

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการวิจัยเพื่อการสำรวจและพัฒนาแหล่งดินเพื่อใช้ผลิตเซรามิกในชุมชนอินทิล อำเภอมะแตง จังหวัดเชียงใหม่ ได้ผลการวิจัย ดังนี้

ผลการสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน

สำหรับการสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน ผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยแบ่งเป็นโซน ทั้งหมด 9 โซน (Intakhil 1-9) โซนละ 5 จุด รวมทั้งสิ้น 45 จุด โดยมีพิกัดการสำรวจ ดังตาราง 4.1 แต่ละจุดทำการขุดทั้งหมด 6 ระยะความลึก เพื่อประเมินลักษณะเฉพาะของดิน จากการสำรวจพบว่า หน้าที่ดินที่ระดับความลึก 50 ซม. มีการปนเปื้อนเศษซากพืช และที่ระดับความลึก 250-300 ซม. มักพบทรายเป็นองค์ประกอบเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามทุกชั้นมีทรายเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นในการสำรวจและเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปศึกษาและใช้ประโยชน์สำหรับผลิตเซรามิก ผู้วิจัยจึงเลือกเฉพาะดินที่มีระดับความลึกอยู่ในช่วง 50-250 ซม.

ตารางที่ 4.1 พิกัดจุดของแหล่งดินที่ทำการสุ่มสำรวจ จำนวน 9 โซน

โซน	พิกัด	
	ละติจูด (°N)	ลองจิจูด (°E)
Intakhil-1	19°10'58" - 19°11'06"	98°59'05" - 98°59'13"
Intakhil-2	19°11'13" - 19°11'20"	98°59'05" - 98°59'13"
Intakhil-3	19°10'55" - 19°11'02"	98°58'55" - 98°59'02"
Intakhil-4	19°11'06" - 19°11'13"	98°58'55" - 98°59'02"
Intakhil-5	19°10'44" - 19°10'51"	98°59'16" - 98°59'24"
Intakhil-6	19°10'33" - 19°10'40"	98°59'16" - 98°59'24"
Intakhil-7	19°10'37" - 19°10'44"	98°59'02" - 98°59'09"
Intakhil-8	19°10'44" - 19°10'51"	98°58'51" - 98°58'58"
Intakhil-9	19°10'33" - 19°10'40"	98°58'47" - 98°58'55"

ผลการศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของดินแต่ละจุด

จากการศึกษาลักษณะเฉพาะของดินแต่ละจุด ประกอบไปด้วย การหาปริมาณกากค้ำจาย ตะแกรง การหดตัว และความแข็งแรง ได้ผลดังนี้

1. กากค้ำจายตะแกรง

จากผลการสำรวจเพื่อหาปริมาณกากค้ำจายตะแกรงขนาด 100 เมช (150 μm) 200 เมช (75 μm) และ 325 เมช (45 μm) พบว่า มีกากค้ำจายตะแกรงเบอร์ 100 เมช ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับ เบอร์ 200 เมช และ 325 เมช บ่งชี้ว่าดินมีองค์ประกอบของทรายค่อนข้างมาก ซึ่งมีผลต่อการนำดินไปใช้งาน เช่น อาจส่งผลให้ความเหนียวลดลง แต่มีข้อดีคือการหดตัวต่ำ การทรงตัวหรืออยู่ตัวที่ดี เมื่อนำไปขึ้นรูป โดยปกติแล้ว เนื้อดินที่มีทรายเป็นส่วนผสมจะเป็นเนื้อดินเอริธเทนแวร์ นำไปทำผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงขนาดใหญ่ เหมาะสมกับการขึ้นรูปด้วยวิธีการปั้นอิสระหรือแป้นหมุน

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณกากค้ำจายตะแกรงของดินที่ทำการสำรวจ

โซน	จุดสำรวจที่	กากค้ำจายตะแกรง (%)		
		100 เมช	200 เมช	325 เมช
Intakhil 1	1	22.33	6.83	5.28
	2	23.99	5.58	2.43
	3	23.27	4.58	2.01
	4	23.16	5.65	4.34
	5	23.61	8.88	6.35
Intakhil 2	6	16.10	3.14	4.56
	7	13.61	9.39	4.45
	8	23.26	7.19	7.14
	9	17.28	4.28	6.60
	10	25.22	6.28	4.10
Intakhil 3	11	28.48	13.63	7.55
	12	20.40	7.18	2.80
	13	21.40	6.48	3.90
	14	21.68	2.88	4.70
	15	31.62	13.43	7.00
Intakhil 4	16	22.12	4.48	5.15
	17	20.18	1.23	1.55
	18	37.85	11.08	4.35

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์หาการค้ำตะแกรงของดินที่ทำการสำรวจ (ต่อ)

โซน	จุดสำรวจที่	การค้ำตะแกรง (%)		
		100 เมช	200 เมช	325 เมช
	19	20.74	4.18	4.40
	20	21.43	4.33	4.77
Intakhil 5	21	24.60	9.98	4.70
	21	26.14	8.78	6.50
	23	22.16	7.63	5.80
	24	24.88	19.48	7.90
	25	24.02	11.03	7.70
Intakhil 6	26	22.92	11.38	7.55
	27	24.70	11.38	6.07
	28	29.68	11.63	7.00
	29	22.04	9.93	5.20
	30	20.06	18.33	9.58
Intakhil 7	31	27.88	14.23	8.30
	32	28.12	7.78	5.20
	32	23.80	16.08	7.00
	34	27.70	12.03	7.90
	35	27.79	13.13	8.10
Intakhil 8	36	30.60	16.48	10.05
	37	26.80	16.03	11.50
	38	22.56	16.38	10.60
	39	25.08	16.73	8.90
	40	23.64	6.18	2.82
Intakhil 9	41	37.72	12.88	4.55
	42	34.04	12.98	5.05
	43	24.04	7.03	6.20
	44	26.26	23.98	7.70
	45	31.99	18.43	6.12

2. ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น การหดตัว และความแข็งแรงของดินที่สำรวจ

จากการนำดินที่ขุดขึ้นมาในแต่ละจุด แล้วนำไปผสมน้ำเพื่อให้มีสภาพเป็นดินเหนียว และนำไปขึ้นรูปเป็นแท่งทดสอบ พบว่า ดินแต่ละจุดจะใช้น้ำเฉลี่ยร้อยละ 29.48 เพื่อให้มีสภาพเป็นดินเหนียว โดยมีการใช้น้ำสูงสุดร้อยละ 32.51 และต่ำสุดที่ร้อยละ 24.07 ซึ่งพฤติกรรมการใช้น้ำเพื่อให้เกิดความเหนียวขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของดิน ได้แก่ ความละเอียด รวมถึงองค์ประกอบที่อยู่ในเนื้อดิน

พฤติกรรมการหดตัว มีความหลากหลายเช่นเดียวกัน พบว่า มีค่าการหดตัวโดยเฉลี่ย อยู่ที่ร้อยละ 7.05 โดยที่หดตัวสูงสุดร้อยละ 10.00 และต่ำสุดที่ร้อยละ 1.67 ซึ่งการหดตัวมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ หากเนื้อดินมีองค์ประกอบที่มีความละเอียดมากจะหดตัวมาก รวมถึงปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อทำให้เกิดความเหนียว ยิ่งใช้น้ำมากยิ่งหดตัวมาก

ในการศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงหลังแห้งพบว่า มีความแข็งแรงเฉลี่ยอยู่ที่ 6.13 Kg/cm^2 โดยมีความแข็งแรงสูงสุดที่ 12.10 Kg/cm^2 และต่ำสุดที่ 2.04 Kg/cm^2 จากตารางที่ 4.3 พบว่าดินมีทรายเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูงหรือมีกาก้างตะแกรงเบอร์ 100 เมช สูง จะมีความแข็งแรงต่ำหลังแห้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบด้วย ถ้ามีการแพ็ค (pack) ตัวที่แน่นจะส่งผลให้ความแข็งแรงที่สูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.3 ค่าความชื้น การหดตัว และความแข็งแรง ของตัวอย่างดินแต่ละจุด เมื่อผสมน้ำจนเหนียวและทำให้แห้ง

โซน	จุดสำรวจที่	ความชื้น (%)	การหดตัว (%)	ความแข็งแรง (Kg/cm^2)
Intakhil 1	1	30.87	7.33	6.92
	2	28.75	5.33	9.26
	3	29.44	7.00	8.89
	4	29.40	6.67	6.20
	5	29.87	6.67	8.31
Intakhil 2	6	28.48	8.67	9.77
	7	29.54	10.00	9.48
	8	28.71	9.33	7.58
	9	30.19	5.33	7.73
	10	29.96	8.33	7.14
Intakhil 3	11	28.46	5.33	7.00
	12	30.54	7.67	12.10
	13	31.61	7.33	8.16

ตารางที่ 4.3 ค่าความชื้น การหดตัว และความแข็งแรง ของตัวอย่างดินแต่ละจุด เมื่อผสมน้ำจนเหนียวและทำให้แห้ง (ต่อ)

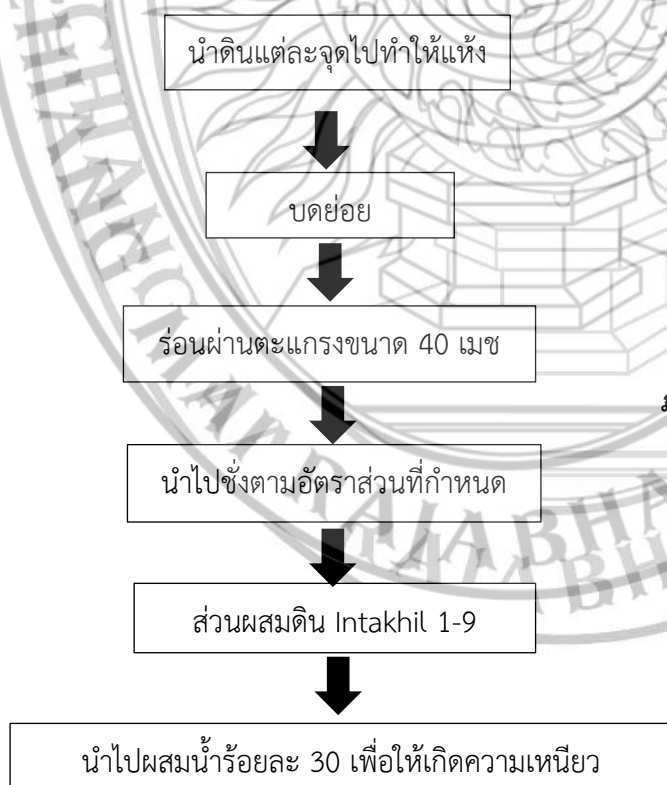
โซน	จุดสำรวจที่	ความชื้น (%)	การหดตัว (%)	ความแข็งแรง (Kg/cm ²)
	14	32.02	8.67	6.71
	15	28.72	7.67	3.94
Intakhil 4	16	31.10	8.00	6.41
	17	31.89	8.67	2.04
	18	24.07	1.67	2.92
	19	30.79	7.67	8.75
	20	31.34	8.00	5.83
Intakhil 5	21	30.15	8.33	5.69
	21	29.37	6.67	7.73
	23	29.94	7.33	7.58
	24	26.99	5.80	3.94
	25	29.81	6.83	3.50
Intakhil 6	26	29.74	6.20	7.07
	27	30.47	7.75	6.27
	28	28.41	6.25	5.32
	29	29.07	6.83	6.85
	30	28.71	7.67	7.43
Intakhil 7	31	29.40	7.67	3.94
	32	32.51	5.83	4.81
	32	29.26	7.67	3.06
	34	25.76	4.83	6.41
	35	29.13	7.00	4.74
Intakhil 8	36	27.52	5.17	5.69
	37	29.59	7.67	2.62
	38	30.50	7.67	8.75
	39	30.36	8.83	4.66
	40	29.98	7.83	5.34

