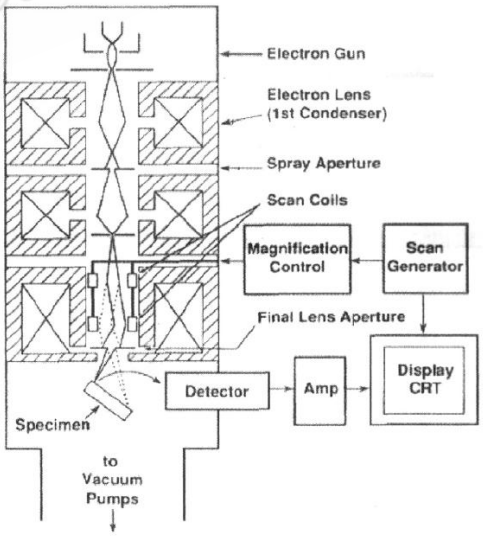
บทที่ 4
การศึกษาภาชนะดินเผาด้วยการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope / SEM) ร่วมกับเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectroscropy / EDS/EDX)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope / SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดหนึ่งที่ถ่ายภาพชิ้นงานโดยอาศัยหลักการกราดไปบนพื้นผิวตัวอย่างด้วยลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิด (Electron gun) เมื่ออิเล็กตรอนดังกล่าวกระทบกับผิวชิ้น งานที่ประกอบไปด้วยอะตอมต่างๆ จะปล่อยสัญญาณที่สามารถนำไปประมวลผลและให้ข้อมูลเป็นภาพพื้นผิวของวัตถุ, องค์ประกอบของพื้นผิว และคุณสมบัติอื่นๆ เช่น คุณสมบัติการนำไฟฟ้า เป็นต้น

ส่วนประกอบของ SEM ประกอบไปด้วยส่วนบนสุดเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ที่เรียกว่า ปืนอิเล็กตรอน (electron gun) อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ ซึ่งมีสภาพสุญญากาศ ด้วยความต่างศักย์เร่ง (Accelerating Voltage) ในช่วง 0-30 kV (บางเครื่องทำได้สูงถึง 50 kV) โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะถูกควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lens) 2 ชุดหรือมากกว่า และปริมาณของอิเล็กตรอนจะถูกควบคุมด้วยแอพเพอเจอร์ (aperture) หรือช่องเปิดที่มีลักษณะต่างๆกันตามลักษณะการใช้งาน



ภาพ แสดงส่วนประกอบและหลักการทำงานของ SEM

Princess Sonphla University Pattani Campus

เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าชุดแรก ที่เรียกว่า เลนส์คอนเดนเซอร์ (Condenser lens) นับว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญที่สุดต่อการควบคุมทัศน์ศาสตร์อิเล็กตรอน (electron optics) เพราะเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่บีบอิเล็กตรอนที่วิ่งลงมาจากแหล่งกำเนิดให้เป็นลำที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ส่วนเลนส์วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ชุดสุดท้าย จะทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอน (electron beam) ให้ไปตกบนผิวของตัวอย่าง โดยมีสแกนคอยล์ (scan coil) ทำหน้าที่กราดลำอิเล็กตรอนให้ไปบนผิวของตัวอย่างภายในกรอบพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวอย่างบริเวณที่ถูกยิงด้วยลำอิเล็กตรอนนี้ จะเกิดสัญญาณ (Signal) ต่างๆขึ้นหลายชนิดในเวลาเดียวกัน และ SEM จะมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณ (Detector) ชนิดต่างๆเหล่านั้น แล้วส่งไปประมวลผลเป็นภาพแสดงบนจอภาพต่อไป[19]

จุดเด่นของ SEM คือ มีระยะชัดลึก และมีอำนาจแยกแยะเชิงระยะ (Spatial resolution) สูง เนื่องจาก SEM ใช้คุณสมบัติคลื่นของอิเล็กตรอน ซึ่งมีความยาวคลื่นที่สั้น ทำให้ SEM มีอำนาจแยกแยะเชิงระยะได้มากถึง 0.2 นาโนเมตร และด้วยความสามารถในการบีบลำอิเล็กตรอนให้เป็นมุมแคบๆได้ ทำให้ได้ภาพที่มีความชัดลึกสูง

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำ SEM มาใช้ร่วมกันกับเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy / EDS / EDX) โดยมีหลักการทำงานอยู่ที่การกระตุ้นวัตถุตัวอย่างโดยอนุภาคพลังงานสูง อันได้แก่อนุภาคอิเล็กตรอน ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) อนุภาคจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่มาอย่างรวดเร็วมีพลังงานจลน์สูง เมื่ออนุภาคนี้ผ่านเข้ามาในอะตอมของวัตถุตัวอย่าง บางส่วนก็จะมีโอกาสที่จะชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอม ในการชนนี้ก็จะถ่ายทอดพลังงานให้แก่อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงขึ้นและโดยทั่วไปมักจะสูงมากพอที่จะหลุดออกไปจากอะตอม เป็นอิเล็กตรอนอิสระ ทำให้เกิดที่ว่างขึ้นซึ่งอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นสูงกว่าก็จะตกลงมาอยู่แทนที่ ในการตกลงมาอยู่ชั้นต่ำกว่านี้อิเล็กตรอนก็จะต้องปล่อยหรือคายพลังงานที่มีอยู่มากเกินระดับที่ต้องการออกไป พลังงานที่คายออกมานี้จะอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์เฉพาะ (characteristic x-ray) ซึ่งจะบอกได้ว่าวัตถุตัวอย่างมีองค์ประกอบของธาตุใดบ้าง เนื่องจากแต่ละธาตุมีรังสีเอกซ์เฉพาะที่ไม่เหมือนกัน[20]

ข้อได้เปรียบในการใช้เทคนิค EDS คือ สามารถตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้ในเวลาอันรวดเร็วและตรวจได้คราวละหลายๆธาตุพร้อมกัน นอกจากนี้ยังไม่ทำลายวัตถุตัวอย่างหรือทำ

---

[19] ดนัย กิจชัยนุกูล, **เรื่องน่ารู้ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)** (เอกสารอัดสำเนา, ม.ป.ท. : ม.ป.ป., 2547), 2-3.

[20] สัมพันธ์ วงศ์นาวา, **เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโทรเมตรีแบบกระจายพลังงาน** (สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่, 2541), 18-19.

ให้วัตถุตัวอย่างสูญเสียสภาพเดิม และสามารถใช้วัตถุตัวอย่างในสภาพของแข็งได้ ดังนั้น เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์ SEM ร่วมกับเทคนิค EDS/EDX (SEM-EDS/EDX) ก็จะทำให้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบและการมีอยู่ของธาตุบนพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างได้ละเอียดและมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM-EDS/EDX เพื่อต้องการหาองค์ประกอบธาตุ ดังนี้

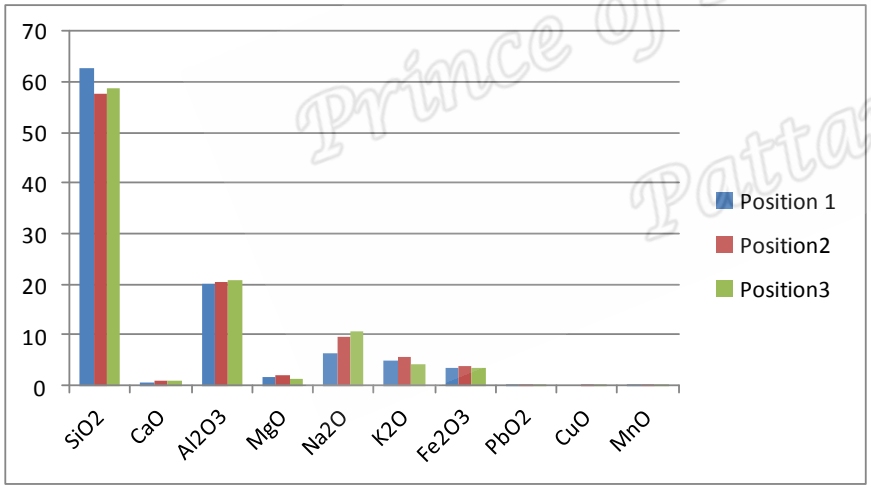
1. องค์ประกอบที่ช่วยในการขึ้นรูป
   - ซิลิกา (SiO_2)
   - แคลเซียมออกไซด์ (CaO)
   - อลูมินา (Al_2O_3)
   - แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)
2. องค์ประกอบที่เติมเข้าไปเพื่อช่วยลดอุณหภูมิในการหลอมละลาย (Flux)
   - โซดาหรือโซเดียมออกไซด์ (Na_2O)
   - โปแตสเซียมออกไซด์ (K_2O)
3. องค์ประกอบของสารให้สี
   - เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3)
   - ตะกั่วออกไซด์ (PbO_2)
   - ทองแดงออกไซด์ (CuO)
   - แมงกานีส (MnO)
4. องค์ประกอบอื่นที่เจือปนอยู่ในน้ำเคลือบ
   - ไทเทเนีย (TiO_2)
   - ดีบุกออกไซด์ (SnO_2)
   - โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3)
   - แอนติโมนีออกไซด์ (Sb_2O)

Prince of Songkla University Pattani Campus

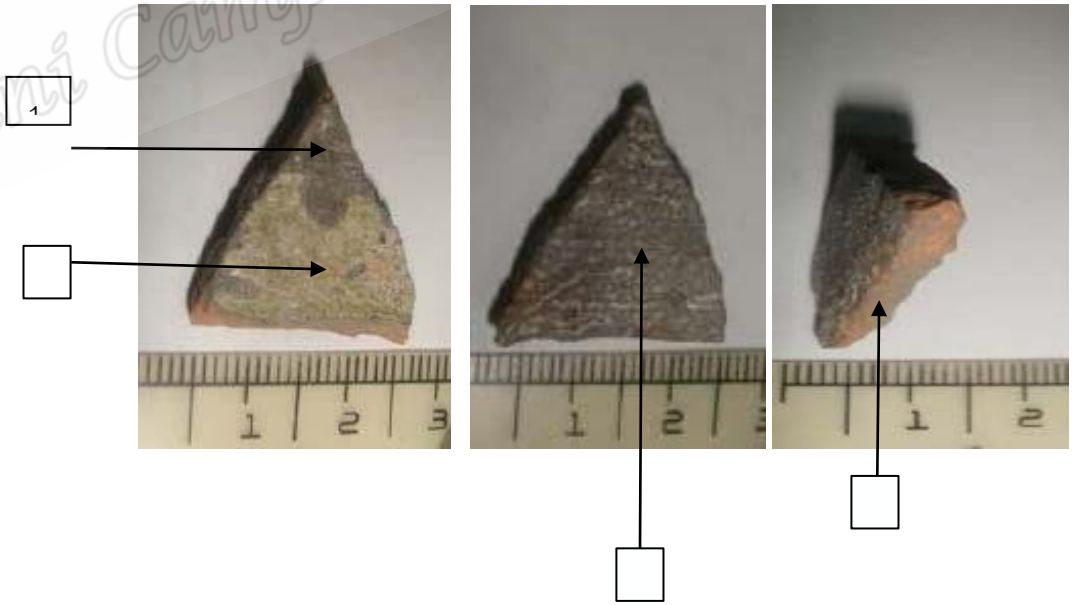
ตัวอย่างที่ 1 รหัส BD 1

ตารางที่ 4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษภาชนะดินเผา BD 1

Sample	องค์ประกอบธาตุ (% Concentration)									
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO_2
BD1										
Position 1 ด้านหน้า เนื้อสีเข้ม	6.47	1.80	20.11	62.70	4.93	0.59	0.02	3.35	-	0.01
Position 2 ด้านหน้า เนื้อสีอ่อน (เคลือบ)	9.71	2.13	20.39	57.47	5.57	0.94	0.03	3.73	0.01	0.02
Position 3 ด้านหลัง	10.71	1.29	20.89	58.66	4.24	0.86	0.02	3.31	0.01	0.01
Position 4 เนื้อ ภาคตัดขวาง	2.09	2.23	21.74	65.56	3.34	1.00	0.02	3.98	0.02	0.02



