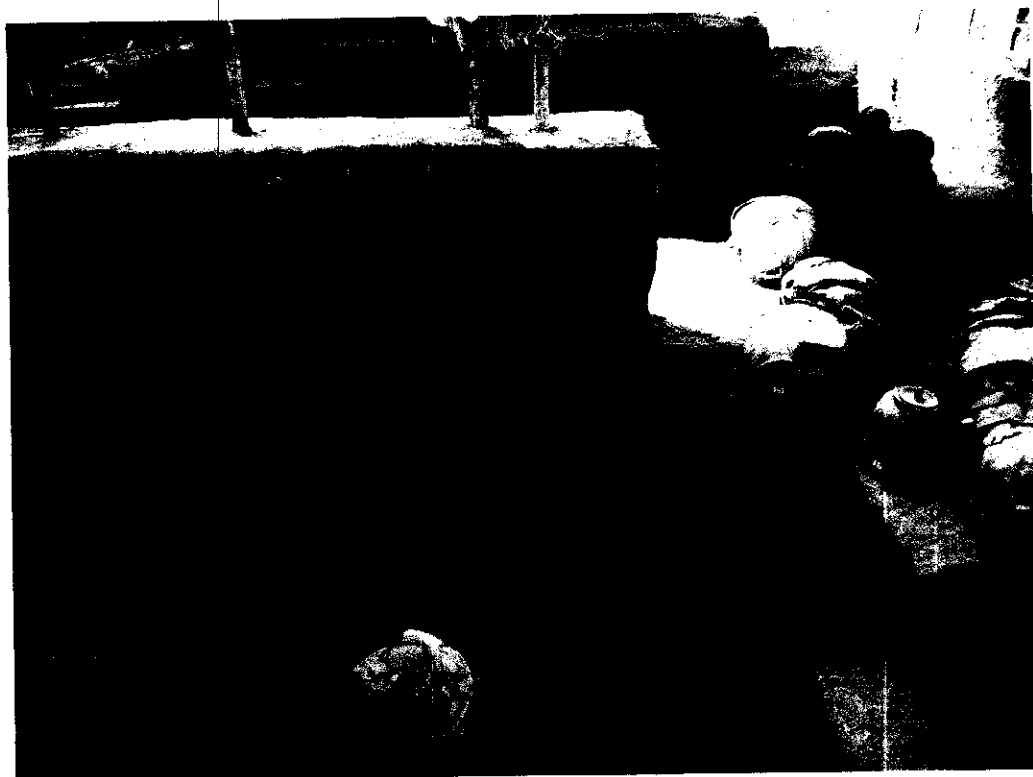


การศึกษาภาษาถิ่นในสมัยก่อนประวัติศาสตร์ของวัฒนธรรมทุ่งกุลาร้องไห้  
ด้วยเทคนิคการเรียงรังสีเอกซ์และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์



โดย

ผศ. เรวัตน์ เหล่าไพบูลย์

น.ส. สุกัญญา เบาเน็ค

ผศ. จินตนา เหล่าไพบูลย์

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานงบประมาณแผ่นดิน  
ปีงบประมาณ 2546

## บทคัดย่อ

ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพของภาชนะดินเผาโบราณจากแหล่งขุดค้นโบราณคดี บริเวณทุ่งกุลาร้องไห้ ที่บ้านโพนเงินและบ้านเมืองบัว ตำบลเมืองบัว อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด ที่ระดับความลึกจากผิวดินถึงระดับ 650 เซนติเมตรจากระดับอ้างอิง จำนวน 86 ตัวอย่าง พบว่า มีลักษณะแตกต่างจากภาชนะดินเผาในกลุ่มวัฒนธรรมอื่น ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลทางโบราณคดีที่เรียกภาชนะดินเผา กลุ่มนี้ว่า แบบร้อยเอ็ด ตัวอย่างภาชนะดินเผาถูกนำมาบด และวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นจะได้รายละเอียดมากกว่าเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน ในการปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นตัวอย่างภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัวมีธาตุ โซเดียม 0.05-0.15, แมกนีเซียม 0.06-0.22, อลูมิเนียม 10.44-17.63, ซิลิกอน 27.10-34.05, ฟอสฟอรัส 0.22-4.91, โพแทสเซียม 0.16-0.74, แคลเซียม 0.08-1.34, ไทเทเนียม 0.49-0.89, เหล็ก 1.51-3.08, สตรอนเชียม 0.002-0.03, เซอร์โคเนียม 0.02-0.26 และ ออกซิเจน 49.94-53.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวอย่างภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดีบ้านโพนเงินมีธาตุ แมกนีเซียม 0.06-0.10, อลูมิเนียม 5.39-9.83, ซิลิกอน 27.40-34.69, ฟอสฟอรัส 0.09-2.84, คลอรีน 0.08-0.22, โพแทสเซียม 0.48-1.47, แคลเซียม 0.54-3.19, ไทเทเนียม 0.22-2.57, เหล็ก 3.86-12.78, สตรอนเชียม 0.02-1.10, เซอร์โคเนียม 0.02-0.27 และออกซิเจน 46.21-49.84 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และจากการศึกษาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ พบว่า ทุกตัวอย่างมีองค์ประกอบของ ควอตซ์ ที่มีโครงสร้างเป็น แบบ Hexagonal จากการหาอายุโบราณวัตถุจากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัวโดยวิธี TL Dating ได้เท่ากับ  $2848 \pm 90$  ปี

## บทคัดย่อ

ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพของภาชนะดินเผาโบราณจากแหล่งขุดค้นโบราณคดี บริเวณทุ่งกุลาร้องไห้ ที่บ้านโพนเงินและบ้านเมืองบัว ตำบลเมืองบัว อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด ที่ระดับความลึกจากผิวดินถึงระดับ 650 เซนติเมตรจากระดับอ้างอิง จำนวน 86 ตัวอย่าง พบว่า มีลักษณะแตกต่างจากภาชนะดินเผาในกลุ่มวัฒนธรรมอื่น ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลทางโบราณคดีที่เรียกภาชนะดินเผา กลุ่มนี้ว่า แบบร้อยเอ็ด ตัวอย่างภาชนะดินเผาถูกนำมาบด และวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นจะได้รายละเอียดมากกว่าเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน ในการปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่นตัวอย่างภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัวมีธาตุ โซเดียม 0.05-0.15, แมกนีเซียม 0.06-0.22, อลูมิเนียม 10.44-17.63, ซิลิกอน 27.10-34.05, ฟอสฟอรัส 0.22-4.91, โพแทสเซียม 0.16-0.74, แคลเซียม 0.08-1.34, ไทเทเนียม 0.49-0.89, เหล็ก 1.51-3.08, สตรอนเชียม 0.002-0.03, เซอร์โคเนียม 0.02-0.26 และ ออกซิเจน 49.94-53.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวอย่างภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดีบ้านโพนเงินมีธาตุ แมกนีเซียม 0.06-0.10, อลูมิเนียม 5.39-9.83, ซิลิกอน 27.40-34.69, ฟอสฟอรัส 0.09-2.84, คลอรีน 0.08-0.22, โพแทสเซียม 0.48-1.47, แคลเซียม 0.54-3.19, ไทเทเนียม 0.22-2.57, เหล็ก 3.86-12.78, สตรอนเชียม 0.02-1.10, เซอร์โคเนียม 0.02-0.27 และออกซิเจน 46.21-49.84 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และจากการศึกษาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ พบว่า ทุกตัวอย่างมีองค์ประกอบของ ควอตซ์ ที่มีโครงสร้างเป็น แบบ Hexagonal จากการหาอายุโบราณวัตถุจากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัวโดยวิธี TL Dating ได้เท่ากับ  $2848 \pm 90$  ปี

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่กรุณาให้การสนับสนุนโครงการวิจัยนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ คุณวิเชียร ผิวบาง ผู้ช่วยโครงการวิจัย ในด้านการทำวิจัยและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์นี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 สถานที่ทดลอง	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 การเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence: XRF)	3
2.1.1 การเรืองรังสีเอกซ์โดยการกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Fluorescence: EDX)	4
2.1.2 การเรืองรังสีเอกซ์โดยการกระจายความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence: WDX)	4
2.2 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction: XRD)	5
2.3 ทฤษฎีการรับพลังงานของอะตอม	6
2.4 ทฤษฎีการหาอายุโบราณวัตถุโดยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermoluminescence dating)	8
2.5 แหล่งที่ตั้งของโบราณคดีและที่มาของตัวอย่าง	8
2.6 แหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัว	10
2.7 แหล่งโบราณคดีบ้านโพเงิน	11
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	12
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	12
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลองด้วยเทคนิค XRF และ XRD	15
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง TL Dating	15
3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง TL Dating	19
3.5 วิธีการทดลอง	19

สารบัญต่อ		หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง		21
4.1	ศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างภาชนะดินเผา	21
4.2	ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	39
4.3	ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วย XRF ระบบ EDX	39
4.4	การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วย XRF ระบบ WDX	41
4.5	ผลการทดลองหาอายุโบราณวัตถุประเภทภาชนะดินเผาด้วย TL Dating	46
4.5.1	ผลการศึกษาผลึกควอตซ์ที่แยกได้โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	46
4.5.2	ผลการศึกษา grow curve ของผลึกควอตซ์	47
4.5.3	ผลการวัดปริมาณรังสีสะสมในผลึกควอตซ์ (accumulated radiation dose)	48
4.5.4	ผลจากการหาอัตราการปลดปล่อยรังสีจากหลุมขุดค้น (annual radiation dose)	48
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง		50
บรรณานุกรม		51

## สารบัญตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของภาชนะดินเผาชุดที่ 1	21
ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างภาชนะดินเผาชุดที่ 2 จากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัว ซึ่งนำไปวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วย XRF ระบบ WDX	22
ตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างภาชนะดินเผาชุดที่ 2 จากแหล่งโบราณคดีบ้านโพเงิน ซึ่งนำไปวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วย XRF ระบบ WDX	31
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX	39
ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของตัวอย่างภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัวด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ WDX	41
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของตัวอย่างภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดีบ้านโพเงินด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ WDX	43
ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของควอตซ์ที่เตรียมได้กับ SiO <sub>2</sub> (PDF NO.46-1045)	47
ตารางที่ 8 แสดงสัญญาณแสงของผลึกควอตซ์ที่อาบรังสีแกมมาปริมาณต่างๆ	48
ตารางที่ 9 ค่าสัญญาณแสงของผลึก CaSO <sub>4</sub> (Dy) ที่นำไปอาบรังสีที่ปริมาณต่างๆ	49

## สารบัญรูปประกอบ

	หน้า
รูปที่ 1 : การเรืองรังสีเอกซ์	3
รูปที่ 2 : แสดงส่วนประกอบของระบบ EDX	4
รูปที่ 3 : แสดงส่วนประกอบของระบบ WDX	5
รูปที่ 4 : การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ด้วยผลึก	5
รูปที่ 5 : แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอม TL materials เมื่อได้รับรังสี	7
รูปที่ 6 : แผนภาพบริเวณพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัดในภาคอีสาน	9
รูปที่ 7 : พื้นที่แหล่งโบราณคดีบริเวณทุ่งกุลาร้องไห้	10
รูปที่ 8 : แผนที่ขอบเขตทุ่งกุลาร้องไห้ในเขตจังหวัดร้อยเอ็ด	11
รูปที่ 9 : เครื่อง X-ray Fluorescence ยี่ห้อ Philips	12
รูปที่ 10 : เครื่อง X-ray Diffraction ยี่ห้อ Philips รุ่น X'pert	13
รูปที่ 11 : เครื่องอัด (Hydraulic press) ยี่ห้อ Philips รุ่น PW 4020/00 ขนาด 25 ตัน	13
รูปที่ 12 : เครื่องชั่งดิจิตอล (Digital) ยี่ห้อ Precisa รุ่น 40SM-200A	14
รูปที่ 13 : เครื่องร่อน (Laboratory Test Sieve) ยี่ห้อ Retsch รุ่น AS200 digit	14
รูปที่ 14 : เครื่องบดสาร (Ball mill)	15
รูปที่ 15 : Annealing furnace ยี่ห้อ Vecstar รุ่น LFS	16
รูปที่ 16 : เครื่อง Centrifuge	16
รูปที่ 17 : ตู้ควัน	17
รูปที่ 18 : ป้อนดูอากาศและชุดเครื่องกรองสารเคมี	17
รูปที่ 19 : บีกเกอร์, ขวดรูปชมพู่และเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง	17
รูปที่ 20 : เครื่องอ่าน TLD ของบริษัท Harshaw Model 3500	18
รูปที่ 21 : เครื่องดูดผงผลึก	18
รูปที่ 22 : Hot plate and stirer	18
รูปที่ 23 : สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	19
รูปที่ 24 : ตัวอย่างสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโบราณวัตถุตัวอย่างที่ 1	39
รูปที่ 25 : แสดงตัวอย่างสเปกตรัมการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX จากตัวอย่างภาชนะดินเผาที่ 18	40
รูปที่ 26 : ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 ด้วยเครื่อง XRF	44
รูปที่ 27 : ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 ด้วยเครื่อง XRF	44



# สารบัญรูปประกอบต่อ

	หน้า
รูปที่ 28 : ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 ด้วยเครื่อง XRF	44
รูปที่ 29 : ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 ด้วยเครื่อง XRF	45
รูปที่ 30 : ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 ด้วยเครื่อง XRF	45
รูปที่ 31 : ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 ด้วยเครื่อง XRF	46
รูปที่ 32 : แสดง grow curve ของผลิตภัณฑ์ที่แยกได้	47
รูปที่ 33 : Calibration curve ของสัญญาณแสงจากควอทซ์	48
รูปที่ 34 : Calibration curve ของสัญญาณแสงจาก $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$	49

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การศึกษาวัฒนธรรมของกลุ่มคนในอดีต นักโบราณคดีพยายามรวบรวมหลักฐานที่ยังหลงเหลืออยู่จากการสำรวจและขุดค้นขึ้นส่วนวัตถุโบราณตามบริเวณต่างๆ ที่เป็นชุมชนโบราณ เช่น คันพบโครงกระดูก ภาชนะดินเผา เครื่องมือเครื่องใช้ เครื่องประดับ อาวุธของคนในสมัยโบราณ มาศึกษาลักษณะลวดลายภายนอก ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ร่วมกับสำนักงานโบราณคดีและสำนักงานศิลปากรที่ 11 อุบลราชธานี ในการศึกษาได้วิเคราะห์ชิ้นส่วนของภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดีทุ่งกุลาร้องไห้ในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นเทคนิควิเคราะห์ที่มีความรวดเร็วมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างน้อย นอกจากนี้ยังได้หาอายุโบราณวัตถุประเภทภาชนะดินเผาด้วยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ด้วย

#### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 วิเคราะห์เชิงคุณภาพของโบราณวัตถุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์
- 1.2.2 วิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณของโบราณวัตถุด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์
- 1.2.3 หาอายุโบราณวัตถุด้วยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

#### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 วิเคราะห์เชิงคุณภาพของตัวอย่างโบราณวัตถุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์
- 1.3.2 วิเคราะห์ตัวอย่างโบราณวัตถุจากแหล่งโบราณคดีทุ่งกุลาร้องไห้ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ เพื่อหาองค์ประกอบของธาตุทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ
- 1.3.3 หาอายุตัวอย่างโบราณวัตถุประเภทภาชนะดินเผาโดยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์

#### 1.4 สถานที่ทดลอง

- 1.4.1 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- 1.4.2 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- 1.4.3 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- 1.4.4 ศูนย์มะเร็ิงเขต 7 จังหวัดอุบลราชธานี
- 1.4.5 แหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัวและบ้านโนนเงิน อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 เพื่อเป็นแนวทางในการนำกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในทางโบราณคดี
- 1.5.2 ได้ฐานข้อมูลทางโบราณคดีจากการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์เพื่อเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบกับแหล่งโบราณคดีที่อยู่ในภูมิภาคเดียวกันและในระดับประเทศ
- 1.5.3 เป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานศิลปากรและพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ ต่างๆ

## บทที่ 2

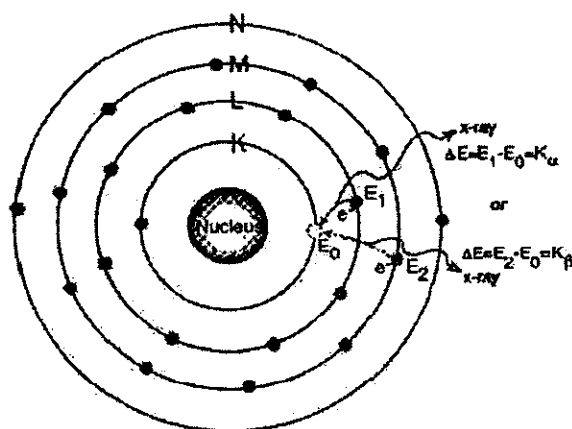
### ทฤษฎี

#### 2.1 การเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence: XRF)

เมื่ออิเล็กตรอนถูกกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์เริ่มแรก (Primary X-ray) ทำให้อิเล็กตรอนจากวงโคจรชั้นใน (ชั้น K หรือชั้น L) มีพลังงานสูงกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอมแล้วหลุดออกไปจากวงโคจร จะทำให้เกิดช่องว่างขึ้น อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นนอกซึ่งมีพลังงานสูงกว่าก็จะเข้ามาแทนที่ในช่องว่างนั้น พร้อมปลดปล่อยพลังงานส่วนหนึ่งออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่ารังสีเอกซ์เรือง (fluorescence x-ray) และเรียกกระบวนการนี้ว่า การเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence) ดังแสดงในรูปที่ 1

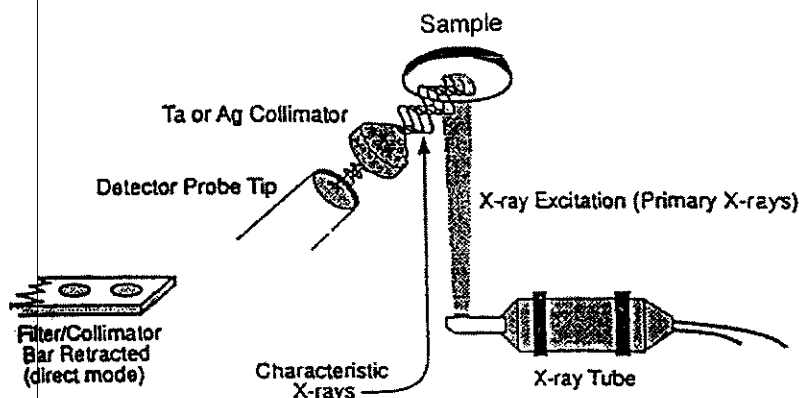
X-ray fluorescence เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive analysis) สามารถทำได้ทั้งวิเคราะห์ธาตุเดี่ยวๆ ที่ละธาตุหรือวิเคราะห์หลายธาตุพร้อมกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ทันสมัย มีความสามารถสูง ได้นำมาใช้ในระบบประมวลผลข้อมูล ช่วยทำให้เทคนิคนี้ได้รับความนิยมมากขึ้นทั้งในด้านอุตสาหกรรมและการวิจัย และสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ได้แทบทุกชนิดของสารตัวอย่างในระดับความเข้มข้นสูงถึงระดับความเข้มข้นต่ำ ซึ่งวิเคราะห์ได้ง่ายและรวดเร็ว