ตารางที่ 4.3 ค่าความชื้น การหดตัว และความแข็งแรง ของตัวอย่างดินแต่ละจุด เมื่อผสมน้ำจนเหนียวและทำให้แห้ง (ต่อ)

โซน	จุดสำรวจที่	ความชื้น (%)	การหดตัว (%)	ความแข็งแรง (Kg/cm ²)
Intakhil 9	41	26.92	2.67	3.06
	42	28.53	7.17	3.06
	43	31.57	7.83	5.25
	44	28.59	6.83	3.94
	45	28.56	7.67	4.08
ค่าเฉลี่ย	1-45	29.48	7.05	6.13
ค่าสูงสุด	1-45	32.51	10.00	12.10
ค่าต่ำสุด	1-45	24.07	1.67	2.04

ผลการศึกษาการเตรียมเนื้อดินสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัย เลือกกรรมวิธีการเตรียมเนื้อดินแบบแห้ง โดยกำหนดแหล่งวัตถุดิบเป็นโซนทั้งหมด 9 โซน จากกลุ่มตัวอย่างที่สำรวจทั้งหมด 45 จุด โดยกำหนดชื่อเป็น Intakhil 1-9 โดยมีขั้นตอนการเตรียมเนื้อดินโดยสรุป ตามแผนผังดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.1 ขั้นตอนการเตรียมเนื้อดินเพื่อนำไปผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก

ผลการศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของเนื้อดิน

1. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและทางแร่ของเนื้อดิน (Chemical composition)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) พบว่า มีองค์ประกอบที่สำคัญและมีบทบาทต่อลักษณะเฉพาะและสมบัติของเนื้อดินดังนี้

ซิลิกา (SiO_2) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักและมักพบอยู่ในรูปของแร่ดิน ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ช่วยให้เนื้อดินมีความเหนียว นอกจากนี้ยังพบอยู่ในรูปของเฟลด์สปาร์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ซึ่งเป็นตัวช่วยหลอม และควอตซ์ (SiO_2) เป็นตัวให้องค์ประกอบเนื้อแก้วหลังเผา

อะลูมินา (Al_2O_3) ปกติเป็นสารประกอบที่มีความทนไฟสูง และเป็นองค์ประกอบของแร่ดิน รวมถึงเฟลด์สปาร์ด้วย ร่วมกับ SiO_2

K_2O มักเป็นองค์ประกอบที่พบในเฟลด์สปาร์ ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอม

Fe_2O_3 เป็นสารประกอบที่ทำหน้าที่มีจุดสุกตัวต่ำ เป็นตัวช่วยหลอม มีบทบาทในการกำหนดสีหลังเผาของผลิตภัณฑ์เซรามิก ถ้ามีมากสีหลังเผามีสีส้มอิฐจนถึงน้ำตาลเข้ม ขึ้นอยู่กับปริมาณและอุณหภูมิการเผา ยิ่งสูงสียิ่งเข้ม

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดิน Intakhil 1-9

เนื้อดิน	องค์ประกอบทางเคมี (%)								
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	K_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	SO_3	อื่นๆ
Intakhil 1	57.27	16.87	0.86	5.27	15.31	2.54	0.67	0.79	0.41
Intakhil 2	55.36	15.90	0.83	5.02	18.95	2.64	0.42	0.69	0.20
Intakhil 3	60.62	18.32	0.55	4.56	11.87	2.82	0.23	0.80	0.24
Intakhil 4	62.03	17.58	-	5.16	11.01	2.63	0.16	1.20	0.22
Intakhil 5	57.77	16.45	0.78	4.49	16.85	2.18	0.37	0.77	0.35
Intakhil 6	56.72	16.53	0.63	4.59	17.49	2.21	0.51	0.97	0.36
Intakhil 7	59.35	15.54	-	4.21	15.28	3.31	0.69	1.31	0.20
Intakhil 8	60.14	18.57	-	4.22	13.05	2.37	0.45	0.88	0.31
Intakhil 9	61.02	20.36	0.49	5.05	8.54	3.01	0.15	1.06	0.34

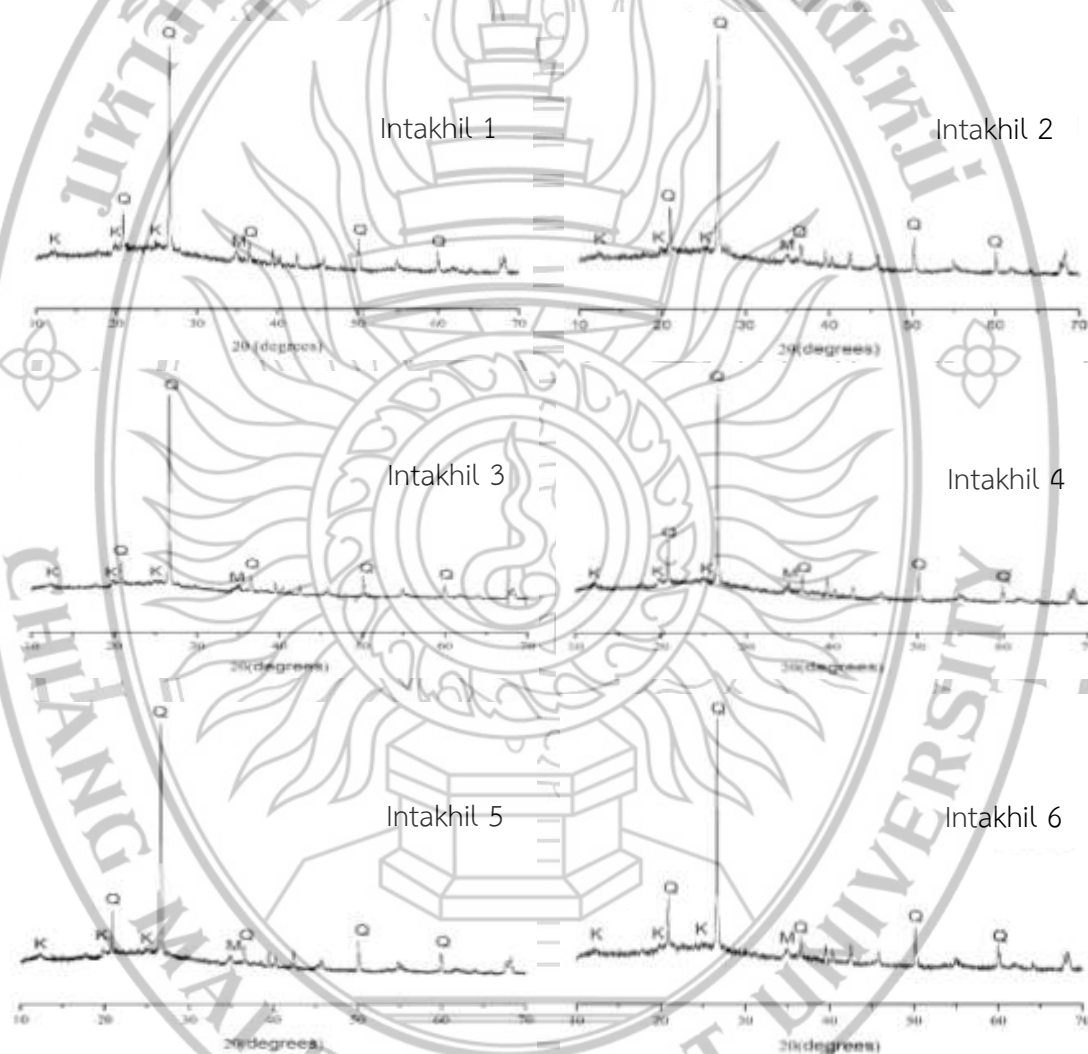
TiO_2 เป็นสารประกอบที่มีผลต่อการเกิดสี ของผลิตภัณฑ์เซรามิก

CaO เป็นองค์ประกอบที่มักพบอยู่ในรูปของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) บทบาทของ CaO จะเป็นองค์ประกอบที่อยู่ในกลุ่มต่าง เป็นตัวช่วยหลอม เป็นส่วนผสมของเคลือบ กลุ่มไฟกลาง ถึงไฟสูง การนำไปใช้งานหากอยู่ในรูปของ CaCO_3 ต้องระมัดระวังเรื่องการสลายตัวแล้วทำให้เกิดก๊าซ CO_2 อาจทำให้เกิดรูเข็มในเคลือบ หรือเกิดการแตกร้าวในเนื้อเซรามิกหลังเผา

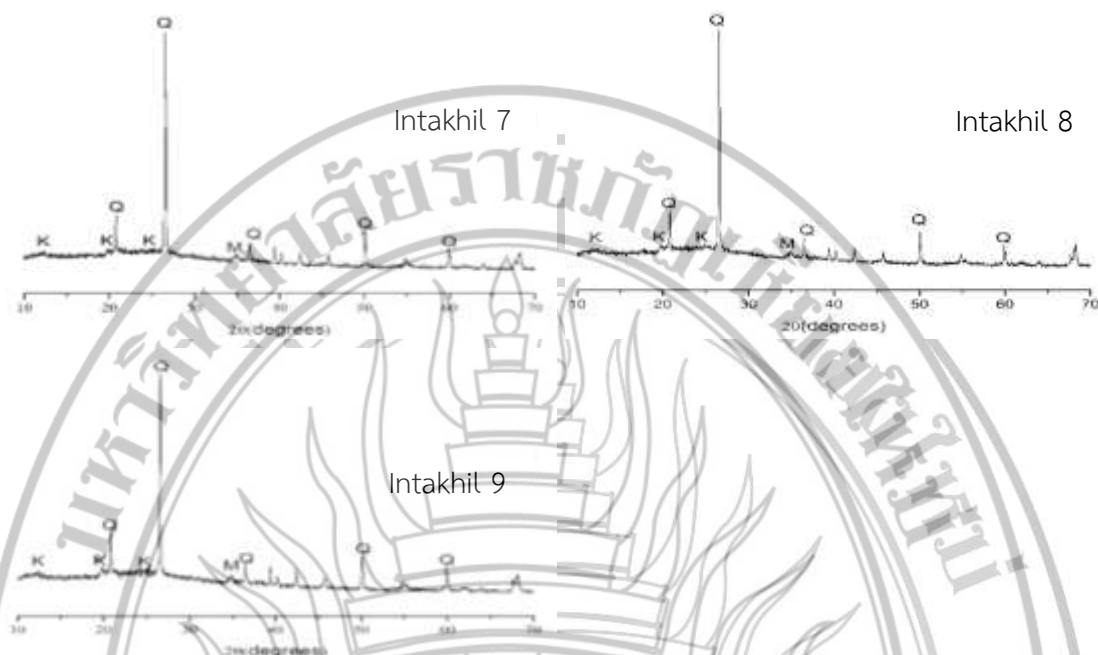
MnO เป็นออกไซด์ที่ให้สี ได้แก่ สีดำ สีน้ำตาล ชมพู ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบร่วมในระบบของเนื้อเซรามิกหรือเคลือบ

