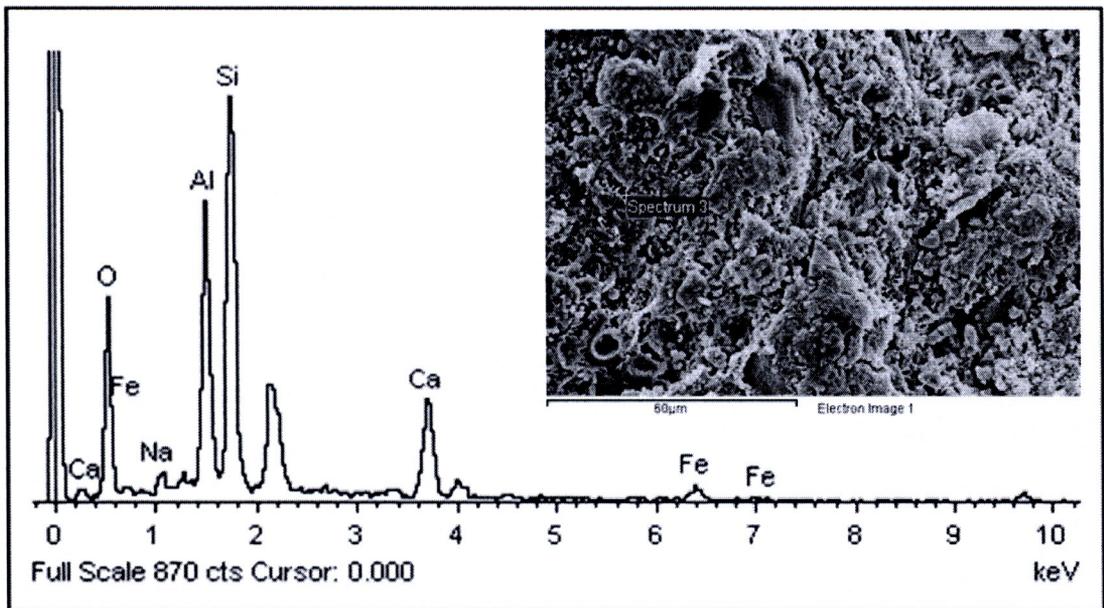
จากรูปที่ 4.50 – 4.52 และข้อมูลในตารางที่ 4.14 แสดงร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight%) และร้อยละโดยอะตอม (Atomic%) เมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS พบว่ากระเบื้องผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 10:40 เเผาที่ 900 °ซ. แบบปกติ พบองค์ประกอบทางเคมีในตำแหน่งที่ 1 ได้แก่ คาร์บอน ออกซิเจน โซเดียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม แคลเซียม และเหล็ก ตำแหน่งที่ 2 คล้ายตำแหน่งที่ 1 แต่ไม่พบคาร์บอน และโซเดียม ส่วนตำแหน่งที่ 3 ไม่พบคาร์บอน โซเดียม และโพแทสเซียม แสดงว่าชิ้นงานที่ได้ไม่มีความสม่ำเสมอ เนื่องจากในแต่ละตำแหน่งพบองค์ประกอบทางเคมี ค่าร้อยละโดยน้ำหนัก และร้อยละโดยอะตอมแตกต่างกัน



รูปที่ 4.53 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของดิน 50%ผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 10:40 เเผา 950 °ซ. แบบปกติ ในตำแหน่งที่ 1 ของรูปที่ 4.40 (จ)



รูปที่ 4.54 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของดิน 50% ผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 10:40 เพา 950 °ซ. แบบปกติ ในตำแหน่งที่ 2 ของรูปที่ 4.40 (จ)