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง XRF มีอยู่ด้วยกัน 2 ระบบ คือ ระบบวัดพลังงาน (Energy Dispersive X-ray: EDX) และระบบวัดความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive X-ray: WDX)



รูปที่ 1: การเรืองรังสีเอกซ์

### 2.1.1 การเรืองรังสีเอกซ์โดยการกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Fluorescence: EDX)



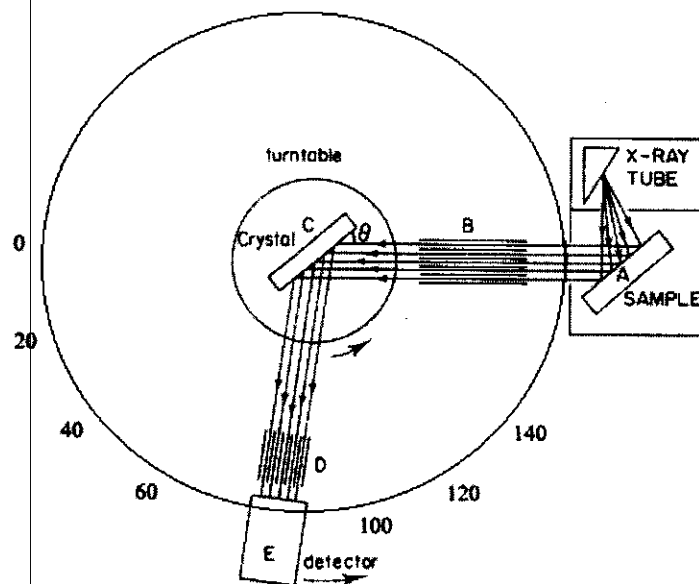
รูปที่ 2: แสดงส่วนประกอบของระบบ EDX

รังสีเอกซ์เฉพาะจากตัวอย่างปลดปล่อยรังสีปฐมภูมิเข้าไปในหัววัดที่ต่ออยู่กับระบบ amplifier โดยหัววัดจะหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวเพื่อลดสัญญาณรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์และให้ resolution เหมาะสมที่สุด โดยหัววัดนี้จะเปลี่ยนพลังงานของรังสีเอกซ์เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งขนาดของสัญญาณไฟฟ้านี้จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับระดับพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เข้าไปในหัววัด สัญญาณที่เข้าไปจะถูกเปลี่ยนจากสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล เครื่อง MCA (Multichannel analyzer) จะเก็บสัญญาณไฟฟ้าไว้ในหน่วยความจำที่อยู่ภายในเครื่องและสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้หลายแบบ เช่น จอภาพ เครื่องพิมพ์ดิจิทัล เครื่องบันทึก X-Y และเครื่องคอมพิวเตอร์

### 2.1.2 การเรืองรังสีเอกซ์โดยการกระจายความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence: WDX)

ระบบนี้อยู่บนพื้นฐานการวัดความยาวคลื่นและความเข้มรังสีเอกซ์เรืองจากตัวอย่าง ส่วนสำคัญของการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับผิวหน้าของตัวอย่างที่วิเคราะห์เนื่องจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิทะลุทะลวงได้ 2-3 ไมครอน สำหรับธาตุหนัก เช่น ทองและตะกั่วได้ประมาณ 0.5 มิลลิเมตร สำหรับธาตุเบา เช่น อลูมิเนียม ส่วนประกอบของเครื่องดังแสดงในรูปที่ 3 ดังนี้

- 2.1.2.1 Sample chamber สำหรับใส่ตัวอย่างโดยรังสีเอกซ์ปฐมภูมิกระตุ้นตัวอย่างบริเวณนี้
- 2.1.2.2 monochromater สำหรับแยกรังสีเอกซ์เรือง
- 2.1.2.3 หัววัดและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

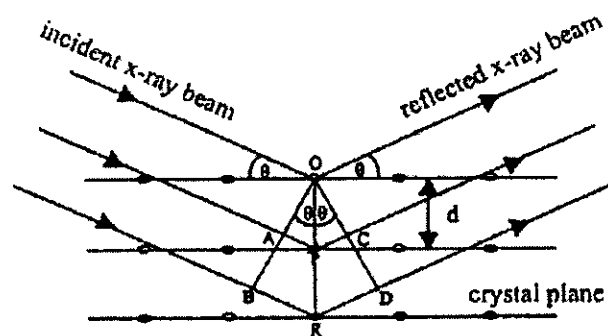


รูปที่ 3: แสดงส่วนประกอบของระบบ WDX

จากรูปรังสีเอกซ์ปฐมภูมิจากหลอดรังสีกระตุ้นตัวอย่าง ทำให้เกิดรังสีเอกซ์เรืองเฉพาะธาตุในตัวอย่างแล้วถูก collimate ด้วยระบบสลิตไปยังผลึก โดยผลึกจะติดอยู่บนแท่นหมุนขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ เมื่อผลึกหมุนมุมของรังสีเอกซ์จะเปลี่ยนไปเป็นมุม  $\theta$  ตามสมการ Bragg คือ  $2d \sin \theta = n\lambda$  รังสีเอกซ์จะสะท้อนออกจากผลึกผ่าน collimate ด้วยสลิตเข้าสู่หัววัด เนื่องจากหัววัดและแท่นหมุนที่ผลึกติดอยู่จะหมุนพร้อมๆ กัน เมื่อผลึกหมุนเป็นมุม  $\theta$  หัววัดจะหมุนเป็นมุม  $2\theta$  ทำให้หัววัดอยู่ในตำแหน่งรับรังสีสะท้อนจากผลึกเสมอ

## 2.2 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction: XRD)

เมื่อลำรังสีเอกซ์ตกกระทบผิวหน้าของผลึก โดยทำมุม  $\theta$  บางส่วนของรังสีเอกซ์จะเกิดการกระเจิงด้วยชั้นของอะตอมที่ผิวหน้า อีกส่วนหนึ่งของลำรังสีเอกซ์จะผ่านไปยังชั้นที่ 2 ของอะตอม ซึ่งบางส่วนก็เกิดการกระเจิงและส่วนที่เหลือก็จะผ่านเข้าไปยังชั้นที่ลึกลงไปของอะตอม ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4: การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ด้วยผลึก

ถ้าอะตอมในผลึกมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและห่างเท่าๆ กัน การเลี้ยวเบนนี้ก็มีลักษณะคล้ายกับการเลี้ยวเบนด้วยเกรตติ้งแบบสะท้อน (reflection grating) สิ่งสำคัญในการเกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ขึ้นอยู่กับสภาวะ 2 ประการ คือ

2.2.1 รังสีที่ตกกระทบ รังสีเลี้ยวเบนและเส้นตั้งฉากกับผิวหน้าจะต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน

2.2.2 ระยะห่างระหว่างชั้นของอะตอมควรมีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

เมื่อปี ค.ศ. 1912 W.L. Bragg ได้ใช้ลำรังสีเอกซ์แคบๆ ให้กระทบผิวหน้าผลึกเป็นมุม  $\theta$  เพื่อให้เกิดการเลี้ยวเบนและการกระเจิง เมื่อเกิดอันตรกิริยากับอะตอมที่ O, P และ R จากรูปที่ 4 ถ้า

$$AP + PC = n\lambda \quad (1)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนเต็ม

รังสีที่กระเจิงอยู่ในเฟส (phase) ที่ OCD ผลึกที่จะทำหน้าที่สะท้อนรังสีเอกซ์ จะได้ค่า

$$AP + PC = 2d \sin \theta \quad (2)$$

เมื่อ  $d$  คือ ระยะห่างระหว่างชั้นของผลึก

ดังนั้นจากสมการ (1) และ (2) อาจเขียนใหม่ได้ว่า เมื่อคลื่นแสงเกิดการแทรกสอดแบบเสริม (constructive interference) ที่มุม  $\theta$  ได้เป็น

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3)$$

สมการนี้เรียกว่า Bragg equation รังสีเอกซ์จะเกิดการสะท้อนจากผลึกได้ที่มุมตกกระทบเป็นไปตามสมการที่ (4) ส่วนมุมอื่นๆ จะเกิดการหักล้างกัน (destructive interference)

$$\sin \theta = \frac{n\lambda}{2d} \quad (4)$$

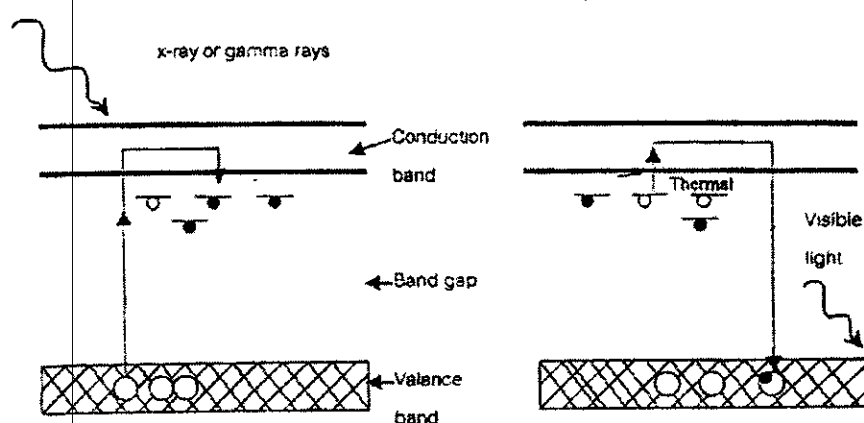
เมื่อ  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

ซึ่งโดยส่วนมากแล้วตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์มักอยู่ในรูปของสารประกอบ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการวิเคราะห์โดยเทคนิค X-ray Diffraction จะได้ผลการวิเคราะห์ออกมาในรูปของสารประกอบ

### 2.3 ทฤษฎีการรับพลังงานของอะตอม

อิเล็กตรอนในอะตอมของผลึก TL materials ซึ่งเป็นฉนวนทางไฟฟ้าในขณะที่ยังไม่ได้ถูกรบกวนด้วยรังสีจะถูกยึดอยู่ในอะตอม โดยโคจรรอบนิวเคลียสด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวที่แน่นอนสำหรับวงโคจรหนึ่งๆ แถบพลังงานเหล่านี้เรียกว่า แถบวาเลนซ์ (valence band) ซึ่งมีพลังงานต่ำ ถ้าอิเล็กตรอนในชั้นใดชั้นหนึ่งได้รับพลังงานจากภายนอกไม่ว่าจะเป็นพวกโฟตอนหรืออนุภาคใดก็ตาม อิเล็กตรอนจะกระโดดขึ้นไปอยู่ในแถบคอนดักชัน (conduction band) ซึ่งอิเล็กตรอนจะอยู่ในสภาวะที่ตื่นตัว (excited state) ขณะเดียวกันในแถบพลังงานวาเลนซ์จะมีโฮล (hole) เกิดขึ้นแทนที่อิเล็กตรอนที่หายไป ส่วนในแถบช่องว่าง (band gap หรือ forbidden band) ซึ่งอยู่ระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบ

คอนดักชันจะมีกับดัก (trap) อยู่ ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่าแถบคอนดักชันเล็กน้อยกับดักนี้สามารถดักจับอิเล็กตรอนจากแถบพลังงานคอนดักชันเอาไว้ โดยกับดักที่ดักจับอิเล็กตรอนเอาไว้นี้เรียกว่า metastable electron trap อิเล็กตรอนจะถูกกักไว้อย่างชั่วคราว ในระดับอุณหภูมิปกติจะไม่ยอมปล่อยให้อิเล็กตรอนกลับสู่แถบพลังงานคอนดักชัน แต่ถ้ามีการกระตุ้นโดยให้ความร้อนเข้าไปในผลึกจะทำให้ให้อิเล็กตรอนในกับดักมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดกลับคืนสู่สถานะพลังงานคอนดักชันอีกครั้ง ต่อจากนั้นอิเล็กตรอนจะตกกลับลงมารวมกับโฮลในแถบพลังงานวาเลนซ์พร้อมกับปล่อยพลังงานออกมาในรูปแสงสว่างที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงที่ตามองเห็น (visible light) ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยความเข้มของแสงที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับพลังงานรังสีที่ผลึกได้รับ



รูปที่ 5: แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอม TL materials เมื่อได้รับรังสี

#### คุณสมบัติของ TL materials ที่ดี

1. มีความไวในการตอบสนองต่อรังสีสูง
2. สามารถเก็บข้อมูลไว้ได้เป็นเวลานาน ที่อุณหภูมิห้อง
3. มี grow curve ที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน
4. สเปกตรัมของแสงที่ปล่อยออกมา มีความยาวคลื่นสั้นเหมาะสมกับหลอดทวิลูมินแสง
5. มีความคงที่ของการกระจายและจำนวนของกับดัก
6. เมื่อใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ โดยใช้เทคนิคการ annealing ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

#### ข้อจำกัดของ TL materials

ข้อมูลของปริมาณรังสีสะสมทั้งหมดจะถูกลบเมื่อผ่านการอ่านค่าโดยใช้ความร้อน ดังนั้นระบบการอ่านค่าสัญญาณจะต้องทำงานอย่างถูกต้องและตรวจสอบอย่างถี่ถ้วนก่อนทำการอ่านค่าปริมาณแสง



## 2.4 ทฤษฎีการหาอายุโบราณวัตถุโดยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermoluminescence dating)

การกำหนดอายุโบราณวัตถุโดยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ อาศัยสมบัติของผลึกที่ได้รับรังสีชนิดก่อให้เกิดไอออน แล้วทำให้อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นถูกดักจับโดยหลุมพลังงาน (trap) ภายในโครงสร้างของผลึกนั้นและปลดปล่อยรังสีช่วงความยาวคลื่นแสง (visible light) เมื่อได้รับความร้อนจากภายนอก โดยหลุมพลังงานในผลึกนี้เกิดจากธาตุที่ผสมอยู่ในผลึกและเรียกบริเวณนี้ว่าเป็น ศูนย์กลางของการเกิดการเรืองแสง (luminescence center: L) ซึ่งความลึกของหลุมกับดัก (trap depth: T) ปกติจะมีขนาด 1-2 eV (energy) ต่ำจากแถบนำไฟฟ้า (conduction band)

กระบวนการกำหนดอายุโบราณวัตถุโดยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (TL dating) คือ การหาเวลาที่มีการสะสมของอิเล็กตรอนอิสระในกับดักดังกล่าวและเมื่อพิจารณาโบราณวัตถุประเภทเครื่องปั้นดินเผาซึ่งถือว่า การเผาในขั้นตอนการผลิตจะทำให้อิเล็กตรอนในกับดักถูกกระตุ้นจนเปลี่ยนชั้นพลังงานไปหมด จึงถือว่าขั้นตอนนี้อิเล็กตรอนอิสระในกับดักเป็นศูนย์และเมื่อโบราณวัตถุถูกฝังอยู่ในดินก็จะเริ่มรับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีจากธรรมชาติและมีการดักจับอิเล็กตรอนอิสระเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ

สำหรับในการศึกษานี้ใช้เทคนิคการกำหนดอายุที่เรียกว่า Quartz inclusion technique ซึ่งใช้การวิเคราะห์ผลึกควอตซ์ที่เป็นโครงสร้างของเครื่องปั้นดินเผาที่มีขนาด 100-300 ไมครอน โดยผ่านการอาบรังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดโคบอลต์-60 นำค่าที่อ่านได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์และปริมาณรังสีที่ได้รับในปริมาณต่างๆ หาค่าการสะสมรังสี (accumulated radiation dose) คำนวณหาอายุวัตถุโบราณจากสมการที่ (5)

$$\text{Age} = \frac{\text{Accumulate radiation dose}}{\text{Annual radiation dose}} \quad (5)$$

เมื่อ Annual radiation dose คือ ปริมาณรังสีต่อปีที่ได้รับจากพื้นดินบริเวณหลุมขุดค้น ซึ่งวัดโดยนำผลึก  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$  ฝังที่หลุมขุดค้นที่ความลึก 630 เซนติเมตร จากระดับอ้างอิง วัดปริมาณรังสีเปรียบเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์และปริมาณรังสีที่ได้รับจากการอาบรังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดโคบอลต์-60 ของ  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$

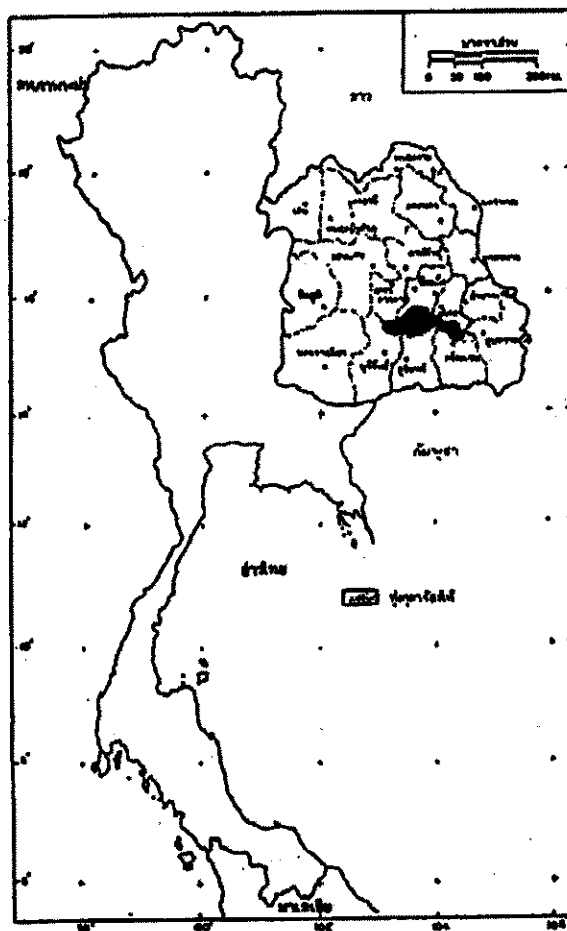
## 2.5 แหล่งที่ตั้งโบราณคดีและที่มาของตัวอย่าง

หลักฐานทางโบราณคดีที่สะท้อนให้เห็นในเรื่องพิธีกรรมการทำศพในประเทศไทยจากแหล่งโบราณคดีประเภทแหล่งฝังศพ (Burial Site) ทำให้ทราบว่าการประกอบพิธีกรรมการทำศพนั้นเริ่มปรากฏมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ยุคแรกๆ เรื่อยมาจนถึงยุคประวัติศาสตร์ โดยพบหลักฐานการประกอบพิธีกรรม 2 ลักษณะ คือ การฝัง (Interment) และการเผาศพ (Cremation) เมื่อประมาณ 2500 ปีมาแล้ว หรือในสมัยก่อนประวัติศาสตร์ตอนปลาย ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างหรือที่เรียกกันว่า แอ่งโคราช ได้ปรากฏพิธีกรรมการทำศพที่แตกต่างออกไป นั่นคือ พิธีกรรมการฝังครั้งที่

สอง (Secondary burial) หมายถึงการนำศพไปฝัง ณ ที่ใดที่หนึ่งในระยะเวลาหนึ่ง แล้วขุดขึ้นมาเพื่อนำไปบรรจุในภาชนะเครื่องปั้นดินเผา (Burial jar) แล้วนำไปฝังอีกครั้ง