SO₃ เป็นองค์ประกอบที่เกิดจากการสลายตัวออกมาจากสารประกอบที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลังเผา มักอยู่ในรูปของสารประกอบซัลเฟต เช่น แคลเซียมซัลเฟต (CaSO₄·2H₂O) หรือยิปซัม ถ้าอยู่ในรูปของสารละลาย อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดตำหนิบนตัวผลิตภัณฑ์ได้ เช่น การเกิดคราบ เป็นต้น

2. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ (Mineralogical composition)



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของเนื้อดิน Intakhil 1-9



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของเนื้อดิน Intakhil 1-9 (ต่อ)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ของเนื้อดิน ทั้ง 9 โชน โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) เพื่อสังเกตพฤติกรรมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ แล้ววิเคราะห์องค์ประกอบแร่จากแถบหรือพีคของการเลี้ยวเบนเทียบกับชุดข้อมูลการเลี้ยวเบนที่เป็นมาตรฐานของ International Centre for Diffraction Data (ICDD) ดังภาพที่ 4.2 พบว่า พฤติกรรมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่เกิดจากตัวอย่างเนื้อดิน มีความสอดคล้องกับชุดข้อมูลของ ควอตซ์ (Quartz; SiO_2) เลขที่อ้างอิง 01-083-0539 แร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite; $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เลขที่อ้างอิง 01-078-2110 และ แร่แมกนีไทต์ (Magnetite; Fe_3O_4) เลขที่อ้างอิง 00-002-1035

เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลองค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีความสอดคล้องกัน คือ มี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลัก และอยู่ในรูปของแร่ควอตซ์ ซึ่งอยู่ในรูปของทรายที่พบในเนื้อดิน สำหรับแร่เคโอลิไนต์ที่ปรากฏมีเพียงเล็กน้อย ซึ่งยืนยันได้จากองค์ประกอบทางเคมี พบว่ามี อะลูมินา (Al_2O_3) ปรากฏร่วมด้วย คาดว่าส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปของแร่เคโอลิไนต์ ซึ่งในทางทฤษฎีแร่เคโอลิไนต์จะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบร้อยละ 46.56 และอะลูมินาร้อยละ 39.53

สำหรับแร่แมกนีไทต์ พบว่า สอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่งเป็นออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบของแร่แมกนีไทต์ (Fe_3O_4)

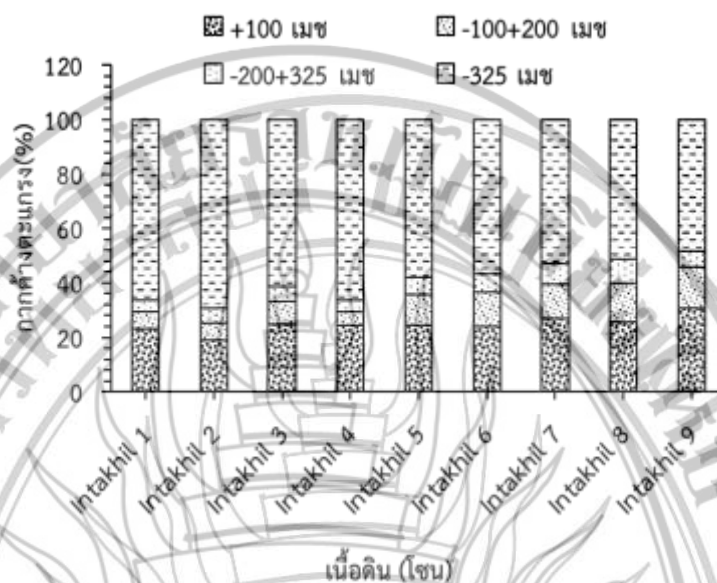
2. ผลการศึกษาการคายตะแกรงของเนื้อดิน

จากผลการศึกษาการคายตะแกรงของเนื้อดินแต่ละตัวอย่างในช่วง 100 เมช 200 เมช และ 300 เมช ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.3 พบว่า ทุกตัวอย่าง มีการคายตะแกรงสะสมบนตะแกรงขนาด 100 เมช หรือการคายตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่า 150 μm สูงที่สุด เมื่อเทียบกับ 200 เมช (75 μm) และ 325 เมช (45 μm) ซึ่งกากที่พบเป็นอนุภาคของทรายที่มีขนาดใหญ่ สำหรับการคายตะแกรงขนาด 200 เมช ซึ่งเป็นอนุภาคทรายที่มีความละเอียดปานกลาง พบว่า ตัวอย่าง Intakhil 1-5 มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเนื้อดิน Intakhil 6-9 สำหรับการคายตะแกรงขนาด 325 เมช ทุกเนื้อดินมีค่าใกล้เคียงกัน

หากพิจารณาปริมาณการคายตะแกรงสะสมบนตะแกรงขนาด 325 เมช (> 325 เมช) เป็นอนุภาคที่ค่อนข้างหยาบ จะพบว่า เนื้อดิน Intakhil 9 มีลักษณะเนื้อดินที่หยาบที่สุด โดยมีปริมาณสะสมคิดเป็นร้อยละ 51.79 และเมื่อพิจารณาในมุมของอนุภาคที่มีความละเอียด หรืออนุภาคที่สามารถลอดผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช ไปได้ พบว่า เนื้อดิน Intakhil 2 มีปริมาณอนุภาคที่มีความละเอียดสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 69.48 และอนุภาคเหล่านี้มักมีบทบาทต่อความเหนียวของเนื้อดินเมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิก

ตารางที่ 4.5 การคายตะแกรงของเนื้อดิน

เนื้อดิน	การคายตะแกรง (%)			คายตะแกรงสะสม (%)	ผ่านตะแกรง (%)
	100 เมช	200 เมช	325 เมช	+325 เมช	-325 เมช
Intakhil 1	23.27	6.30	4.08	33.66	66.34
Intakhil 2	19.09	6.06	5.37	30.52	69.48
Intakhil 3	24.72	8.72	5.19	38.63	61.37
Intakhil 4	24.46	5.06	4.04	33.57	66.43
Intakhil 5	24.36	11.38	6.52	42.26	57.74
Intakhil 6	23.88	12.53	7.08	43.49	56.51
Intakhil 7	27.06	12.65	7.30	47.01	52.99
Intakhil 8	25.74	14.36	8.77	48.87	51.13
Intakhil 9	30.81	15.06	5.92	51.79	48.21



ภาพที่ 4.3 พฤติกรรมการกระจายตัวของภาควัสดุของเนื้อดิน

หมายเหตุ: +100 ไม่ผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

-100+200 ผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช แต่ไม่ผ่านขนาด 200 เมช

-200+325 ผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช แต่ไม่ผ่านขนาด 325 เมช

-325 ผ่านตะแกรงขนาด 3250 เมช

2. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

จากผลการศึกษาความถ่วงจำเพาะของผงของเนื้อดินโดยใช้ขวดพิคโนมิเตอร์ ดังตารางที่ 4.6 พบว่า เนื้อดินที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดคือ เนื้อดิน Intakhil 2 และ 5 มีค่าเท่ากับ 2.67 และมีค่าต่ำสุดคือ เนื้อดิน Intakhil 1 มีค่าเท่ากับ 2.48 อย่างไรก็ตาม ถือว่า มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ผสมอยู่ในเนื้อดิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นของแข็ง หากมีความเป็นผลึกจะอยู่ในรูปของแร่ ซึ่งแร่แต่ละชนิดจะมีความถ่วงจำเพาะที่ต่างกัน จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ จะพบว่า มีองค์ประกอบหลักเป็นควอตซ์ (ความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.63) แร่เคลโอไลไนต์ (ความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.6) และแมกนีไทต์ (ความถ่วงจำเพาะประมาณ 5.18) ดังนั้น ความถ่วงจำเพาะของเนื้อดินผงถือเป็นค่าโดยเฉลี่ยซึ่งเกิดจากความถ่วงจำเพาะขององค์ประกอบที่เป็นส่วนผสมของเนื้อดิน ซึ่งอาจต้องพิจารณาร่วมกับองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วยที่อาจจะมิใช่แร่ที่กล่าวมา โดยที่ไม่สามารถวัดพบได้ด้วยเครื่อง XRD และอาจมีค่าความถ่วงจำเพาะที่ต่ำ จึงส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของเนื้อดินบางตัวอย่างมีค่าต่ำกว่าความถ่วงจำเพาะของแร่ควอตซ์และแร่เคลโอไลไนต์ จากผลการศึกษาถือว่าความถ่วงจำเพาะ อยู่ในช่วงที่สัมพันธ์กับวัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อดิน ได้แก่ แร่ควอตซ์ และ แร่เคลโอไลไนต์

ตารางที่ 4.6 ความกว้างจำเพาะของผืนดิน

เนื้อดิน	ความกว้างจำเพาะ
Intakhil 1	2.48
Intakhil 2	2.67
Intakhil 3	2.60
Intakhil 4	2.47
Intakhil 5	2.67
Intakhil 6	2.63
Intakhil 7	2.55
Intakhil 8	2.52
Intakhil 9	2.57

5. ความเหนียว (Plasticity)

จากผลการทดสอบความเหนียวโดยใช้หลักการของ Atterberg's limits ดังตารางที่ 4.7 พบว่า ตัวอย่างเนื้อดิน มีดัชนีความเหนียวที่สูง ซึ่งมีการรายงานเกี่ยวกับพฤติกรรมความเหนียวของดิน พบว่า ดินที่มีค่าดัชนีความเหนียวต่ำกว่าร้อยละ 17 ถือว่าเป็นดินที่มีความเหนียวต่ำ (Surendra Roy and Sanjeev Kumar Bhalla , 2017) ส่วนดินที่มีค่าดัชนีความเหนียวสูงถือว่าเป็นดินเหนียวสูง เช่น ดินดำสำเร็จรูป (Compound clay; CPC) จากการทดสอบความเหนียว พบว่า มีค่าดัชนีความเหนียวร้อยละ 20.67 เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบดินตัวอย่าง Intakhil 1-9 พบว่า เนื้อดินที่มีความเหนียวค่อนข้างสูง คือ Intakhil 2 และ Intakhil 3 โดยมีค่าดัชนีความเหนียวร้อยละ 15.64 และร้อยละ 15.69 ตามลำดับ โดยที่ความเหนียวที่สูงเกิดจากความสามารถในการยึดเกาะของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อดิน ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบที่มีอนุภาคขนาดเล็กหรือละเอียด ได้แก่ อนุภาคของดิน ซึ่งทรายจัดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ ถ้ามีทรายมากประสิทธิภาพการยึดเกาะจะลดลง นั่นหมายความว่าความเหนียวจะลดลงด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของทรายด้วย ถ้าเป็นตะกอนทราย (silt) ซึ่งมีความละเอียดสูง จะมีประสิทธิภาพการยึดเกาะมากกว่าทรายที่มีขนาดใหญ่ (sand) ซึ่งสัดส่วนของ ทราย ตะกอนทราย และดิน สามารถสะท้อนให้เห็นได้จากปริมาณการค้ำตะแกรง กล่าวคือ เนื้อดินตัวอย่างทุกตัวอย่างมีความเหนียว มีสัดส่วนขององค์ประกอบที่เป็นทรายหยาบ (การค้ำตะแกรงเบอร์ 100 เมช) ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับ ทรายละเอียดหรือตะกอนทราย (การค้ำตะแกรงเบอร์ 200 และ 325 เมช)