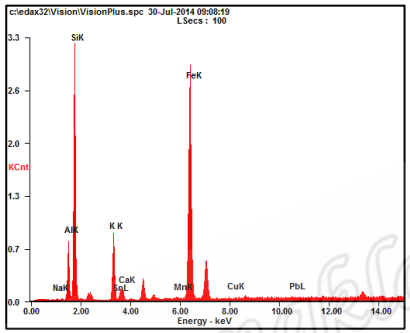
แผนภูมิที่ 1 องค์ประกอบธาตุหลัก BD 1



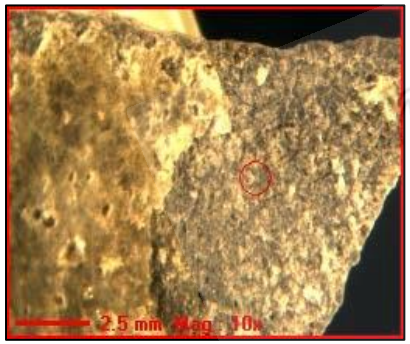
Prince of Songkla University Pattani Campus

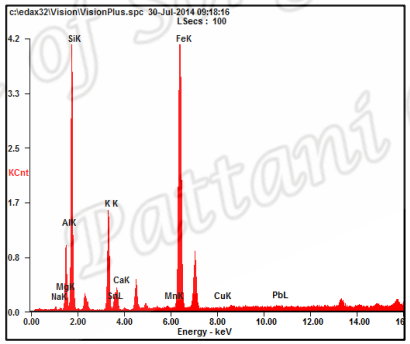
BD 1

Point 1

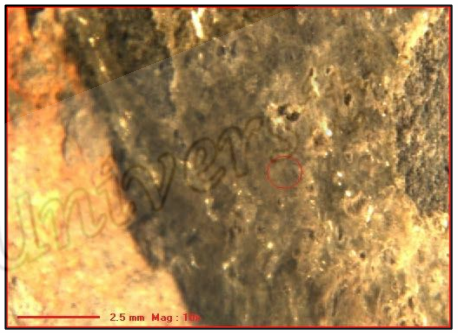


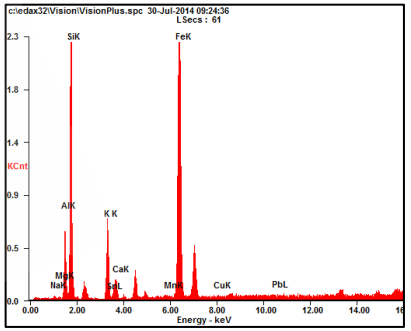
Point 2



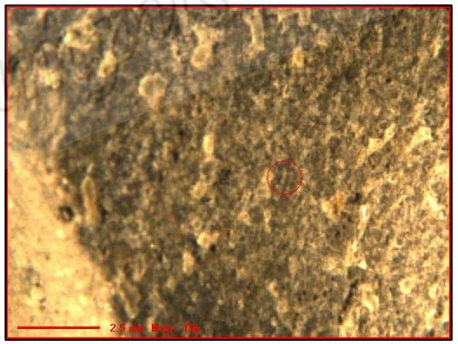


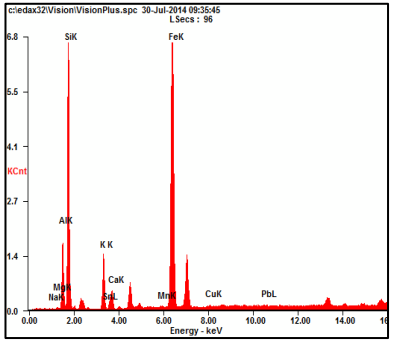
Point 3





Point 4

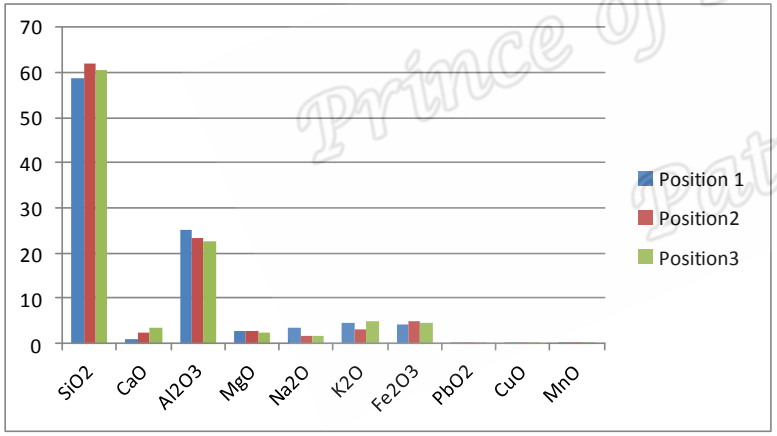




ตัวอย่างที่ 2 รหัส BD 2

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษภาชนะดินเผา BD 2

Sample	องค์ประกอบธาตุ (% Concentration)									
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO_2
BD2										
Position 1 ด้านหน้า เนื้อสีเข้ม	3.41	2.88	25.27	58.60	4.50	1.05	0.03	4.22	0.01	0.02
Position 2 ด้านหน้า เนื้อสีอ่อน	1.65	2.59	23.28	62.01	3.06	2.26	0.06	5.03	0.02	0.03
Position 3 ด้านหลัง	1.79	2.49	22.51	60.42	4.82	3.34	0.04	4.56	0.02	0.02
Position 4 เนื้อ ภาคตัดขวาง	1.55	2.76	24.22	60.95	3.46	1.48	0.03	5.53	0.01	0.02

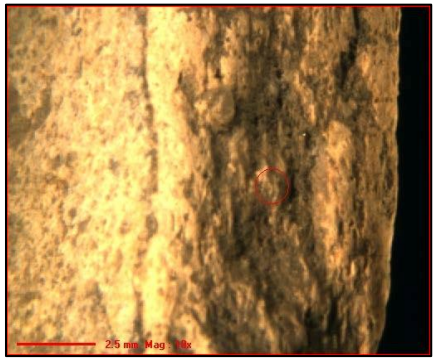


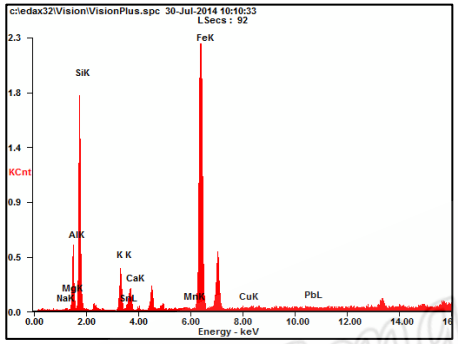
แผนภูมิที่ 2 องค์ประกอบธาตุหลัก BD 2

Prince of Songkla University Pattani Campus

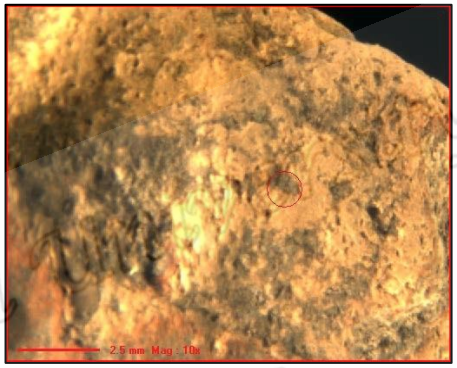
BD 2

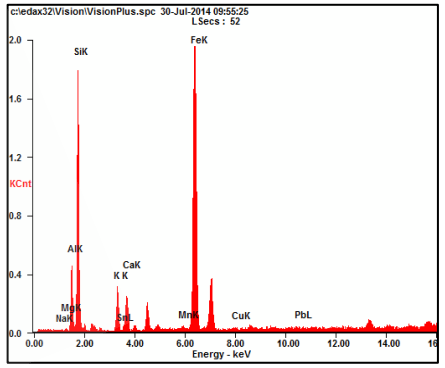
Point 1

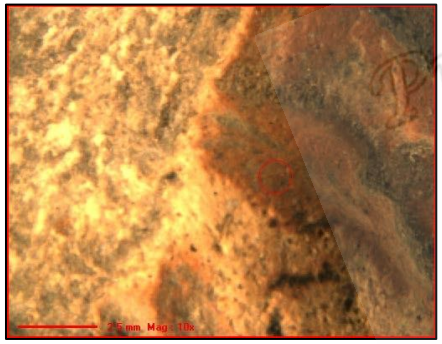


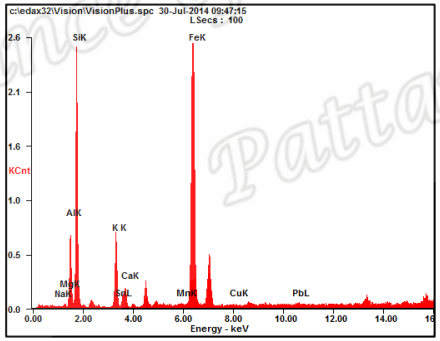


Point 3



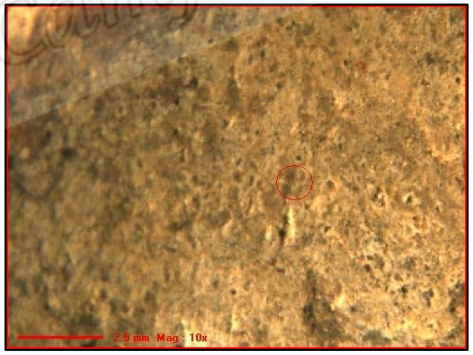


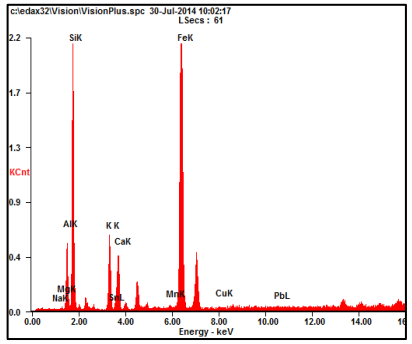




Point 2

Point 4



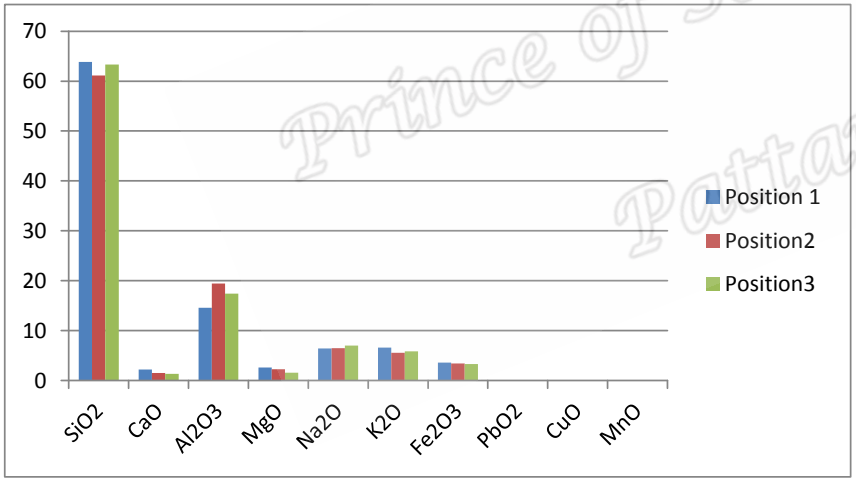


Prince of Songkla University Pattani Campus

ตัวอย่างที่ 3 รหัส BD 3

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษภาชนะดินเผา BD 3

Sample	องค์ประกอบธาตุ (% Concentration)									
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO_2
BD3										
Position 1 ด้านหน้า เนื้อสีเข้ม	6.42	2.62	14.60	63.85	6.62	2.19	0.03	3.61	0.02	0.03
Position 2 ด้านหน้า เนื้อสีอ่อน	6.50	2.30	19.46	61.15	5.55	1.55	0.04	3.42	0.01	0.02
Position 3 ด้านหลัง	7.04	1.61	17.45	63.30	5.85	1.35	0.05	3.31	0.02	0.02
Position 4 เนื้อ ภาคตัดขวาง	3.25	1.76	21.64	64.86	3.24	1.29	0.02	3.91	0.01	0.02