จากสภาพทางภูมิศาสตร์แอ่งโคราช หรือบริเวณที่สังเกตเห็นเด่นชัด คือ ท่งกุลาร้องไห้ สภาพทางภูมิประเทศมีลักษณะโดดเด่น เรียกว่า แบบ Broad depression หรือแอ่งกระทะ มีเนื้อที่ทั้งหมด 2.1 ล้านไร่ ความยาวของท่งตามแนวตะวันออก-ตะวันตกประมาณ 150 กิโลเมตร ความกว้างจากแนวทิศเหนือ-ใต้ ประมาณ 50 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัด ได้แก่

1. จังหวัดร้อยเอ็ด ในพื้นที่ 4 อำเภอ คือ อ.เกษตรวิสัย อ.สุวรรณภูมิ อ.ปทุมรัตน์ อ.โพนทราย
2. จังหวัดสุรินทร์ ในพื้นที่ 2 อำเภอ คือ อ.ท่าตูม อ.ชุมพลบุรี
3. จังหวัดมหาสารคาม ในพื้นที่บางส่วนของ อ.พยัคฆภูมิพิสัย
4. จังหวัดยโสธร ในพื้นที่บางส่วนของ อ.มหาชนะชัย อ.ค้อวัง
5. จังหวัดศรีสะเกษ ในพื้นที่อำเภอรามันไสล

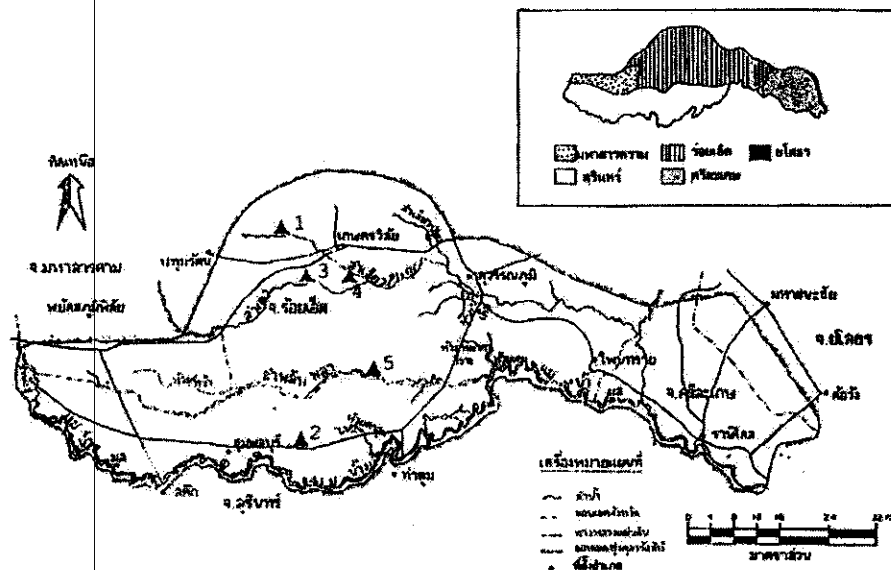


รูปที่ 6: แผนภาพบริเวณพื้นที่ท่งกุลาร้องไห้ครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัดในภาคอีสาน

หลักฐานทางโบราณคดีที่นักวิชาการนำมาพิจารณาถึงความแตกต่างของกลุ่มวัฒนธรรมแอ่งสกลนคร และแอ่งโคราช คือ ลักษณะของภาชนะดินเผาและประเพณีฝังศพ โดยมีการแบ่งกลุ่มวัฒนธรรมต่างๆ ดังนี้

1. กลุ่มชุมชนโบราณลุ่มน้ำสงคราม หรือกลุ่มวัฒนธรรมบ้านเชียง
2. กลุ่มชุมชนโบราณลุ่มแม่น้ำมูลตอนบน หรือกลุ่มพิมาย
3. กลุ่มชุมชนโบราณลุ่มแม่น้ำชีตอนบน
4. กลุ่มชุมชนโบราณลุ่มแม่น้ำชีตอนล่างและแม่น้ำมูลตอนกลาง หรือกลุ่มทุ่งกุลาร้องไห้

ประเพณีการฝังศพของวัฒนธรรมทุ่งกุลาร้องไห้นั้นแตกต่างจากกลุ่มวัฒนธรรมอื่นๆ มากโดยเฉพาะประเพณีการฝังศพที่นำกระดูกคนตายใส่ลงในภาชนะเครื่องปั้นดินเผาแล้วนำมาฝังอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า การฝังศพครั้งที่สอง (Secondary Burial jar) นอกจากนี้ตัวของภาชนะ เครื่องปั้นดินเผาของวัฒนธรรมทุ่งกุลาร้องไห้ก็มีความแตกต่างและมีเฉพาะตัวกลาง คือ ภาชนะดินเผามีลักษณะสีขาวนวล มีการตกแต่งผิวด้านนอกด้วยลายเชือกทาบ จากนั้นทำให้เรียบ เขียนด้วยสีแดงเป็นแถบ ในการสำรวจและขุดค้นแหล่งโบราณคดีทุ่งกุลาร้องไห้ทำให้พบหลักฐานเพิ่มเติมที่สะท้อนให้เห็นถึงพิธีกรรมความเชื่อเกี่ยวกับการทำศพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นหลักฐานใหม่สำหรับทางโบราณคดี



รูปที่ 7: พื้นที่แหล่งโบราณคดีบริเวณทุ่งกุลาร้องไห้

## 2.6 แหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัว

แหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัว ตั้งอยู่ที่บ้านเมืองบัว หมู่ 6 ตำบลเมืองบัว อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งอยู่บริเวณเส้นรุ้งที่ 15 องศา 36 ลิปดา 20 พิลิปดาเหนือ เส้นแวงที่ 103 องศา 35 ลิปดา 55 พิลิปดาตะวันตก ลักษณะเป็นชุมชนโบราณที่มีคูน้ำล้อมรอบรูปร่างค่อนข้างรี กว้างประมาณ 1,000 เมตร ยาวประมาณ 1,200 เมตร ภายในเป็นเนินดินสูงประมาณ 7-10 เมตร จากพื้นที่ โดยรอบ

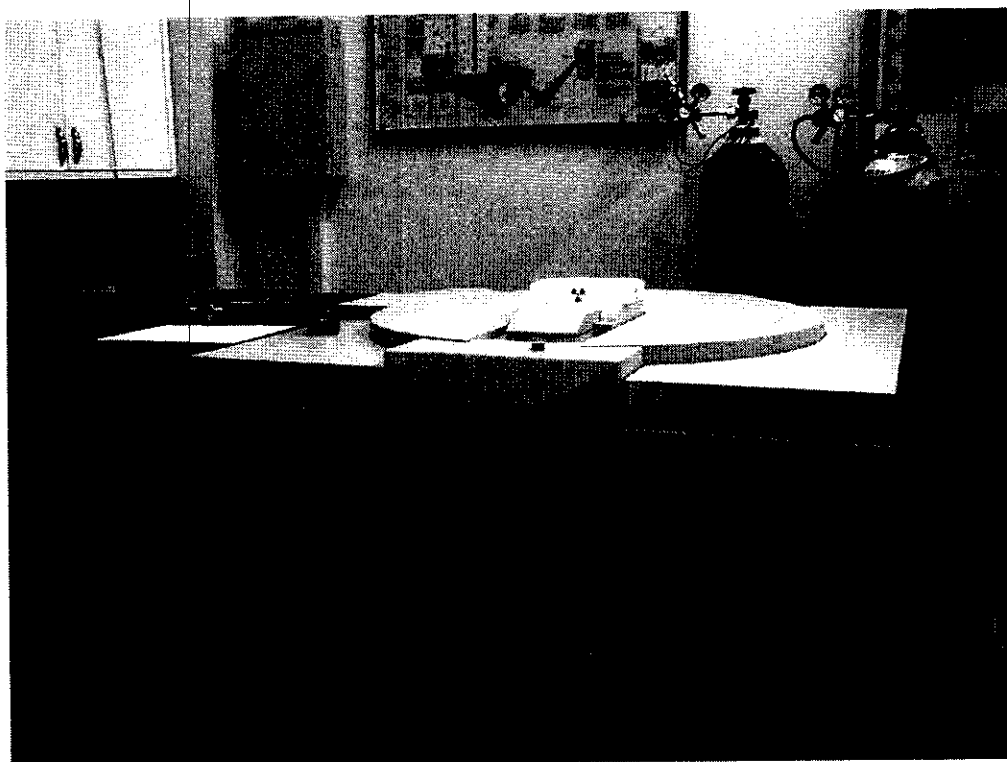


### บทที่ 3

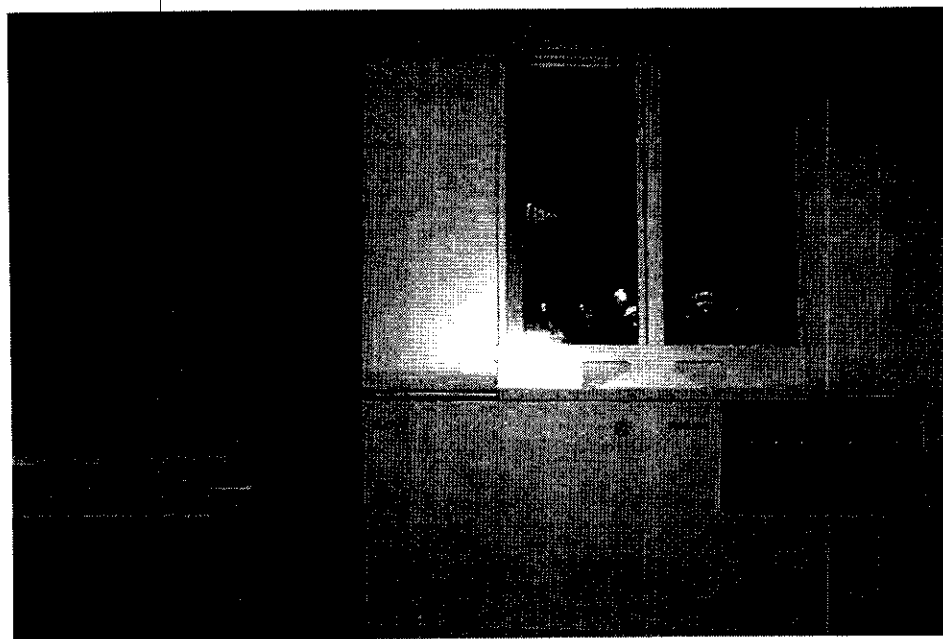
#### วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์  
การศึกษาและวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพของตัวอย่างโบราณวัตถุภาชนะเครื่องปั้นดิน  
เผา มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาดังนี้

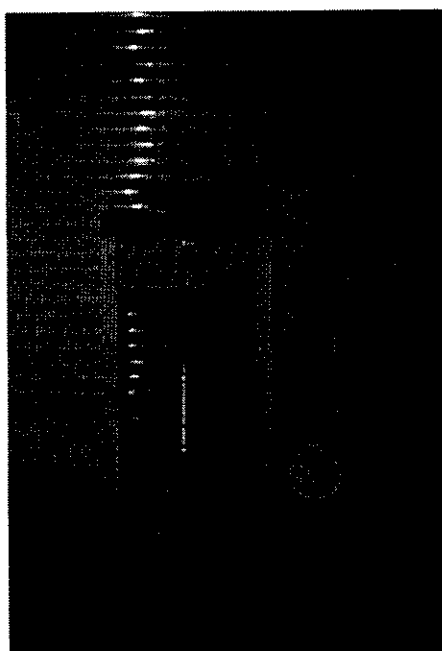
- 3.1.1 เครื่อง X-ray Fluorescence ยี่ห้อ Philips ดังรูปที่ 9
- 3.1.2 เครื่อง X-ray Diffraction ยี่ห้อ Philips รุ่น X'pert ดังรูปที่ 10
- 3.1.3 เครื่องอัด (Hydraulic press) ยี่ห้อ Philips รุ่น PW 4020/00 ขนาด 25 ตัน ดังรูปที่ 11
- 3.1.4 เครื่องชั่งดิจิตอล (Digital) ยี่ห้อ Precisa รุ่น 40SM-200A ดังรูปที่ 12
- 3.1.5 เครื่องร่อน (Laboratory Test Sieve) ยี่ห้อ Retsch รุ่น AS200 digit ดังรูปที่ 13



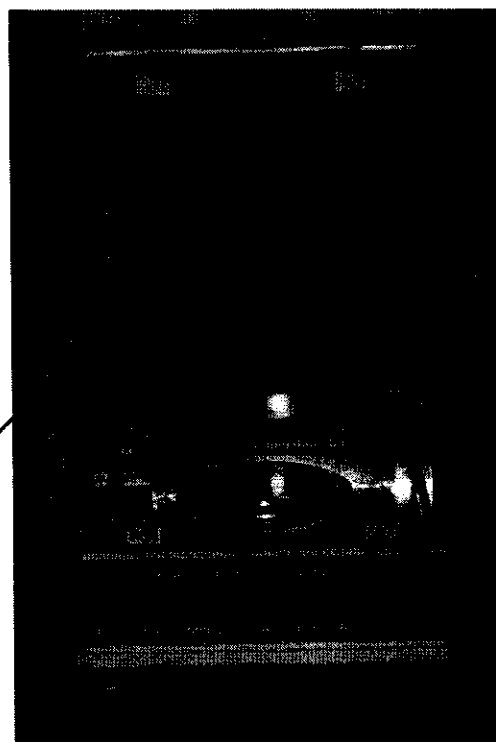
รูปที่ 9: เครื่อง X-ray Fluorescence ยี่ห้อ Philips



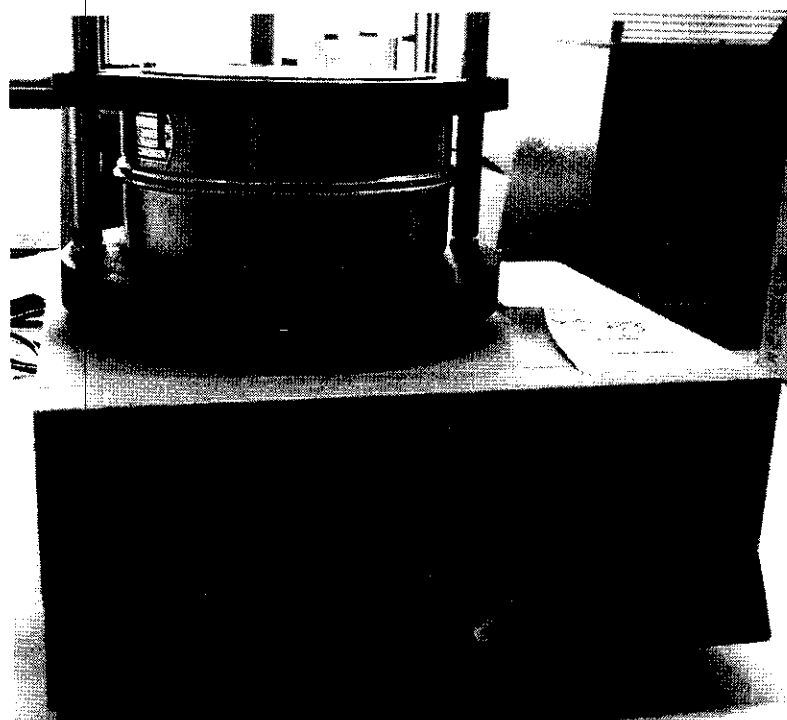
รูปที่ 10: เครื่อง X-ray Diffraction ยี่ห้อ Philips รุ่น X'pert



รูปที่ 11: เครื่องอัด (Hydraulic press) ยี่ห้อ Philips รุ่น PW 4020/00 ขนาด 25 ตัน



รูปที่ 12: เครื่องชั่งดิจิตอล (Digital) ยี่ห้อ Precisa รุ่น 40SM-200A



รูปที่ 13: เครื่องร่อน (Laboratory Test Sieve) ยี่ห้อ Retsch รุ่น AS200 digit

### 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลองด้วยเทคนิค XRF และ XRD

3.2.1 Acetone

3.2.2 Titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ )

3.2.3 Aquase Ferrous sulfate ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง TL Dating

3.3.1 เครื่องบดสาร (Ball mill) ดังแสดงในรูปที่ 14

3.3.2 Sieve สำหรับร่อนสาร ดังแสดงในรูปที่ 13

3.3.3 ค้อนทุบตัวอย่าง

3.3.4 Annealing furnace ยี่ห้อ Vecstar รุ่น LFS ดังแสดงในรูปที่ 15

3.3.5 เครื่อง Centrifuge ดังแสดงในรูปที่ 16

3.3.6 ตู้ควั่น ดังแสดงในรูปที่ 17

3.3.7 ปัมดูดอากาศและชุดเครื่องกรองสารเคมี ดังแสดงในรูปที่ 18

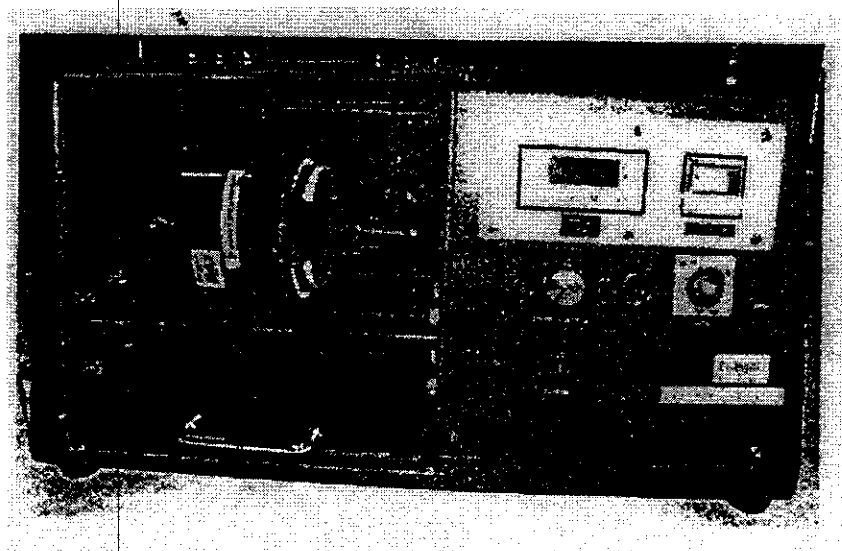
3.3.8 บีกเกอร์, ขวดรูปชมพู่และเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 19