ตารางที่ 4.7 ขีดจำกัดความเหลว ขีดจำกัดความเหนียวและดัชนีความเหนียวของเนื้อดิน

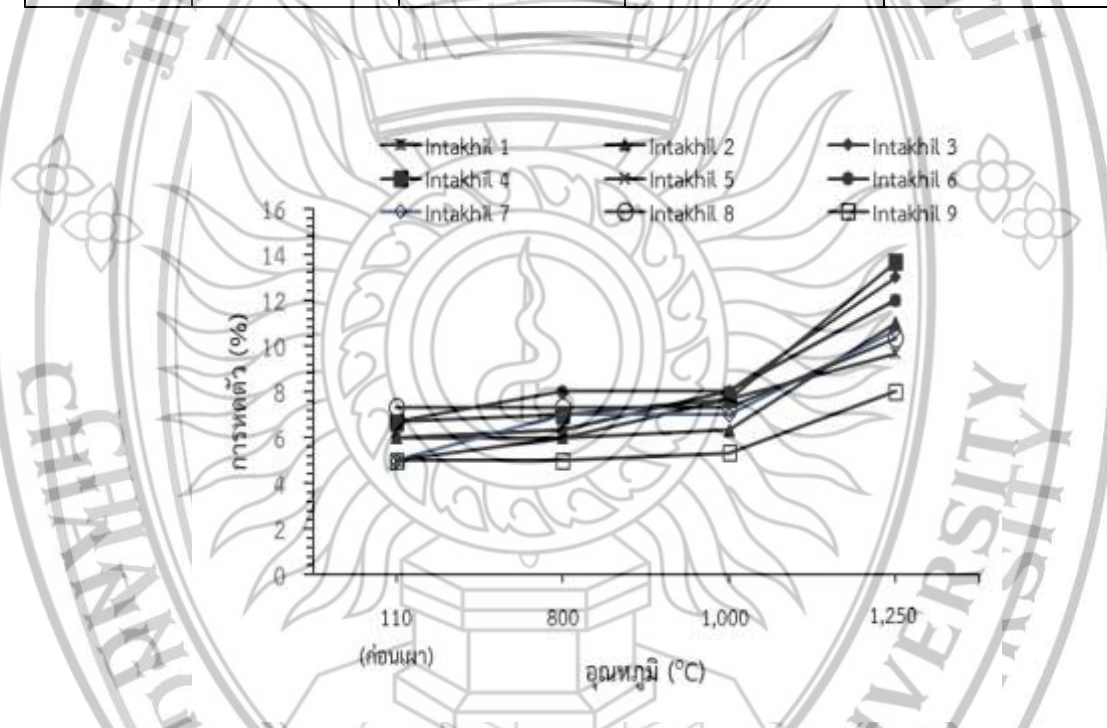
เนื้อดิน	ขีดจำกัดความเหลว (%)	ขีดจำกัดความเหนียว (%)	ดัชนีความเหนียว (%)
Intakhil 1	37.24	23.98	13.26
Intakhil 2	37.54	23.42	14.12
Intakhil 3	38.85	23.16	15.69
Intakhil 4	35.13	20.31	14.82
Intakhil 5	33.73	19.54	14.19
Intakhil 6	33.49	20.26	13.23
Intakhil 7	25.94	15.79	10.15
Intakhil 8	30.12	17.31	12.81
Intakhil 9	29.76	16.56	13.20
CPC	32.74	12.07	20.67

6. การหดตัวหลังเผา (Fired shrinkage)

จากผลการทดสอบเพื่อหาค่าการหดตัวรวมหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C 1,000°C และ 1,250°C ดังตารางที่ 4.8 และ ภาพที่ 4.4 พบว่า พฤติกรรมการหดตัวหลังเผาเมื่อเทียบกับก่อนเผา ในช่วงอุณหภูมิ 800°C และ 1,000°C ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก่อนเผา แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของขนาดที่ต่ำ อันเนื่องมาจากเนื้อดินมีทรายเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีส่วนช่วยลดการหดตัว โดยทั่วไปเนื้อดินที่มีทรายเป็นส่วนผสม เหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เพื่อช่วยในเรื่องของความแข็งแรงขณะขึ้นรูป รวมถึงลดการหดตัวเพื่อป้องกันการแตกร้าว เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่มักมีความหนา หากเนื้อดินมีการหดตัวสูง จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแตกร้าวได้ ดังนั้นจากพฤติกรรมการหดตัวของเนื้อดินที่ทำการศึกษานี้ สามารถบ่งชี้ได้ว่าเป็นเนื้อดินที่มีความเหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปทรงขนาดใหญ่ รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการการหดตัวหลังเผาสูง

ตารางที่ 4.8 ค่าการหดตัวของเนื้อดินหลังเผา

เนื้อดิน	ก่อนเผา (%)	เผา 800°C (%)	เผา 1,000°C (%)	เผา 1,250°C (%)
Intakhil 1	5.00	6.00	7.67	9.67
Intakhil 2	6.00	6.00	6.33	11.00
Intakhil 3	6.00	6.33	8.00	13.00
Intakhil 4	6.67	7.00	7.67	13.67
Intakhil 5	6.00	6.33	8.00	12.00
Intakhil 6	6.67	8.00	8.00	12.00
Intakhil 7	5.00	7.00	7.00	10.67
Intakhil 8	7.33	7.33	7.33	10.33
Intakhil 9	5.00	5.00	5.33	8.00



ภาพที่ 4.4 พฤติกรรมการหดตัวของเนื้อดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิ 800-1,250°C

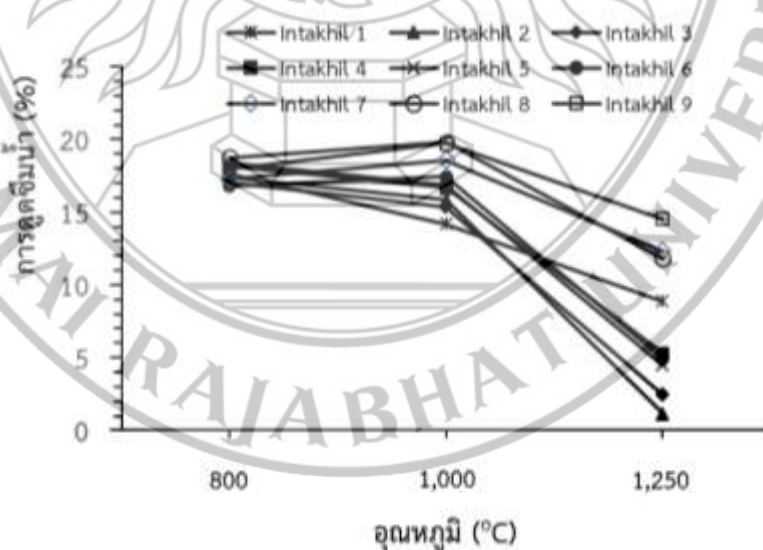
7. การดูดซึมน้ำ (Water absorption)

จากการศึกษาการดูดซึมน้ำและความหนาแน่น โดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักในน้ำ พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังเผามีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ได้แก่ 800°C 1,000°C และ 1,250°C ตามลำดับ อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิการเผา 800°C และ 1,000°C มีค่าแตกต่างกันเนื่องจากอยู่ในสภาวะที่เนื้อดินมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ยังไม่มีการสุกตัว เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 1,250°C ซึ่งเป็นช่วงที่เนื้อดินมีการสุกตัว เกิดการหลอมและรวมตัวกันของอนุภาค รูปพรุนที่อยู่ในโครงสร้างถูกปิด จนเหลือน้อยลง ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลง ดังตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.5

จากการศึกษา พบว่า เนื้อดินแต่ละชนิดมีพฤติกรรมการดูดซึมน้ำที่ต่างกัน ถึงแม้ว่าอุณหภูมิการเผาเดียวกัน เพราะองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ต่างกัน โดยในช่วงอุณหภูมิการเผา 1,250°C โดยองค์ประกอบที่เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมการดูดซึมน้ำที่สำคัญได้แก่ อนุภาคที่ไม่หลอม ได้แก่ หิน ถ้ามีทรายมากการดูดซึมน้ำจะสูง องค์ประกอบที่เป็นตัวช่วยหลอม ได้แก่ Fe_2O_3 ถ้ามีตัวช่วยหลอมมากกรุพรุนจะต่ำ ทำให้การดูดซึมน้ำต่ำ ซึ่งจะมีผลในช่วงอุณหภูมิที่มีการสุกตัว รวมถึงสารอินทรีย์หรือสารระเหยหรือสารที่สลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูง ถ้ามีสารเหล่านี้มากการดูดซึมน้ำจะสูง โดยเฉพาะในช่วงก่อนการสุกตัว

ตารางที่ 4.9 ค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังเผา

เนื้อดิน	เผา 800°C (%)	เผา 1,000°C (%)	เผา 1,250°C (%)
Intakhil 1	17.62	14.21	8.87
Intakhil 2	17.37	15.83	1.17
Intakhil 3	17.08	15.37	2.46
Intakhil 4	18.11	16.67	5.27
Intakhil 5	18.43	16.88	4.48
Intakhil 6	16.83	17.43	4.92
Intakhil 7	17.28	18.58	12.33
Intakhil 8	18.77	19.79	11.84
Intakhil 9	17.98	19.71	14.55



ภาพที่ 4.5 พฤติกรรมการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 800-1,250°C

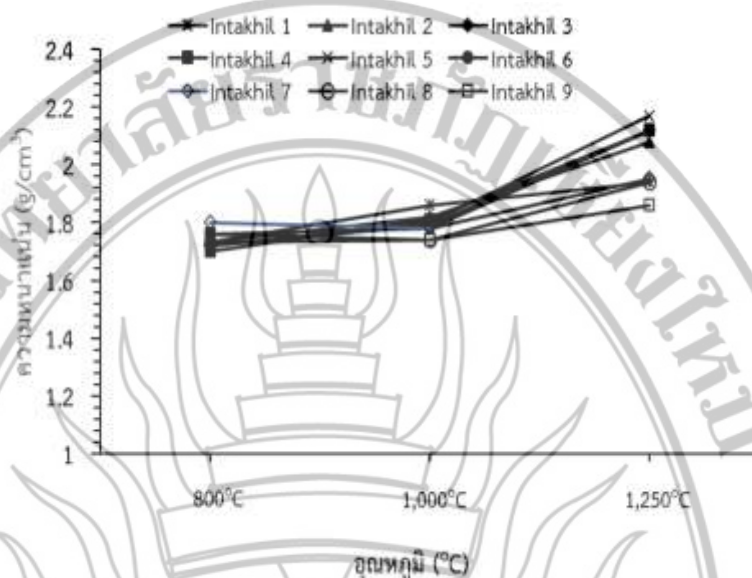
8. ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น คือ สัดส่วนน้ำหนักต่อปริมาตร น้ำหนักขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบ อย่างไรก็ตาม ลักษณะโครงสร้างของเนื้อดินก็มีส่วนสำคัญต่อความหนาแน่น ถึงแม้ว่าจะมีองค์ประกอบวัตถุดิบเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าโครงสร้างมีรูพรุนมาก สัดส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตรจะน้อย คือ ความหนาแน่นน้อย ถ้ารูพรุนน้อย สัดส่วนน้ำหนักต่อปริมาตรจะสูงขึ้น ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ปกติรูพรุนเกิดจากการสลายตัวขององค์ประกอบที่สามารถสลายตัวได้ เช่น น้ำในโครงสร้างสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต สลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แคลเซียมซัลเฟต สลายตัวให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อสลายแล้วเกิดรูพรุน เมื่อเกิดรูพรุนแล้วไม่มีการหดตัวความหนาแน่นจะน้อยลง เนื่องจากน้ำหนักหายไปปริมาตรเท่าเดิม แต่ถ้ามีการหดตัวความหนาแน่นมีโอกาสเพิ่มขึ้น หากมีการหดตัวสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนักที่หายไป