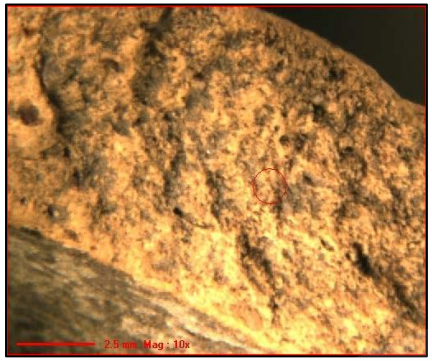


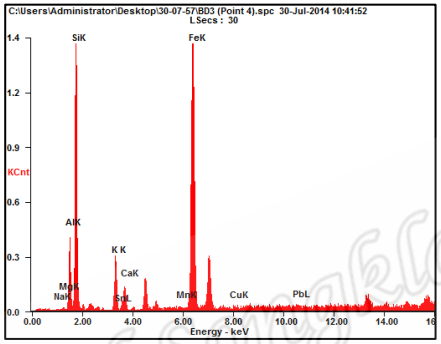
แผนภูมิที่ 3 องค์ประกอบธาตุหลัก BD 3

Prince of Songkla University Pattani Campus

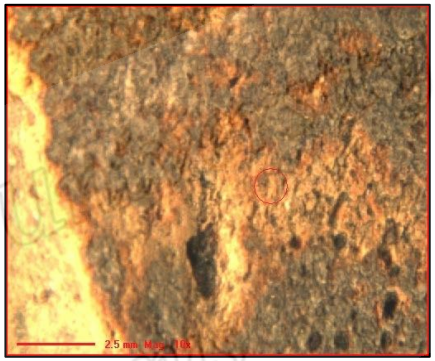
BD3

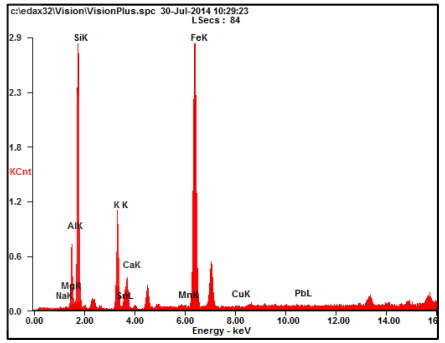
Point 1

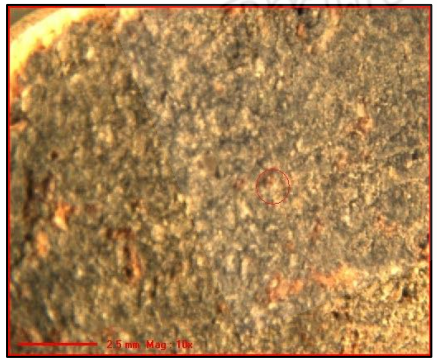


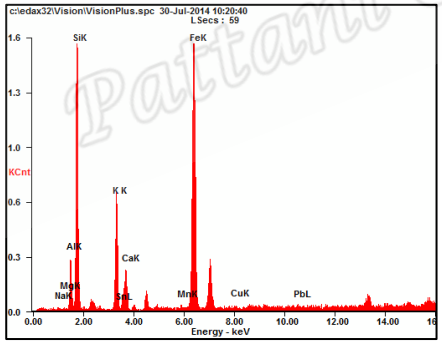


Point 3

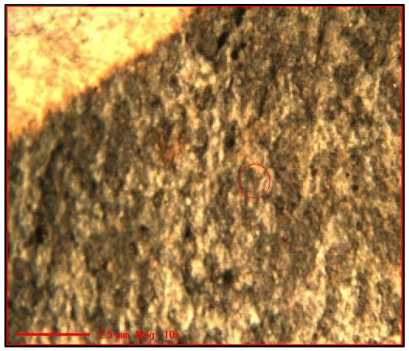


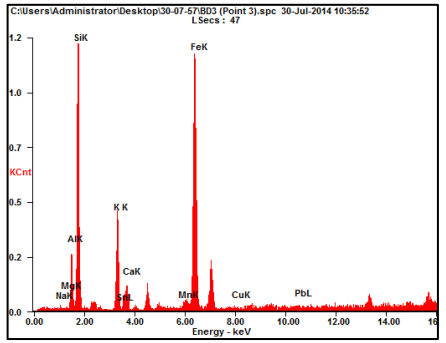






Point 2





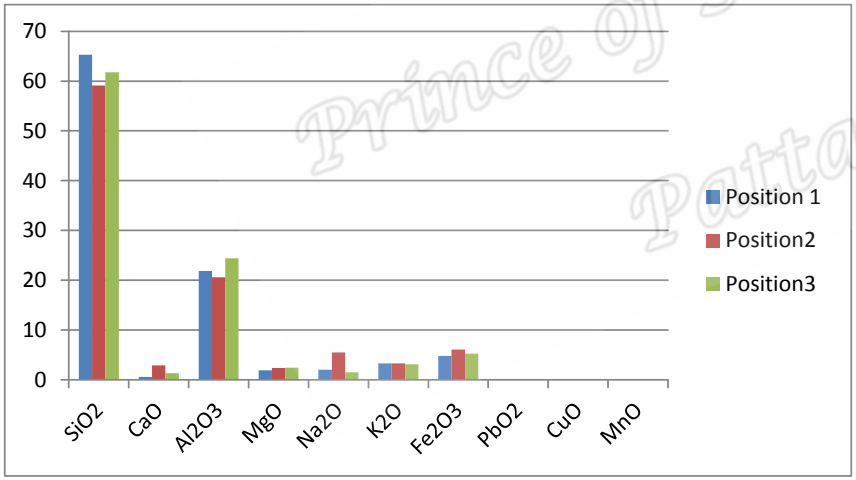
Point 4

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตัวอย่างที่ 4 รหัส BD 4

ตารางที่ 4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษภาชนะดินเผา BD 4

Sample	องค์ประกอบธาตุ (% Concentration)									
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO_2
BD4										
Position 1 ด้านหน้า เนื้อสีอ่อน	2.03	1.93	21.88	65.30	3.33	0.61	0.03	4.84	0.01	0.04
Position 2 ด้านหน้า เนื้อสีเข้ม	5.49	2.37	20.59	59.09	3.34	2.92	0.04	6.12	0.02	0.02
Position 3 ด้านหลัง	1.55	2.46	24.39	61.77	3.12	1.35	0.03	5.30	0.02	0.03
Position 4 เนื้อ ภาคตัดขวาง	7.09	2.13	18.19	59.49	4.81	2.17	0.03	6.04	0.01	0.03

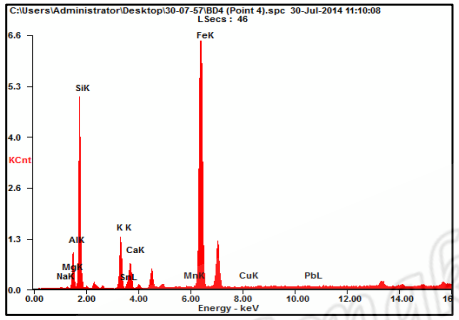


แผนภูมิที่ 4 องค์ประกอบธาตุหลัก BD 4

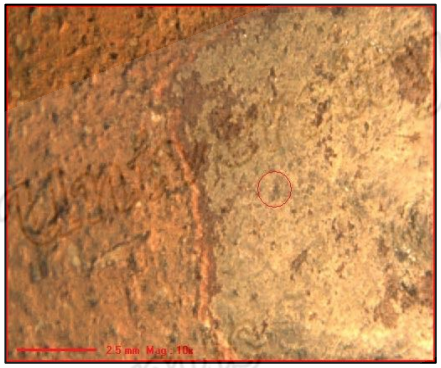
Prince of Songkla University Pattani Campus

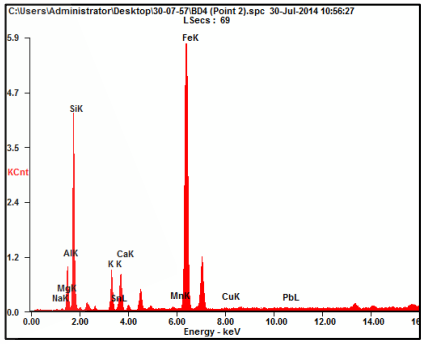
BD4

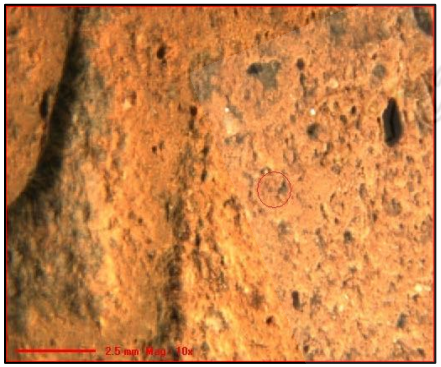
Point 1

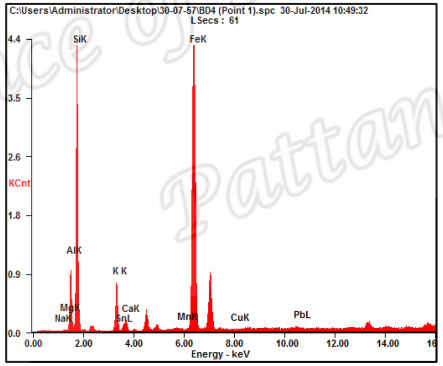


Point 3

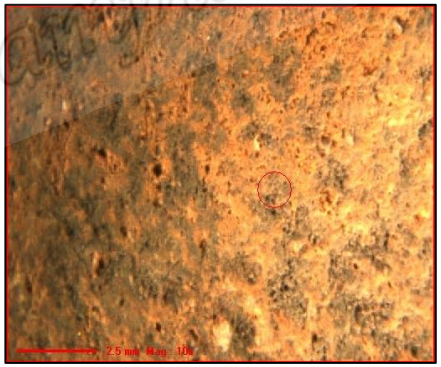


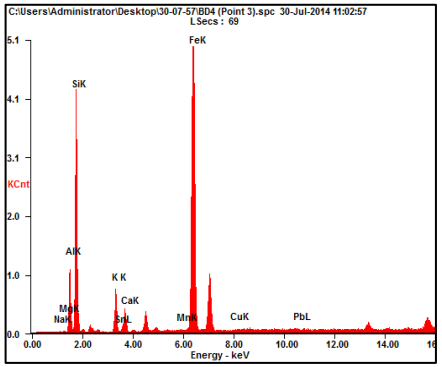






Point 2





Point 4

Pattani Campus

ตัวอย่างที่ 5 รหัส BD 5

ตารางที่ 5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษภาชนะดินเผา BD 5

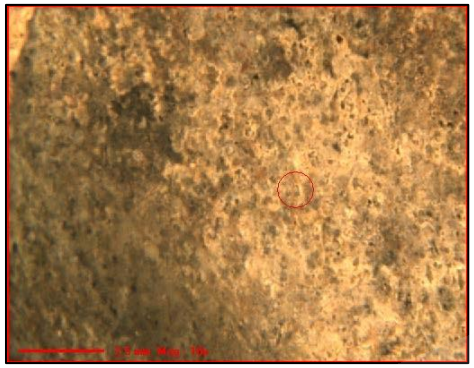
Sample	องค์ประกอบธาตุ (% Concentration)									
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO_2
BD5										
Position 1 ด้านหน้า	3.90	2.41	18.77	62.86	4.99	2.53	0.03	4.47	0.01	0.03
Position 2 ด้านหลัง	6.66	2.89	19.79	59.36	5.43	1.20	0.03	4.61	0.01	0.02
Position 3 เนื้อ ภาคตัดขวาง	2.20	2.26	22.90	63.95	3.45	0.85	0.02	4.33	0.01	0.02