3.3.9 เครื่องอ่าน TLD ของบริษัท Harshaw Model 3500 ดังแสดงในรูปที่ 20

3.3.10 เครื่องดูดผงผลึก ดังแสดงในรูปที่ 21

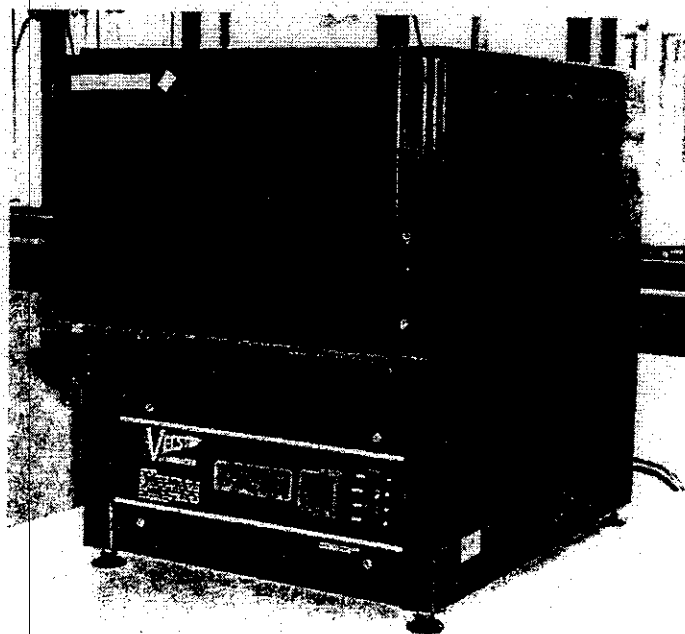
3.3.11 Hot plate and stirrer ดังแสดงในรูปที่ 22

3.3.12 Dispenser

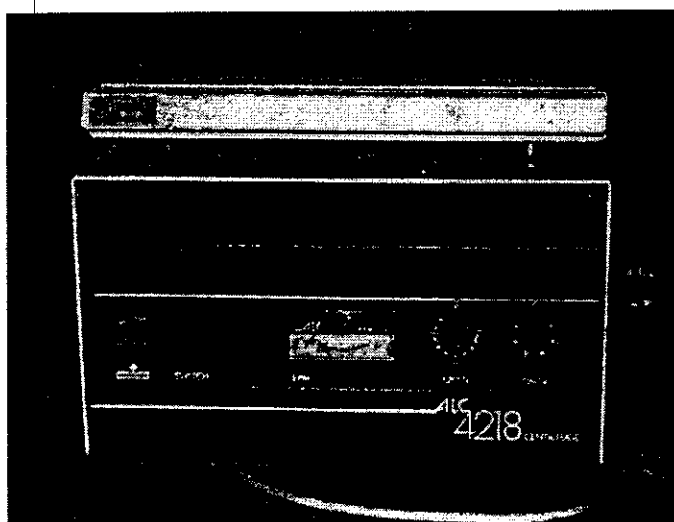


รูปที่ 14: เครื่องบดสาร (Ball mill)

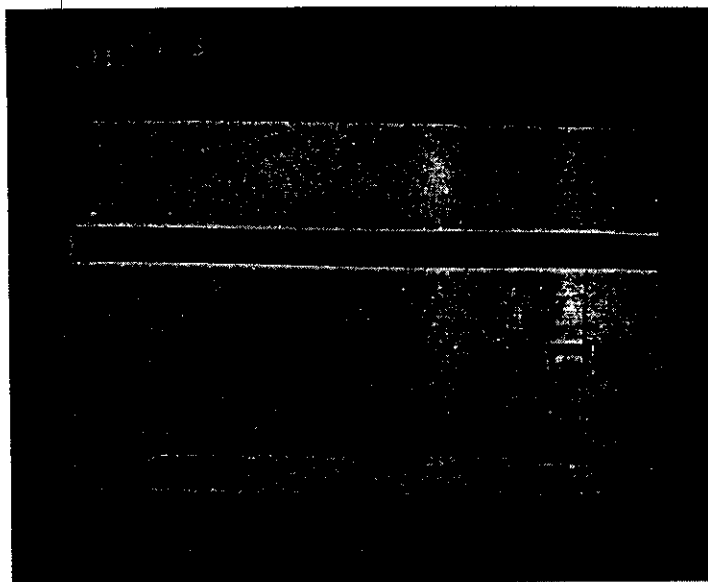




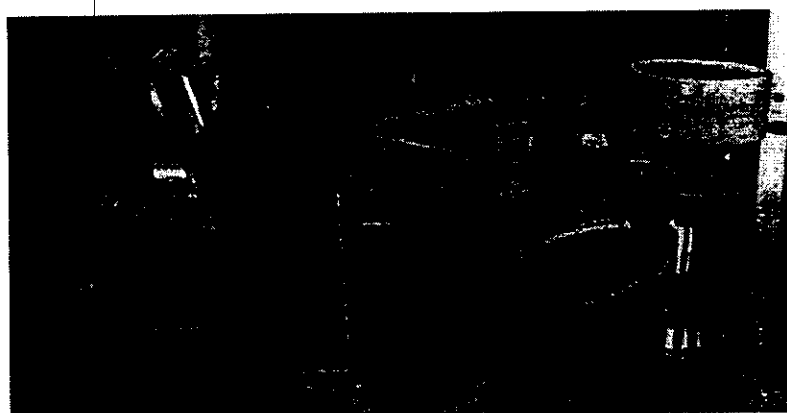
รูปที่ 15: Annealing furnace ยี่ห้อ Vecstar รุ่น LFS



รูปที่ 16: เครื่อง Centrifuge



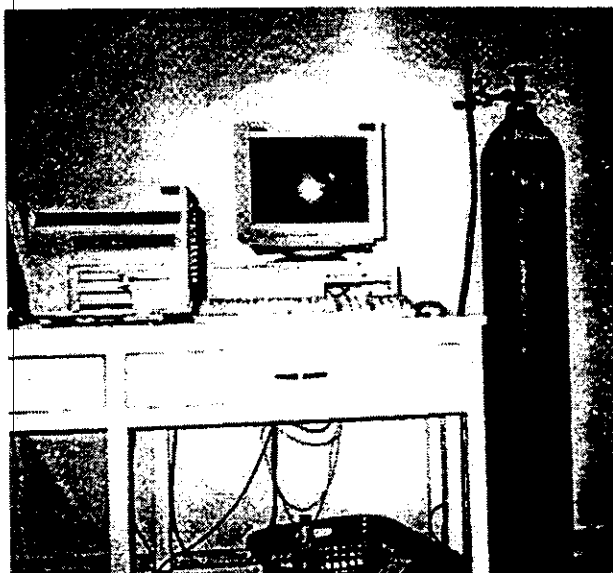
รูปที่ 17: ตู้วัน



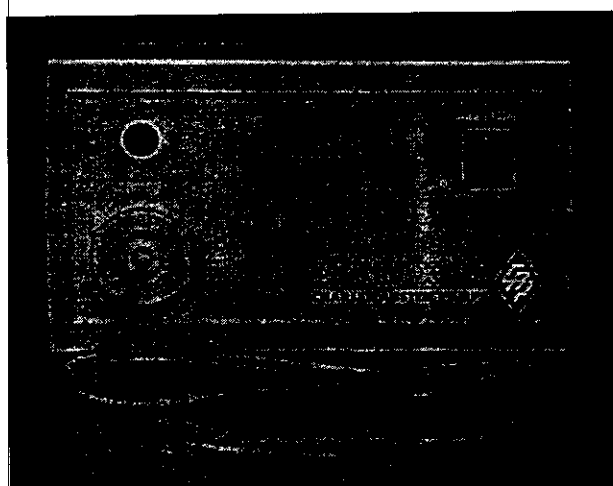
รูปที่ 18: ปุ่มดูดอากาศและชุดเครื่องกรองสารเคมี



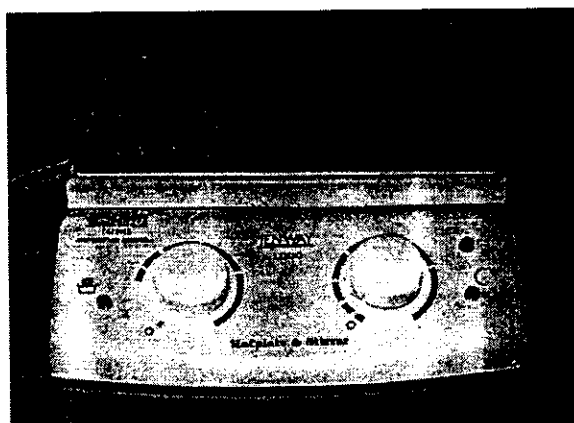
รูปที่ 19: บิกเกอร์, ขวดรูปชมพู่และเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 20: เครื่องอ่าน TLD ของบริษัท Harshaw Model 3500



รูปที่ 21: เครื่องดูดผงผลึก

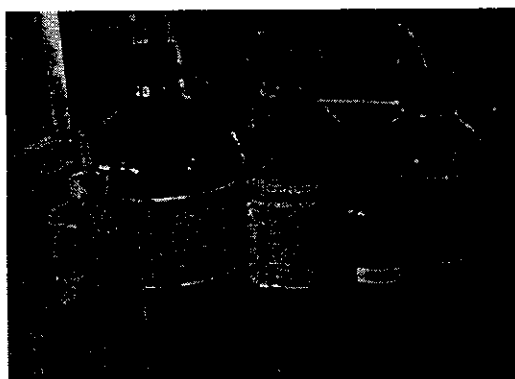


รูปที่ 22: Hot plate and stirrer

### 3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง TL Dating

สารเคมีที่ใช้มีดังต่อไปนี้

- 3.4.1 Hydrofluoric acid 50% (50% HF)
- 3.4.2 Hydrofluoric acid 37% (37% HF)
- 3.4.3 Tetrabromoethane ( $\text{Br}_2\text{CHCHBr}_2$ ) density  $2.96 \text{ g/cm}^3$
- 3.4.4 Dipropylene glycol ( $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_3$ ) density  $1.022 \text{ g/cm}^3$
- 3.4.5 Ethyl alcohol
- 3.4.6 Acetone
- 3.4.7 น้ำกลั่น



รูปที่ 23: สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

### 3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างโบราณวัตถุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และการเรืองรังสีเอกซ์

3.5.1.1 บดตัวอย่างโบราณวัตถุด้วยเครื่องบดสาร

3.5.1.2 วิเคราะห์ตัวอย่างโบราณวัตถุเชิงคุณภาพด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

3.5.1.3 วิเคราะห์ตัวอย่างโบราณวัตถุเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

3.5.1.3.1 วิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วยระบบ EDX

3.5.1.3.2 วิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วยระบบ WDX

3.5.2 หาอายุโบราณวัตถุด้วย TL Dating

3.5.2.1 บดตัวอย่างโบราณวัตถุและกักให้ได้นาน 125-300 ไมครอน

3.5.2.2 นำตัวอย่างที่ได้กักกรดไฮโดรฟลูออริก 50% เป็นเวลา 60 นาที

3.5.2.3 แยกผลิตภัณฑ์ออกโดยใช้ของเหลวความถ่วงจำเพาะสูง (เตรียมได้จากการผสมระหว่าง Tetrabromoethane:  $\text{Br}_2\text{CHCHBr}_2$  และ Dipropylene glycol:  $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_3$ ) ซึ่งต้องนำไปปั่นแยกในเครื่องหมุนเหวี่ยง 2000 รอบ/นาที

- 3.5.2.4 ทำความสะอาดผลึกที่แยกได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 10% เอทิลแอลกอฮอล์และ อาซิโตนตามลำดับ
- 3.5.2.5 นำควอทซ์ที่ได้ไปอบรังสีแกมมาที่ปริมาณ 1000, 2000 และ 3000 แรด จากแหล่งกำเนิดรังสีโคบอลต์-60
- 3.5.2.6 นำผลึกที่อบรังสีและไม่อบรังสีไปอ่านค่าปริมาณแสงด้วยเครื่องอ่านเทอร์โทลูมิเนสเซนซ์ภายในบรรยากาศไนโตรเจน โดยตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ  $400^{\circ}\text{C}$  และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิจาก  $60^{\circ}\text{C}$  -  $400^{\circ}\text{C}$  เป็น  $10^{\circ}\text{C}/\text{วินาที}$
- 3.5.2.7 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงและปริมาณรังสีที่ควอทซ์ได้รับ เพื่อเป็น Calibration curve สำหรับหา Accumulated radiation dose
- 3.5.2.8 หา Accumulated radiation dose จาก Calibration curve โดยนำปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจากควอทซ์ที่ไม่อบรังสีไปเปรียบเทียบกับ Calibration curve
- 3.5.2.9 นำผลึก  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$  ไปฝังที่หลุมชุดค้นวัตถุเป็นระยะเวลา 1 เดือนที่ระดับความลึก 579 และ 630 เซนติเมตร จากระดับอ้างอิงและชุดเข้าไปฝังในผนังชุดค้น 30 เซนติเมตร
- 3.5.2.10 นำผลึก  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$  จากข้อ 1.4.9 ไปอบรังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดรังสีโคบอลต์-60 ที่ปริมาณ 10, 20, 30, 40 และ 50 แรด และผลึก  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$  ที่ไม่อบรังสีมาอ่านค่าปริมาณแสง โดยตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุด  $300^{\circ}\text{C}$  และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิจาก  $50^{\circ}\text{C}$  -  $300^{\circ}\text{C}$  เป็น  $10^{\circ}\text{C}/\text{วินาที}$
- 3.5.2.11 เขียนกราฟเช่นเดียวกับข้อ 1.4.7 เป็น Calibration curve เพื่อหา Annual radiation dose
- 3.5.2.12 หา Annual radiation dose จาก Calibration curve โดยนำปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจากผลึก  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$  ที่ไม่อบรังสีไปอ่านค่าปริมาณรังสี
- 3.5.2.13 คำนวณหาอายุโบราณวัตถุตามสมการที่ (5)

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างภาชนะดินเผา

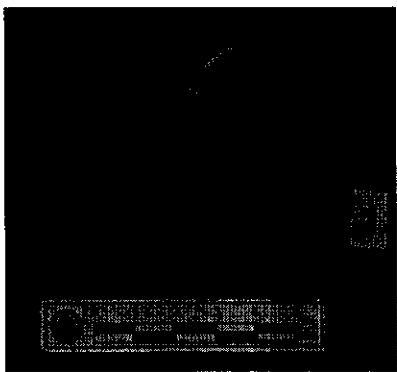
ตัวอย่างภาชนะดินเผาชุดที่ 1 ซึ่งนำไปวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วย XRF ระบบ EDX ดังตารางที่ 1

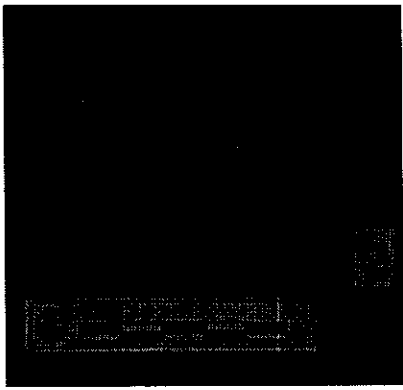
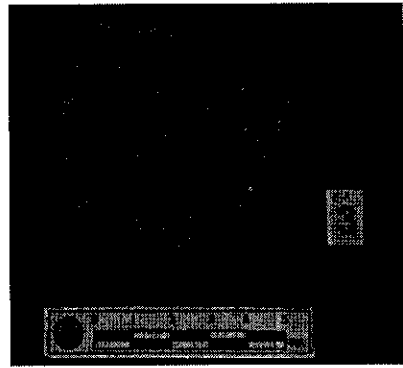
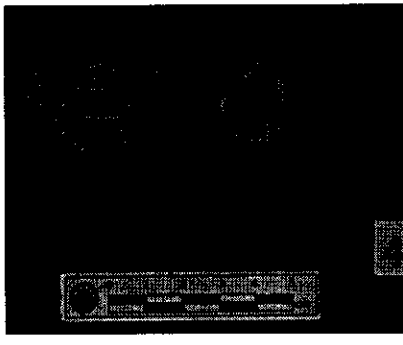
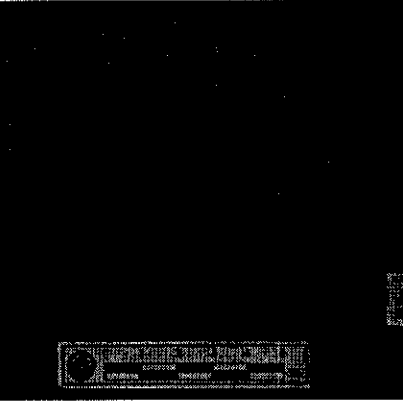
**ตารางที่ 1** ลักษณะทางกายภาพของภาชนะดินเผาชุดที่ 1

ตัวอย่างที่	ลักษณะทางกายภาพ	แหล่งที่พบใน ระดับความลึกจากผิวดิน
1	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณไหล่ของภาชนะดินเผา ตกแต่งด้วยลาย ประทับเชือกทาบ ไม่เคลือบน้ำดิน	471-480 เซนติเมตร
2	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณลำตัวของภาชนะดินเผา ตกแต่งด้วยลาย ประทับเชือกทาบ ไม่เคลือบน้ำดิน	371-380 เซนติเมตร
3	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณลำตัวของภาชนะดินเผา ตกแต่งด้วยลาย ประทับเชือกทาบ ไม่เคลือบน้ำดิน	331-340 เซนติเมตร
4	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณลำตัวของภาชนะดินเผา ผิวเรียบ เนื้อสี นวล ไม่เคลือบน้ำดิน	441-450 เซนติเมตร
5	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณไหล่ของภาชนะดินเผา ผิวเรียบ เนื้อสี นวล ไม่เคลือบน้ำดิน	321-330 เซนติเมตร
6	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณไหล่ของภาชนะดินเผา ผิวเรียบ เนื้อสี นวล ไม่เคลือบน้ำดิน	361-370 เซนติเมตร
7	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณไหล่ของภาชนะดินเผา ผิวเรียบ เนื้อสี ส้ม ไม่เคลือบน้ำดิน	321-330 เซนติเมตร
8	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณลำตัวของภาชนะดินเผา ตกแต่งด้วยลาย เขียนสีแดงด้านนอก	341-350 เซนติเมตร
9	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณไหล่ของภาชนะดินเผา ลายปั้นแปะ ไม่ เคลือบน้ำดิน	411-420 เซนติเมตร
10	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณลำตัวของภาชนะดินเผา ตกแต่งด้วยลาย ประทับเชือกทาบ เคลือบน้ำดินสีแดงด้านใน	471-480 เซนติเมตร
11	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณไหล่ของภาชนะดินเผา ตกแต่งด้วยลาย ประทับเชือกทาบ เคลือบน้ำดินสีแดงด้านนอก	321-330 เซนติเมตร
12	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณไหล่ของภาชนะดินเผา ตกแต่งด้วยลาย ประทับเชือกทาบ เคลือบน้ำดินสีแดงด้านนอก	491-550 เซนติเมตร
13	เป็นชิ้นส่วนของบริเวณลำตัวของภาชนะดินเผา ตกแต่งด้วยลาย ประทับเชือกทาบ เคลือบน้ำดินสีแดงทั้งด้านในและด้านนอก	441-450 เซนติเมตร