สำหรับเนื้อดินที่ศึกษา พบว่า ความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาที่สูงขึ้น ความหนาแน่นสูงสุด คือ ที่อุณหภูมิ 1,250°C จากผลการศึกษา พบว่าที่ อุณหภูมิ 800°C และ 1,000°C มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีความพรุนใกล้เคียงกัน การหดตัวใกล้เคียงกัน ความหนาแน่น จึงมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับที่อุณหภูมิ 1,250°C มีความพรุนลดลง การหดตัวมากกว่าเล็กน้อย จึงส่งผลให้มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.10 ค่าความหนาแน่นของเนื้อดินหลังเผา

เนื้อดิน	เผา 800°C (g/cm ³)	เผา 1,000°C (g/cm ³)	เผา 1,250°C (g/cm ³)
Intakhil 1	1.73	1.86	1.94
Intakhil 2	1.73	1.82	2.08
Intakhil 3	1.72	1.79	2.12
Intakhil 4	1.70	1.81	2.12
Intakhil 5	1.72	1.80	2.17
Intakhil 6	1.76	1.78	2.12
Intakhil 7	1.80	1.78	1.95
Intakhil 8	1.73	1.74	1.94
Intakhil 9	1.76	1.74	1.86



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนค่าความหนาแน่นของเนื้อดินหลังเผาที่อุณหภูมิ 800-1,250°C

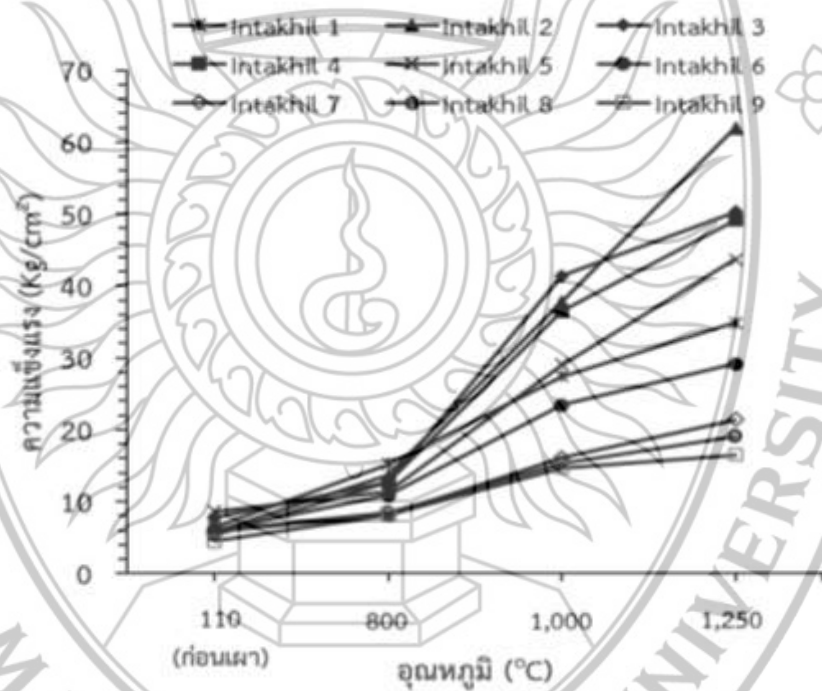
9. ความแข็งแรงก่อนและหลังเผา (Green strength and fired strength)

จากผลการทดสอบความแข็งแรง โดยการวัดความสามารถในการรับแรงดัด (Modulus of rupture, MOR) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นอย่างชัดเจน เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้นความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการหลอมเข้าหากันที่ผิวของอนุภาค สร้างพันธะที่แข็งแรงขึ้นระหว่างอนุภาค ยิ่งอุณหภูมิสูงจนถึงจุดสุกตัว การหลอมเข้าหากันมีมากขึ้น ความแน่นตัวเกิดขึ้น ความแข็งแรงจึงเพิ่มขึ้นตาม

เมื่อพิจารณาที่เนื้อดินแต่ละตัวอย่าง พบว่า มีความแข็งแรงที่แตกต่างกัน โดยพบว่า ค่าความแข็งแรงสูงสุดมีค่าเท่ากับ 61 Kg/cm² คือเนื้อดิน Intakhil 2 เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า เป็นเนื้อดินที่มี Fe₂O₃ สูงที่สุด คือร้อยละ 18.95 ซึ่งเป็นตัวช่วยหลอม จึงเป็นสาเหตุทำให้เนื้อดินเกิดการสุกตัวได้ดี จนนำไปสู่การแน่นตัวและแข็งแรงที่สุด และเนื้อดินที่มีความแข็งแรงต่ำสุดคือ Intakhil 9 พบว่า มี Fe₂O₃ เท่ากับร้อยละ 8.94 ซึ่งน้อยที่สุด ส่งผลทำให้เกิดการสุกตัวต่ำ และพบว่ามีทรายเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง โดยพิจารณาจากค่าการกระจายที่สูงในช่วง 100 เมช ทำให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างอนุภาคต่ำ จึงมีความแข็งแรงทั้งก่อนและหลังเผาต่ำ ดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.11 ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินก่อนและหลังเผา

เนื้อดิน	ก่อนเผา (Kg/cm ²)	เผา 800°C (Kg/cm ²)	เผา 1,000°C (Kg/cm ²)	หลังเผา 1,250°C (Kg/cm ²)
Intakhil 1	6.47	15.21	27.45	34.89
Intakhil 2	5.92	13.61	37.80	61.95
Intakhil 3	7.73	12.63	41.40	50.29
Intakhil 4	5.4	12.63	36.49	49.13
Intakhil 5	8.69	11.42	29.11	43.73
Intakhil 6	5.99	10.84	23.42	29.15
Intakhil 7	5.77	8.21	16.08	21.38
Intakhil 8	6.07	8.52	15.26	19.10
Intakhil 9	4.51	8.16	14.72	16.47



ภาพที่ 4.7 ความแข็งแรงของเนื้อดินก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิ 800-1,250°C

10. สีหลังเผา (Color)

จากผลการศึกษาลักษณะของสีหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C 900°C และ 1,250°C พบว่ามีค่าสี ประกอบไปด้วย ค่าความสว่าง (L) ค่าสี เขียว-แดง (-a,+a) ค่าสี น้ำเงิน-เหลือง (-b,+b) จากค่าที่วัดได้ พบว่า ช่วงอุณหภูมิการเผา 800°C และ 1,000°C มีค่าไปในทิศทางสว่าง สำหรับค่าสี a และ b มีค่าเป็นบวก และไปในทิศทางสีเหลือง และแดง เมื่อผลสมกันจึงปรากฏเป็นสีส้ม และเป็นสีส้มอ่อน

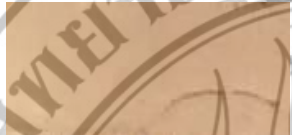
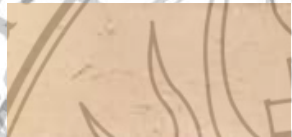
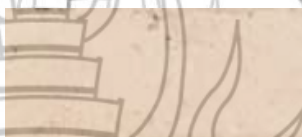
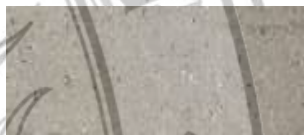
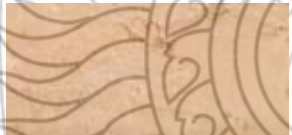
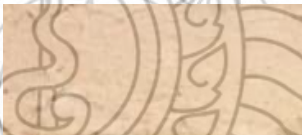
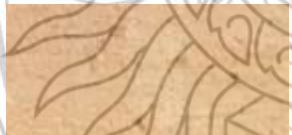
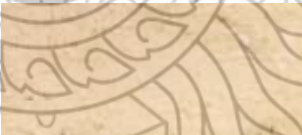
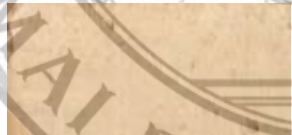
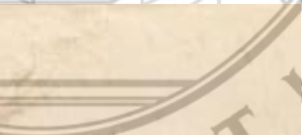
ตารางที่ 4.12 ค่าสีหลังเผา

เนื้อดิน	หลังเผา 800°C			หลังเผา 1,000°C			หลังเผา 1,250°C		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b
Intakhil 1	70.20	10.00	27.10	67.90	10.00	23.90	60.70	6.30	10.90
Intakhil 2	65.60	11.10	32.40	69.10	10.90	32.00	57.10	7.70	8.30
Intakhil 3	69.20	6.10	20.10	77.90	8.60	20.00	67.60	2.80	16.10
Intakhil 4	71.90	11.00	22.40	73.20	7.70	17.50	79.40	2.80	15.60
Intakhil 5	65.70	12.60	29.60	70.10	9.10	31.30	57.10	7.70	8.30
Intakhil 6	70.90	10.00	23.20	71.10	10.10	30.50	66.00	6.10	13.90
Intakhil 7	71.60	9.90	19.70	72.30	8.90	27.50	70.20	5.00	11.10
Intakhil 8	69.70	10.70	28.60	70.10	6.80	22.00	60.10	6.20	21.70
Intakhil 9	73.40	10.90	22.30	79.10	7.60	16.80	70.60	2.80	15.90

สำหรับที่อุณหภูมิ 1,250°C พบว่า ค่าสี a, b มีค่าลดลง โดยเฉพาะค่าสีแดง สีที่ปรากฏมีลักษณะออกสีน้ำตาลเข้ม แต่พบว่ามีบางเนื้อดินมีค่าสี a ต่ำมาก และมีค่าสี b สูง สีที่ปรากฏมีลักษณะเป็นสีเหลือง ประกอบกับมีค่าความสว่างสูง จึงมีลักษณะเป็นสีเหลืองอ่อน โดยสีที่ปรากฏของเนื้อดินหลังเผาทุกอุณหภูมิที่ศึกษา แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.12

ดังนั้น อุณหภูมิการเผาจึงมีส่วนสำคัญในการกำหนดค่าสีหรือลักษณะของสีหลังเผา อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิเดียวกันสีอาจไม่เหมือนกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัตถุดิบ โดยพิจารณาได้จากองค์ประกอบทางเคมี พบว่า เนื้อดินที่มี Fe_2O_3 ต่ำ มีสีที่ปรากฏเป็นเหลืองอ่อน ได้แก่ เนื้อดิน Intakhil 9 ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 สีหลังเผาของเนื้อดิน Intakhil 1-9