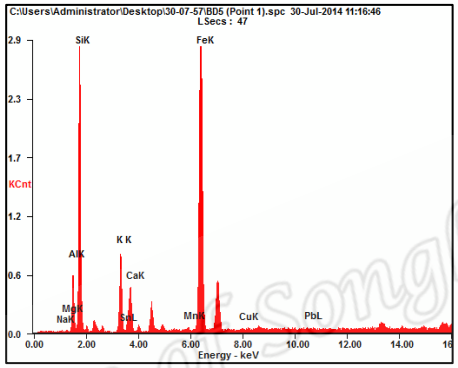
แผนภูมิที่ 5 องค์ประกอบธาตุหลัก BD 5

Prince of Songkla University Pattani Campus

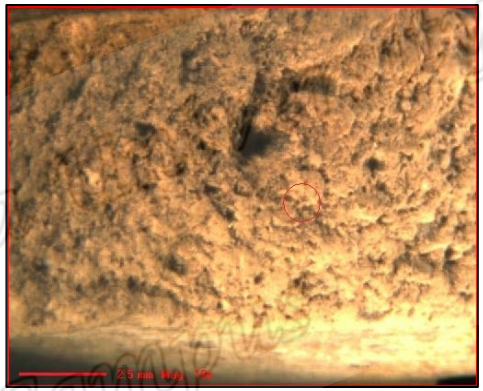
BD 5

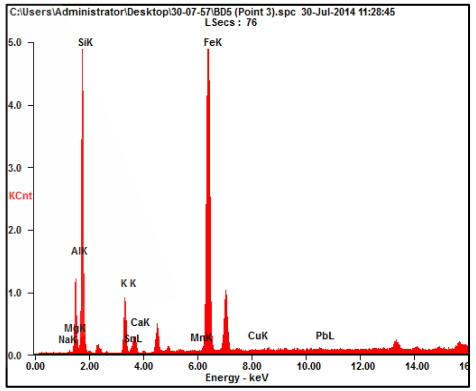
Point 1

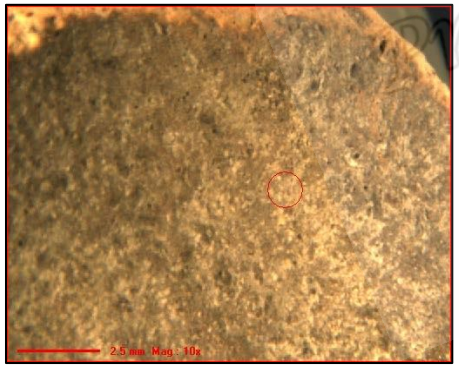


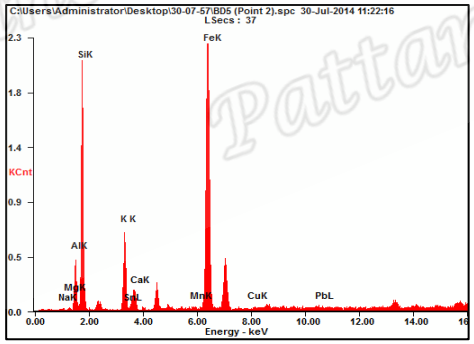


Point 3









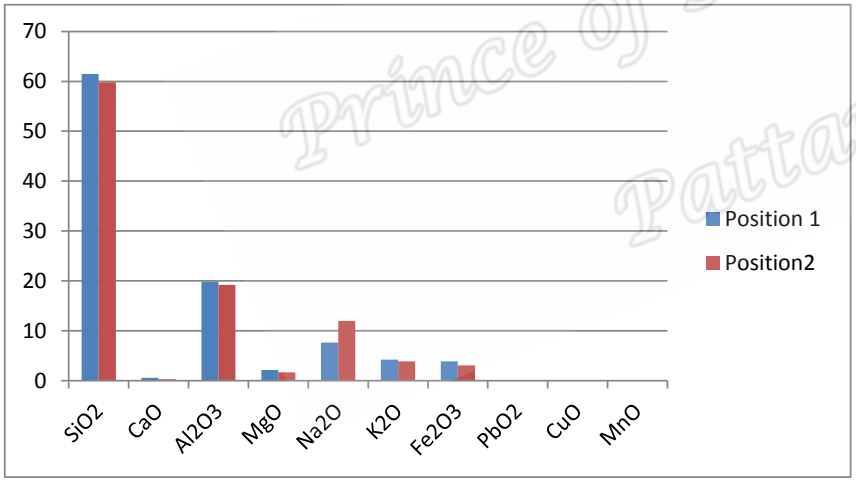
Point 2

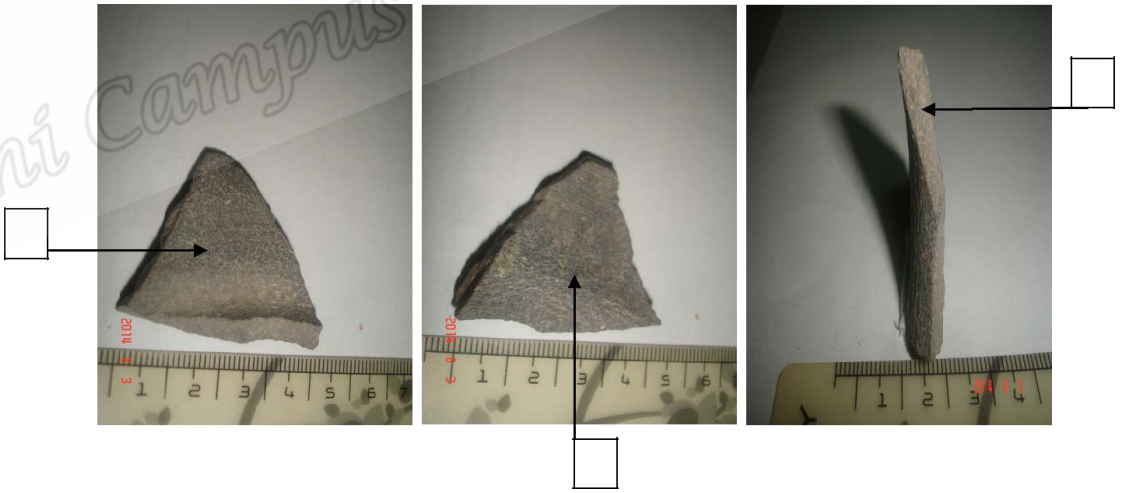
Prince of Songkla University Pattani Campus

ตัวอย่างที่ 6 รหัส BD 6

ตารางที่ 6 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษภาชนะดินเผา BD 6

Sample	องค์ประกอบธาตุ (% Concentration)									
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO_2
BD6										
Position 1 ด้านหน้า	7.66	2.18	19.86	61.49	4.23	0.61	0.03	3.91	0.01	0.01
Position 2 ด้านหลัง	11.96	1.68	19.23	59.78	3.91	0.33	0.02	3.07	0.01	0.02
Position 3 เนื้อ ภาคตัดขวาง	2.75	2.31	21.59	63.55	3.60	1.18	0.04	4.94	0.02	0.03