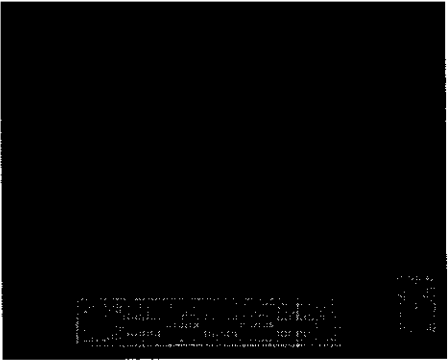
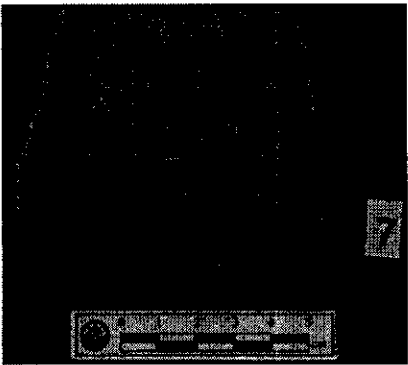
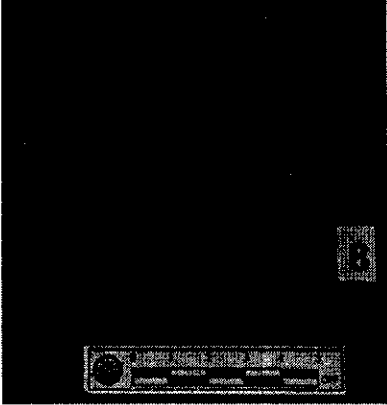

ตัวอย่างที่		ลักษณะทางกายภาพ	แหล่งที่พบใน ระดับความลึกจากผิวดิน
14		เป็นชั้นส่วนของบริเวณลำตัวของภาชนะดินเผา ตกแต่งด้วยลาย จุดขีด เคลือบน้ำดินสีน้ำตาลด้านนอก	331-340 เซนติเมตร
15		เป็นชั้นส่วนของบริเวณลำตัวของภาชนะดินเผา ตกแต่งด้วยลาย จุดขีด เคลือบน้ำดินสีแดงทั้งด้านในและด้านนอก	541-550 เซนติเมตร
16		เป็นชั้นส่วนของบริเวณไหล่ของภาชนะดินเผา ผิวเรียบ เนื้อสี นวล เคลือบน้ำดินสีแดงด้านใน	361-370 เซนติเมตร
17		เป็นชั้นส่วนของบริเวณลำตัวของภาชนะดินเผา ผิวเรียบ เนื้อสี นวล เคลือบน้ำดินสีแดงด้านนอก	361-370 เซนติเมตร
18		เป็นชั้นส่วนของบริเวณไหล่ของภาชนะดินเผา ผิวเรียบ เนื้อสี นวล เคลือบน้ำดินสีแดงด้านนอก	361-370 เซนติเมตร
19		เป็นชั้นส่วนของบริเวณไหล่ของภาชนะดินเผา ผิวเรียบ เนื้อสี นวล เคลือบน้ำดินสีแดงทั้งด้านในและด้านนอก	311-320 เซนติเมตร
20		เป็นชั้นส่วนของบริเวณลำตัวของภาชนะดินเผา ผิวเรียบ เนื้อสี ส้ม เคลือบน้ำดินสีแดงด้านนอก	361-370 เซนติเมตร
21		เป็นชั้นส่วนของบริเวณไหล่ของภาชนะดินเผา ผิวเรียบ เนื้อสี ส้ม เคลือบน้ำดินสีแดงทั้งด้านในและด้านนอก	361-370 เซนติเมตร
22		เป็นชั้นส่วนของบริเวณไหล่ของภาชนะดินเผา ผิวเรียบ เนื้อสี ส้ม เคลือบน้ำดินสีแดงทั้งด้านในและด้านนอก	341-350 เซนติเมตร

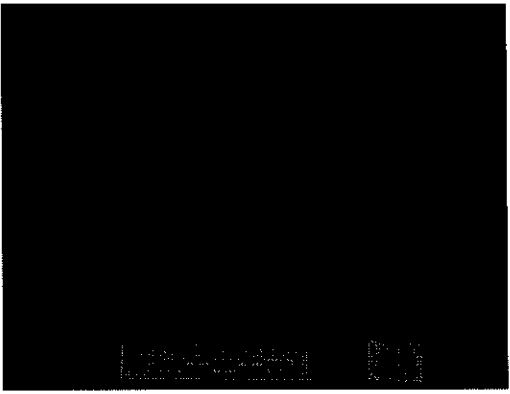


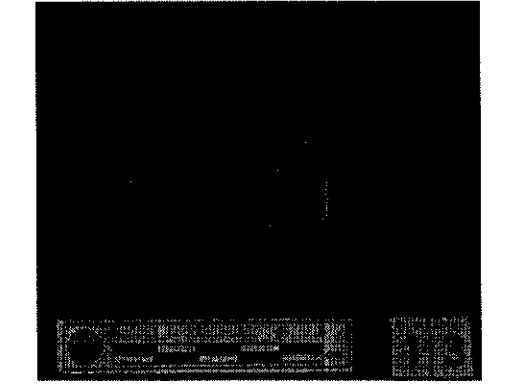
**ตารางที่ 2** ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างภาชนะดินเผาชุดที่ 2 จากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัว ซึ่ง  
นำไปวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วย XRF ระบบ WDX

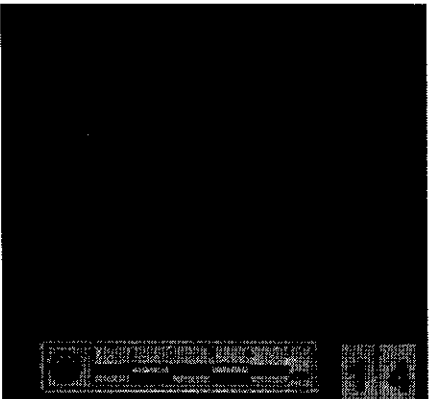
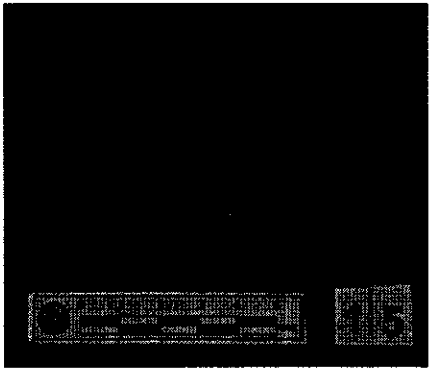

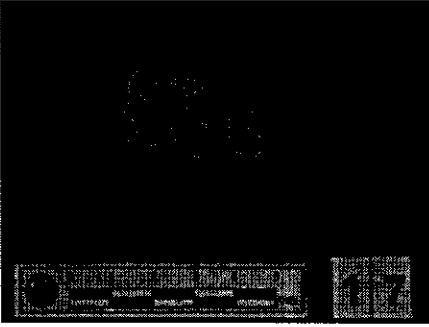
ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมมุติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
1	320-330	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ผิวเรียบ	


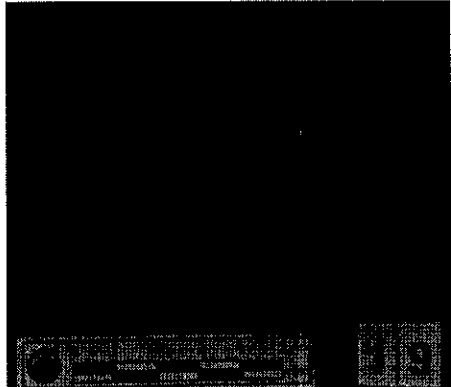
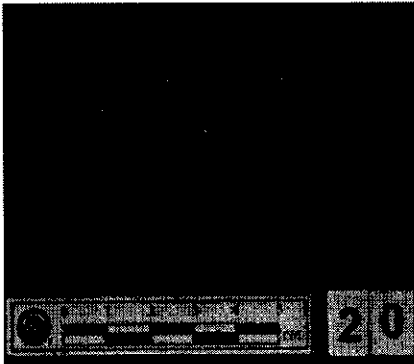
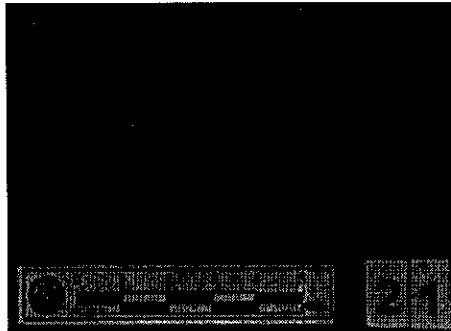
ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมมุติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
2	330-340	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ	
3	350-360	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ	
4	350-360	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยลายขูด	
5	350-360	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ	

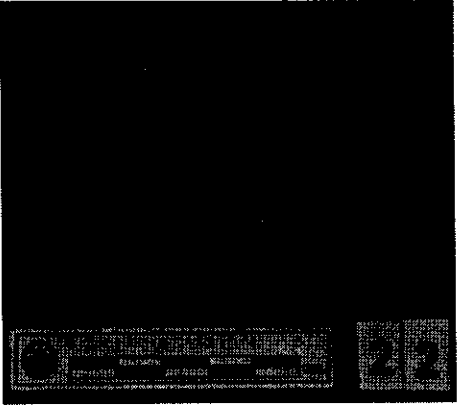
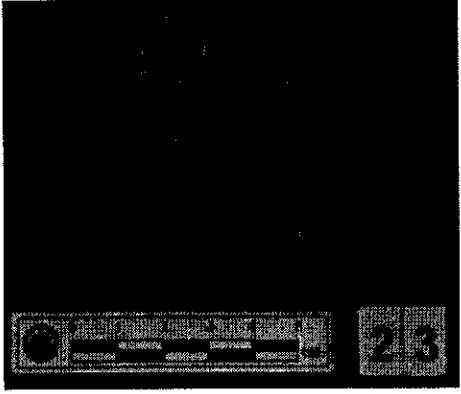
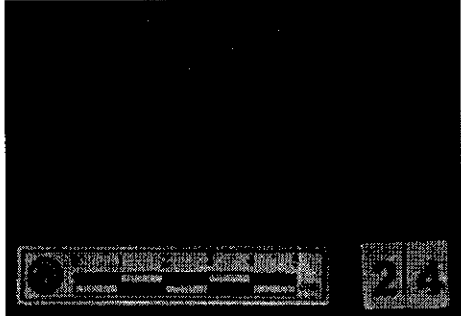



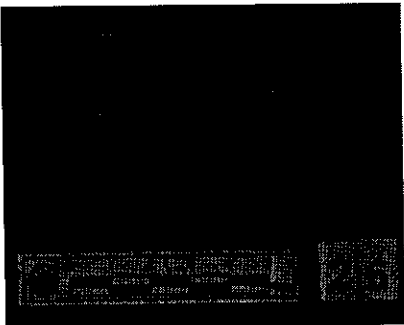
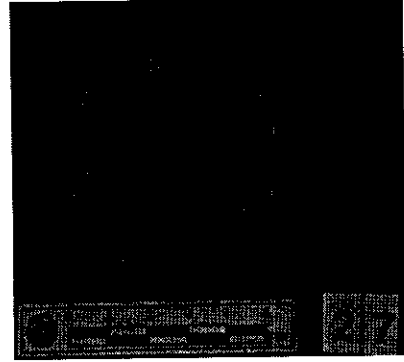
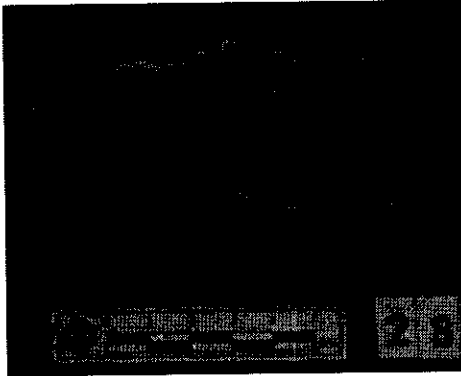
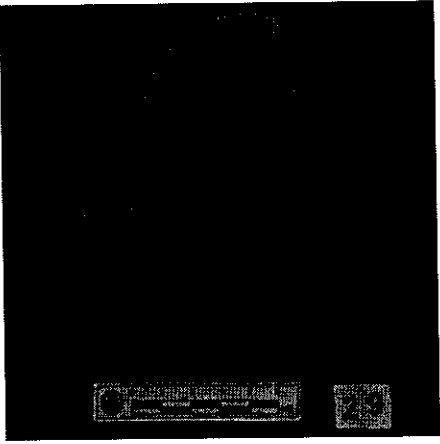
ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมบัติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
6	350-360	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ	
7	360-370	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยการทาน้ำดิน	
8	360-370	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยการขีดเป็นร่อง	
9	430-440	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ตกแต่ง ด้วยการปั้นแปะ	

ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมบัติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
10	430-440	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ	
11	430-440	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยการปั้นแปะ	
12	430-440	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ผิวเรียบ	
13	440-450	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ	

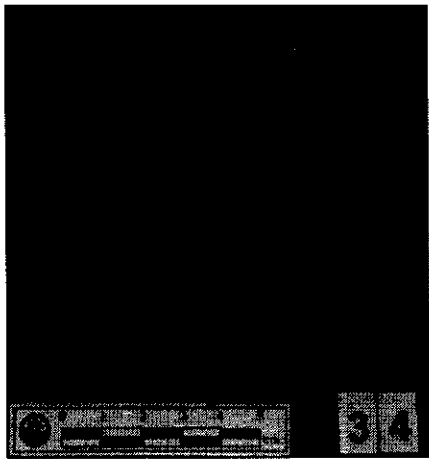
ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมบัติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
14	460-470	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ	
15	460-470	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ	
16	460-470	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ	
17	460-470	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ	

ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมบัติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
18	460-470	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยการปั้นแปะ	
19	470-480	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีดำ ตกแต่ง ด้วยการขูด	
20	470-480	เศษภาชนะส่วนลำตัว ผิวเรียบ	
21	470-480	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยการปั้นแปะ	

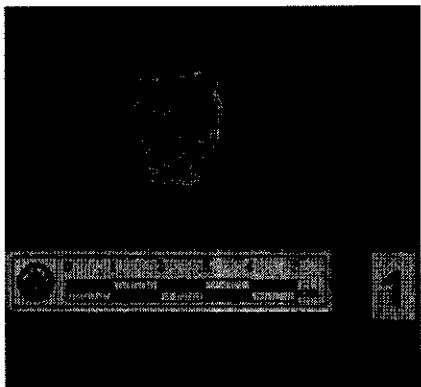
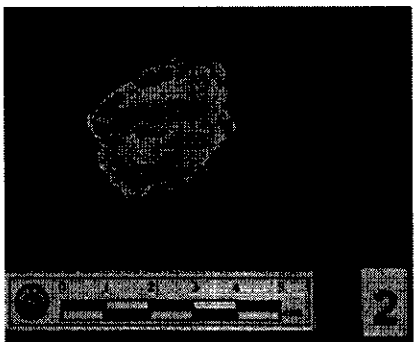
ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมบัติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
22	470-480	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยการปั้นแปะ	
23	480-490	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีดำ ผิวเรียบ	
24	480-490	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ตกแต่ง ด้วยการปั้นแปะ	
25	490-500	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยการปั้นแปะ	

ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมมุติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
26	490-500	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยการปั้นแปะ	
27	490-500	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยการปั้นแปะ	
28	490-500	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ผิวเรียบ	
29	490-500	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยการปั้นแปะ	


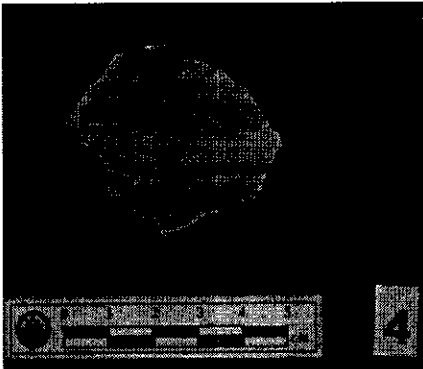
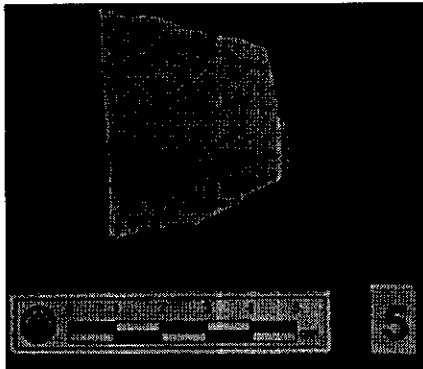
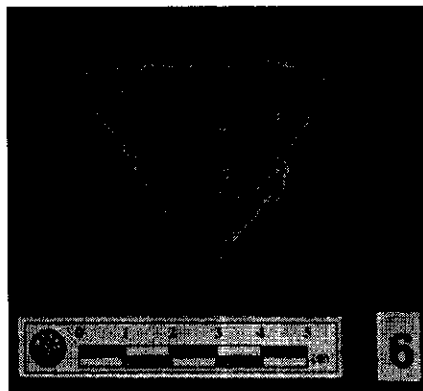
ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมบัติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
30	490-500	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ผิวเรียบ	
31	490-500	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ทาหน้า ดิน	
32	500-510	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ	
33	630-640	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยลายเชือกทาบ	

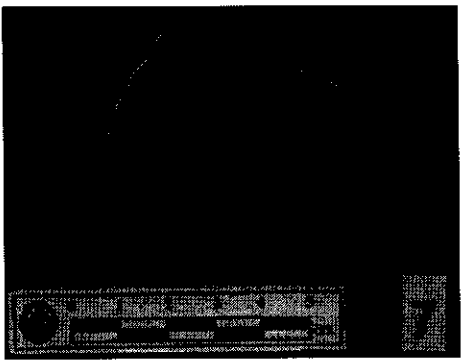
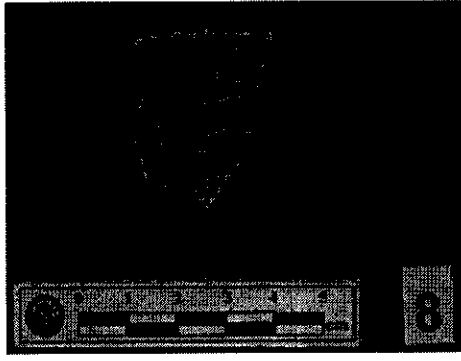
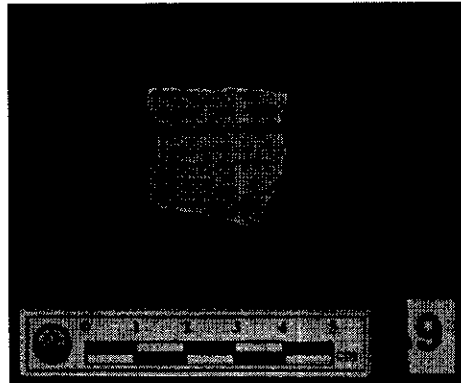
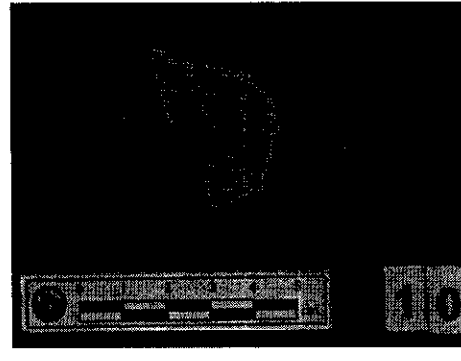
ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมมุติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
34	640-650	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ทาน้ำดิน	