เนื้อดิน	หลังเผา 800°C	หลังเผา 1,000°C	หลังเผา 1,250°C
Intakhil 1			
Intakhil 2			
Intakhil 3			
Intakhil 4			
Intakhil 5			
Intakhil 6			
Intakhil 7			
Intakhil 8			
Intakhil 9			

การปรับสภาพเนื้อดินด้วยดินดำ

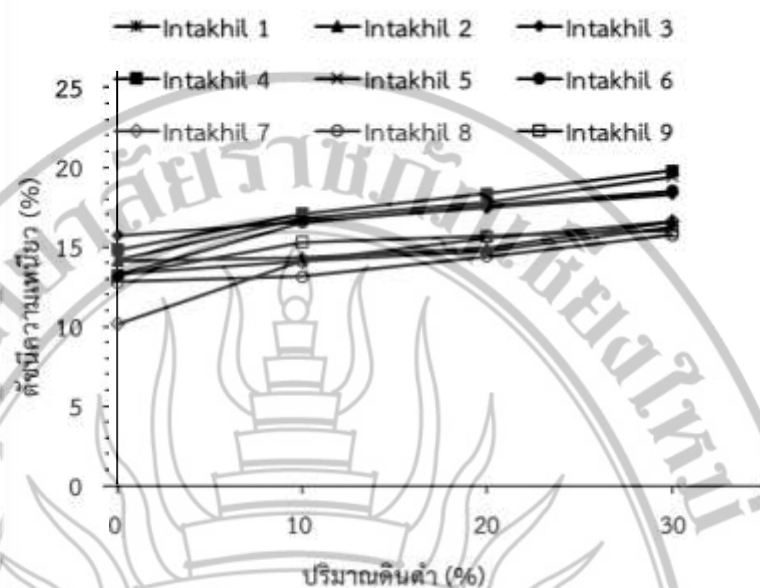
1. ความเหนียว (Plasticity)

จากผลการศึกษาการปรับสภาพเนื้อดินด้วยดินดำในอัตราร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และ ร้อยละ 30 ของน้ำหนักรวม ดินดำเป็นดินที่มีความเหนียวสูงและบริสุทธิ์สูง (มี Fe_2O_3 เป็นองค์ประกอบต่ำมาก) จากการทดสอบความเหนียว เพื่อหาค่าดัชนีความเหนียว ซึ่งดัชนีความเหนียวเพิ่มขึ้นบ่งชี้ถึงความเหนียวที่เพิ่มขึ้น ได้ผลตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.8 พบว่า เนื้อดินมีความเหนียวเพิ่มขึ้น มีผลผสมดินดำในปริมาณที่สูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการนำไปขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีที่ต้องการความเหนียว

ตารางที่ 4.14 ค่าดัชนีความเหนียวเนื้อดินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการผสมดินดำสำเร็จรูป

เนื้อดิน	ดัชนีความ เหนียว (%)	เนื้อดิน 90:10	ดัชนีความ เหนียว (%)	เนื้อดิน 80:20	ดัชนี ความ เหนียว	เนื้อดิน 70:30	ดัชนีความ เหนียว (%)
Intakhil 1	13.26	Intakhil- 1C10	14.13	Intakhil- 1C20	14.73	Intakhil- 1C30	16.26
Intakhil 2	14.12	Intakhil- 2C10	14.34	Intakhil- 2C20	14.92	Intakhil- 2C30	16.59
Intakhil 3	15.69	Intakhil- 3C10	16.59	Intakhil- 3C20	17.44	Intakhil- 3C30	18.30
Intakhil 4	14.82	Intakhil- 4C10	17.08	Intakhil- 4C20	18.35	Intakhil- 4C30	19.77
Intakhil 5	14.19	Intakhil- 5C10	16.81	Intakhil- 5C20	17.80	Intakhil- 5C30	19.41
Intakhil 6	13.23	Intakhil- 6C10	16.53	Intakhil- 6C20	17.58	Intakhil- 6C30	18.52
Intakhil 7	10.15	Intakhil- 7C10	14.10	Intakhil- 7C20	15.58	Intakhil- 7C30	16.59
Intakhil 8	12.81	Intakhil- 8C10	13.13	Intakhil- 8C20	14.40	Intakhil- 8C30	15.75
Intakhil 9	13.20	Intakhil- 9C10	15.31	Intakhil- 9C20	15.68	Intakhil- 9C30	16.02

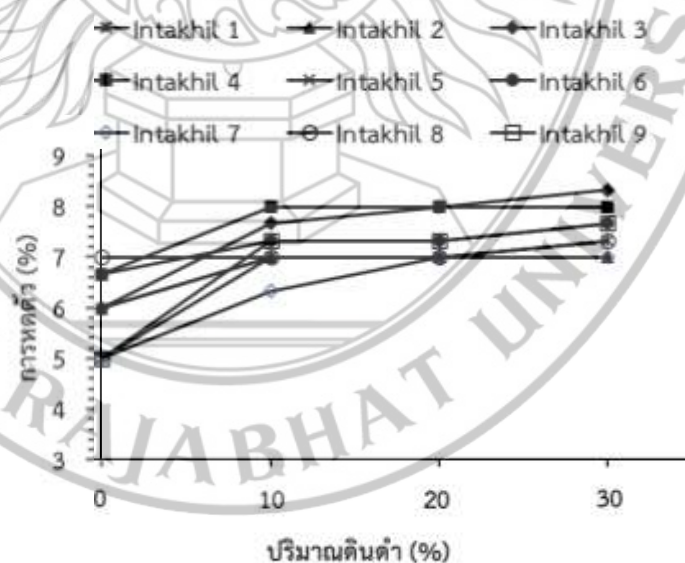
หมายเหตุ: Intakhil-1c10 หมายถึง เนื้อดิน Intakhil 1 ปริมาณ 90 ส่วน ต่อ ดินดำสำเร็จรูป 10 ส่วน โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 4.8 พฤติกรรมการพัฒนาความเหี่ยวของเนื้อดินหลังจากผสมดินดำ 10%, 20% และ 30%

2. การหดตัวเมื่อแห้ง (Drying shrinkage)

จากการศึกษาพฤติกรรมการหดตัวระหว่างการทำให้แห้ง ได้ผลดังภาพที่ 4.9 และตารางที่ 4.15 พบว่า เนื้อดินส่วนใหญ่ที่มีการผสมดินดำมีการหดตัวเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับเนื้อดินที่ไม่ได้เติม เนื่องจากองค์ประกอบเชิงการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเปลี่ยนไป กล่าวคือ มีการเติมองค์ประกอบที่มีความละเอียดสูงลงไป จึงส่งผลให้มีการหดตัวสูงขึ้น



ภาพที่ 4.9 พฤติกรรมการหดตัวของเนื้อดินหลังจากผสมดินดำ 10%, 20% และ 30%

ตารางที่ 4.15 ค่าการหดตัวของเนื้อดินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการผสมดินสำเร็จรูป

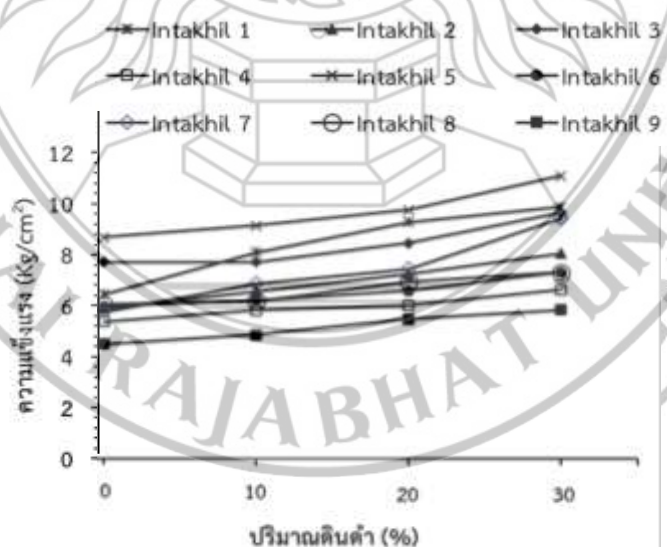
เนื้อดิน	การหดตัว (%)	เนื้อดิน 90:10	การหดตัว (%)	เนื้อดิน 80:20	การหดตัว (%)	เนื้อดิน 70:30	การหดตัว (ร้อยละ)
Intakhil 1	5.00	Intakhil-1C10	7.00	Intakhil-1C20	7.00	Intakhil-1C30	7.33
Intakhil 2	6.00	Intakhil-2C10	7.00	Intakhil-2C20	7.00	Intakhil-2C30	7.00
Intakhil 3	6.00	Intakhil-3C10	7.67	Intakhil-3C20	8.00	Intakhil-3C30	8.33
Intakhil 4	6.67	Intakhil-4C10	8.00	Intakhil-4C20	8.00	Intakhil-4C30	8.00
Intakhil 5	6.00	Intakhil-5C10	7.00	Intakhil-5C20	7.00	Intakhil-5C30	7.33
Intakhil 6	6.67	Intakhil-6C10	7.33	Intakhil-6C20	7.33	Intakhil-6C30	7.67
Intakhil 7	5.00	Intakhil-7C10	6.33	Intakhil-7C20	7.00	Intakhil-7C30	7.00
Intakhil 8	7.00	Intakhil-8C10	7.00	Intakhil-8C20	7.00	Intakhil-8C30	7.33
Intakhil 9	5.00	Intakhil-9C10	7.33	Intakhil-9C20	7.33	Intakhil-9C30	7.67

3. ความแข็งแรงก่อนเผา (Green strength)

จากผลการศึกษาความแข็งแรงก่อนเผาของเนื้อดินที่มีการผสมดินต่ำลงไป โดยการวัดความสามารถในการรับแรงดัด ด้วยเครื่องวัดค่า MOR (Modulus of Rupture) ได้ผลดังตารางที่ 4.16 และภาพที่ 4.10 พบว่า เนื้อดินมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นเมื่อผสมดินต่ำในปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเนื้อดินมีการแน่นตัวมากขึ้นจากการเติมอนุภาคที่มีความละเอียดสูงลงไป

ตารางที่ 4.16 ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการผสมดินดำสำเร็จรูป

เนื้อดิน	ค่า MOR (Kg/cm ²)	เนื้อดิน 90:10	ค่า MOR (Kg/cm ²)	เนื้อดิน 80:20	ค่า MOR (Kg/cm ²)	เนื้อดิน 70:30	ค่า MOR (Kg/cm ²)
Intakhil 1	6.47	Intakhil- 1C10	8.10	Intakhil- 1C20	9.29	Intakhil- 1C30	9.89
Intakhil 2	5.92	Intakhil- 2C10	6.58	Intakhil- 2C20	7.24	Intakhil- 2C30	8.07
Intakhil 3	7.73	Intakhil- 3C10	7.72	Intakhil- 3C20	8.47	Intakhil- 3C30	9.65
Intakhil 4	5.4	Intakhil- 4C10	5.83	Intakhil- 4C20	6.03	Intakhil- 4C30	6.63
Intakhil 5	8.69	Intakhil- 5C10	9.16	Intakhil- 5C20	9.77	Intakhil- 5C30	11.11
Intakhil 6	5.99	Intakhil- 6C10	6.23	Intakhil- 6C20	6.59	Intakhil- 6C30	7.32
Intakhil 7	5.77	Intakhil- 7C10	6.89	Intakhil- 7C20	7.46	Intakhil- 7C30	9.44
Intakhil 8	6.07	Intakhil- 8C10	6.20	Intakhil- 8C20	6.96	Intakhil- 8C30	7.32
Intakhil 9	4.51	Intakhil- 9C10	4.87	Intakhil- 9C20	5.49	Intakhil- 9C30	5.86