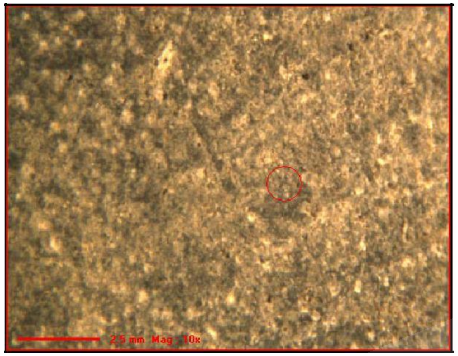


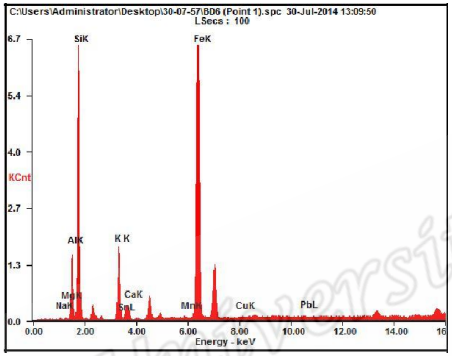
แผนภูมิที่ 6 องค์ประกอบธาตุหลัก BD 6

Prince of Songkla University Pattani Campus

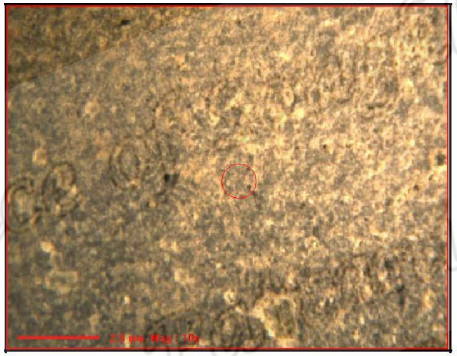
BD 6

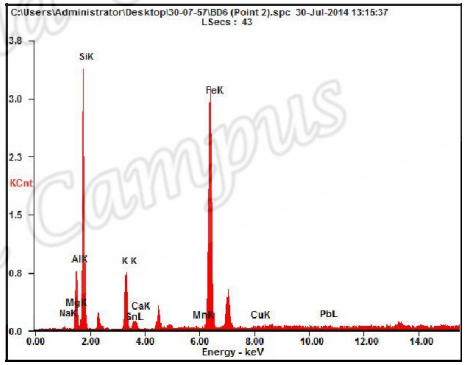
Point 1



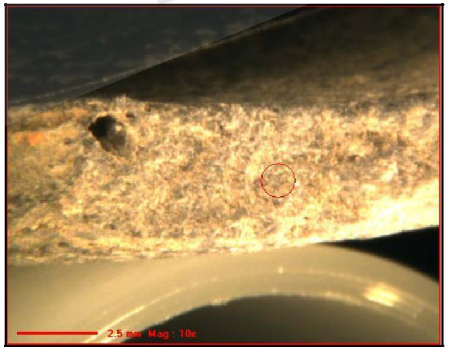


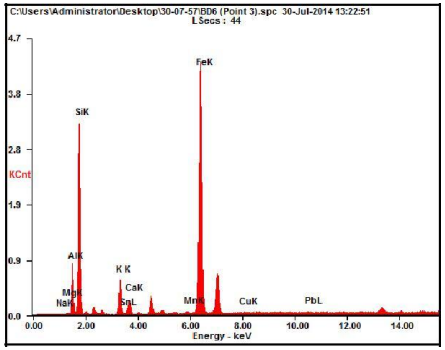
Point 2





Point 3

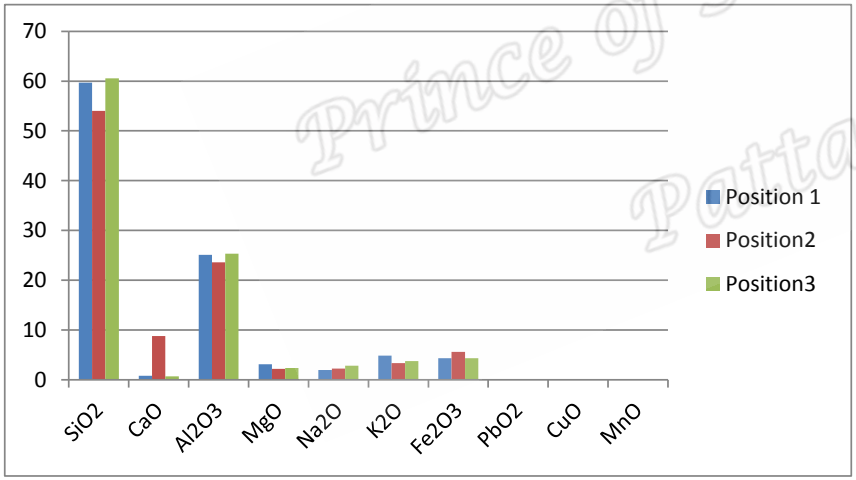




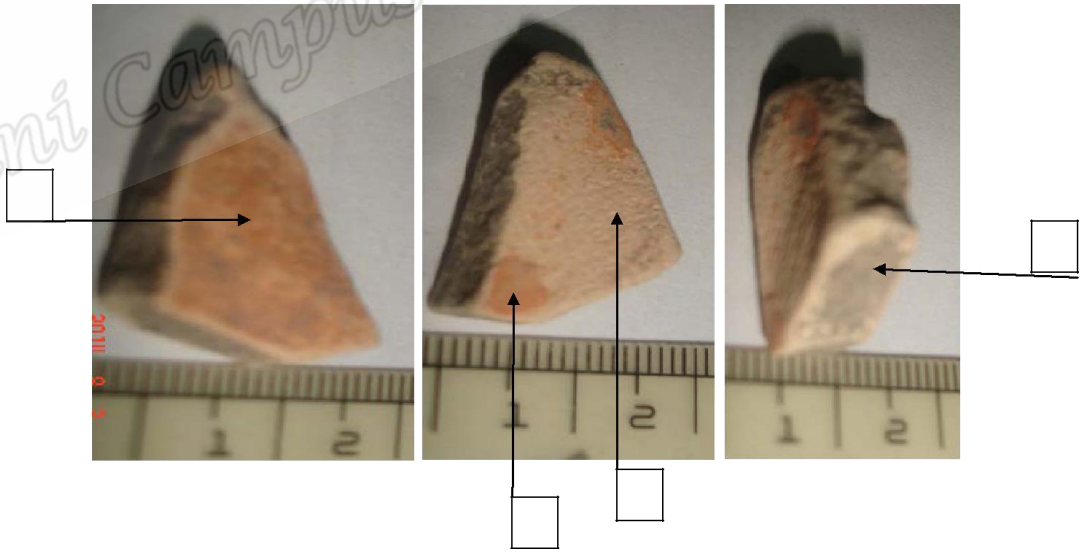
ตัวอย่างที่ 7 รหัส BD 7

ตารางที่ 7 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษภาชนะดินเผา BD 7

Sample	องค์ประกอบธาตุ (% Concentration)									
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO_2
BD7										
Position 1 ด้านหลัง	1.96	3.15	25.11	59.69	4.85	0.82	0.03	4.35	0.01	0.03
Position 2 ด้านหน้า เนื้อสีอ่อน	2.27	2.23	23.60	54.04	3.38	8.78	0.03	5.62	0.02	0.03
Position 3 ด้านหน้า เนื้อสีเข้ม	2.83	2.39	25.35	60.55	3.76	0.69	0.03	4.36	0.01	0.03
Position 4 เนื้อ ภาคตัดขวาง	1.95	2.31	24.80	60.31	3.36	2.50	0.03	4.68	0.02	0.03



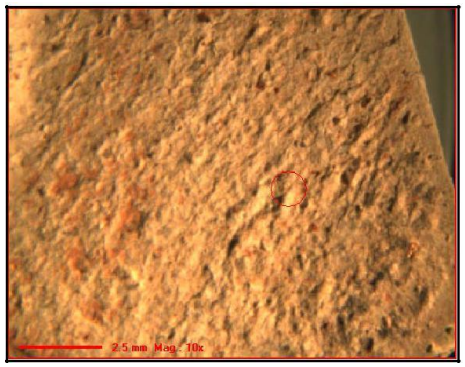
แผนภูมิที่ 7 องค์ประกอบธาตุหลัก BD7

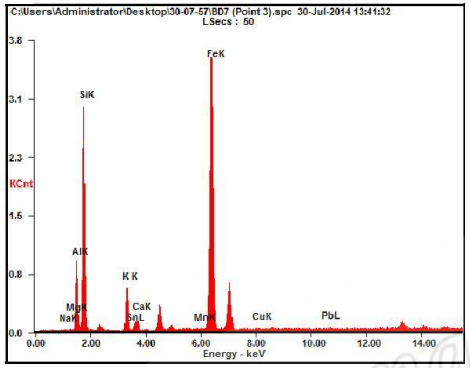


Prince of Songkla University Pattani Campus

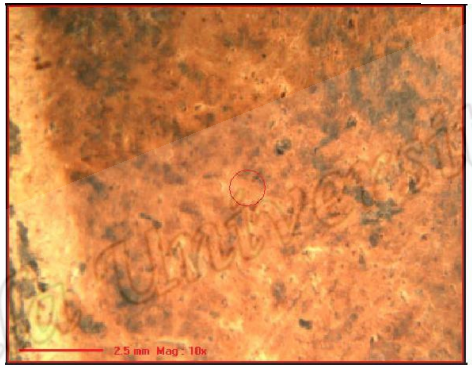
BD 7

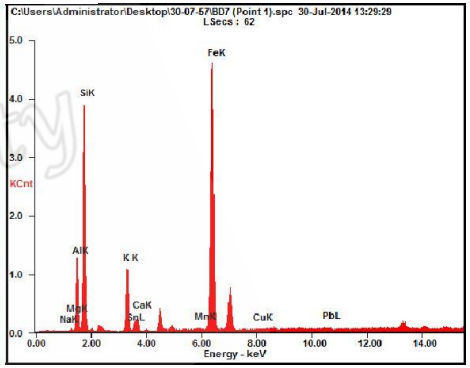
Point 1

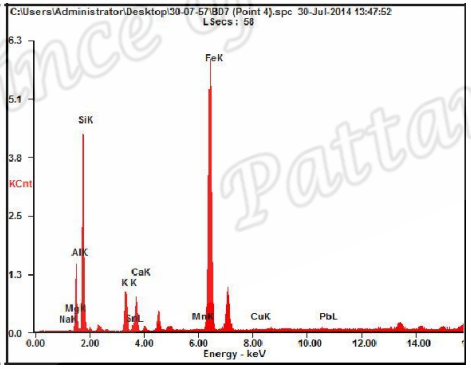




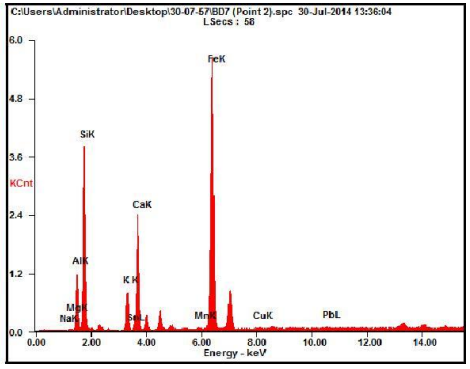
Point 3







Point 2

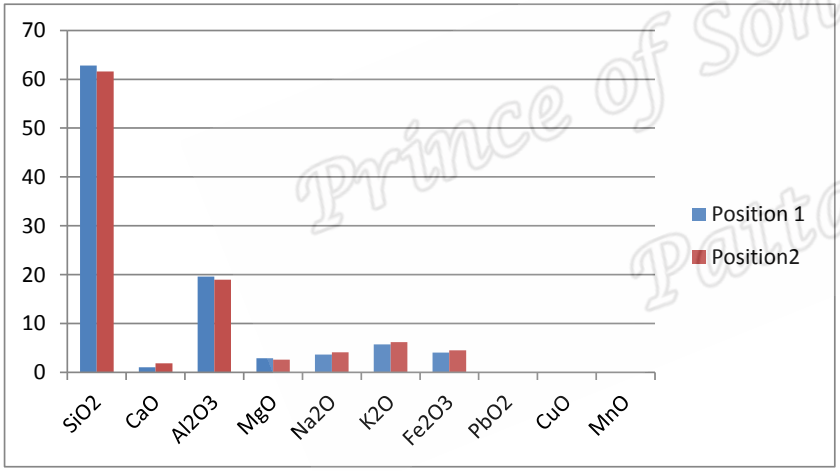


Point 4

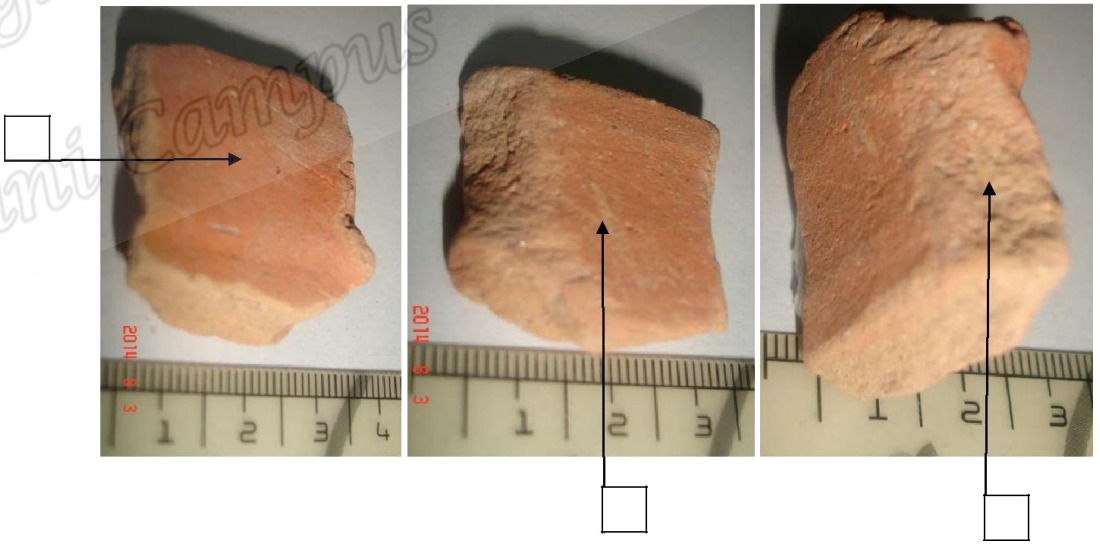
ตัวอย่างที่ 8 รหัส BD 8

ตารางที่ 8 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษภาชนะดินเผา BD 8

Sample	องค์ประกอบธาตุ (% Concentration)									
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO_2
BD8										
Position 1 ด้านหน้า	3.68	2.90	19.64	62.80	5.76	1.04	0.04	4.08	0.01	0.04
Position 2 ด้านหลัง	4.14	2.60	18.98	61.60	6.18	1.90	0.04	4.51	0.01	0.03
Position 3 เนื้อ ภาคตัดขวาง	3.52	2.91	22.94	60.95	3.54	1.04	0.03	5.03	0.02	0.02