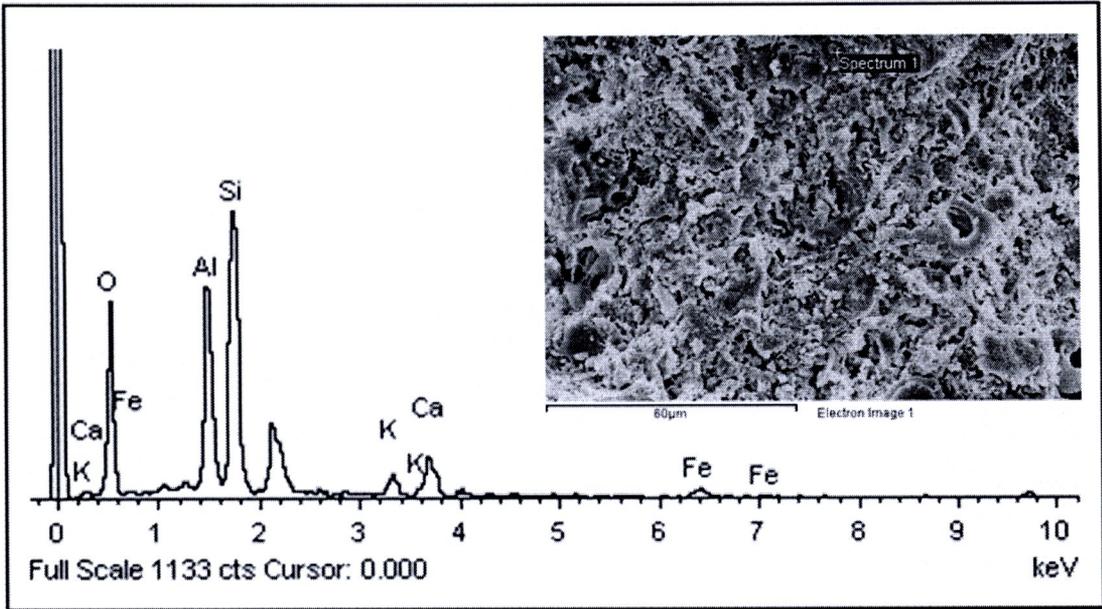


รูปที่ 4.55 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของดิน 50% ผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 10:40 เพา 950 °ซ. แบบปกติ ในตำแหน่งที่ 3 ของรูปที่ 4.40 (จ)

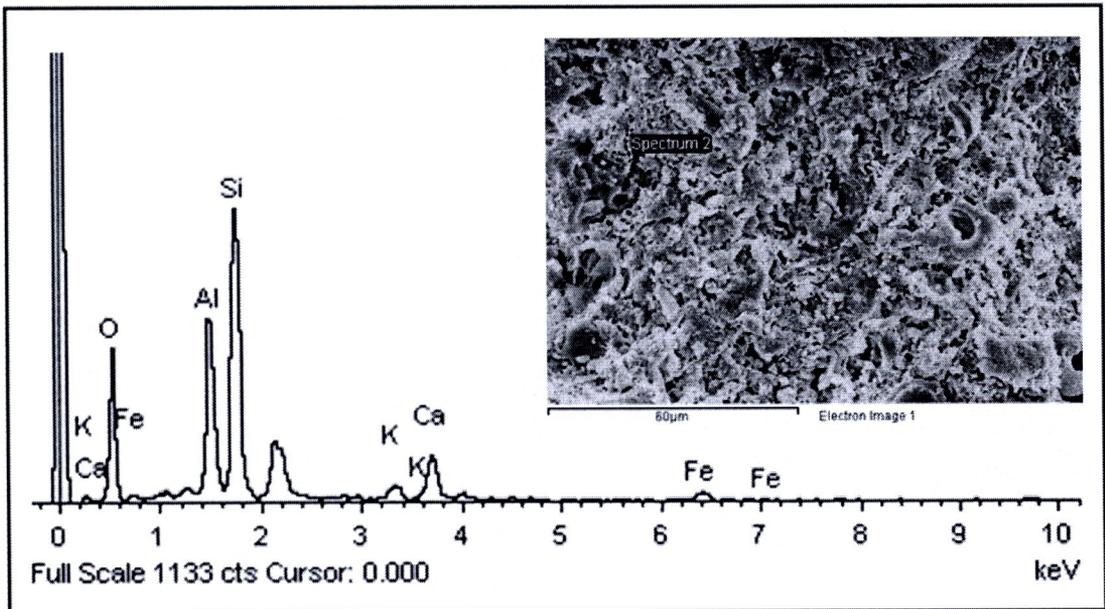
ตารางที่ 4.15 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของดิน 50% ผสม ใถ้าหนัก:ใถ้าลอย, 10:40 เผา 950 °ซ.  
แบบปกติ รูปที่ 4.40 (จ) เมื่อวิเคราะห์โดยเทคนิค EDS

Element	Weight%			Atomic%		
	1	2	3	1	2	3
C	44.07	5.49	–	58.57	9.15	–
O	27.19	47.06	39.01	27.13	58.94	55.25
Na	–	0.82	1.74	–	0.72	1.72
Mg	–	0.84	–	–	0.69	–
Al	5.81	12.11	16.15	3.44	8.99	13.57
Si	10.19	23.63	24.61	5.79	16.86	19.86
K	–	1.95	–	–	1.00	–
Ca	12.73	5.26	13.14	5.07	2.63	7.43
Fe	–	2.85	5.35	–	1.02	2.17