ภาพที่ 4.10 ความแข็งแรงของเนื้อดินหลังจากผสมดินดำ 10%, 20% และ 30%

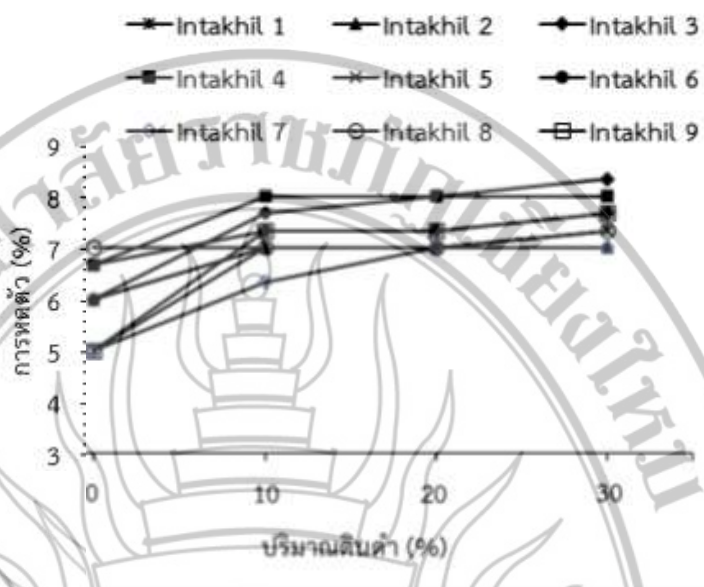
4. การหดตัวหลังเผา (Firing shrinkage)

จากการศึกษาพฤติกรรมของการหดตัวหลังเผาของเนื้อดินที่มีการผสมดินต่ำลงไป พบว่า มีการหดตัวหลังเผาเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.17 และภาพที่ 4.11 อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมการหดตัวหลังเผา เกิดจากการหลอมตัวหรือสุกตัวได้ หากเนื้อดินสุกตัวได้ดีก็จะมีหดตัวสูง จากองค์ประกอบทางเคมี พบว่า เนื้อดินมี Fe_2O_3 ในปริมาณที่สูง ซึ่งเป็นตัวช่วยหลอม การเติมดินต่ำลงไปทำให้ร้อยละของ Fe_2O_3 ลดลง แสดงว่าเนื้อดินมีความทนไฟมากขึ้น ควรจะมีการหดตัวที่ลดลง แต่พบว่า เนื้อดินมีพฤติกรรมการหดตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากในเนื้อดินซึ่งก่อนหน้านี้มีอนุภาคขนาดใหญ่ผสมในปริมาณมาก ซึ่งมีความทนไฟ เมื่อถูกแทนที่ด้วยดินต่ำทำให้สัดส่วนของอนุภาคขนาดใหญ่ลดลง อาจส่งผลทำให้มีการหดตัวสูงขึ้น เนื่องจากความทนไฟลดลง ดังนั้น การพิจารณาพฤติกรรมการหดตัวต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ องค์ประกอบที่เป็นตัวช่วยหลอม และตัวทนไฟ

เมื่อผสมดินต่ำในปริมาณที่สูงขึ้น พบว่า บางเนื้อไม่มีการหดตัว และบางเนื้อดินมีการหดตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย กล่าวคือ โดยภาพรวมมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดน้อย

ตารางที่ 4.17 ค่าการหดตัวของเนื้อดินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการผสมดินต่ำสำเร็จรูปหลังเผา

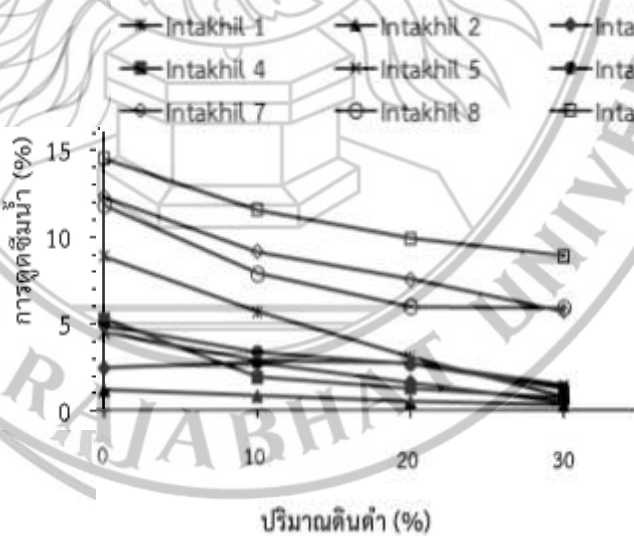
เนื้อดิน	การหดตัว (%)	เนื้อดิน 90:10	การหดตัว (%)	เนื้อดิน 80:20	การหดตัว (%)	เนื้อดิน 70:30	การหดตัว (%)
Intakhil 1	9.67	Intakhil-1C10	13.00	Intakhil-1C20	13.00	Intakhil-1C30	13.00
Intakhil 2	11.00	Intakhil-2C10	13.83	Intakhil-2C20	14.25	Intakhil-2C30	14.50
Intakhil 3	13.00	Intakhil-3C10	14.50	Intakhil-3C20	14.67	Intakhil-3C30	15.00
Intakhil 4	13.67	Intakhil-4C10	14.83	Intakhil-4C20	15.25	Intakhil-4C30	15.50
Intakhil 5	12.00	Intakhil-5C10	13.00	Intakhil-5C20	13.50	Intakhil-5C30	13.67
Intakhil 6	12.00	Intakhil-6C10	14.00	Intakhil-6C20	14.00	Intakhil-6C30	14.00
Intakhil 7	10.67	Intakhil-7C10	11.67	Intakhil-7C20	12.00	Intakhil-7C30	13.00
Intakhil 8	10.33	Intakhil-8C10	12.67	Intakhil-8C20	13.00	Intakhil-8C30	13.00
Intakhil 9	8.00	Intakhil-9C10	11.00	Intakhil-9C20	11.50	Intakhil-9C30	12.00



ภาพที่ 4.11 พฤติกรรมการหดตัวของเนื้อดินหลังจากผสมดินดำ 10%, 20% และ 30%

5. การดูดซึมน้ำหลังเผา (Water absorption)

จากการศึกษาพฤติกรรมการดูดซึมน้ำ ได้ผลดังภาพที่ 4.12 และตารางที่ 4.18 พบว่าเนื้อดินมีการดูดซึมน้ำลดลง เมื่อผสมดินดำในปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุรพูนลดลงเพราะมีอนุภาคที่ละเอียดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการหดตัวที่เพิ่มขึ้น สำหรับเนื้อดินที่มีการดูดซึมน้ำสูง มักจะมีความพรุนตัวสูง ได้แก่ Intakhil 9 ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการหดตัวที่ต่ำ



ภาพที่ 4.12 พฤติกรรมการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังจากผสมดินดำ 10%, 20% และ 30% หลังเผา

ตารางที่ 4.18 ค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการผสมดินดำสำเร็จรูป

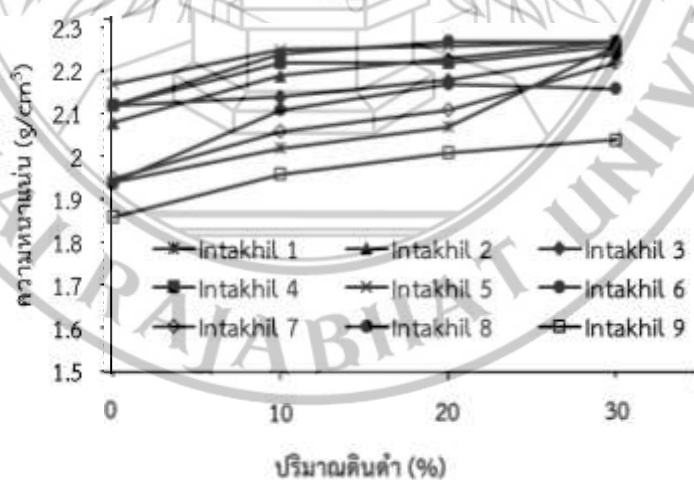
เนื้อดิน	การดูดซึมน้ำ (%)	เนื้อดิน 90:10	การดูดซึมน้ำ (%)	เนื้อดิน 80:20	การดูดซึมน้ำ (%)	เนื้อดิน 70:30	การดูดซึมน้ำ (%)
Intakhil 1	8.87	Intakhil-1C10	5.70	Intakhil-1C20	3.05	Intakhil-1C30	0.82
Intakhil 2	1.17	Intakhil-2C10	0.86	Intakhil-2C20	0.52	Intakhil-2C30	0.31
Intakhil 3	2.46	Intakhil-3C10	2.73	Intakhil-3C20	1.62	Intakhil-3C30	0.44
Intakhil 4	5.27	Intakhil-4C10	1.91	Intakhil-4C20	1.28	Intakhil-4C30	0.71
Intakhil 5	4.48	Intakhil-5C10	2.87	Intakhil-5C20	2.75	Intakhil-5C30	1.44
Intakhil 6	4.92	Intakhil-6C10	3.37	Intakhil-6C20	2.67	Intakhil-6C30	1.28
Intakhil 7	12.33	Intakhil-7C10	9.17	Intakhil-7C20	7.56	Intakhil-7C30	5.73
Intakhil 8	11.84	Intakhil-8C10	7.92	Intakhil-8C20	5.99	Intakhil-8C30	5.93
Intakhil 9	14.55	Intakhil-9C10	11.59	Intakhil-9C20	9.93	Intakhil-9C30	8.92

6. ความหนาแน่น (Density)

จากการวัดค่าความหนาแน่น พบว่า เนื้อดินมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมดินดำลงไป ปริมาณที่สูงขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับค่าการดูดซึมน้ำที่ลดลง เนื้อดินมีการแน่นตัวหลังเผาเพิ่มขึ้น ซึ่งความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นเกิดจากความพรุนที่ลดลง ประกอบกับมีการเปลี่ยนแปลงของขนาด กล่าวคือ มีการหดตัวร่วมด้วย ส่งผลให้อัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น นั่นหมายความว่า มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.19 และภาพที่ 4.13

ตารางที่ 4.19 ค่าความหนาแน่นของเนื้อดินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการผสมดินดำสำเร็จรูปหลังจากผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,250°C

เนื้อดิน	ความหนาแน่น (g/cm ³)	เนื้อดิน 90:10	ความหนาแน่น (g/cm ³)	เนื้อดิน 80:20	ความหนาแน่น (g/cm ³)	เนื้อดิน 70:30	ความหนาแน่น (g/cm ³)
Intakhil 1	1.94	Intakhil-1C10	2.02	Intakhil-1C20	2.07	Intakhil-1C30	2.26
Intakhil 2	2.08	Intakhil-2C10	2.19	Intakhil-2C20	2.23	Intakhil-2C30	2.27
Intakhil 3	2.12	Intakhil-3C10	2.14	Intakhil-3C20	2.18	Intakhil-3C30	2.24
Intakhil 4	2.12	Intakhil-4C10	2.22	Intakhil-4C20	2.22	Intakhil-4C30	2.26
Intakhil 5	2.17	Intakhil-5C10	2.25	Intakhil-5C20	2.26	Intakhil-5C30	2.27
Intakhil 6	2.12	Intakhil-6C10	2.24	Intakhil-6C20	2.27	Intakhil-6C30	2.27
Intakhil 7	1.95	Intakhil-7C10	2.06	Intakhil-7C20	2.11	Intakhil-7C30	2.22
Intakhil 8	1.94	Intakhil-8C10	2.11	Intakhil-8C20	2.17	Intakhil-8C30	2.16
Intakhil 9	1.86	Intakhil-9C10	1.96	Intakhil-9C20	2.01	Intakhil-9C30	2.04



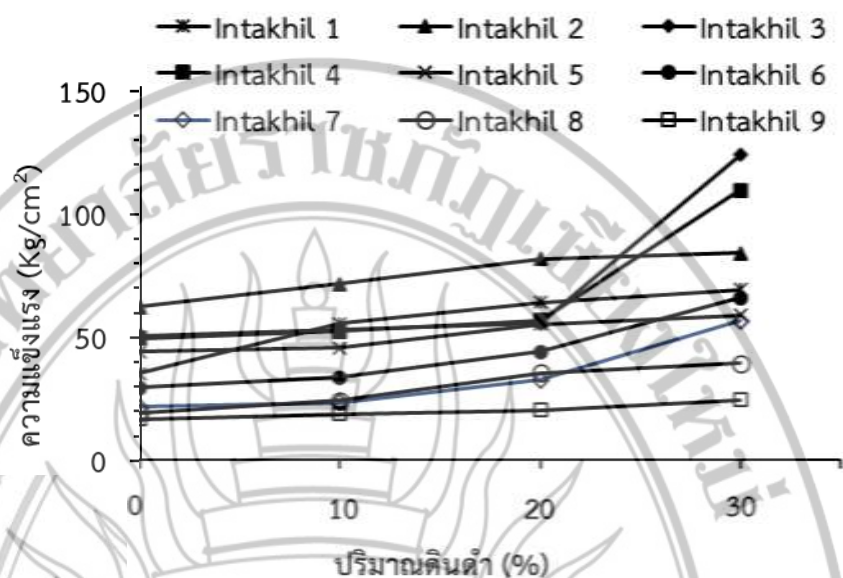
ภาพที่ 4.13 ความหนาแน่นของเนื้อดินหลังจากผสมดินดำ 10%, 20% และ 30% หลังเผา

7. ความแข็งแรงหลังเผา (Fried Strength)

จากการวัดค่าความแข็งแรงหลังเผา โดยการวัดความสามารถในการรับแรงดัด พบว่าเนื้อดินที่มีการผสมดินดำลงไปปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น หรือมีค่า MOR เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเนื้อดินมีการสุกตัว พร้อมกับมีรูพรุนหรือความพรุนลดลง การแน่นตัวจึงเกิดขึ้น และนำไปสู่ความสามารถในการรับแรงที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.20 และภาพที่ 4.14

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าความหนาแน่นของเนื้อดินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการผสมดินดำสำเร็จรูป หลังจากผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,250°C

เนื้อดิน	ค่า MOR (Kg/cm ²)	เนื้อดิน 90:10	ค่า MOR (Kg/cm ²)	เนื้อดิน 80:20	ค่า MOR (Kg/cm ²)	เนื้อดิน 70:30	ค่า MOR (Kg/cm ²)
Intakhil 1	34.89	Intakhil-1C10	55.30	Intakhil-1C20	63.76	Intakhil-1C30	69.00
Intakhil 2	61.95	Intakhil-2C10	71.28	Intakhil-2C20	81.67	Intakhil-2C30	83.86
Intakhil 3	50.29	Intakhil-3C10	52.73	Intakhil-3C20	55.15	Intakhil-3C30	123.78
Intakhil 4	49.13	Intakhil-4C10	52.08	Intakhil-4C20	56.67	Intakhil-4C30	109.38
Intakhil 5	43.73	Intakhil-5C10	45.42	Intakhil-5C20	54.90	Intakhil-5C30	58.59
Intakhil 6	29.15	Intakhil-6C10	33.33	Intakhil-6C20	43.75	Intakhil-6C30	65.73
Intakhil 7	21.38	Intakhil-7C10	23.15	Intakhil-7C20	32.23	Intakhil-7C30	56.23
Intakhil 8	19.10	Intakhil-8C10	23.93	Intakhil-8C20	35.16	Intakhil-8C30	39.06
Intakhil 9	16.47	Intakhil-9C10	18.58	Intakhil-9C20	20.15	Intakhil-9C30	24.13



ภาพที่ 4.14 ความแข็งแรงของเนื้อดินหลังจากผสมดินดำ 10%, 20% และ 30% หลังเผา

8. สีเนื้อดินหลังเผา (Color)

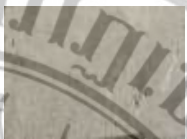
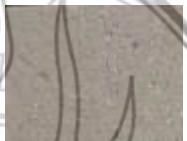
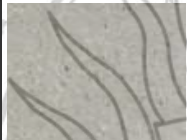
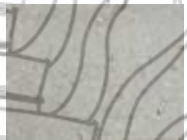
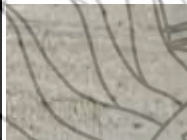
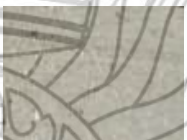
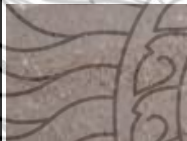
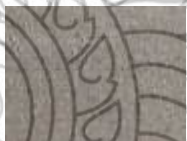
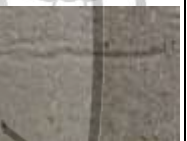
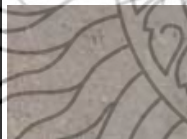
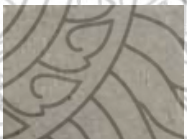
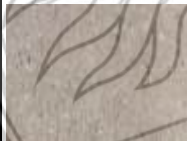
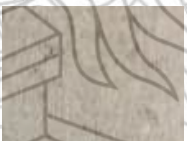
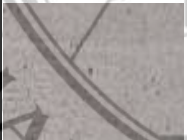
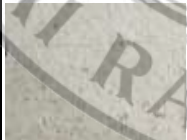
จากการวัดค่าสี และสีของเนื้อดินที่มีการเติมหรือผสมดินดำลงไป พบว่า มีผลต่อค่าความสว่างอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะสีจากสีเข้มเป็นสีอ่อน เพราะดินดำเป็นวัตถุดิบที่มี Fe_2O_3 ต่ำ เมื่อนำไปผสมทำให้เนื้อดินที่มี Fe_2O_3 สูง เปลี่ยนเป็นเนื้อดินที่มี Fe_2O_3 ต่ำลง ซึ่งเนื้อดินที่มี Fe_2O_3 สูงมักจะมีสีหลังเผาที่เข้ม ดังตารางที่ 4.21

สำหรับโทนสี จะถูกกำหนดโดยปริมาณ Fe_2O_3 เช่นเดียวกัน พบว่า เนื้อดินที่ศึกษามีสีหลังเผาทั้งเหมือนหรือใกล้เคียงกัน และแตกต่างกัน ซึ่งการนำเนื้อดินไปใช้ประโยชน์ สีของเนื้อดินหลังเผามักจะถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้เพื่อวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์เซรามิก ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าสีของเนื้อดินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการผสมดินดำสำเร็จรูป

เนื้อดิน 90:10	ค่าสี			เนื้อดิน 80:20	ค่าสี			เนื้อดิน 70:30	ค่าสี		
	L	a	b		L	a	b		L	a	b
Intakhil-1C10	55.5	3.7	12.8	Intakhil-1C20	62.2	2.1	15.2	Intakhil-1C30	62.9	3.6	11.4
Intakhil-2C10	34.5	5.7	17.8	Intakhil-2C20	42.1	6	18	Intakhil-2C30	46.4	6.9	19.3
Intakhil-3C10	37.7	10.7	35.9	Intakhil-3C20	67.3	2.3	21.4	Intakhil-3C30	71.3	1.2	15.5
Intakhil-4C10	57.7	4.6	14.1	Intakhil-4C20	63.3		17.1	Intakhil-4C30	69.7	2.3	14.6
Intakhil-5C10	20.4	1.4	11.1	Intakhil-5C20	24.1	1.7	11.0	Intakhil-5C30	31.3	-0.3	15.8
Intakhil-6C10	48.9	8	8.6	Intakhil-6C20	59.1	2.5	11.5	Intakhil-6C30	62.9	2.5	13.4
Intakhil-7C10	61.9	7.7	15.3	Intakhil-7C20	62.2	6.6	16.0	Intakhil-7C30	62.4	2.3	15.6
Intakhil-8C10	61.0	4.4	17.1	Intakhil-8C20	62.6	2.8	16.1	Intakhil-8C30	67.9	3.9	19.6
Intakhil-9C10	68.6	2.2	19.7	Intakhil-9C20	69.3	-1.0	16.2	Intakhil-9C30	73.6	-1.0	20.1

ตารางที่ 4.22 แสดงสีของเนื้อดินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการผสมดินดำสำเร็จรูป

เนื้อดิน 90:10	สี	เนื้อดิน 80:20	สี	เนื้อดิน 70:30	สี
Intakhil-1C10		Intakhil-1C20		Intakhil-1C30	
Intakhil-2C10		Intakhil-2C20		Intakhil-2C30	
Intakhil-3C10		Intakhil-3C20		Intakhil-3C30	
Intakhil-4C10		Intakhil-4C20		Intakhil-4C30	
Intakhil-5C10		Intakhil-5C20		Intakhil-5C30	
Intakhil-6C10		Intakhil-6C20		Intakhil-6C30	
Intakhil-7C10		Intakhil-7C20		Intakhil-7C30	
Intakhil-8C10		Intakhil-8C20		Intakhil-8C30	
Intakhil-9C10		Intakhil-9C20		Intakhil-9C30	

ผลการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ

การสำรวจและพัฒนาเนื้อดินเพื่อใช้ผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกในพื้นที่ตำบลอินทขิล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า แหล่งดินทั้ง 9 แหล่ง (Intakhil 1-9) มีลักษณะเฉพาะและสมบัติที่แตกต่างกัน และการนำไปใช้ประโยชน์การขึ้นรูปถือเป็นตัวชี้วัดสำคัญ โดยวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกมีหลากหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ปัจจัยที่สำคัญที่กำหนดวิธีการขึ้นรูป ได้แก่ ความเหนียวของเนื้อดิน คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังเผา และต้นทุน

จากผลการศึกษา พบว่า เนื้อดินทั้ง 9 แหล่ง มีความเหนียวที่สามารถทำการขึ้นรูปได้ และวิธีการขึ้นรูปที่เหมาะสมได้แก่ การขึ้นรูปด้วยมือแบบอิสระ แป้นหมุน พิมพ์กด เป็นต้น

1. การปั้นอิสระ



ภาพที่ 4.15 แสดงการนำเนื้อดินไปขึ้นรูปโดยการปั้นอิสระ

2. การขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน



ภาพที่ 4.16 แสดงการนำเนื้อดินไปขึ้นรูปโดยใช้แป้นหมุนมือ

3. การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์กด



ภาพที่ 4.17 แสดงการนำเนื้อดินไปขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์กด