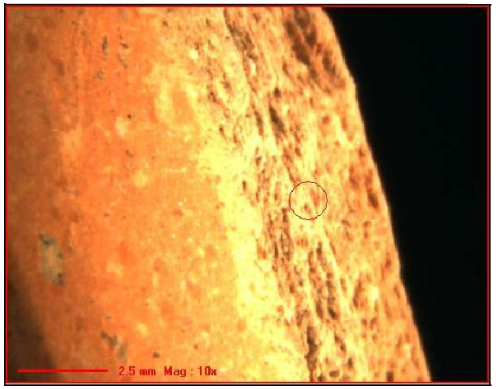
แผนภูมิที่ 8 องค์ประกอบธาตุหลัก BD 8

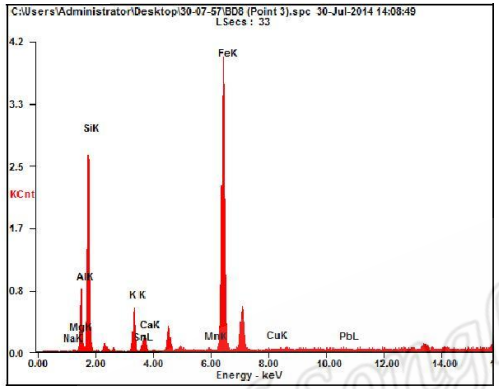


Prince of Songkla University Pattani Campus

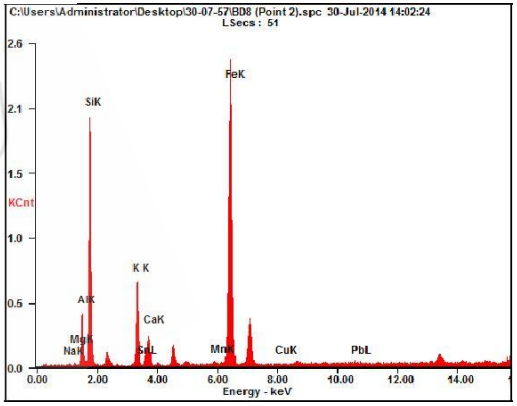
BD 8

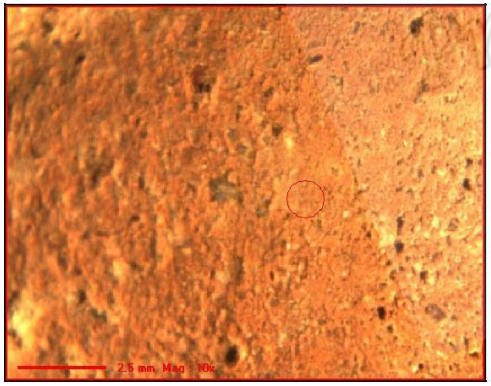
Point 1

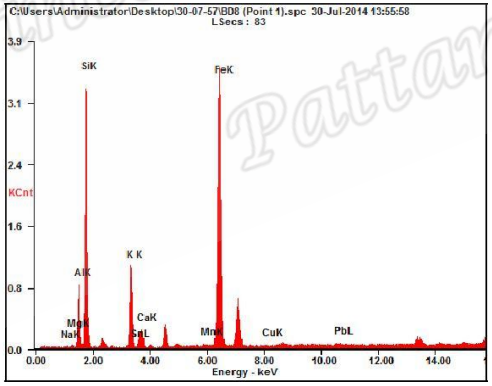




Point 3







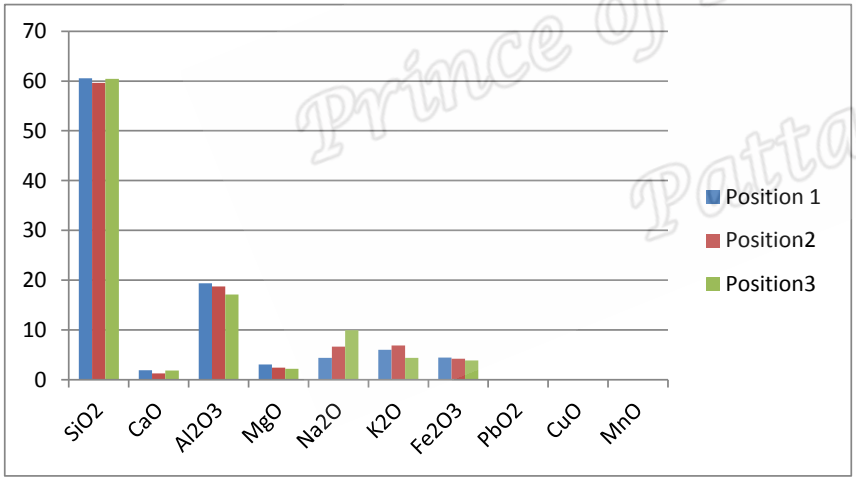
Point 2

Prince of Songkla University Pattani Campus

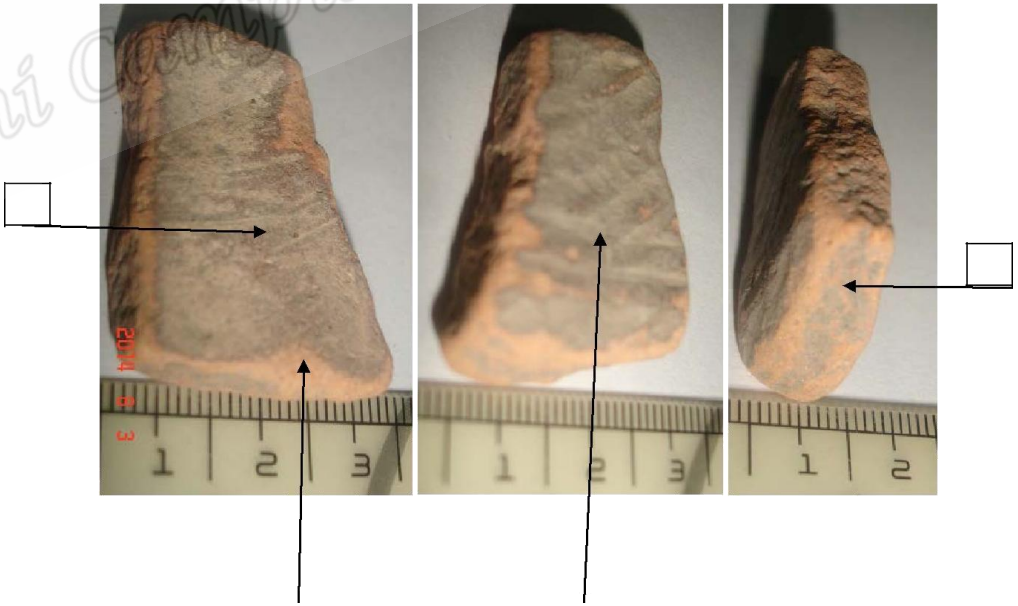
ตัวอย่างที่ 9 รหัส BD 9

ตารางที่ 9 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษภาชนะดินเผา BD 9

Sample	องค์ประกอบธาตุ (% Concentration)									
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO_2
BD9										
Position 1 ด้านหน้า เนื้อสีอ่อน	4.43	3.09	19.37	60.56	6.01	1.92	0.07	4.47	0.03	0.06
Position 2 ด้านหน้า เนื้อสีเข้ม	6.68	2.43	18.77	59.60	6.93	1.28	0.03	4.22	0.02	0.03
Position 3 ด้านหลัง	9.96	2.20	17.16	60.42	4.41	1.89	0.04	3.88	0.01	0.04
Position 4 เนื้อ ภาคตัดขวาง	3.52	2.81	21.92	60.31	3.67	1.44	0.03	6.27	0.02	0.02



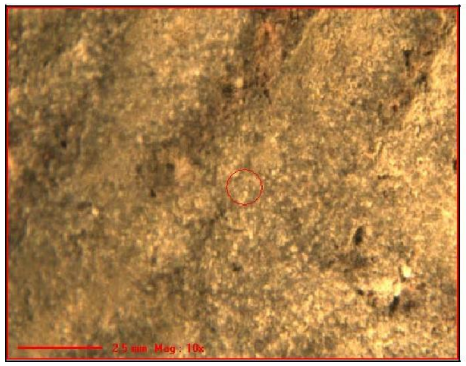
แผนภูมิที่ 9องค์ประกอบธาตุหลัก BD 9

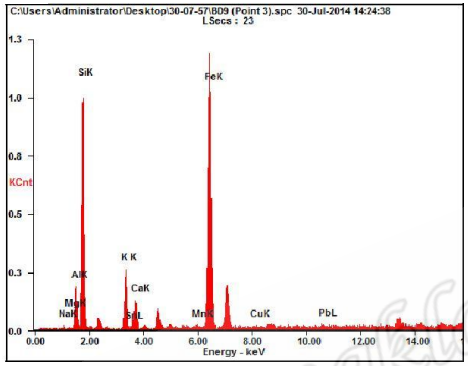


Prince of Songkla University Pattani Campus

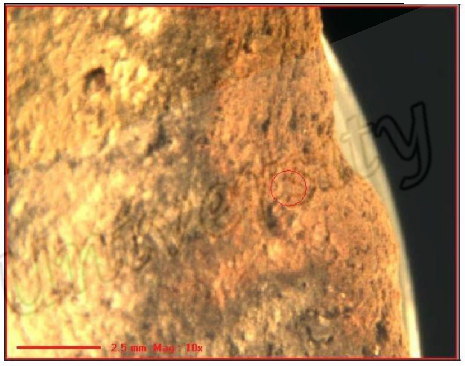
BD 9

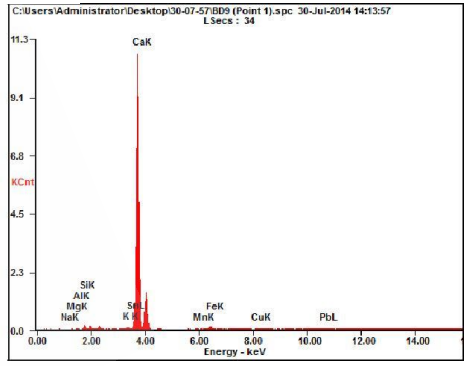
Point 1

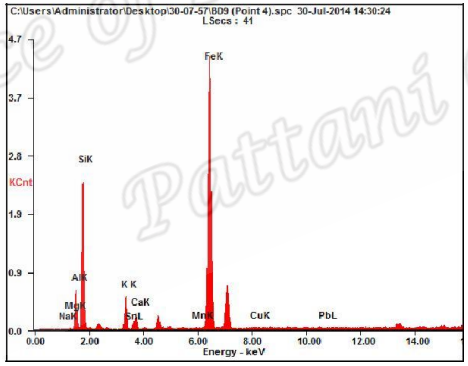




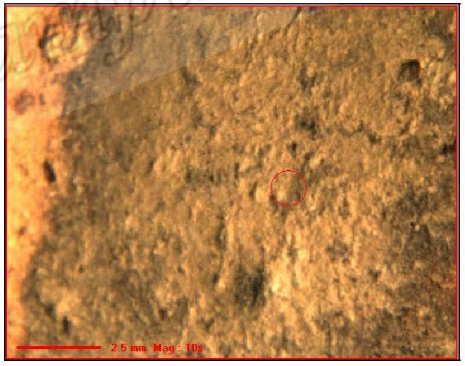
Point 3

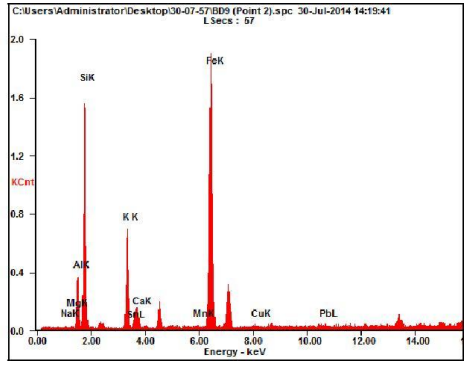






Point 2



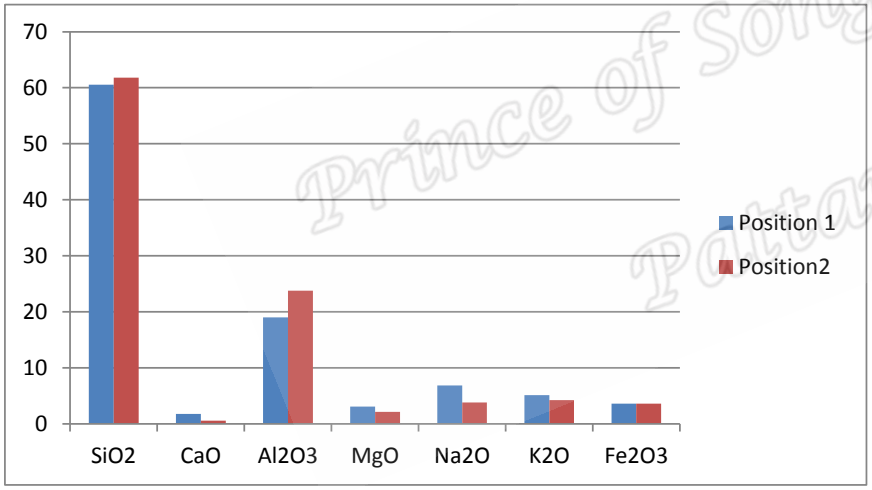


Point 4

ตัวอย่างที่ 10 รหัส BD 10

ตารางที่ 10 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษภาชนะดินเผา BD 10