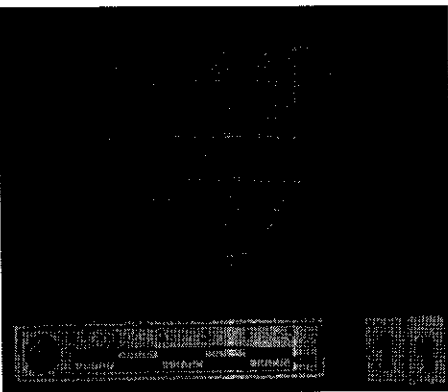
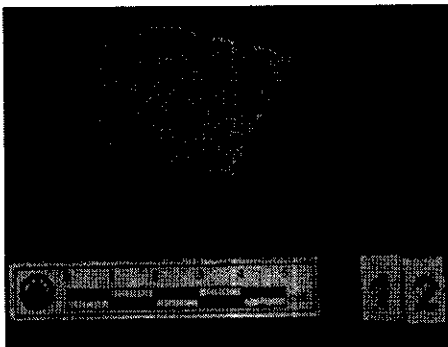
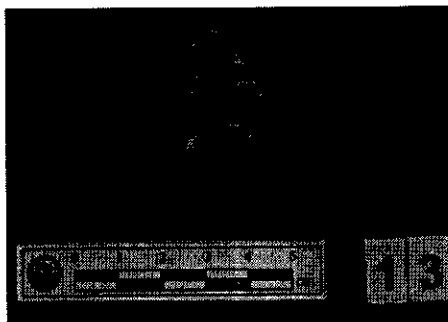
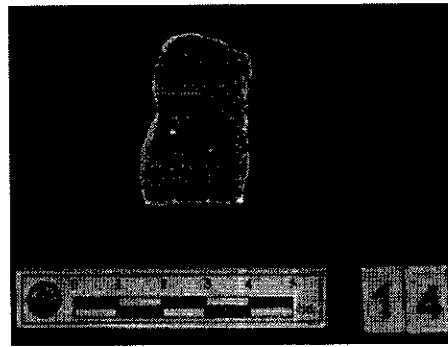
**ตารางที่ 3** ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างภาชนะดินเผาชุดที่ 2 จากแหล่งโบราณคดีบ้านโพเงิน  
ซึ่งนำไปวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วย XRF ระบบ WDX

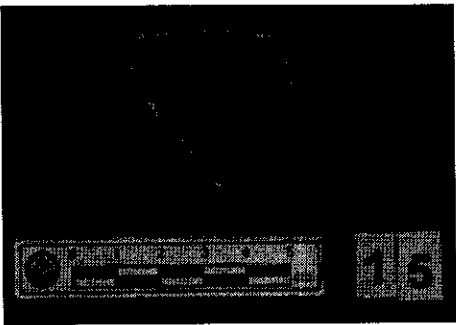
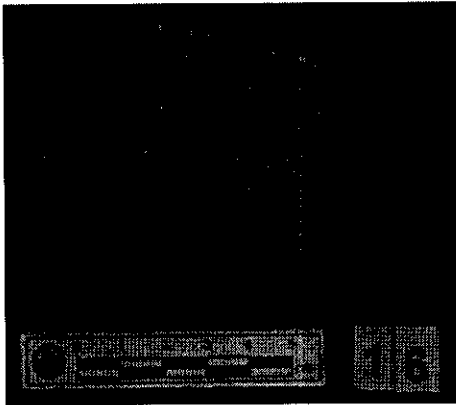
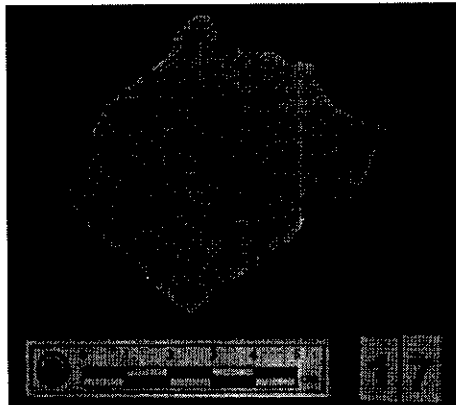
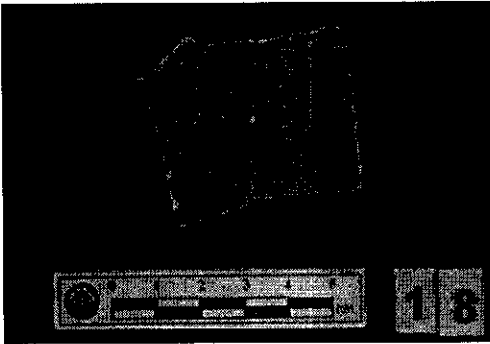
ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมมุติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
1	100-110	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ตกแต่ง ด้วยลายร้อยเอ็ด	
2	170-180	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ตกแต่ง ด้วยลายร้อยเอ็ด	

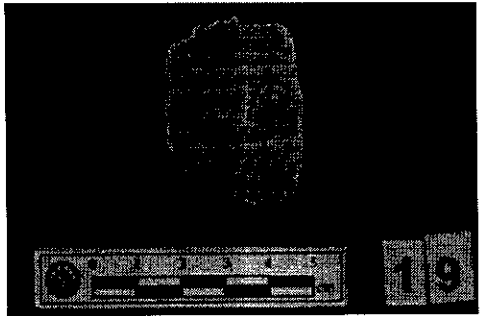
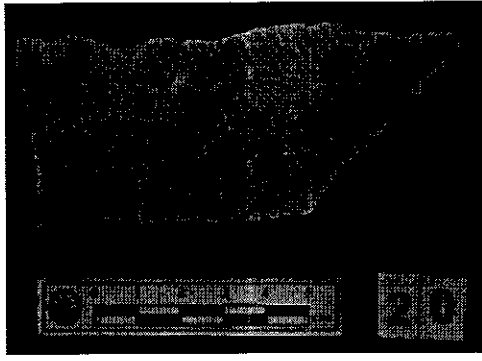
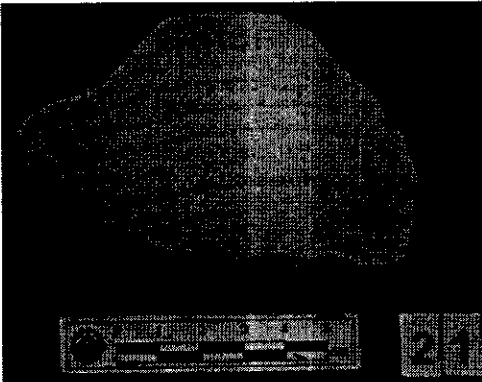
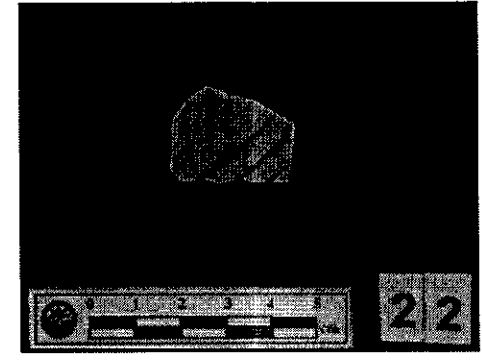


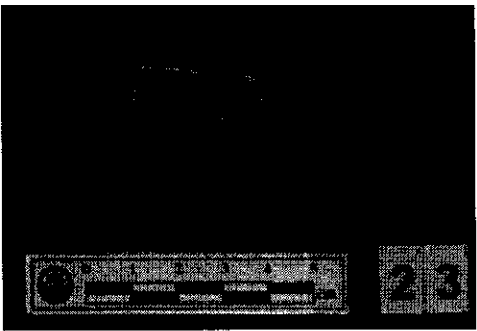
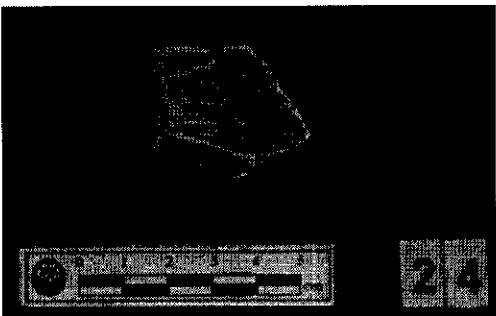
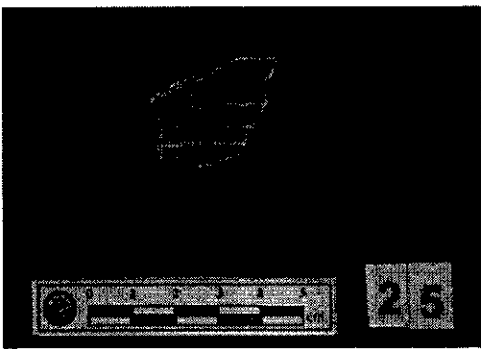
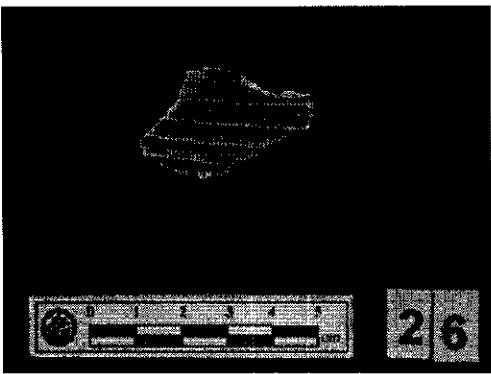
ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมบัติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
3	200-210	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ตกแต่ง ด้วยลายร้อยเอ็ด	
4	250-260	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ตกแต่ง ด้วยลายร้อยเอ็ด	
5	270-280	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ตกแต่ง ด้วยลายร้อยเอ็ด	
6	350-360	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ตกแต่ง ด้วยลายร้อยเอ็ด	

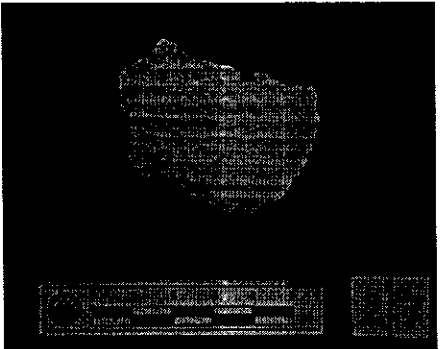
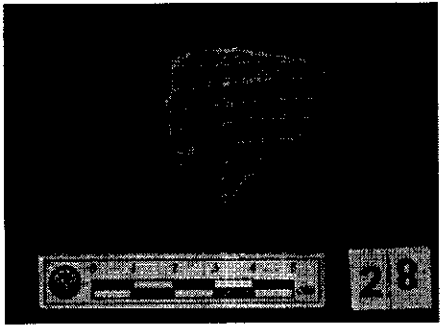
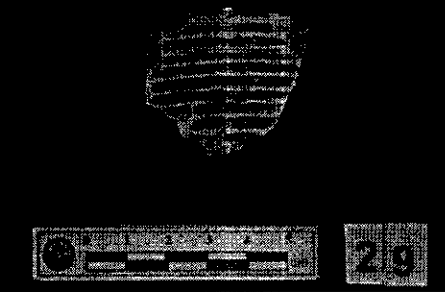
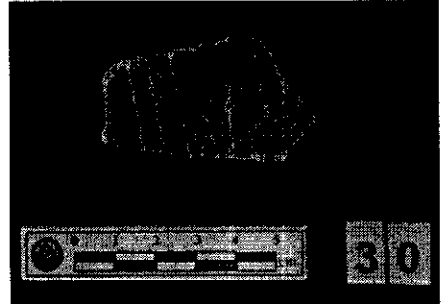
ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมบัติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
7	410-420	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ตกแต่ง ด้วยลายร้อยเอ็ด	
8	480-490	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ตกแต่ง ด้วยลายร้อยเอ็ด	
9	110-120	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ทาหน้า ดินสีดำ	
10	150-160	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ทาหน้าดิน สีดำ	

ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมมุติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
11	190-200	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ทาน้ำ ดินสีดำ	
12	270-280	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ทาน้ำดิน สีดำ	
13	530-540	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ทาน้ำ ดินสีดำ	
14	610-620	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ทาน้ำ ดินสีดำ	

ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมบัติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
15	160-170	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ลายเชือก ทาบ มีรอยขูดขีดทับ	
16	240-250	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ลายเชือก ทาบ มีรอยขูดขีดทับ	
17	270-280	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ลายเชือก ทาบ มีรอยขูดขีดทับ	
18	330-340	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ลาย เชือกทาบ มีรอยขูด ขีดทับ	

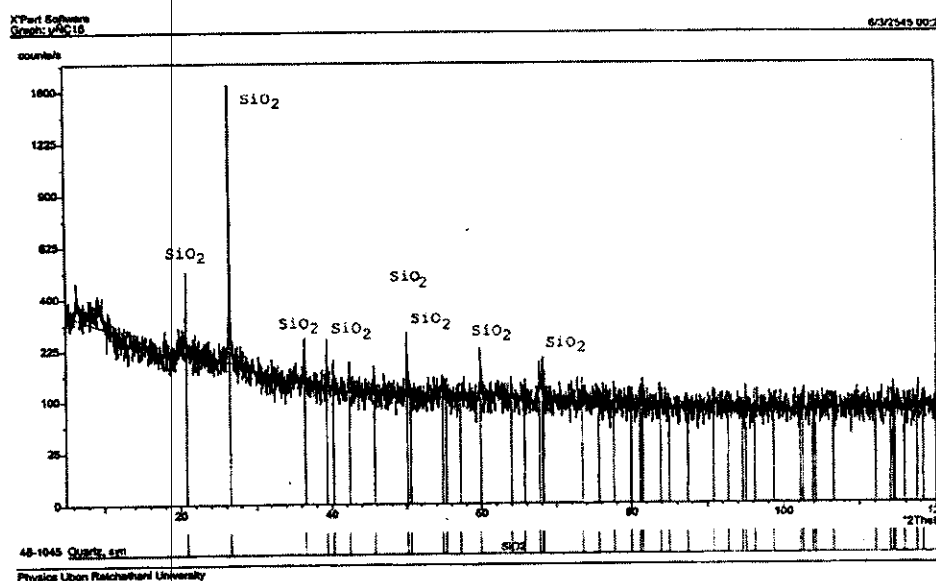
ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมบัติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
19	360-370	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ลายเชือก ทาบ มีรอยบุคขีดทับ	
20	540-550	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ลายเชือก ทาบ มีรอยบุคขีดทับ	
21	90-100	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ลายบุค มือ	
22	150-160	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ลายบุค มือ	

ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมบัติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
23	160-170	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ลายขีด มือ	
24	170-180	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ลายขีด มือ	
25	200-210	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ลายขีด มือ	
26	surface	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ลายขีด จากแป้นหมุน	

ตัวอย่างที่	ระดับชั้นดิน สมบัติ (Cm.Dt.)	ลักษณะตัวอย่าง	ภาพประกอบ
27	100-110	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ลายขีด จากแป้นหมุน	
28	130-140	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีส้ม ลายขีด จากแป้นหมุน	
29	180-190	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ลายขีด จากแป้นหมุน	
30	220-230	เศษภาชนะส่วนลำตัว เนื้อดินสีนวล ลายขีด จากแป้นหมุน	

## 4.2 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

จากการทดลองในทุกตัวอย่างโบราณวัตถุจะเป็นสารประกอบชนิด  $\text{SiO}_2$  (Quartz) ดังรูปที่ 24 และมีโครงสร้างแบบ Hexagonal



รูปที่ 24: ตัวอย่างสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของโบราณวัตถุตัวอย่างที่ 1

## 4.3 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วย XRF ระบบ EDX

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบ EDX ในภาชนะดินเผาดังตารางที่ 4 และรูปที่ 25

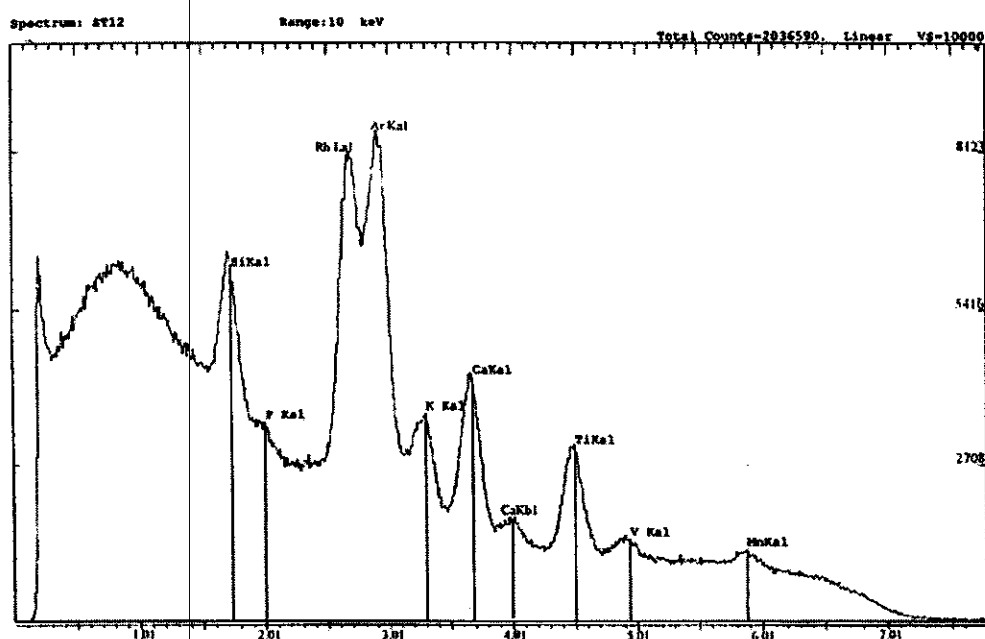
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX

ตัวอย่าง ชุดที่ 1	ปริมาณธาตุ (%โดยน้ำหนัก)							ระดับความลึกจาก ผิวดิน (เซนติเมตร)
	Si	P	K	Ca	Ti	V	Mn	
1	68.94	25.80	2.36	1.22	1.49	0.20	-	311-321
2	84.07	10.99	1.89	1.92	1.00	0.13	-	321-330
3	89.05	4.85	2.09	1.81	1.96	0.24	-	331-340
4	70.97	22.87	2.13	1.33	2.43	0.30	-	340-350
5	88.45	4.07	3.55	1.50	2.20	0.27	-	361-370
6	69.16	24.48	2.35	1.54	2.19	0.27	-	361-370
7	83.50	11.85	1.72	1.96	0.87	0.10	-	361-370
8	77.53	16.71	2.33	1.49	1.72	0.22	-	361-370
9	78.43	15.63	1.96	1.36	2.32	0.30	-	361-370
10	76.23	14.72	3.60	3.28	1.94	0.25	-	441-450



ตัวอย่าง ชุดที่ 1	ปริมาณธาตุ (%โดยน้ำหนัก)							ระดับความลึกจาก ผิวดิน (เซนติเมตร)
	Si	P	K	Ca	Ti	V	Mn	
11	78.22	16.25	2.39	1.99	1.00	0.15	-	471-480
12	77.17	9.06	6.29	4.81	2.33	0.33	-	491-550
13	78.80	13.32	2.48	3.27	1.90	0.23	-	541-550
14	76.83	10.32	4.58	2.82	5.14	0.31	-	321-330
15	80.53	12.28	2.15	2.05	2.65	0.31	-	321-330
16	91.51	2.92	2.26	1.48	1.62	0.19	-	331-340
17	86.63	5.07	2.78	4.01	1.65	0.31	-	341-350
18	80.21	8.21	3.83	2.06	4.69	0.34	0.24	361-370
19	85.81	8.64	2.07	1.40	1.12	0.14	-	371-380
20	81.90	11.42	1.85	2.08	2.38	0.35	-	441-450
21	80.15	8.96	3.77	2.80	3.35	0.30	-	441-450
22	81.00	9.73	4.50	3.13	1.35	0.16	-	471-480

หมายเหตุ ตัวอย่างที่ 1-13 จากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัว อ.เกษตรวิสัย จ.ร้อยเอ็ด  
ตัวอย่างที่ 14-22 จากแหล่งโบราณคดีบ้านโพนเงิน อ.เกษตรวิสัย จ.ร้อยเอ็ด



รูปที่ 25: แสดงตัวอย่างสเปกตรัมการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX จากตัวอย่างภาชนะดินเผาที่ 18

จากตารางที่ 4 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ในตัวอย่างภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดี 2 แหล่ง คือ

1.1 ภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัว ประกอบด้วยธาตุซิลิกอน (Si) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) ไททานเนียม (Ti) และวานาเดียม (V) โดยมีปริมาณของแต่ละธาตุอยู่ในช่วง 68.94-89.05%, 4.07-25.80%, 1.72-6.29%, 1.22-4.81%, 0.87-2.43% และ 0.1-0.33% โดยน้ำหนักตามลำดับ

1.2 ภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดีบ้านโพนเงิน ประกอบด้วยธาตุซิลิกอน (Si) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) ไททานเนียม (Ti) วานาเดียม (V) และแมงกานีส (Mn) โดยมีปริมาณของแต่ละธาตุอยู่ในช่วง 76.83-91.51%, 2.92-12.28%, 1.85-4.58%, 1.40-4.01%, 1.12-5.14%, 0.14-0.35% และ 0.24% โดยน้ำหนักตามลำดับ

สำหรับฟลักของอาร์กอน (Ar) ที่ปรากฏในรูปที่ 25 นั้นเป็นธาตุที่มีอยู่ในอากาศ เนื่องจากวัดในระบบบรรยากาศ ซึ่งในอากาศมีอาร์กอนประมาณ 1% ส่วนฟลักของโรเดียม (Rh) มาจากเป้า (target) ของหลอดรังสีเอกซ์ของเครื่องมือซึ่งทำมาจากธาตุโรเดียม

ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของธาตุและระดับความลึกจากผิวดินที่ขุดพบ ภาชนะดินเผาในแต่ละแหล่งโบราณคดี ข้อมูลยังไม่มีความสัมพันธ์กัน

#### 4.4 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วย XRF ระบบ WDX

วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ WDX ในภาชนะดินเผาดังตารางที่ 5 และ 6 และรูปที่ 26 ถึง 31

**ตารางที่ 5** ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของตัวอย่างภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัวด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ WDX

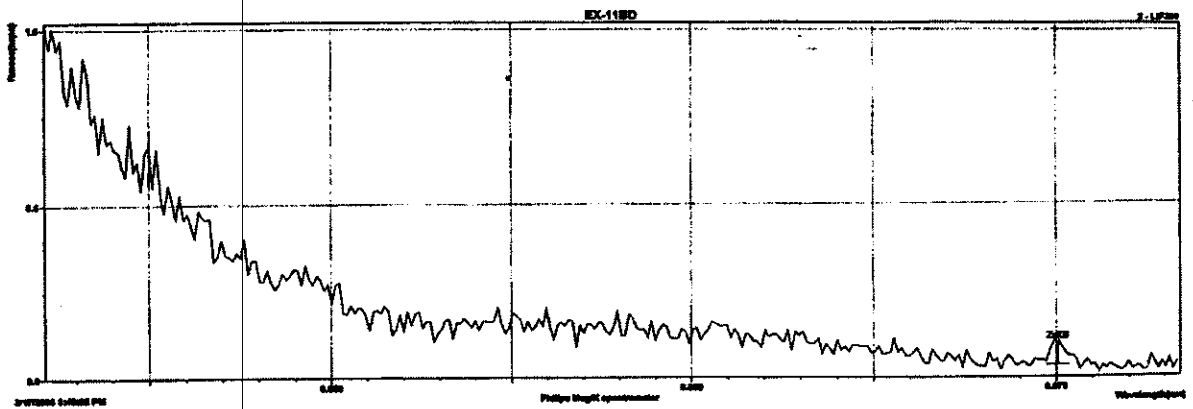
ตัวอย่าง ชุดที่ 2	ปริมาณธาตุ (% โดยน้ำหนัก)												ระดับความลึก จากผิวดิน (เซนติเมตร)
	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Fe	Sr	Zr	O	
1	0.11	-	11.54	30.94	2.82	0.42	0.55	0.65	1.82	0.02	0.14	50.99	320-330
2	0.09	0.07	10.98	31.53	3.11	0.35	0.13	0.56	1.82	0.002	0.18	51.18	330-360
3	0.07	0.06	14.17	28.61	2.83	0.21	0.21	0.72	2.21	0.008	0.18	50.72	350-360
4	-	0.21	17.63	27.10	1.03	0.17	0.12	0.65	3.12	-	0.03	49.94	350-360
5	0.07	-	12.18	30.34	3.13	0.19	0.15	0.70	2.122	0.023	0.022	51.08	350-360
6	0.09	-	11.08	29.22	4.91	0.21	0.23	0.63	2.03	0.02	0.26	51.32	350-370
7	0.06	0.10	11.37	32.25	3.27	0.20	0.09	0.51	1.74	-	0.15	51.26	360-370
8	0.14	0.10	12.92	29.32	3.00	0.46	0.47	0.60	2.21	0.02	0.02	50.76	390-370
9	0.13	0.22	11.22	32.57	0.99	0.74	1.19	0.68	1.80	0.02	0.03	50.43	430-440

ตัวอย่าง ชุดที่ 2	ปริมาณธาตุ (% โดยน้ำหนัก)												ระดับความลึก จากผิวดิน (เซนติเมตร)
	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Fe	Sr	Zr	O	
10	0.12	0.08	11.04	31.76	2.81	0.38	0.26	0.49	1.91	0.01	0.02	51.12	430-440
11	0.08	-	12.23	30.55	3.04	0.25	0.08	0.64	1.85	0.01	0.02	50.76	430-440
12	0.07	-	12.32	30.58	2.64	0.25	0.08	0.89	2.09	-	0.15	52.93	430-440
13	0.06	0.17	12.17	31.17	1.35	0.30	0.33	0.61	2.58	0.009	0.024	51.23	460-470
14	0.07	0.13	13.68	28.85	2.70	0.32	0.40	0.74	2.32	0.02	0.15	50.62	460-470
15	0.08	0.12	11.38	32.63	0.85	0.51	1.12	0.70	2.01	0.02	0.02	51.55	460-470
16	0.05	0.15	13.43	31.86	0.31	0.24	0.68	0.712	2.08	0.008	0.03	50.45	460-470
17	0.08	0.14	10.75	33.71	1.04	0.25	0.62	0.68	1.69	0.01	0.03	51.02	460-470
18	0.13	0.10	11.55	30.59	2.45	0.47	0.92	0.71	2.43	0.03	0.02	50.60	460-470
19	-	0.18	13.24	32.09	0.22	0.28	0.73	0.65	2.12	0.01	0.02	50.46	470-480
20	0.07	0.08	13.47	30.66	1.37	0.38	0.66	0.87	1.84	0.01	0.03	50.56	470-480
21	0.09	0.09	11.54	32.94	0.77	0.42	1.17	0.74	1.517	0.017	0.025	50.67	470-480
22	0.07	0.14	11.20	34.05	0.30	0.24	0.92	0.67	1.55	0.01	0.03	50.82	470-480
23	0.05	0.18	12.52	32.29	0.41	0.38	1.19	0.60	1.94	0.02	0.02	50.40	480-490
24	0.11	0.14	11.71	31.78	1.36	0.60	1.20	0.58	1.98	0.03	0.02	50.49	480-490
25	0.07	0.18	12.96	30.79	1.17	0.36	0.98	0.65	2.44	0.02	0.02	50.18	490-500
26	0.06	0.10	12.60	29.71	2.38	0.29	0.67	0.73	2.93	0.02	0.02	50.49	490-500
27	0.07	0.18	13.03	31.93	0.50	0.29	0.72	0.67	2.03	0.01	0.03	50.54	490-500
28	0.08	0.08	13.55	28.26	2.73	0.39	0.82	0.71	3.08	0.02	0.03	53.25	490-500
29	0.09	0.07	13.63	28.99	2.32	0.34	0.74	0.81	2.54	0.02	0.03	50.42	490-500
30	0.15	0.15	11.69	30.10	2.68	0.60	1.20	0.71	1.98	0.03	0.14	50.57	490-500
31	0.08	0.13	10.44	32.16	1.95	0.34	0.75	0.74	2.63	0.02	0.03	50.74	490-500
32	0.06	0.16	11.51	33.71	0.43	0.27	0.75	0.59	1.66	0.01	0.02	50.83	500-510
33	0.06	0.19	13.84	31.43	0.76	0.16	0.18	0.73	1.92	-	0.03	50.70	630-640
34	0.06	0.16	11.10	32.88	1.00	0.56	1.34	0.49	1.72	0.02	0.02	50.67	640-650

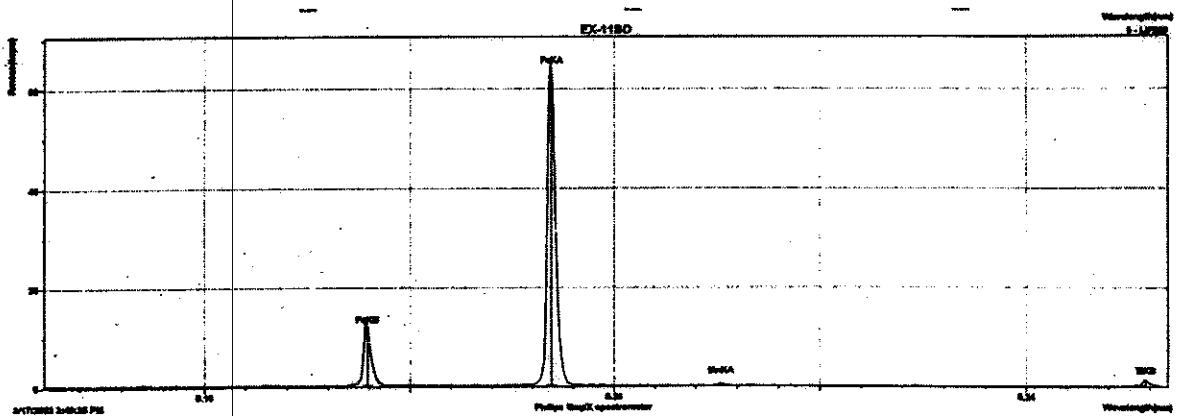
**ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของตัวอย่างภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดี**

**บ้านโพนเงินด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ WDX**

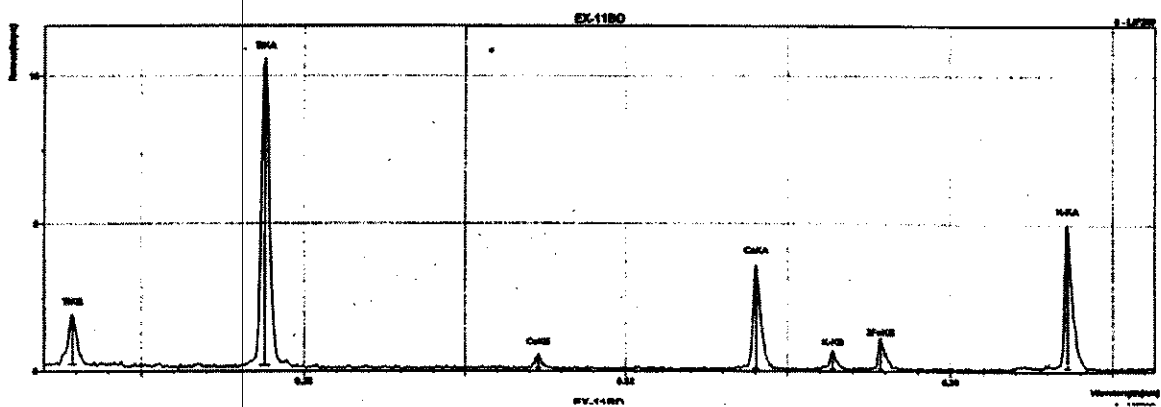
ตัวอย่าง ชุดที่ 2	ปริมาณธาตุ (% โดยน้ำหนัก)												ระดับความลึก จากผิวดิน (เซนติเมตร)
	Si	Al	P	K	Ca	Ti	Fe	Zr	Sr	Mg	Cl	O	
1	31.84	8.52	0.22	0.81	0.73	1.66	6.78	0.21	0.02	-	-	48.86	Surface
2	31.44	4.99	1.85	0.65	1.63	2.57	7.16	0.29	0.09	-	-	48.55	90-100
3	32.60	7.90	0.71	0.48	2.00	0.22	6.28	0.02	-	0.06	-	49.08	100-110
4	30.88	9.24	0.27	0.55	0.59	1.73	7.75	0.12	-	-	-	48.70	100-110
5	31.97	6.97	0.13	0.87	0.68	1.85	8.57	-	0.03	-	-	48.37	110-120
6	31.54	8.47	-	0.73	0.72	1.73	7.65	0.24	0.03	-	-	48.56	130-140
7	34.69	6.48	0.10	0.91	0.65	1.84	5.37	0.15	1.10	-	-	49.53	150-160
8	34.39	6.79	-	1.37	0.63	1.74	5.52	0.17	-	-	-	49.35	150-160
9	30.56	9.76	0.09	0.66	0.62	1.89	7.48	0.14	-	-	-	48.61	160-170
10	34.03	6.66	-	1.28	0.83	1.59	6.23	0.12	-	0.09	-	49.14	160-170
11	33.01	8.03	-	0.74	0.59	1.79	5.55	0.27	0.02	-	-	48.98	170-180
12	29.91	7.06	0.23	0.56	0.54	1.82	8.07	0.13	0.64	-	-	46.21	170-180
13	31.34	7.77	0.47	0.89	1.12	1.89	6.93	0.24	0.05	-	-	48.42	180-190
14	29.94	6.95	0.20	1.46	0.66	2.18	10.56	0.27	0.03	-	-	47.36	190-200
15	29.84	9.83	-	0.72	0.64	1.79	8.69	0.13	-	-	-	48.15	200-210
16	33.32	7.84	0.20	0.95	0.59	1.73	5.51	0.15	0.09	-	-	49.31	200-210
17	30.67	8.58	0.35	0.62	0.57	1.77	8.44	0.04	0.03	-	0.08	48.39	220-230
18	27.40	7.29	2.22	1.15	3.19	2.37	7.48	0.14	-	-	-	48.61	240-250
19	33.01	6.85	0.37	0.82	0.69	1.96	6.75	0.13	-	0.07	0.13	49.01	250-260
20	33.64	6.94	0.44	0.66	1.05	2.15	5.15	0.13	0.03	-	0.22	49.40	270-280
21	27.84	6.79	0.45	1.39	0.71	2.17	10.25	0.24	0.03	0.07	-	47.35	270-280
22	29.69	5.72	2.84	1.19	2.52	2.49	5.92	0.16	0.52	-	-	48.38	270-280
23	31.31	5.39	2.15	1.47	3.06	2.07	4.78	0.24	0.14	-	-	48.54	330-340
24	29.07	8.31	0.18	1.12	1.20	1.38	10.62	0.15	0.03	0.10	-	47.22	350-360
25	31.19	5.53	1.08	0.75	1.16	2.57	8.62	0.27	0.04	-	-	48.16	360-370
26	30.22	8.46	-	1.07	1.37	1.47	9.30	0.12	0.04	0.09	-	47.80	410-420
27	31.11	8.95	0.25	0.81	0.72	1.54	7.64	0.15	-	-	-	48.63	480-490
28	27.69	8.51	-	1.04	1.05	1.29	12.78	0.12	0.04	0.10	-	46.39	530-540
29	34.59	7.64	-	1.01	0.67	2.05	3.86	0.14	-	-	-	49.84	540-550
30	33.66	6.84	0.47	0.54	0.99	2.10	5.26	0.27	0.03	-	0.10	49.42	610-620



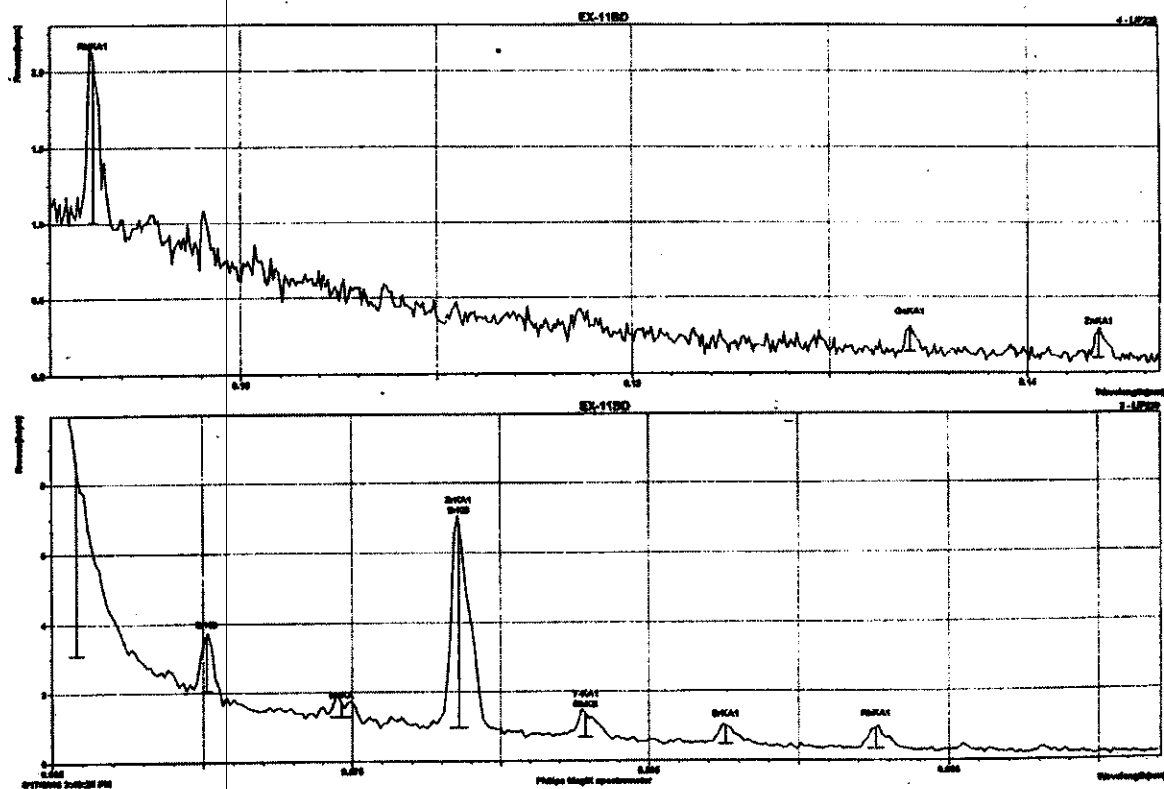
รูปที่ 26: ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 ด้วยเครื่อง XRF