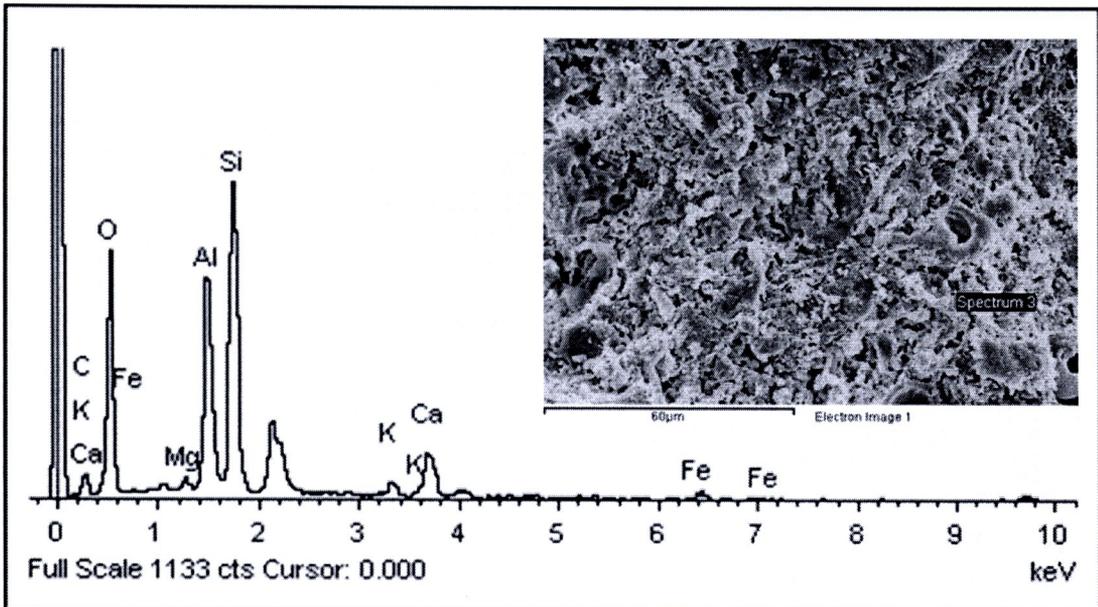
จากรูปที่ 4.53 – 4.55 และข้อมูลในตารางที่ 4.15 แสดงร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight%) และร้อยละโดยอะตอม (Atomic%) เมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS พบว่ากระเบื้องผสม ใถ้าหนัก:ใถ้าลอย, 10:40 เผาที่ 950 °ซ. แบบปกติ พบองค์ประกอบทางเคมีในตำแหน่งที่ 1 ได้แก่ คาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียม ซิลิกอน และแคลเซียม ตำแหน่ง 2 พบคาร์บอน ออกซิเจน โซเดียม แมกนีเซียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม แคลเซียม และเหล็ก ส่วนในตำแหน่งที่ 3 คล้ายกับ ตำแหน่งที่ 2 แต่ไม่พบคาร์บอน แมกนีเซียม และโพแทสเซียม แสดงว่าชิ้นงานที่ได้ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากแต่ละตำแหน่งมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ค่าร้อยละโดยน้ำหนัก และร้อยละโดยอะตอมของแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน



รูปที่ 4.56 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของดิน 50% ผสม ถ้ำหนัก:ถ้ำลอย, 15:35 เภา 950 °ซ. แบบปกติ ในตำแหน่งที่ 1 ของรูปที่ 4.40 (จ)



รูปที่ 4.57 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของดิน 50% ผสม ถ้ำหนัก:ถ้ำลอย, 15:35 เภา 950 °ซ. แบบปกติ ในตำแหน่งที่ 2 ของรูปที่ 4.40 (จ)



รูปที่ 4.58 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของดิน 50% ผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 15:35 เผา 950 °ซ. แบบปกติ ในตำแหน่งที่ 3 ของรูปที่ 4.40 (จ)