Sample	องค์ประกอบธาตุ (% Concentration)									
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO_2
BD10										
Position 1 ด้านหน้า	6.83	3.07	19.02	60.52	5.13	1.78	0.04	3.59	0.01	0.02
Position 2 ด้านหลัง	3.82	2.13	23.78	61.81	4.23	0.55	0.03	3.60	0.01	0.02
Position 3 เนื้อ ภาคตัดขวาง	2.15	2.52	21.90	62.31	3.92	3.02	0.03	4.10	0.03	0.03

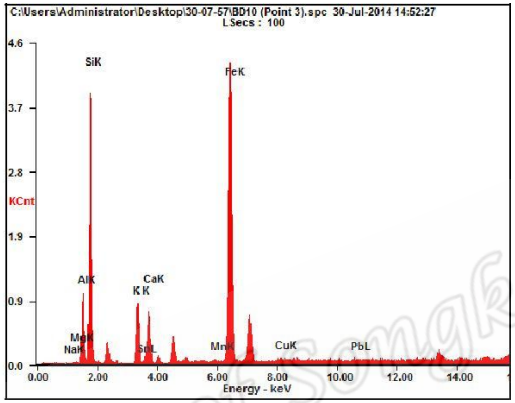


แผนภูมิที่ 10องค์ประกอบธาตุหลัก BD 10

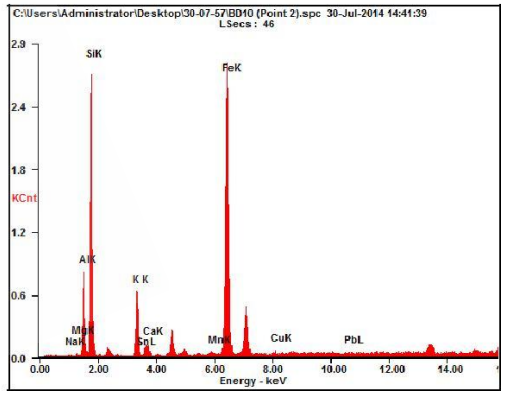
Prince of Songkla University Pattani Campus

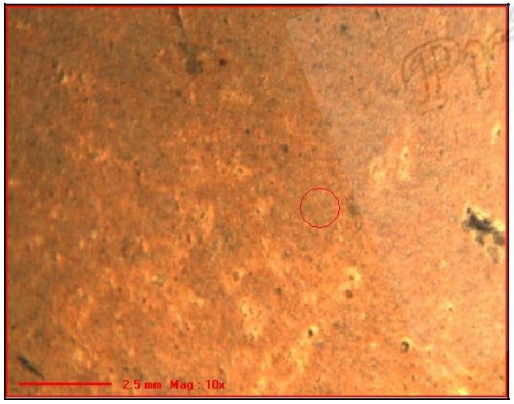
BD 10

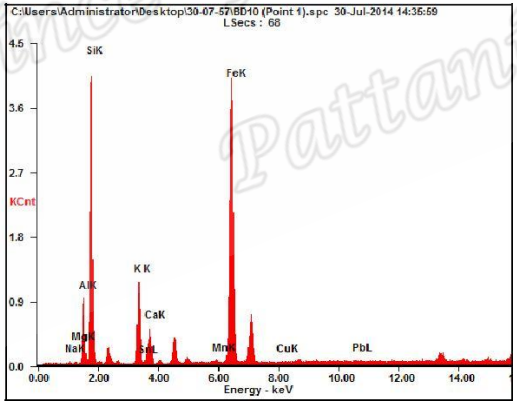
Point 1



Point 3







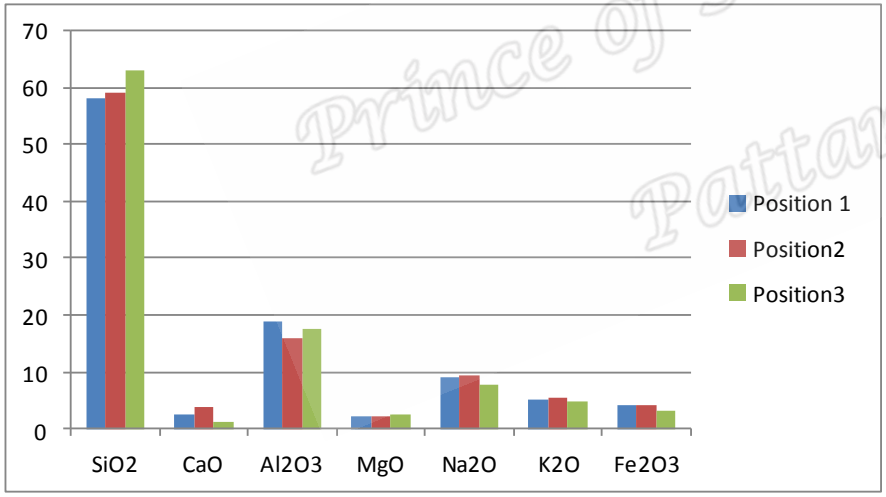
Point 2

Prince of Songkla University Pattani Campus

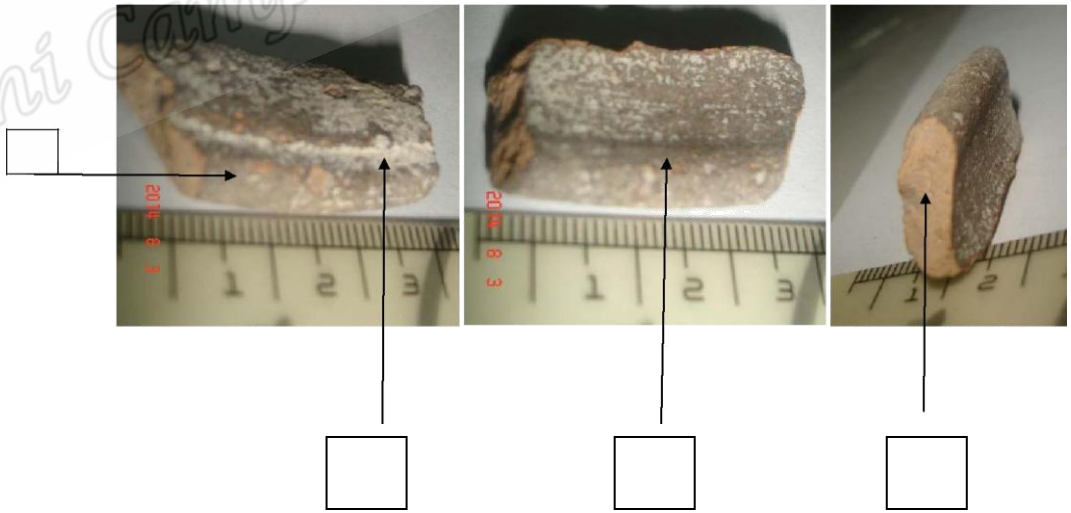
ตัวอย่างที่ 11 รหัส BD 11

ตารางที่ 11 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเศษภาชนะดินเผา BD 11

Sample	องค์ประกอบธาตุ (% Concentration)									
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	Fe_2O_3	CuO	PbO_2
BD11										
Position 1 ด้านหน้า เนื้อสีเข้ม	9.00	2.11	18.84	58.21	4.99	2.55	0.04	4.23	0.01	0.01
Position 2 ด้านหน้า เนื้อสีขาว	9.22	2.13	15.81	59.25	5.49	3.79	0.06	4.20	0.02	0.02
Position 3 ด้านหลัง	7.70	2.63	17.46	62.91	4.71	1.23	0.09	3.25	0.01	0.01
Position 4 เนื้อ ภาคตัดขวาง	4.82	2.99	19.91	62.38	4.06	1.57	0.04	4.18	0.01	0.03



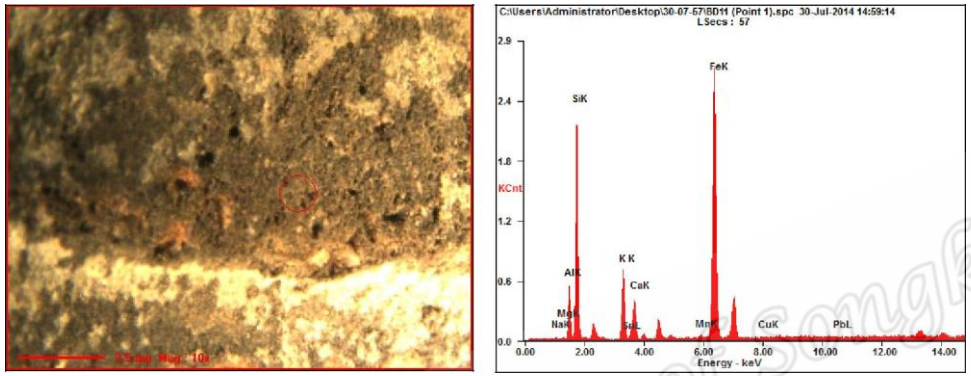
แผนภูมิที่ 11 องค์ประกอบธาตุหลัก BD11



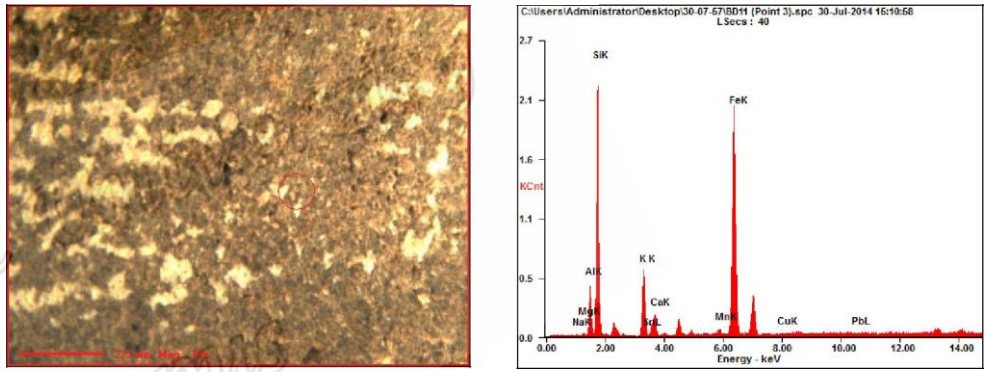
Prince of Songkla University Pattani Campus

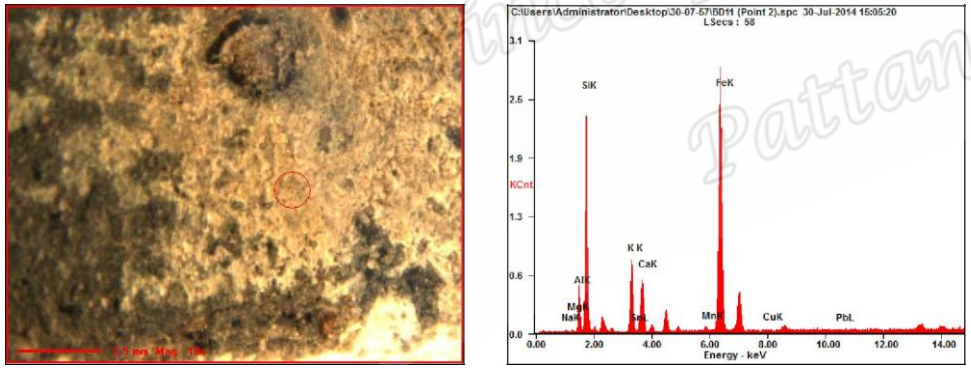
BD 11

Point 1



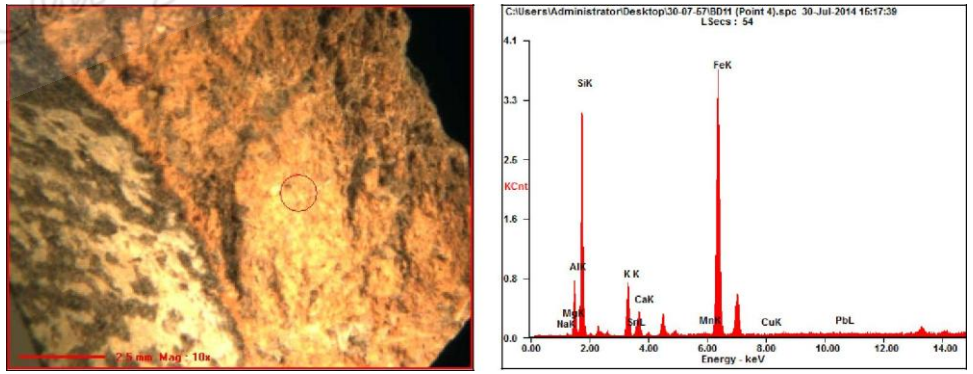
Point 3





Point 2

Point 4



ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุหลัก

องค์ประกอบธาตุในเนื้อดินที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี SEM-EDS จากตัวอย่างทั้ง 11 ชิ้นจะถูกวิเคราะห์ออกมาเป็นอัตราส่วนร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์เพื่อความสะดวกในการอ่านค่าปริมาณ การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี ทำให้ทราบถึงวัตถุดิบในการทำภาชนะดินเผาในสมัยโบราณว่ามีองค์ประกอบธาตุชนิดใดบ้าง หรือมีธาตุประกอบอย่างอื่นปะปนอยู่ในดินหรือไม่ ซึ่งโดยปกติแล้ว ดินที่ใช้ทำภาชนะดินเผาจะมีองค์ประกอบทางเคมีหลักๆ คือ SiO_2, Al_2O_3, K_2O, Na_2O, MgO, CaO และ Fe_2O_3 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ซิลิก้า เป็นวัตถุดิบจำพวกทราย ควอรตซ์ ถือเป็นวัตถุดิบแรกเริ่มในการผลิตภาชนะดินเผา (ส่วนสารประกอบของออกไซด์และซิลิก้า รวมตัวเป็นสูตรทางเคมี คือ SiO_2) เนื่องจากนิยมใช้ผสมในเนื้อดินเพื่อให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีความคงทนแข็งแรง ไม่โค้งงอ หดตัวน้อย จากตัวอย่างทั้ง 11 ชิ้น แสดงให้เห็นว่า SiO_2 อยู่ระหว่าง 54.04-65.56 % จัดว่าดินที่นำมาใช้ทำภาชนะดินเผาของเตาบ้านดี เป็นดินประเภท “Siliceous Clay” เนื่องจากมีซิลิก้ามากกว่า 60 % แสดงให้เห็นว่าเป็นดินที่มีทรายปนอยู่ค่อนข้างมาก

2. โปแตสเซียม (K_2O) และโซเดียม (Na_2O) เป็นอัลคาไลน์ แร่ที่พบได้แก่ เฟลด์สปาร์ (Feldspar) หรือ หินฟันม้า นิยมใส่ในเนื้อดิน ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการหลอมเหลวที่อุณหภูมิที่ต่ำ ทำให้เผาสุกเร็วขึ้น จึงทำให้ลดเวลาและลดเชื้อเพลิง หากใช้ผสมกับเนื้อดินจะช่วยลดจุดสุกตัวของภาชนะดินเผาให้ต่ำลง แต่หากใช้ผสมในน้ำยาเคลือบจะเป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลายของน้ำยาเคลือบได้ อย่างไรก็ดี สารประกอบอัลคาไลน์ส่วนมากมักไม่มีความเหนียว ดังนั้น มักจะไปลดความเหนียวตอนเปียกของเนื้อดินและลดความแข็งแรงตอนแห้งของเนื้อดิน ถ้าผสมอยู่ในปริมาณมาก จะทำให้ไม่สามารถเผาในอุณหภูมิสูงเกิน 1,150 องศาเซลเซียส และจะทำให้ภาชนะดินเผาที่ได้มีความแกร่งน้อย หรือแตกเสียหายได้ง่าย มีความพรุนตัวสูงและดูดซึมน้ำได้[21] จากตัวอย่างทั้ง 11 ชิ้น พบโปแตสเซียมอยู่ระหว่าง 3.12-6.99% ในขณะที่โซเดียมอยู่ที่ 1.55-11.96 % ไม่พบว่าเป็นสารประกอบที่เติมเข้ามา มีความเป็นไปได้ว่า มีอยู่ดั้งเดิมในเนื้อดินที่เอามาทำภาชนะดินเผาอยู่แล้ว

3. แคลเซียม (CaO) ส่วนใหญ่แล้วมักจะพบแคลเซียมในหินปูน ถ้ามีแคลเซียมอยู่ในเนื้อดินที่นำมาทำเป็นภาชนะดินเผาในปริมาณมาก หลังการเผา จะทำให้สีภาชนะเป็นสีออกเหลือง อย่างไรก็ดี แม้จะปรากฏปริมาณของแคลเซียม หรือ CaO ภายในภาชนะดินเผาทั้ง 11 ตัวอย่าง แต่การที่ปริมาณของแคลเซียมออกไซด์น้อยกว่า 6 % แสดงให้เห็นว่า เนื้อดินที่นำมาใช้ทำภาชนะดินเผาเป็นเนื้อดินที่ปราศจากหินปูนแทรกอยู่โดยธรรมชาติ[22]

---

[21] ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. อ้างแล้ว, 277.

[22] Maniatis and Tite. “ Technological Examination of Neolithic-Bronze Age Pottery from Central and Southeast Europe and from the Near East” **Journal of archaeological Science** 1981, 61.

4. อลูมินา (Al_2O_3) เป็นธาตุที่มีอยู่ในดินอยู่แล้ว อีกทั้งยังมีอยู่ในเฟลด์สปาร์และไมก้า ส่วนมากมักจะหลอมได้ ส่วนพวกอลูมินาอิสระจะพบในแร่ดินบางชนิดที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดของแร่บอกไซด์ (Bauxite) ผลของอลูมินาอิสระจะทำให้ลดความเหนียวของเนื้อดิน เพราะตัวอลูมินาไม่มีความเหนียว และเนื้อดินมีความทนไฟมากขึ้น เมื่อใช้อลูมินาไฮเดรทผสม[23] จากตัวอย่างทั้ง 11 ชิ้นพบ อลูมินาอยู่ระหว่าง 14.60-25.35 % และเป็นธาตุที่อยู่ในดินอยู่แล้ว

5. เหล็ก (Fe_2O_3) ในการทำภาชนะดินเผา เหล็กเป็นธาตุที่สำคัญ เพราะเป็นตัวทำให้เกิดสี ปริมาณของเหล็กในวัตถุดิบถ้าสูงเกินร้อยละหนึ่ง จะทำให้เกิดมีสีได้ โดยเมื่อผสมลงในเนื้อดินจะทำให้เนื้อดินออกเป็นสีน้ำตาล ถ้าเหล็กมีปริมาณมากกว่า 1.2 % ภาชนะดินเผานั้นจะมีสีออกแดง[24] อย่างไรก็ดีตามปกติแล้ว เหล็กมีอยู่ในดินทั่วไปอยู่แล้ว โดยอาจจะอยู่ในรูปของ Hematite (Fe_2O_3) จะทำให้ดินมีสีแดง ถ้าเป็น Limonite ($FeO(OH)\cdot nH_2O$) จะทำให้ดินมีสีเหลือง หรือสีน้ำตาล จากตัวอย่างทั้ง 11 ชิ้น มีเหล็กอยู่ระหว่าง 3.07-6.27% จึงทำให้เศษภาชนะดินเผามีตั้งแต่สีน้ำตาล สีน้ำตาลแดง จนถึงสีเหลืองอมเทา

เพื่อให้เข้าใจถึงสภาพดินที่นำมาใช้ในการทำภาชนะดินเผาในภาคใต้ว่ามีลักษณะอย่างไร จึงจะขอนำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินจาก 4 แหล่งต่างๆในภาคใต้ที่นำมาทำภาชนะดินเผา มาแสดงประกอบเพื่อนำมาใช้พิจารณาร่วมกันกับการวิเคราะห์เนื้อดินจากเตาบ้านดีในภายหลัง ดังนี้[25]

1. ดินบ้านสทิงหม้อ ตำบลสทิงหม้อ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ใช้สำหรับผลิเครื่องปั้นดินเผาของแหล่งหัตถกรรมบ้านสทิงหม้อ ดินที่ได้จากพื้นที่บ้านสทิงหม้อเป็นดินเนื้อละเอียดมาก มีความเหนียว ดินดิบมีสีเทาอมเหลือง ในการนำมาทำผลิตภัณฑ์ได้มีการผสมวัสดุที่ไม่มีความเหนียว ได้แก่ทราย แล้วนามาปั้นเป็นเครื่องใช้ในครัวเรือน ดินจากแหล่งนี้ถูกใช้เป็นวัตถุดิบสาหรับเครื่องปั้นดินเผามาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

2. ดินบ้านบ่อขาด ตำบลป่าขาด อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ดินดิบมีสีเทาเหลือง

3. ดินบ้านทุ่งน้ำเค็ม ตำบลโมคลาน อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาบ้านมะยิงและโรงงานอิฐในเขตอาเภอท่าศาลา ในปัจจุบันจะมีการนำดินไปใช้อย่างแพร่หลาย ดินมีความละเอียดมากและมีกากค้างตะแกรงต่ำ เมื่อแห้งมีความแข็งแรงสูง

---

[23] ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์, อ้างแล้ว. 56.

[24] ผาสุข อินทราวุธ. **ดรรชนีภาชนะดินเผาสมัยทวารวดี**. (กรุงเทพมหานคร : กรุงสยามการพิมพ์, 2528), 7-8.

[25] ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล และคณะ. **โครงการยกระดับคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดย่อมในภูมิภาค** (กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546),

4. ดินบ้านศาลาบางปู ตำบลปากพูน อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นดินอีกแหล่งหนึ่งที่ใช้เป็นวัตถุดิบของกลุ่มเครื่องปั้นดินเผาบ้านมะยิงและโรงอิฐ เช่นเดียวกับดินจากพื้นที่บ้านทุ่งน้าเค็ม เป็นดินที่มีทรายปนมากกว่าดินบ้านทุ่งน้ำเค็ม

แหล่งดิน	**องค์ประกอบธาตุ (% Concentration)**								
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	LOI (Loss on Ignition)
1. ดินบ้านสทิงหม้อ	1.65	1.03	18.49	64.23	2.24	0.10	0.95	3.67	7.19
2. ดินบ้านบ่อขาด	0.79	1.10	21.52	61.57	2.02	0.11	0.95	3.30	8.34
3. ดินบ้านทุ่งน้ำเค็ม	0.43	1.20	20.08	60.67	2.23	0.13	0.89	6.54	7.63
4. ดินบ้านศาลาบางปู	0.27	0.78	21.04	63.85	2.20	0.06	0.95	2.74	7.93

ตารางที่ 12 องค์ประกอบทางเคมีของดินจากแหล่งต่างๆในภาคใต้

Prince of Songkla University Pattani Campus