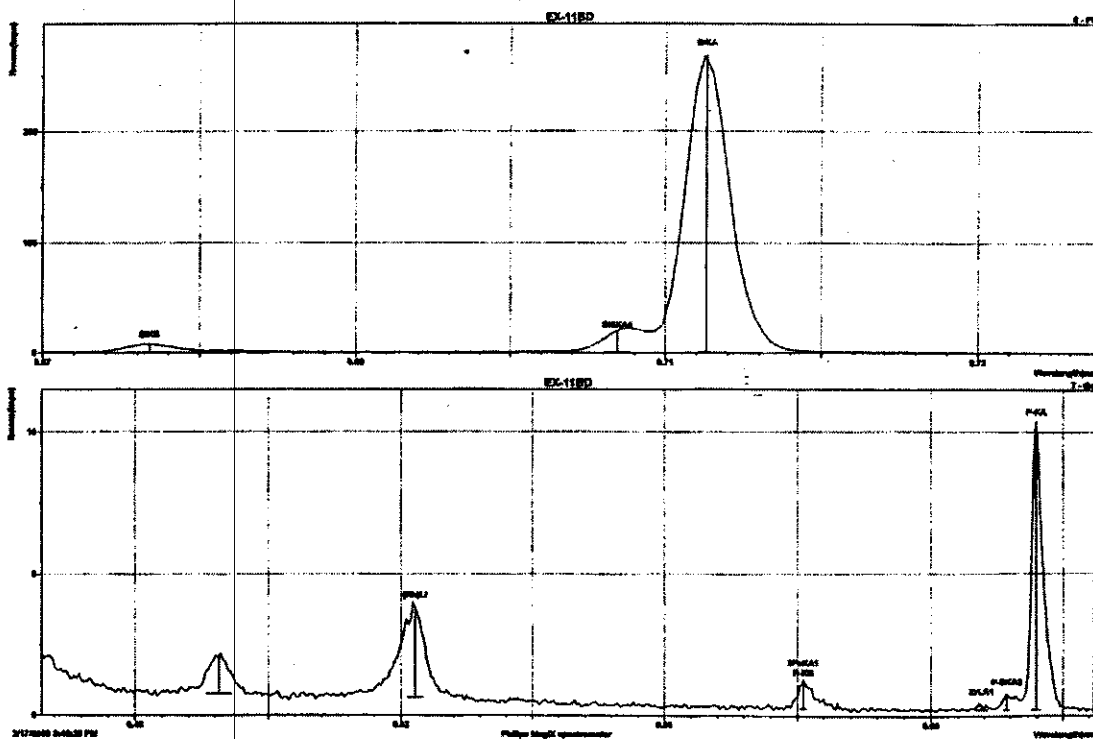
รูปที่ 27: ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 ด้วยเครื่อง XRF



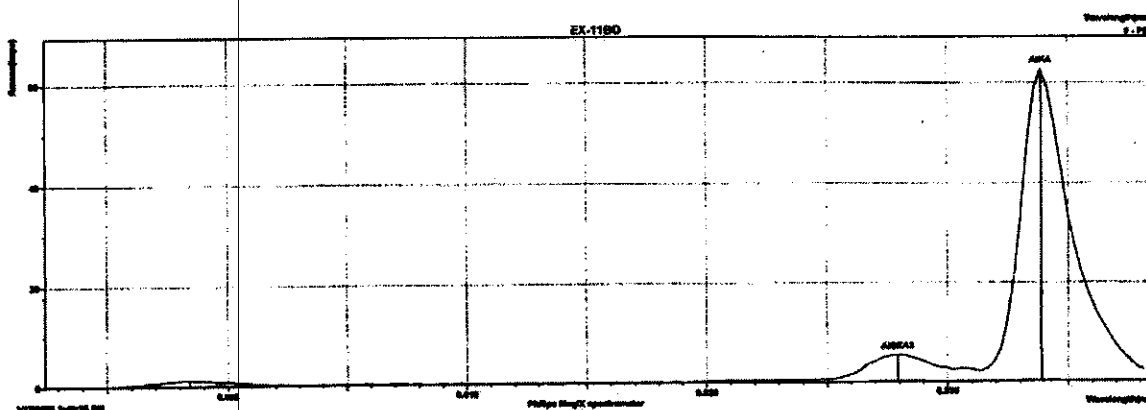
รูปที่ 28: ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 ด้วยเครื่อง XRF



รูปที่ 29: ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 ด้วยเครื่อง XRF



รูปที่ 30: ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 ด้วยเครื่อง XRF



รูปที่ 31: ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 13 ด้วยเครื่อง XRF

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิคนี้ในตัวอย่างภาชนะดินเผาจากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัวประกอบด้วยธาตุ Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Sr, และ Zr ปริมาณ 0.047-0.147%, 0.062-0.221%, 10.443-17.627%, 28.256-34.047%, 0.224-4.909%, 0.163-0.735%, 0.075-1.200%, 0.486-0.894%, 1.517-3.116%, 0.002-0.032% และ 0.020-0.255% โดยน้ำหนักตามลำดับ

สำหรับตัวอย่างจากแหล่งโบราณคดีบ้านโพเงิน ประกอบด้วยธาตุ Si, Al, P, K, Ca, Ti, Fe, Sr, Zr, Mg, Cl และ O ปริมาณ 27.404 - 34.689%, 4.996 - 9.832%, 0 - 2.841%, 0.476 - 1.467%, 0.588 - 3.196%, 0.223-2.570%, 3.861-12.778%, 0-1.103%, 0-0.295%, 0-0.103%, 0-0.221% และ 46.21-49.84% โดยน้ำหนัก

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ทั้งระบบ EDX และ WDX ผลที่ได้จะแตกต่างกันเนื่องจาก ในระบบ EDX จะมีขีดความสามารถวัดได้ตั้งแต่ฟลูออรีน (F) ขึ้นไปในตารางธาตุและปริมาณที่ได้เป็นปริมาณที่เปรียบเทียบกับธาตุที่เครื่องวิเคราะห์สามารถตรวจพบได้เท่านั้นและคำนวณได้เป็น 100% โดยน้ำหนัก ส่วนระบบ WDX จะมีขีดความสามารถสูงและวัดได้ถึงธาตุโบรอน (B) ขึ้นไป ในตารางธาตุ ดังนั้นผลการวัดทั้ง 2 ระบบ ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ และตัวอย่างที่เก็บมาเป็นคนละชุด

#### 4.5 ผลการทดลองหาอายุโบราณวัตถุประเภทภาชนะดินเผาด้วย TLD Dating

##### 4.5.1 ผลการศึกษาผลึกควอตซ์ที่แยกได้โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

จากการทดลองโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ผลึกควอตซ์ที่เตรียมได้กับ SiO<sub>2</sub> (PDF NO.46-1045) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 7** แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของควอทซ์ที่เตรียมได้กับ SiO<sub>2</sub> (PDF NO.46-1045)

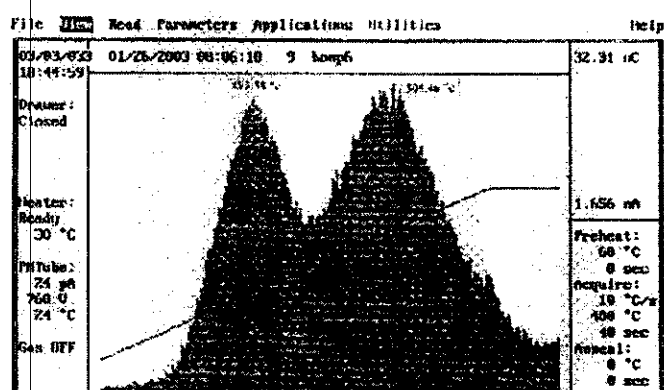
ควอทซ์ที่เตรียมได้		SiO <sub>2</sub> (PDF NO.46-1045)		
2 $\theta$	Intensity	2 $\theta$	intensity	hkl
20.83366	24.36	20.86000	16.00	100
26.6107	100.00	26.64000	100.00	101
36.53041	6.01	36.54400	9.00	110
39.42129	4.50	39.46500	8.00	102
40.27597	10.52	40.30000	4.00	111
42.37702	4.31	42.45000	6.00	200
45.77184	2.15	45.79300	4.00	201
50.10111	11.81	50.13900	13.00	112
50.25770	5.16	50.62200	<1.00	003
54.82975	2.56	54.87500	4.00	202
55.30281	1.05	55.32500	2.00	103
59.90822	19.34	59.96000	9.00	211
64.01143	1.84	64.03600	2.00	113
67.76952	4.09	67.74400	6.00	300
68.11342	6.29	68.14400	7.00	203
68.30887	5.49	68.31800	5.00	301

วิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าข้อมูลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งซิลิกอนไดออกไซด์(SiO<sub>2</sub>)(PDF NO.46-1045)

มีโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal และมีขนาดของหน่วยเซลล์เป็น  $a = b = 4.91344 \text{ \AA}$ ,  $c = 5.40524 \text{ \AA}$

#### 4.5.2 ผลการศึกษา grow curve ของผลึกควอทซ์

เมื่อนำผลึกควอทซ์ที่แยกได้ไปอ่านค่าปริมาณรังสี ลักษณะของ grow curve ที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 32



**รูปที่ 32:** แสดง grow curve ของผลึกควอทซ์ที่แยกได้



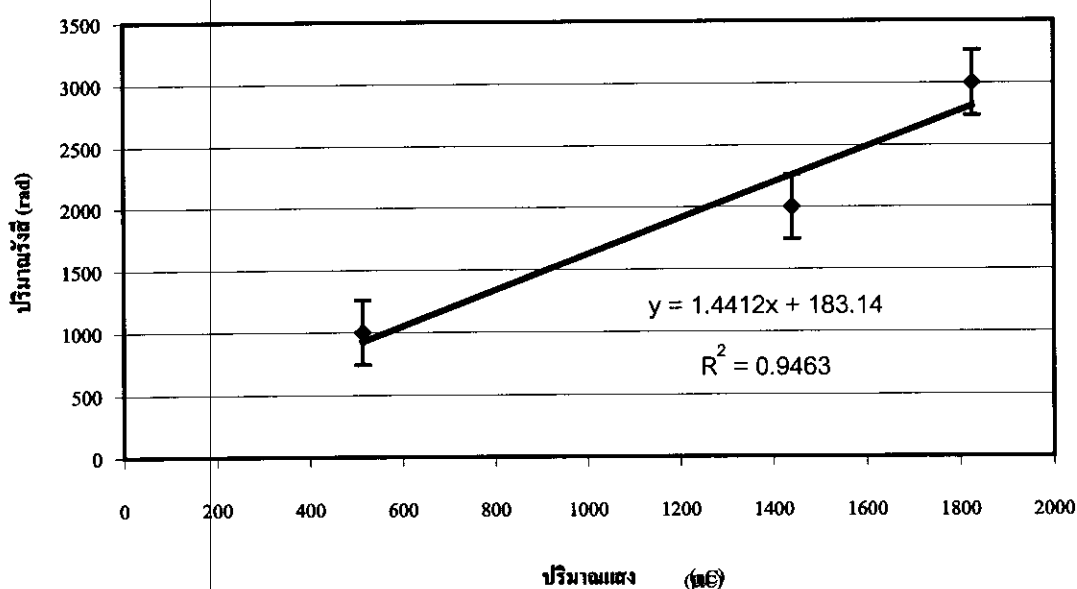
วิเคราะห์ผลจากลักษณะของ grow curve พบว่ามี 2 พีก ซึ่งพีกหลัก (main grow peak) อยู่ที่อุณหภูมิ 193 °C และพีกรองอยู่ที่ 308 °C

#### 4.5.3 ผลการวัดปริมาณรังสีสะสมในผลึกควอทซ์ (accumulated radiation dose)

นำควอทซ์ที่แยกได้จากโบราณวัตถุไปวัดปริมาณรังสีควอทซ์ที่ได้รับจากธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 32.79 nC จากการทดลองได้ค่าสัญญาณแสงที่อ่านจากเครื่องอ่านเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ ดังตารางที่ 5 และรูปที่ 33 โดยวัดปริมาณรังสีของผลึกควอทซ์ที่นำไปอบรังสี

**ตารางที่ 8** แสดงสัญญาณแสงของผลึกควอทซ์ที่อบรังสีแกมมาปริมาณต่างๆ

ปริมาณรังสี (rad)	ค่าสัญญาณแสง (nC)
1000	513.75
2000	1441.25
3000	1827.00



**รูปที่ 33:** Calibration curve ของสัญญาณแสงจากควอทซ์

สามารถหาค่าปริมาณรังสีสะสมในผลึกควอทซ์จากรูปที่ 33 พบว่าปริมาณรังสีสะสมมีค่าเป็น  $230.4011 \pm 3.680874$  แรด

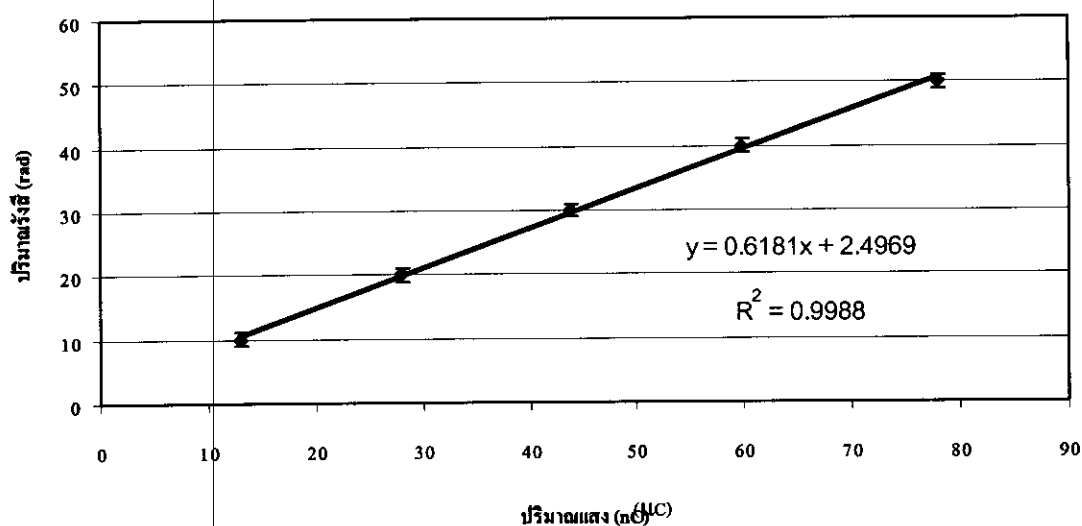
#### 4.5.4 ผลจากการหาอัตราการปลดปล่อยรังสีจากหลุมขุดค้น (Annual radiation dose)

จากการทดลองเมื่อนำผลึก  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$  ไปฝังที่หลุมขุดค้นเป็นเวลา 30 วัน แล้ววัดค่าสัญญาณแสงได้ 6.72 nC

เมื่อนำผลึก  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$  ไปอบรังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดโคบอลต์-60 ที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 แรค ได้ผลดังตารางที่ 9 และรูปที่ 34

**ตารางที่ 9** ค่าสัญญาณแสงของผลึก  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$  ที่นำไปอบรังสีที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณรังสี (rad)	ค่าสัญญาณแสง ( $\mu\text{C}$ )
10	12.92
20	28.09
30	43.86
40	59.71
50	77.91



**รูปที่ 34:** Calibration curve ของสัญญาณแสงจาก  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$

เมื่อเปรียบเทียบค่าสัญญาณแสงจากผลึก  $\text{CaSO}_4(\text{Dy})$  จากหลุมขุดค้นกับรูปที่ 34 จะได้ค่าอัตราการปลดปล่อยรังสีจากหลุมขุดค้นเป็น  $0.0809 \pm 0.001264$  แรคต่อปี

จากสมการเราจะได้

$$\begin{aligned}
 \text{Age} &= \frac{\text{Accumulated radiation dose}}{\text{Annual radiation dose}} \\
 &= \frac{230.4011 \pm 3.680874}{0.0809 \pm 0.001264} \\
 &= 2847.974 \pm 89.963 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของภาชนะดินเผา

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของภาชนะดินเผาในกลุ่มตัวอย่างนี้สามารถสรุปคร่าวๆ ได้เป็น 4 แบบ คือ

ลักษณะผิวภาชนะตกแต่งด้วยลายประทับเชือกทาบ

ลักษณะผิวภาชนะตกแต่งด้วยลายขูดขีด

ลักษณะภาชนะเป็นผิวเรียบ เนื้อสีนวล

ลักษณะภาชนะเป็นผิวเรียบ เนื้อสีส้ม

ซึ่งมีทั้งการเคลือบน้ำดิน ทั้งภายในและ/หรือภายนอก และไม่เคลือบน้ำดิน ภาชนะดินเผาผิวเรียบ เนื้อสีนวล และมีการตกแต่งด้วยลายเชือกทาบเป็นลักษณะดินเผาที่แตกต่างจากกลุ่มวัฒนธรรมอื่น ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลทางโบราณคดีที่เรียกภาชนะดินเผากลุ่มนี้ว่าแบบร้อยเอ็ด (Roi-et ware) เนื่องจากพบที่จังหวัดร้อยเอ็ด

5.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในทุกตัวอย่างโบราณวัตถุจะเป็นสารประกอบชนิด  $\text{SiO}_2$  (Quartz) มีโครงสร้างแบบ Hexagonal

5.3 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณจากตัวอย่างชุดที่ 1 ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ EDX พบว่าตัวอย่างโบราณวัตถุจากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัวมีธาตุ Si, P, K, Ca, Ti และ V และตัวอย่างจากแหล่งโบราณคดีบ้านโพนเงินมีธาตุ Si, P, K, Ca, Ti, V และ Mn ในปริมาณต่างๆ กัน

5.4 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณจากตัวอย่างชุดที่ 2 ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ WDX พบว่าตัวอย่างจากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัวมีธาตุ Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe, Sr, Zr และ O และตัวอย่างจากแหล่งโบราณคดีบ้านโพนเงินมีธาตุ Mg, Al, Si, P, Cl, K, Ca, Ti, Fe, Sr, Zr และ O ในปริมาณต่างๆ กัน

5.5 การคำนวณหาอายุโบราณวัตถุจากแหล่งโบราณคดีบ้านเมืองบัว ได้เท่ากับ  $2848 \pm 90$  ปี

## บรรณานุกรม

1. CLIVE WHISTON, "X-ray Method Analytical Simulation Chemistry," behalf of ACOL, Thames. Ploytechnic, London, pp.163-370. 1987.
  2. D.Ertel, "X-ray Fluorescence Analysis," Kern for schungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlssuhe, 1988.
  3. Fleming S, "Thermoluminescence Techniques in Archaeology," Clarendon Press, Oxford, 1979.
  4. SuperQ Version 3.0 Refference Manual, "XRF THEORY,"
  5. Wagner, G.A., "Handbook for Archaeologists No.1 Thermoluminescence Dating," European Science Fundation, 1980.
- Yanchon L. and Jingzhao Z., "TL dating of Pottery shreds and baked soil from the Xian Teracotta Army Site," Shanxi Province, China, Nucl. Tracks Radiat. Meas, Vol. 14, pp.283-286, 1985.