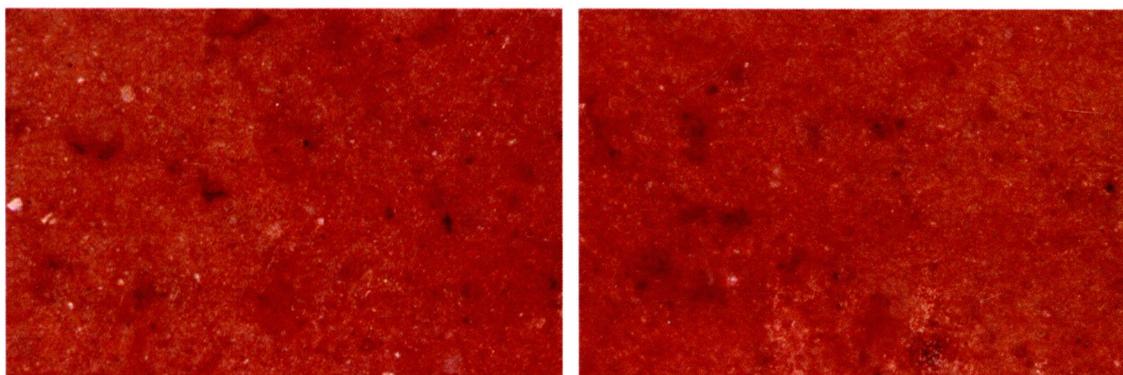
ตารางที่ 4.16 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของดิน 50% ผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 15:35 เผา 950 °ซ. แบบปกติ รูปที่ 4.40 (จ) เมื่อวิเคราะห์โดยเทคนิค EDS

Element	Weight%			Atomic%		
	1	2	3	1	2	3
C	–	–	13.66	–	–	21.50
O	43.73	41.51	44.33	59.96	57.70	52.40
Mg	–	–	0.68	–	–	0.53
Al	15.94	15.19	11.92	12.96	12.52	8.35
Si	24.88	27.47	18.66	19.43	21.76	12.57
K	3.13	2.46	1.48	1.76	1.40	0.71
Ca	6.79	8.29	5.94	3.71	4.60	2.80
Fe	5.53	5.08	3.33	2.17	2.02	1.13

จากรูปที่ 4.56 – 4.58 และข้อมูลในตารางที่ 4.16 แสดงร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight%) และร้อยละโดยอะตอม (Atomic%) เมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS พบว่ากระเบื้องผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย, 15:35 เเผาที่ 950 °ซ. แบบปกติ พบองค์ประกอบทางเคมีในตำแหน่งที่ 3 ได้แก่ คาร์บอน ออกซิเจน แมกนีเซียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม แคลเซียม และเหล็ก ตำแหน่ง 1 และ 2 คล้ายกับในตำแหน่ง 3 แต่ไม่พบคาร์บอน และแมกนีเซียม แสดงว่าชิ้นงานที่ได้ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากแต่ละตำแหน่งมีองค์ประกอบทางเคมี ค่าร้อยละโดยน้ำหนัก และร้อยละโดยอะตอมของแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน

เมื่อวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS ดังแสดงในรูปที่ 50 – 58 และจากข้อมูลในตารางที่ 4.14 – 4.16 พบว่ากระเบื้องที่ทำจากดินผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย ที่ 10:40 เเผาที่ 900 °ซ. แบบปกติ และเถ้าหนัก:เถ้าลอย ที่ 10:40 และ 15:35 เเผา 950 °ซ. เเผาปกติ พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีในแต่ละตำแหน่งของชิ้นงานแตกต่างกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับดินผสมเถ้าหนัก และดินผสมเถ้าลอย แสดงว่าผิวชิ้นงานขาดความสม่ำเสมอ และมีสีเข้มมากเมื่อเทียบกับการผสมเถ้าหนัก และเถ้าลอย อาจเนื่องจากพบปริมาณเหล็กในชิ้นงานมาก

#### 4.2.6 พื้นผิวภายนอก

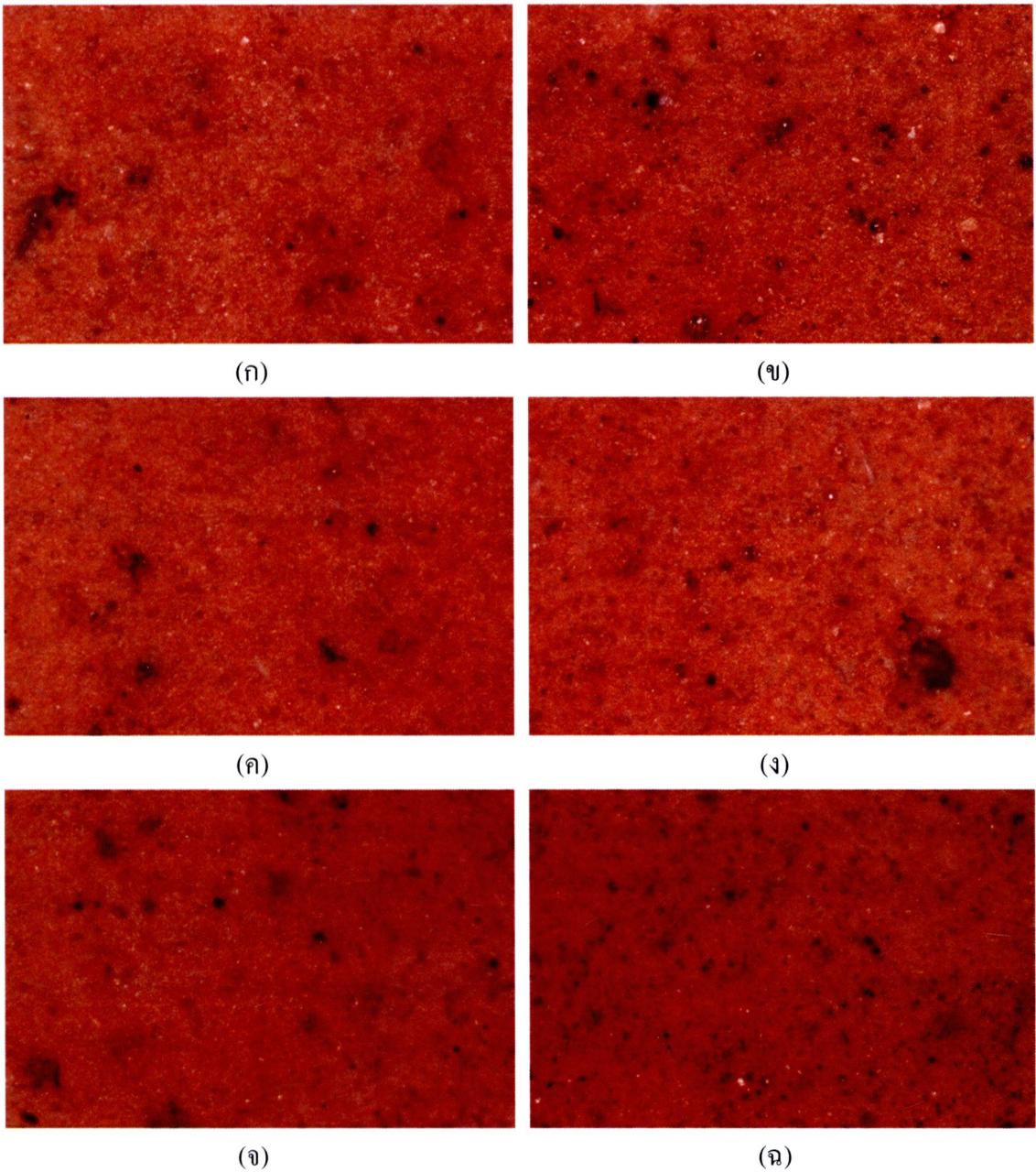


(ก)

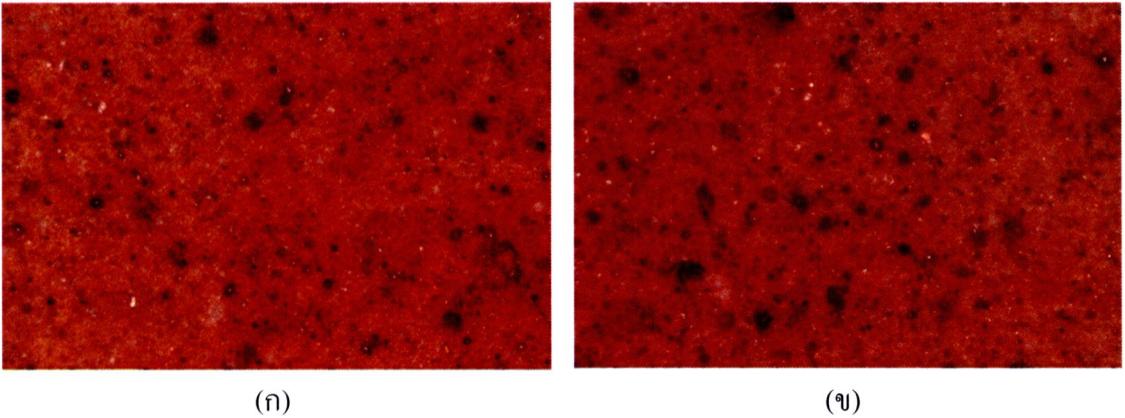
(ข)

**รูปที่ 4.59** พื้นผิวภายนอกของกระเบื้องเซรามิกจากดิน อัตราการเผาแบบเร็วมาก ที่อุณหภูมิ กำลังขยาย 50 เท่า (ก) 850 °ซ. (ข) 950 °ซ.

จากภาพพื้นผิวภายนอกของกระเบื้องเซรามิกจากดิน เเผาด้วยอัตราเผาแบบเร็วมากที่ อุณหภูมิ 850 °ซ. และ 950 °ซ. ดังรูปที่ 4.59 พบว่าพื้นผิวของชิ้นงานที่เผา 950 °ซ. มีลักษณะเรียบ และเนื้อละเอียด สีสันสม่ำเสมอ สัมพันธ์กับภาพโครงสร้างทางจุลภาคของดินในรูปที่ 4.31 (ก) เเผา ด้วยอุณหภูมิ 900 °ซ. อัตราการเผาแบบปกติ ซึ่งมีความต่อเนื่องของเฟสต่างๆ เป็นอย่างดี



**รูปที่ 4.60** พื้นผิวภายนอกของกระเบื้องเซรามิกจากดิน เถ้าหนักและเถ้าลอย อัตราการเผาแบบปกติ กำลังขยาย 50 เท่า (ก) เถ้าหนัก 20% เผา 850 °ซ. (ข) เถ้าลอย 20% เผา 850 °ซ. (ค) เถ้าหนัก 20% เผา 900 °ซ. (ง) เถ้าลอย 20% เผา 900 °ซ. (จ) เถ้าหนัก 20% เผา 950 °ซ. (ฉ) เถ้าลอย 20% เผา 950 °ซ.



(ก)

(ข)

**รูปที่ 4.61** พื้นผิวภายนอกของกระเบื้องเซรามิกจากดิน 50% ผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย ที่ 10:40 อัตราการเผาแบบเร็วมาก กำลังขยาย 50 เท่า ที่อุณหภูมิ (ก) 850 °ซ. (ข) 950 °ซ.

ภาพพื้นผิวภายนอกของกระเบื้องเซรามิกจากดินผสมเถ้าหนัก และเถ้าลอย 20% เผาที่อัตราการเผาแบบปกติ ด้วยอุณหภูมิ 850, 900 และ 950 °ซ. ดังในรูปที่ 4.60 ซึ่งพบว่าทุกอุณหภูมิ การเผาเมื่อผสมเถ้าหนักจะให้ลักษณะของชิ้นงานที่ดีกว่าผสมเถ้าลอย ในด้านสีผิวที่สม่ำเสมอ และความเรียบของผิวชิ้นงาน ดังที่กล่าวมาแล้วในการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบ EDS นอกจากนี้ หากเปรียบเทียบการเผาที่อุณหภูมิต่ำ 850 °ซ. กับการเผาอุณหภูมิที่สูงขึ้นเป็น 900 °ซ. และ 950 °ซ. ชิ้นงานที่เผาในอุณหภูมิต่ำจะมีความสม่ำเสมอของสีผิวน้อยกว่า ดังรูปที่ 4.60 (ก - ข) พบจุดขนาดใหญ่ และผิวชิ้นงานมีความละเอียดน้อย สำหรับการเผาอุณหภูมิสูง 950 °ซ. ชิ้นงานที่ได้มีผิวเรียบ แต่มีสีแดงเข้มขึ้นมากกว่าการเผาที่ 900 °ซ. และ 850 °ซ. ส่วนที่ดิน 50% ผสม เถ้าหนัก:เถ้าลอย ที่ 10:40 อัตราการเผาแบบเร็วมาก อุณหภูมิเผา 850 และ 950 °ซ. ดังรูปที่ 4.61 สังเกตได้ว่ามีจุดขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก สีผิวของชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ และไม่ละเอียด และชิ้นงานที่ได้มีสีเข้มแม้จะเผาที่อุณหภูมิต่างกัน สัมพันธ์กับภาพโครงสร้างจุลภาคดังในรูปที่ 4.40 ที่มีความต่อเนื่องของเฟสน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับดินผสมเถ้าหนัก และดินผสมเถ้าลอย และข้อมูลในตารางที่ 4.14 – 4.16 แสดงให้เห็นว่าผิวชิ้นงานขาดความสม่ำเสมอ เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน