

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การกำหนดอายุอิฐโบราณคดีด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนและ
วิธีกระตุ้นด้วยแสง

Dating of Ancient Bricks Using Thermoluminescence and
Optically Stimulated Luminescence methods

ทุนพัฒนาอาจารย์ใหม่ (ปีที่ 1)
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ปี 2553

จัดทำโดย

ผศ.ดร.สันติ ภัยหลบลี

ภาควิชาธรณีวิทยา

คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมษายน 2557

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การกำหนดอายุอิฐโบราณคดีด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนและ
วิธีกระตุ้นด้วยแสง

Dating of Ancient Bricks Using Thermoluminescence and
Optically Stimulated Luminescence methods

ทุนพัฒนาอาจารย์ใหม่ (ปีที่ 1)
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ปี 2553

จัดทำโดย

ผศ.ดร.สันติ ภัยหลบลี

ภาควิชาธรณีวิทยา

คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมษายน 2557

คำนำ

รายงานฉบับนี้จัดทำขึ้น เพื่อรายงานผลการวิจัยของทุนพัฒนาอาจารย์ใหม่ (ปีที่ 1) กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ปี 2553 ในหัวข้อการวิจัยเรื่อง การกำหนดอายุอิฐโบราณคดีด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนและวิธีกระตุ้นด้วยแสง (*Dating of Ancient Bricks Using Thermoluminescence and Optically Stimulated Luminescence methods*) ซึ่งมุ่งเน้นที่จะทดสอบศักยภาพของการกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์กับวัสดุด้านโบราณคดี และมุ่งเน้นที่จะกำหนดอายุแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก อ. ตะกั่วป่า จ. พังงา ซึ่งถือเป็นแหล่งโบราณคดีที่สำคัญแหล่งหนึ่งในภาคใต้ของประเทศไทย

ในการนี้ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์อายุตัวอย่างอิฐของโบราณสถานทั้งสิ้น 6 ก้อน โดยแยกย่อยออกเป็น 13 ตัวอย่าง โดยประยุกต์ใช้วิธีการกำหนดอายุทั้งวิธีเรืองแสงความร้อนและวิธีกระตุ้นด้วยแสง ทั้งนี้เพื่อทดสอบศักยภาพของแต่ละวิธี และเป็นการยืนยันซึ่งกันและกันถึงอายุของแหล่งโบราณคดี ดังกล่าวที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานฉบับนี้จะมีประโยชน์ทั้งในด้านการตีแผ่ศักยภาพของการกำหนดอายุของทั้งสองวิธีดังกล่าว ซึ่งมีความสำคัญมากกับงานทั้งด้านธรณีวิทยาและโบราณคดี ตลอดจนช่วยเติมเต็มข้อมูลอายุสัมบูรณ์ทางวิทยาศาสตร์ให้กับแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้

ขอแสดงความนับถือ

สันติ ภัยหลบลี

สันติ ภัยหลบลี
(ผู้วิจัย)

เลขหมู่ เลขทะเบียน 018125 วัน. เดือน. ปี 8 ก.พ. 62
--

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญภาพ	ง
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	
1.1. ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2. วัตถุประสงค์	4
1.3. พื้นที่ศึกษา	4
1.4. งานวิจัยในอดีตและการทบทวนวรรณกรรม	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (Theory and Methodology)	
2.1. หลักการเรืองแสง	10
2.2. การประยุกต์กำหนดอายุวัสดุที่ได้รับความร้อน	12
2.3. การประเมินปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่าง	13
2.4. เทคนิคการประเมินปริมาณกัมมันตภาพรังสี	18
บทที่ 3 การเตรียมตัวอย่างและประเมินอัตราการแผ่รังสี (Sample Preparation and Annual Dose Determination)	
3.1. การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์อัตราการแผ่รังสีต่อปี	25
3.2. การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณสัญญาณการเรืองแสง	26
3.3. การตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของธาตุกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่าง	30
3.4. การวิเคราะห์อัตราการแผ่รังสีต่อปี	33
บทที่ 4 การประเมินปริมาณรังสีในตัวอย่าง (Equivalent Dose Determination)	
4.1. การเปรียบเทียบการอาบรังสี	37
4.2. การทดสอบรังสีเบื้องต้น	39
4.3. การประเมินรังสีด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน	42
4.4. การประเมินรังสีด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง	48

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (Discussions and Conclusions)

5.1. อภิปรายผล

59

5.2. สรุปผล

63

5.3. ปัญหาและอุปสรรคของการทำวิจัย

63

อ้างอิง (References)

65

สารบัญญภาพ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	
รูป 1.1 ช่วงอายุโดยประมาณในแต่ละเทคนิคการกำหนดอายุ ที่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ	3
รูป 1.2 ค่าความผิดพลาดโดยประมาณในแต่ละเทคนิคการกำหนดอายุ ที่สามารถกำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ	3
รูป 1.3 ก-ข แผนที่แสดงที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก ค-ง สภาพทั่วไปและการเข้าถึงพื้นที่ศึกษาแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก	5
รูป 1.4 โบราณวัตถุและเศษซากที่พบบริเวณแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก	7
รูป 1.5 แผนผังแสดงการกระจายตัวของแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก	8
รูป 1.6 สภาพแหล่งโบราณสถานต่างๆ หลังการขุดค้นและบูรณะซ่อมแซม	9
บทที่ 2 ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (Theory and Methodology)	
รูป 2.1 (ก) ลักษณะโครงข่ายของผลึกที่สมบูรณ์ (ข) รูปแบบโครงข่ายผลึกที่มีประจุอย่างง่ายที่เกิดความผิดปกติโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา ได้แก่ ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบหายไปจากตำแหน่งที่ควรอยู่ ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบแทรกอยู่ระหว่างกลาง และความผิดปกติเนื่องจากการแทนที่ของศูนย์กลางความไม่บริสุทธิ์ (ค) ลักษณะของหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน และ (ง) การกระตุ้นอิเล็กตรอนด้วยแสงหรือความร้อน	11
รูป 2.2 รูปจำลองแสดงระดับพลังงานระหว่างการเรืองแสงความร้อน	12
รูป 2.3 การประยุกต์หลักการเรืองแสงความร้อนกับการกำหนดอายุวัสดุที่ได้รับความร้อน เช่น หินอัคนี หินแปร อิฐ ถ้วย ชามสังคโลกโบราณคดี โดยแสดงอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอิเล็กตรอนฝังตัวในหลุมกักเก็บและเวลา	13
รูป 2.4 เครื่องมือ RISO TL/OSL Detector จากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	14
รูป 2.5 ตัวอย่างการเรืองแสงของตัวอย่างแร่ควอตซ์หลังจากได้รับการกระตุ้นด้วยความร้อน	15
รูป 2.6 TL Glow curve ของตัวอย่างอิฐ หมายเลข TT 5-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของการเรืองแสง (Count/sec) แกนตั้ง และอุณหภูมิกระตุ้น (Degree)	16

รูป 2.7	OSL Decay Curve ของตัวอย่างอิฐทั้งหมดที่นำมากำหนดอายุ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของการเรืองแสง (Count/sec) แกนตั้ง และระยะเวลาในการกระตุ้นด้วยแสง (Second)	16
รูป 2.8	(ก) TL Glow curve แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในตัวอย่าง (หน่วย count/sec) ในแต่ละระดับอุณหภูมิ ซึ่งวัดได้จากเครื่อง RISO TL/OSL Detector และ (ข) Growth curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณอิเล็กตรอน (หน่วย count/sec) ที่มีอยู่ในตัวอย่างและปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ทราบค่า (Gy)	18
รูป 2.9	(ก) แผนภาพวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Additive dose หรือ First glows (ข) Growth curve แสดงวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Additive dose	20
รูป 2.10	(ก) แผนภาพวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Partial bleach (ข) Growth curve แสดงวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Partial bleach	21
รูป 2.11	(ก) แผนภาพวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Total bleach (ข) Growth curve แสดงวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Total bleach	22
รูป 2.12	(ก) แผนภาพวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Regeneration (ข) Growth curve แสดงวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Regeneration	23

บทที่ 3 การเตรียมตัวอย่างและประเมินอัตราการแผ่รังสี (Sample Preparation and Annual Dose Determination)

รูป 3.1	แผนภูมิแสดงกระบวนการปฏิบัติงานการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์และกำหนดอายุด้วยวิธี TL และ OSL	24
รูป 3.2	รูปแสดงการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์อัตราการแผ่รังสีต่อปี	25
รูป 3.3	การเตรียมตัวอย่างอิฐและภาพตัดขวางภายในของก้อนอิฐแสดงให้เห็นความแตกต่างของสีภายในก้อนอิฐ	27
รูป 3.4	อุปกรณ์และเศษแร่ลทินที่เหลือจากกระบวนการแยกแร่ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าปริมาณสัญญาณการเรืองแสงที่สะสมอยู่ในตัวอย่าง	30

รูป 3.5	แบบจำลองแสดงธาตุกัมมันตภาพรังสีต่างๆ ที่ส่งผลต่ออัตราการแผ่รังสีต่อปี เข้าไปในตัวอย่างอัฐิที่ต้องการประเมินอายุด้วยวิธี TL หรือ OSL	31
รูป 3.6	(ก) เครื่อง Gamma Spectrometry ที่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งในการตรวจวัดปริมาณธาตุกัมมันตรังสีใน ตัวอย่าง (ข) ตัวอย่างกราฟแสดงปริมาณธาตุกัมมันตรังสีในตัวอย่างที่ได้จาก เครื่องGamma Spectrometry	31
รูป 3.7	กราฟแสดงผลการตรวจวัดความเข้มข้นของธาตุกัมมันตภาพรังสีด้วยเครื่อง Gamma Spectrometry	32
รูป 3.8	ประสิทธิภาพการทะลุทะลวงที่แตกต่างกันของอนุภาคแอลฟา เบตาและ แกมมา	34
รูป 3.9	อัตราการลดทอนความสามารถในการทะลุทะลวง ของอนุภาคแอลฟา (K) ซึ่ง สัมพันธ์กับขนาดของเม็ดตะกอน	35
รูป 3.10	อัตราการลดทอนความสามารถในการทะลุทะลวงของอนุภาคเบตา (B) ซึ่ง สัมพันธ์กับขนาดของเม็ดตะกอน	35
รูป 3.11	(ก) ประสิทธิภาพการทะลุทะลวงของอนุภาคเมื่อไม่ผ่านตัวกลางที่มีน้ำเป็น องค์ประกอบ (ข) การลดทอนความสามารถในการทะลุทะลวงของอนุภาค กัมมันตภาพรังสีจากสาเหตุความชื้นในตัวอย่าง	36

บทที่ 4 การประเมินปริมาณรังสีในตัวอย่าง (Equivalent Dose Determination)

รูป 4.1	ตัวอย่าง TLD ที่ใช้ในการเปรียบเทียบการอาบรังสี	37
รูป 4.2	ผลการเปรียบเทียบการอาบรังสีระหว่างเครื่องอาบรังสีโคบอลต์-60 จาก สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและการอาบรังสีด้วยเครื่อง RISO TL/OSL ที่ ภาควิชาธรณีวิทยา	38
รูป 4.3	แสดงการนำตัวอย่างควอตซ์บริสุทธิ์ใส่ถาดหลุมเพื่อทำการประเมินปริมาณ รังสีเบื้องต้น	40
รูป 4.4	OSL decay curve ของตัวอย่างธรรมชาติ (N) และตัวอย่างที่ผ่านการอาบรังสี (T) หมายเลขสัมพันธ์กับคอลัมน์ No. ในตาราง 4.1	41
รูป 4.5	สภาวะการตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่อง RISO TL/OSL ด้วยวิธี TL	42
รูป 4.6	กราฟ TL glow curve และ growth curve ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง RISO TL/OSL ด้วยวิธี TL และการประเมินค่าปริมาณรังสี	43
รูป 4.7	สภาวะการตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่อง RISO TL/OSL ด้วยวิธี OSL	50

รูป 4.8	ระเบียบวิธีการตรวจวัดและประเมินปริมาณสัญญาณการเรืองแสงด้วยวิธี OSL ด้วยเทคนิค Single Aliquot Regeneration (SAR) ในงานวิจัยนี้	61
รูป 4.9	กราฟแสดงการกระจายตัวของผลการตรวจวัดค่า ED จากการตรวจวัดซ้ำ 24 ครั้ง ในแต่ละตัวอย่าง (ซ้าย) ค่าเฉลี่ย (ขวา) ค่าต่ำสุด	62

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล (Discussions and Conclusions)

รูป 5.1	กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการกำหนดอายุด้วยวิธี TL/OSL จากส่วนภายในของอิฐ (แกนตั้ง) และส่วนภายนอกของอิฐ (แกนนอน)	60
รูป 5.2	ตัวอย่างกราฟการกระจายตัวของค่า ED ที่ประเมินได้ด้วยวิธี OSL ทั้งจากที่สกัดมาจากอิฐส่วนนอก (ตัวอย่าง TT 4-1) และที่สกัดมาจากอิฐส่วนใน (ตัวอย่าง TT 4-2)	60
รูป 5.3	กราฟแสดงการกระจายตัวของผลการกำหนดอายุด้วยวิธีต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับกำหนดอายุด้วยวิธีคาร์บอน-14 และการเทียบเคียงโบราณวัตถุจากงานวิจัยในอดีต	62

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	
ตาราง 1.1 ความสามารถในการประยุกต์วิธีการกำหนดอายุกับวัสดุทางธรณีวิทยาและโบราณคดีชนิดต่างๆ (Aitken, 1990) สัญลักษณ์แต่ละแบบแสดงศักยภาพในการใช้กับการกำหนดอายุที่แตกต่างกัน	2
 บทที่ 3 การเตรียมตัวอย่างและประเมินอัตราการแผ่รังสี (Sample Preparation and Annual Dose Determination)	
ตาราง 3.1 สรุปรูปการแบ่งแยกตัวอย่างเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรวจวัดค่าปริมาณสัญญาณการเรืองแสงที่สะสมอยู่ในตัวอย่างด้วยวิธี TL และ OSL	29
ตาราง 3.2 ผลการประเมินความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีที่ส่งผลต่อการประเมินอัตราการแผ่รังสีต่อปีของแต่ละตัวอย่าง	33
ตาราง 3.3 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสี (หน่วย ppm หรือ %) และอัตราการแผ่รังสีต่อปี (หน่วย μGy ต่อปี)	33
 บทที่ 4 การประเมินปริมาณรังสีในตัวอย่าง (Equivalent Dose Determination)	
ตาราง 4.1 ผลการประเมินปริมาณรังสีในเบื้องต้นของแต่ละตัวอย่าง (Test dose) และการออกแบบค่าการอาบรังสี 3 ค่าในการตรวจวัดปริมาณรังสีจริง (R)	40
ตาราง 4.2 ผลการประเมินปริมาณรังสีและอายุของตัวอย่างอิฐด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (Thermoluminescence Dating)	47
ตาราง 4.3 ผลการประเมินปริมาณรังสีและอายุของตัวอย่างอิฐด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง (Optically Stimulated Luminescence Dating) ด้วยแนวคิดการประเมินรังสีด้วยค่าเฉลี่ย (Mean ED)	57
ตาราง 4.4 ผลการประเมินปริมาณรังสีและอายุของตัวอย่างอิฐด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง (Optically Stimulated Luminescence Dating) ด้วยแนวคิดการประเมินรังสีด้วยค่าต่ำสุด (Minimum ED)	58

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1. ที่มาและความสำคัญของโครงการ (Theme and Rationale)

ในการสำรวจและศึกษาวิจัยด้านธรณีวิทยา (Geology) หรือโบราณคดี (Archaeology) ข้อมูลที่สำคัญสำหรับนักธรณีหรือนักโบราณคดี คือ ข้อมูลอายุ (Chronological data) ของตัวอย่างที่ศึกษาหรืออายุของพื้นที่ศึกษา เนื่องจากข้อมูลอายุทำให้ทราบถึงจุดกำเนิดหรือวิวัฒนาการของสิ่งที่ศึกษาได้ ซึ่งในปัจจุบัน เทคนิคการกำหนดอายุด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องและแตกแขนงไปในหลากหลายวิธี ซึ่งในแต่ละวิธีมีข้อเด่น-ข้อด้อยแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดทางหลักการหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ที่ประยุกต์ใช้ เช่น วิธี $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (McDougall และ Harrison, 1999), Fission track (Dumitru, 2000), Dendrochronology (Kuniholm, 2001), Amino acid racemisation (Wehmiller และ Miller, 2000), Radiocarbon (Hedges, 2000), Electron spin resonance-ESR (Grün, 2001), Thermoluminescence-TL (Aitken, 1985) และวิธี Optically stimulated luminescence-OSL (Aitken, 1998) เป็นต้น ซึ่งในการเลือกใช้วิธีกำหนดอายุกับวัสดุที่ต้องการศึกษานั้น ปัจจัยสำคัญ 3 ประการที่ควรคำนึงถึง คือ

1. วัสดุหรือตัวอย่างที่นำมากำหนดอายุ เช่น กระดูก หอย อินทรียวัตถุ เหมาะสมกับเทคนิคการกำหนดอายุแบบใด (ตาราง 1.1)
2. ช่วงอายุที่เหมาะสม เนื่องจากเทคนิคการกำหนดอายุในแต่ละอย่างนั้นมีศักยภาพในการกำหนดอายุที่อยู่ในช่วงต่าง ๆ กัน สืบเนื่องมาจากข้อจำกัดทางเทคนิคหรือข้อจำกัดทางทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ที่นำมาใช้ในแต่ละวิธีการกำหนดอายุนั้น จึงส่งผลให้แต่ละเทคนิคนั้นสามารถกำหนดอายุได้เฉพาะบางช่วงเวลาเท่านั้น ซึ่งหากนอกเหนือกว่านี้ จะส่งผลให้ไม่สามารถกำหนดอายุได้แม่นยำหรือไม่น่าเชื่อถือ (รูป 1.1)
3. ค่าความผิดพลาด ในแต่ละวิธีนั้นมีความผิดพลาดที่แตกต่างกัน (รูป 1.2) ขึ้นอยู่กับผู้วิจัยว่ายอมรับค่าความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นได้มากน้อยเพียงใด

ตัวอย่างเช่น การกำหนดอายุด้วยวิธีคาร์บอน-14 ซึ่งถือได้ว่าเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับ ความนิยมและยอมรับอย่างกว้างขวางทั่วโลก แต่วิธีคาร์บอน-14 ยังมีข้อจำกัดอยู่พอสมควร เช่น คาร์บอน-14 ใช้ได้กับวัตถุที่เป็นอินทรียวัตถุเท่านั้น และช่วงอายุที่วิธีคาร์บอน-14 กำหนด ได้อยู่ในช่วงไม่เกิน 45,000 ปีเท่านั้น (Roberts และคณะ, 1994)

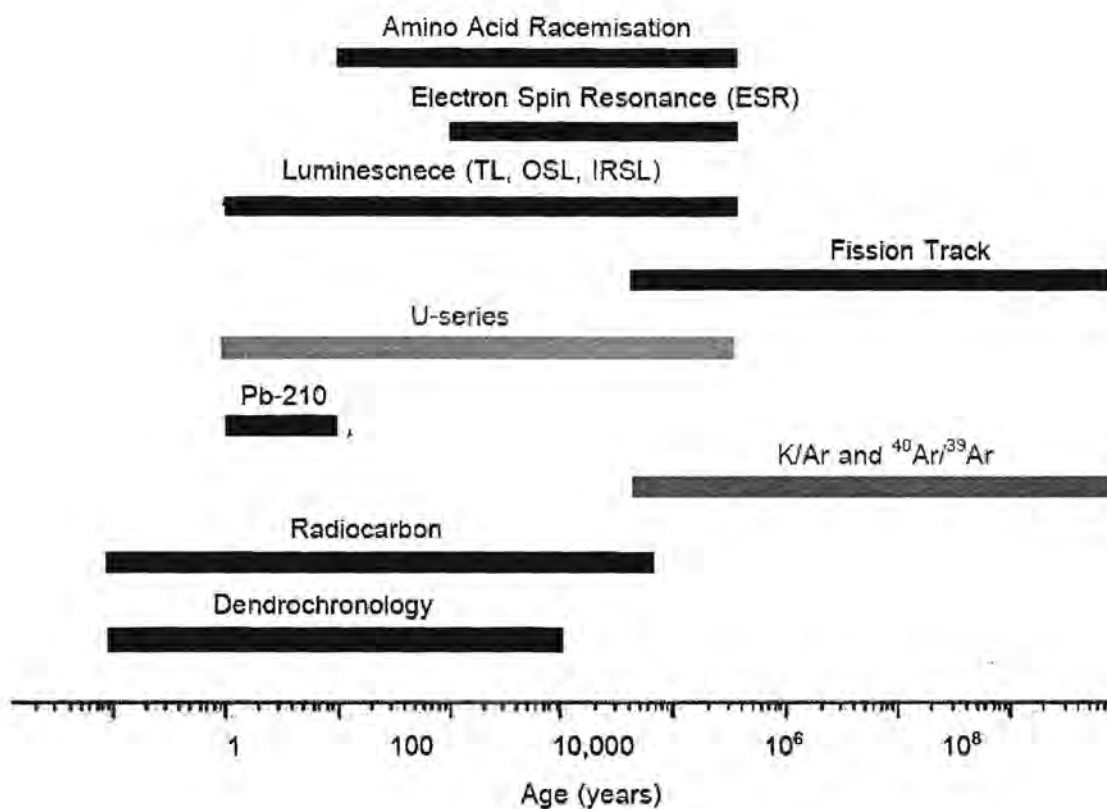
ตาราง 1.1 ความสามารถในการประยุกต์วิธีการกำหนดอายุกับวัสดุทางธรณีวิทยาและโบราณคดีชนิดต่างๆ (Aitken, 1990) สัญลักษณ์แต่ละแบบแสดงศักยภาพในการใช้กับการกำหนดอายุที่แตกต่างกัน

วิธีการกำหนดอายุ \ วัสดุ	พืช	กระดูก	สารเคลือบฟัน	หอย	ปะการัง	ตะกอนดิน	ออปซิเดียม	วัสดุภูเขาไฟ	Burn Flint	หม้อดินเผา
Amino Acid Racemisation		*	*	**						
Electron Spin Resonance			**	**	***			**	**	
Luminescence (TL, OSL)						***		*	***	***
Fission Tracks							***	***		
U-series		**	**	*	***	*		***		
K/Ar, 40Ar/39Ar								***		
Radiocarbon	***	***	*	***	**	**				**
Dendrochronology	***									

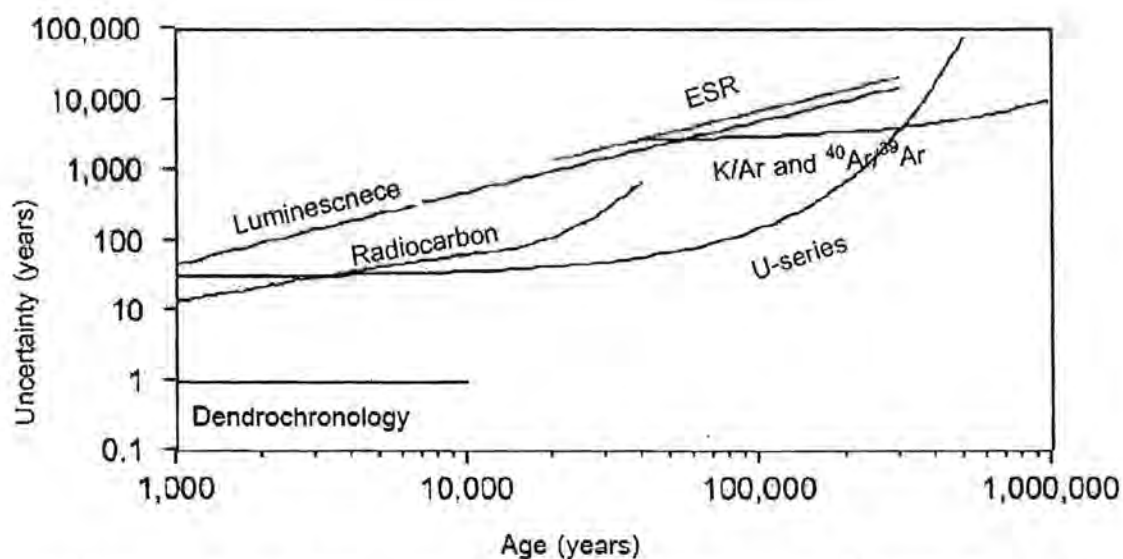
*** หมายถึง วัสดุนั้นสามารถกำหนดอายุกับวิธีการกำหนดอายุนั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

** หมายถึง ผลการกำหนดอายุบางครั้งน่าพอใจและบางครั้งไม่น่าพอใจ

* หมายถึง วัสดุนั้นไม่เหมาะสมกับการกำหนดอายุนั้นๆ



รูป 1.1 ช่วงอายุโดยประมาณในแต่ละเทคนิคการกำหนดอายุ ที่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ปรับปรุงจาก Colman และ Pierce, 2000)



รูป 1.2 ค่าความผิดพลาดโดยประมาณในแต่ละเทคนิคการกำหนดอายุ ที่สามารถกำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (www.rses.anu.edu.au)

การกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (Thermoluminescence, TL dating) และวิธีกระตุ้นด้วยแสง (Optically Stimulated Luminescence, OSL dating) เป็นวิธีการกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์ที่น่าสนใจและยังเป็นเรื่องใหม่สำหรับงานธรณีวิทยาและโบราณคดีในประเทศไทย ข้อดีของการกำหนดอายุด้วยวิธีนี้ คือ สามารถกำหนดอายุวัตถุที่ทำมาจากดินหรือตะกอนต่างๆ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการกำหนดอายุโดยตรงหรืออายุสัมบูรณ์ (Absolute age) และช่วงอายุที่กำหนดได้กว้างถึง คือ 10-200,000 ปี ซึ่งถือได้ว่าครอบคลุมอายุทางด้านโบราณคดีและอายุทางด้านธรณียุคก่อนหรือยุคควอเทอร์นารี (Quaternary period)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาวิจัยในส่วนของ การกำหนดอายุวัสดุทางโบราณคดีด้วยวิธี TL และ OSL dating โดยเน้นวัสดุเศษอิฐโบราณสถาน ซึ่งโดยทั่วไปมักเป็นสิ่งสุดท้ายที่ยังคงหลงเหลืออยู่ในพื้นที่ศึกษา โดยอายุที่ได้เป็นอายุของการผลิตก่อนอิฐเหล่านั้น จึงสามารถเทียบเคียงได้กับอายุของเมืองโบราณเหล่านั้นจริงๆ ตลอดจนตัวอย่างอิฐถือเป็นตัวอย่างที่สามารถหาได้ง่ายมากกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ เช่น ตัวอย่างถ่านหรือกระดูกสิ่งมีชีวิต สำหรับการกำหนดอายุด้วยวิธี C-14

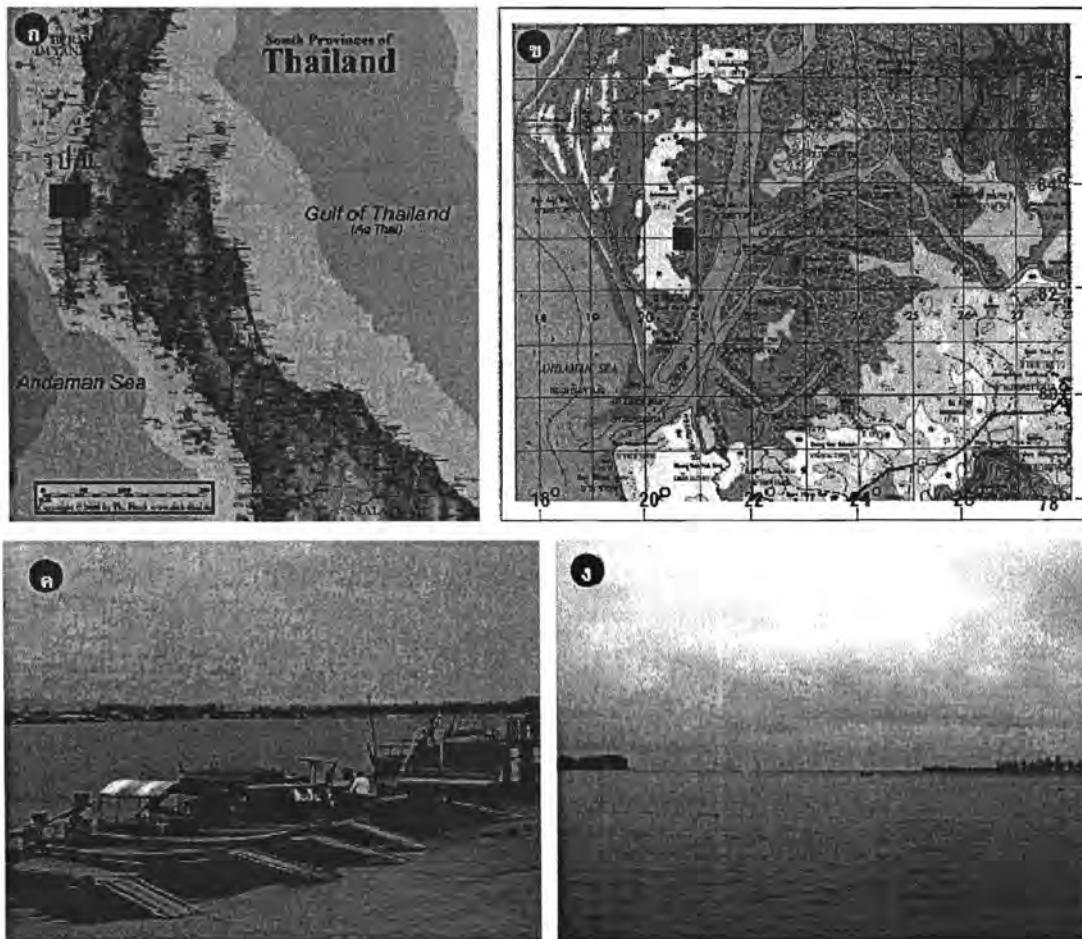
1.2. วัตถุประสงค์ (Objectives)

1. ประเมินศักยภาพและความสามารถในการกำหนดอายุอิฐและแหล่งโบราณคดีด้วยวิธี TL และ OSL dating
2. ประเมินอายุของอิฐและแหล่งโบราณคดีที่เป็นพื้นที่ศึกษา ด้วยวิธี TL และ OSL dating

1.3. พื้นที่ศึกษา (Study Area)

ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยที่กล่าวไปในข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกพื้นที่ศึกษาบริเวณแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก (Thung Tuk Archaeological Site, TT) ซึ่งตั้งอยู่ที่บ้านทุ่งตึก ตำบลเกาะคอเขา อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา ภาคใต้ของประเทศไทย (รูป 1.3) ซึ่งสาเหตุที่แหล่งโบราณคดีนี้ถูกเรียกว่าทุ่งตึก น่าจะเนื่องมาจากในพื้นที่นี้พบซากอาคารโบราณสถานที่ทำด้วยอิฐหลายแห่ง จึงสามารถพบอิฐปรากฏตามพื้นได้โดยทั่วไป โดยแหล่งโบราณคดีบ้านทุ่งตึกนี้ มีความสำคัญต่อการอธิบายภาพของชุมชนโบราณในแถบภาคใต้เป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับแหล่งโบราณคดีหลายแห่ง โดยเฉพาะแหล่งโบราณคดีตามแนวแม่น้ำตะกั่วป่า ได้แก่ เขาพระเหิน และเขาพระนารายณ์ จากตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์และหลักฐานทางโบราณคดีที่พบ สามารถกล่าวได้ว่าสถานที่แห่งนี้เป็นเมืองท่าสำคัญที่อยู่ในเส้นทางค้าขายข้ามคาบสมุทรระหว่างฝั่งตะวันตกกับฝั่งตะวันออกในสมัยโบราณ เนื่องจากพบโบราณวัตถุจากภายนอกจำนวนมาก โดยโบราณวัตถุดังกล่าวถือเป็นสินค้าฟุ่มเฟือยที่เข้ามาในระบบการค้า และที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ มีการเลือกตำแหน่งที่ตั้งให้อยู่ตรงปากแม่น้ำตะกั่วป่าพอดี ซึ่ง

สื่อให้เห็นถึงจุดประสงค์ที่ต้องการใช้เป็นเส้นทางการค้าตามแนวแม่น้ำตะกั่วป่าอย่างชัดเจน ซึ่งจากข้อมูลทีกล่าวมาแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของแหล่งโบราณคดีแห่งนี้เป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดอายุอย่างชัดเจน ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีการประเมินอายุของแหล่งโบราณคดีทุ่งตึกนี้ไว้บ้างแล้ว แต่ก็ยังเป็นเพียงการกำหนดอายุแบบเทียบเคียง (Relative age) เท่านั้น ดังนั้นการกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธี TL และ OSL ในงานวิจัยนี้ จึงเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยยืนยันอายุทางวิชาการที่เป็นอายุสัมบูรณ์ (Absolute age) โดยเฉพาะในประเด็นการเริ่มกำเนิดบ้านเมืองดินแดนแถบชายฝั่งทะเลอันดามัน การอธิบายเส้นทางทางการค้าตามหลักฐานทางโบราณคดีที่พบให้ชัดเจนขึ้น



รูป 1.3 ก-ข แผนที่แสดงที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก ค-ง สภาพทั่วไปและการเข้าถึงพื้นที่ศึกษาแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก

1.4. งานวิจัยในอดีตและการทบทวนวรรณกรรม (Literature Reviews)

แหล่งโบราณคดีทุ่งตึกแห่งนี้ ทราบกันมาแต่เดิมแล้วว่ามีค่าสำคัญทางโบราณคดีอย่างมาก พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 6 เมื่อครั้งดำรงพระอิสริยยศเป็นสมเด็จพระบรมโอรสาธิราชสยามมกุฎราชกุมาร ได้เสด็จทอดพระเนตร ณ แหล่งโบราณคดีแห่งนี้ เมื่อปี พ.ศ. 2452 โดยทรงกล่าวถึงแผ่นอิฐ แผ่นหินฐานเสาที่พบ พร้อมกับเสด็จทอดพระเนตรพระนารายณ์ที่เขaperเหนือและพระนารายณ์ที่เขaperเหนือด้วย และยังทรงกล่าวด้วยว่าแหล่งโบราณคดีทั้ง 3 แห่งตามแนวแม่น้ำตะกั่วป่านั้นมีความสัมพันธ์กัน

ต่อมา ดร. เอช จี ควอริทซ์ เวลส์ (H.G. Quaritch Wales) ได้เข้ามาสำรวจและขุดค้นทางโบราณคดีที่แหล่งโบราณคดีแห่งนี้ เมื่อปี พ.ศ. 2477-2478 โดยที่ทุ่งตึกได้พบซากโบราณสถานก่อด้วยอิฐขนาดโดยประมาณกว้าง x ยาว 30 x 60 หลา และสูงจากระดับพื้นประมาณ 6 ฟุต นอกจากนี้ยังพบเครื่องถ้วยจีนและเครื่องแก้วเปอร์เซีย และได้เสนอความคิดเกี่ยวกับแหล่งโบราณคดีแห่งนี้ว่าแหล่งโบราณคดีทุ่งตึกน่าจะเป็นชุมชนโบราณชื่อ ตะโกลา ดังปรากฏในจดหมายเหตุต่าง ๆ ซึ่งเป็นเมืองที่สำคัญที่มีอายุไม่น้อยกว่าพุทธศตวรรษที่ 7

ต่อมา อลาสแตร์ แลมป์ (Alastair Lamb) นักโบราณคดีชาวอังกฤษแห่งมหาวิทยาลัยมาลาया ประเทศมาเลเซีย ได้เข้ามาสำรวจแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก เขาพระเหนือ และเขาพระนารายณ์ ได้นำลูกปัด เครื่องแก้ว เครื่องถ้วย (รูป 1.4) ที่พบที่แหล่งโบราณคดีทุ่งตึกนี้ ไปวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งผลการวิเคราะห์สนับสนุนแนวความคิดที่ว่าชุมชนโบราณตะกั่วป่าน่าจะเป็นเมืองที่สำคัญ ซึ่งปรากฏตามจดหมายเหตุอาหรับในพุทธศตวรรษที่ 14 และเป็นเมืองเดียวกับเมืองตะโกลาตามจดหมายเหตุในพุทธศตวรรษที่ 7 แต่พัฒนาเป็นชุมชนเมืองที่สำคัญในพุทธศตวรรษที่ 12 ตรงกับสมัยราชวงศ์ถัง (T'ang Dynasty) ของจีน และมีความเห็นว่าเศษแก้วที่พบ ณ แหล่งโบราณคดีทุ่งตึกมีความคล้ายคลึงกับที่พบในตะวันออกเฉียงในพุทธศตวรรษที่ 13-14 (ศรีสุชาติ, 2529)

ต่อมา ฉายสุวรรณ และ นัยวัฒน์ (2547) ได้ทำการขุดสำรวจแหล่งโบราณคดีทุ่งตึกโดยละเอียด และจัดทำแผนผังแสดงการกระจายตัวของแหล่งซากโบราณสถานที่ยุดพบ ดังแสดงในรูป 1.5 ซึ่งผลจากการขุดค้นและบูรณะซ่อมแซม พบซากของฐานอิฐอย่างน้อย 8 ตำแหน่งกระจายอยู่ภายในแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก ซึ่งในแต่ละตำแหน่งนั้น ส่วนใหญ่จะไม่หลงเหลือความเป็นอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างให้เห็น มีเพียงแต่เศษอิฐที่ยังคงยึดติดกันในรูปที่แปลความหมายได้ว่าเป็นฐานของสิ่งปลูกสร้าง และเศษอิฐที่กระจัดกระจายอยู่เต็มไปทั่วพื้นที่ศึกษา (รูป 1.6)

อย่างไรก็ตามหลังจากขุดค้นเรียบร้อยแล้ว ได้มีการนำเศษโบราณวัตถุที่น่าสนใจ เช่น เครื่องแก้วเปอร์เซีย หรือเครื่องถ้วยชามจากจีน ไปทำการประเมินและเทียบเคียงอายุ (Typology) โดยผู้เชี่ยวชาญทางโบราณวัตถุ และมีการเก็บเศษตัวอย่างอินทรีย์วัตถุไปกำหนดอายุด้วยวิธีคาร์บอน 14 และได้อายุในเบื้องต้น

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ขออนุญาตจากทางสำนักงานศิลปากรที่ 15 จังหวัดภูเก็ต เพื่อขอเก็บตัวอย่างมาทำการกำหนดอายุด้วยวิธี TL และ OSL ตามวัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย โดยทำการเก็บตัวอย่างอิฐ จำนวน 6 ตัวอย่างจากช่างแหล่งโบราณสถานหมายเลข 1, 3, 4, 6, 7, และ 8 อย่างละ 1 ตัวอย่าง เพื่อไปทำการกำหนดอายุในห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพของการกำหนดอายุด้วยวิธี TL และ OSL เมื่อเทียบกับการกำหนดอายุด้วยวิธีคาร์บอน-14 ที่มีการประเมินไว้แล้วก่อนหน้านี้

ก) เศษหลังคาดินเผา



ข) ถ้วยชามเปอร์เซีย



ค) ภาชนะดินเผาพื้นบ้าน



ง) เครื่องเคลือบจากจีน



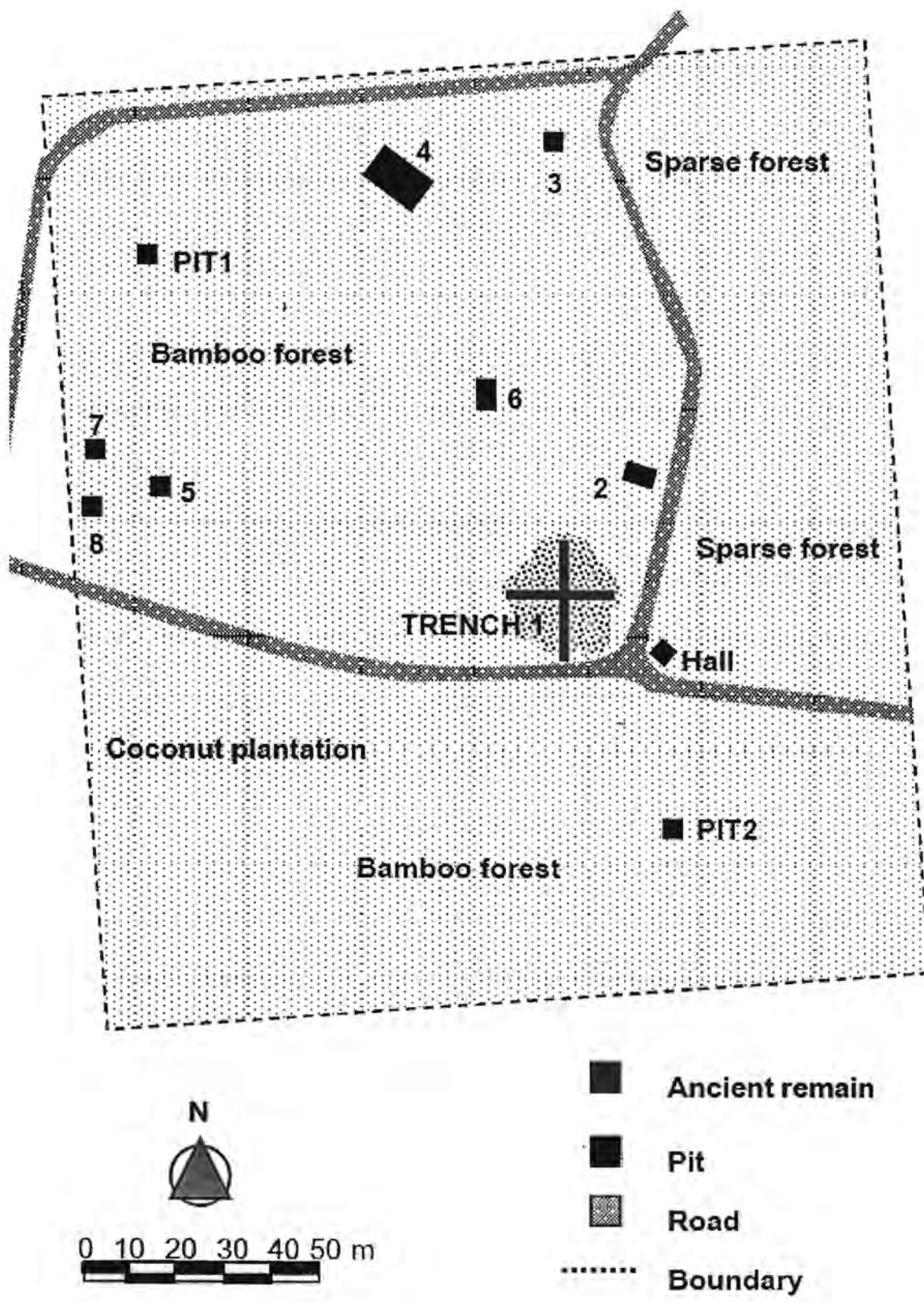
จ) อิฐฐานโบราณสถาน



ฉ) ลูกปัดที่ถูกขุดพบ



รูป 1.4 โบราณวัตถุและเศษซากที่พบบริเวณแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก



รูป 1.5 แผนผังแสดงการกระจายตัวของแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก

ร่องสำรวจ หมายเลข 1



โบราณสถาน หมายเลข 2



โบราณสถาน หมายเลข 3



โบราณสถาน หมายเลข 4



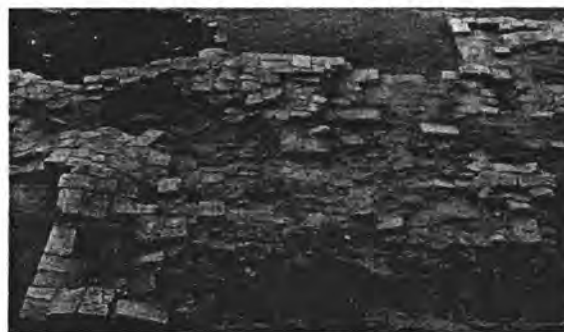
โบราณสถาน หมายเลข 5



โบราณสถาน หมายเลข 6



โบราณสถาน หมายเลข 7



โบราณสถาน หมายเลข 8



รูป 1.6 สภาพแหล่งโบราณสถานต่างๆ (อ้างอิงตามหมายเลขโบราณสถานในรูป 1.5) หลังการขุดค้นและบูรณะซ่อมแซม

บทที่ 2

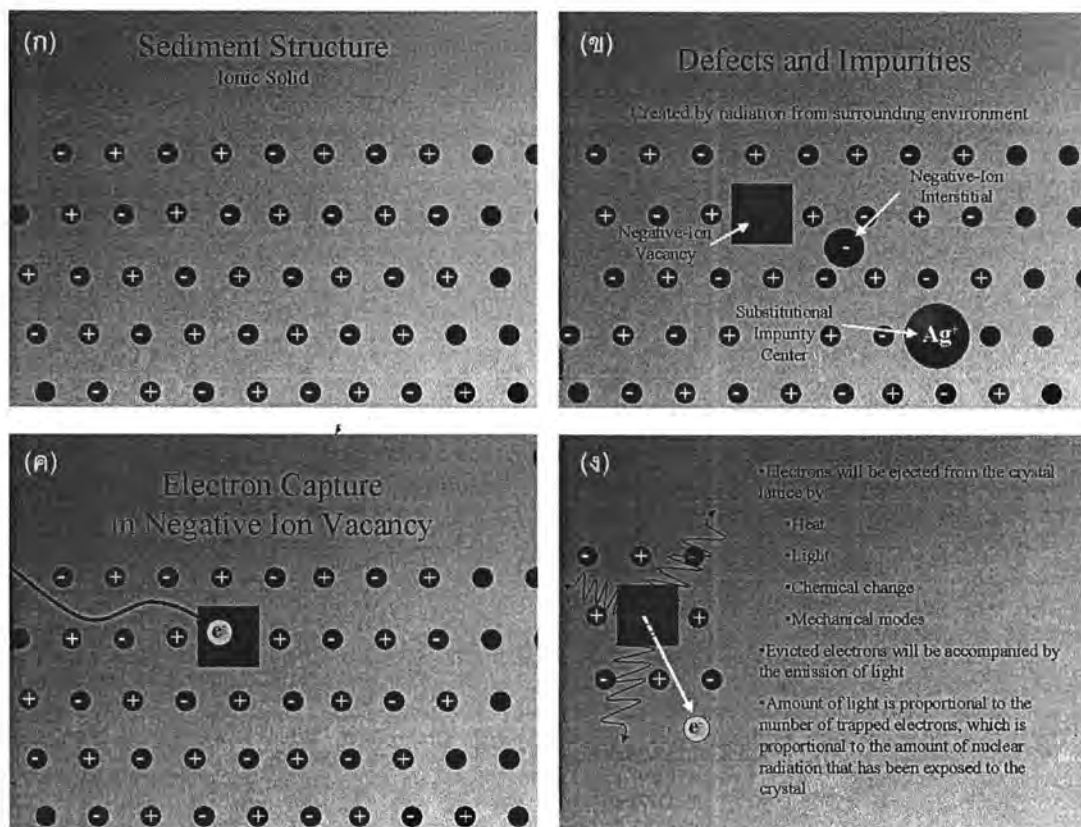
ทฤษฎีและระเบียบวิธีวิจัย (Theory and Methodology)

2.1. หลักการเรืองแสง (Luminescence Concept)

การอธิบายเรื่องหลักการเรืองแสงความร้อนที่เข้าใจง่ายที่สุด คือ การอธิบายผลึกแร่ในรูปของของแข็ง (Solid state physics) ซึ่งจะเกี่ยวกับระดับพลังงานของอิเล็กตรอนและการกักเก็บอิเล็กตรอน (Electron trap) โดยในทางทฤษฎีแล้วผลึกที่สมบูรณ์ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยโครงข่ายของผลึก (Lattice) ของประจุลบ (Electron) และประจุบวก (Proton) ที่ยึดเหนี่ยวอยู่ด้วยกันอย่างสมดุล (รูป 2.1ก) อย่างไรก็ตาม ผลึกแร่ในธรรมชาติ นั้นมักจะเกิดความบกพร่องขึ้นได้อันเนื่องมาจากเกิดความบกพร่องจากหลายกรณี เช่น เกิดจากการแทนที่โดยประจุของธาตุมลทิน เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วจากขั้นตอนการหลอมเหลวหรือเกิดจากการทำลายโดยการแผ่กัมมันตภาพรังสี จากรูป 2.1ข แสดงรูปแบบของโครงข่ายผลึก อย่างง่ายที่เกิดความผิดปกติโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา ได้แก่ ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบหายไปจากตำแหน่งที่ควรอยู่ (negative-ion vacancy) ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบแทรกอยู่ระหว่างกลาง (negative-ion interstitial) และความผิดปกติเนื่องจากการแทนที่ของศูนย์กลางความไม่บริสุทธิ์ (Substitution impurity center) ซึ่งเมื่อผลึกเกิดความบกพร่อง ทำให้ลักษณะของโครงข่ายผลึกของแร่มีตำแหน่งของประจุลบบางตำแหน่งไม่พบประจุลบวางอยู่ จึงทำให้ตำแหน่งนั้นประพฤติตัวกลายเป็นหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน (Electron trap) และมักเป็นจุดดึงดูดอิเล็กตรอนอื่นๆ ที่กระจายตัวอยู่บริเวณรอบข้างให้เข้ามาฝังตัวอยู่ในหลุม (รูป 2.1ค) เมื่อได้รับการกระตุ้นจากพลังงานต่างๆ ซึ่งถ่ายทอดจากสิ่งรอบข้าง เช่น พลังงานจากการแผ่รังสีนิวเคลียร์ของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ เช่น ยูเรเนียม (U) ทอเรียม (Th) และโปแตสเซียม (K) โดยที่ประจุอิเล็กตรอนเหล่านี้ สามารถหลุดออกมาได้ตลอดเวลาเมื่อมีการกระตุ้นอีกครั้งด้วยพลังงานรูปต่างๆ เช่น ความร้อน (Thermal) หรือแสง (Optical) (รูป 2.1ง)

นอกจากการอธิบายหลักการการเรืองแสงโดยใช้แบบจำลองอย่างง่ายดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ทฤษฎีการเรืองแสงสามารถอธิบายด้วยทฤษฎีระดับพลังงาน ได้ดังนี้ (ดูรูป 2.2 ประกอบ) สถานะของผลึกที่ไม่สมบูรณ์ (Defected lattice) จะประกอบไปด้วยหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน (T) และศูนย์กลางการเรืองแสง (Luminescence centers, L) ซึ่งหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนนี้จะมีระดับพลังงานอยู่ในช่วงระหว่าง ชั้น Valence band ที่อยู่ในสถานะพื้น (Ground state) ซึ่งเป็นชั้นที่มีความเสถียรสูง และชั้น Conduction band หรือสถานะกระตุ้น (Excited state) ซึ่งเป็นสถานะที่ไม่เสถียร (รูป 2.2ก)

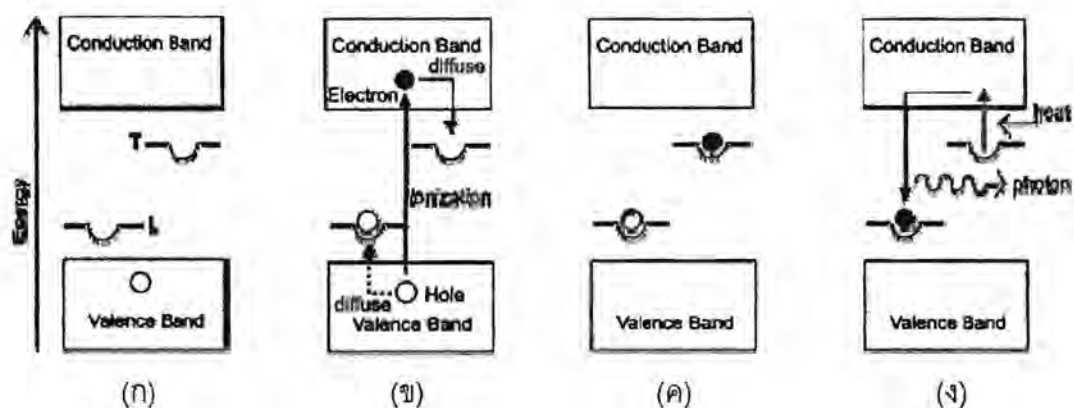
ชั้นการแผ่รังสี (Irradiation) เกิดจากอิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากการแผ่กัมมันตภาพรังสีจากธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นขึ้นไปในสถานะไม่เสถียรที่ชั้น Conduction band เกิดการกักเก็บอิเล็กตรอน ในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน (รูป 2.2ข)



รูป 2.1 (ก) ลักษณะโครงข่ายของผลึกที่สมบูรณ์ (ข) รูปแบบโครงข่ายผลึกที่มีประจุอย่างง่ายที่เกิดความผิดปกติโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา ได้แก่ ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบหายไปจากตำแหน่งที่ควรอยู่ ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบแทรกอยู่ระหว่างกลาง และความผิดปกติเนื่องจากการแทนที่ของศูนย์กลางความไม่บริสุทธิ์ (ค) ลักษณะของหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน และ (ง) การกระตุ้นอิเล็กตรอนด้วยแสงหรือความร้อน (<http://www.rses.anu.edu.au>)

ขั้นการกักเก็บ (Storage) โดยค่าช่วงชีวิต (Life-time) คือ ระดับความลึกของหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนนั้นต้องมีพลังงานมากกว่าหรือลึกเพียงพอสำหรับการกักเก็บจำนวนของอิเล็กตรอน (ซึ่งจำนวนของอิเล็กตรอนในหลุมกักเก็บมีความสัมพันธ์กับอายุของตัวอย่าง) ส่วนการเล็ดลอดของอิเล็กตรอนออกจากหลุมกักเก็บในช่วงระยะเวลาการกักเก็บนั้นเกิดขึ้นน้อยมากจึงไม่นำมาพิจารณา (รูป 2.2ค)

ขั้นการให้ความร้อน (Heating) เมื่อมีการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง เพื่อขับไล่อิเล็กตรอนออกจากหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน ซึ่งหลังจากอิเล็กตรอนถูกขับไล่ออกมา จะเกิดกระบวนการรวมตัวกันอีกครั้ง (Recombination) ที่บริเวณศูนย์กลางการเรืองแสง และมีการเรืองแสง (Luminescence) เกิดขึ้น (รูป 2.2ง)



รูป 2.2 รูปจำลองแสดงระดับพลังงานระหว่างการเรืองแสงความร้อน (Aitken, 1985)

2.2. การประยุกต์กำหนดอายุวัสดุที่ได้รับความร้อน (Application for Heated Material Dating)

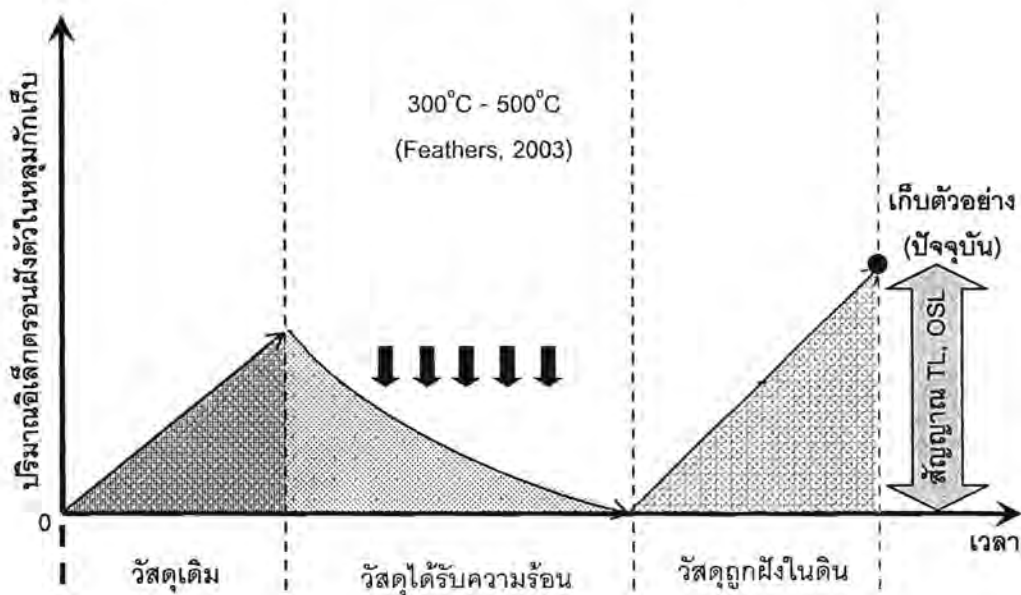
“วัสดุที่ได้รับความร้อน (Heated material)” ในที่นี้ เช่น หินอัคนี หินแปร อิฐ ถ้วย ชามสังคโลกทางโบราณคดี เป็นต้น โดยกระบวนการเริ่มต้นจากวัสดุเดิมนั้นมีการสะสมอิเล็กตรอนอยู่ตลอดเวลาตามปัจจัยของเวลาและอัตราการแผ่กัมมันตภาพรังสีของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ (ดังได้กล่าวไว้ในตอนต้น) จนถึง ณ เวลานั้น ซึ่งวัสดุนั้นได้รับความร้อน ด้วยอุณหภูมิ $300^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$ (Feathers, 2003) ขึ้นไป ยกตัวอย่างในธรรมชาติ เช่น ลาวา ที่กลายเป็นหินอัคนี หินดั้งเดิมที่ถูกแปรสภาพด้วยความดันและอุณหภูมิสูง อิฐ ถ้วย ชามสังคโลกที่ถูกเผาในระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งสาเหตุต่างๆเหล่านี้ ทำให้วัสดุดั้งเดิมซึ่งเคยมีอิเล็กตรอนสะสมตัวอยู่ ถูกขับออกจนหมดเหมือนกับการหมุนเข็มนาฬิกาไปที่ตำแหน่งศูนย์ จากนั้นวัสดุเหล่านั้นจึงเริ่มต้นสะสมอิเล็กตรอนใหม่อีกครั้ง จนถึงวันที่นำตัวอย่างมาตรวจวัดปริมาณอิเล็กตรอนหรือปริมาณสัญญาณ TL เพื่อทำการกำหนดอายุวัสดุ ปริมาณอิเล็กตรอนที่ได้ จึงมีค่าเทียบเคียงได้กับปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมตัว นับตั้งแต่วัสดุนั้นได้รับความร้อนครั้งสุดท้ายจวบจนถึงปัจจุบัน (ดูรูป 2.3 ประกอบ)

ดังนั้น หากเราสามารถวัดปริมาณอิเล็กตรอนที่ฝังตัวอยู่ในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนได้ และสามารถหาอัตราการแผ่รังสีต่อปีของสิ่งแวดล้อมรอบข้างที่เป็นตัวกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเข้าไปเติมเต็มในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนได้ เราก็สามารถหาอายุของวัสดุนั้นได้ จากสมการความสัมพันธ์ของการกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน คือ (สมการ 2.1)

$$\text{Luminescence Date} = \frac{\text{Equivalent Dose (ED)}}{\text{Annual Dose (AD)}} \quad (\text{สมการ 2.1})$$

กำหนดให้

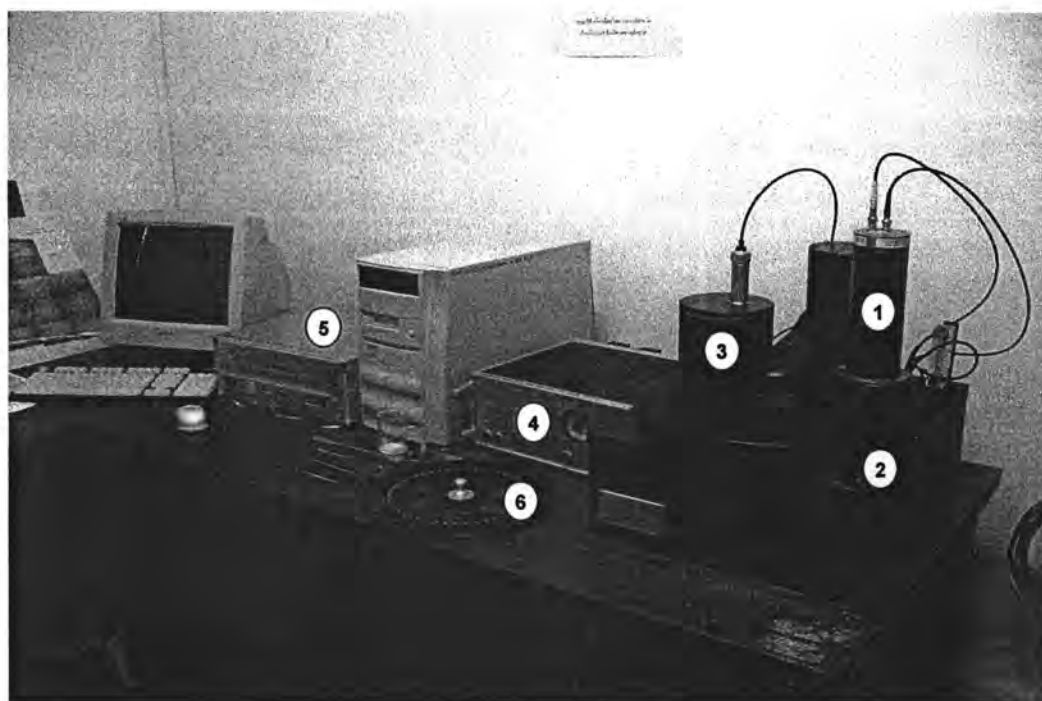
- **Equivalent dose (ED)** หรือ ค่า Paleodose คือ ค่าปริมาณอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นให้ไปอยู่ในระดับ Meta state อันเนื่องมาจากการกระตุ้นจากการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีในบริเวณรอบข้าง (หน่วย เกรย์ (Grey))
- **Annual dose (AD)** คือ อัตราการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในบริเวณรอบข้าง ซึ่งธาตุกัมมันตรังสีที่สำคัญ ได้แก่ ยูเรเนียม (U), ทอเรียม (Th), โพแทสเซียม (K) และรังสีคอสมิก จากชั้นบรรยากาศ (หน่วย เกรย์ต่อปี (Grey/year))
ซึ่งผลจากการหารของสองค่านี้ ทำให้ได้ผลลัพธ์ในหน่วยปี และเป็นอายุนับตั้งแต่แร่นั้นได้รับความร้อนทำให้ลบล้างสัญญาณจนหมด หรือเศษอิฐนั้นถูกเผาครั้งสุดท้ายหรือครั้งล่าสุด



รูป 2.3 การประยุกต์หลักการเรื่องแสงความร้อนกับการกำหนดอายุวัสดุที่ได้รับความร้อน เช่น หินอัคนี หินแปร อิฐ ถ้วย ชามสังคโลกโบราณคดี โดยแสดงอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอิเล็กตรอนฝังตัวในหลุมกักเก็บและเวลา (Feathers, 2003)

2.3. การประเมินปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่าง (Equivalent Dose Determination)

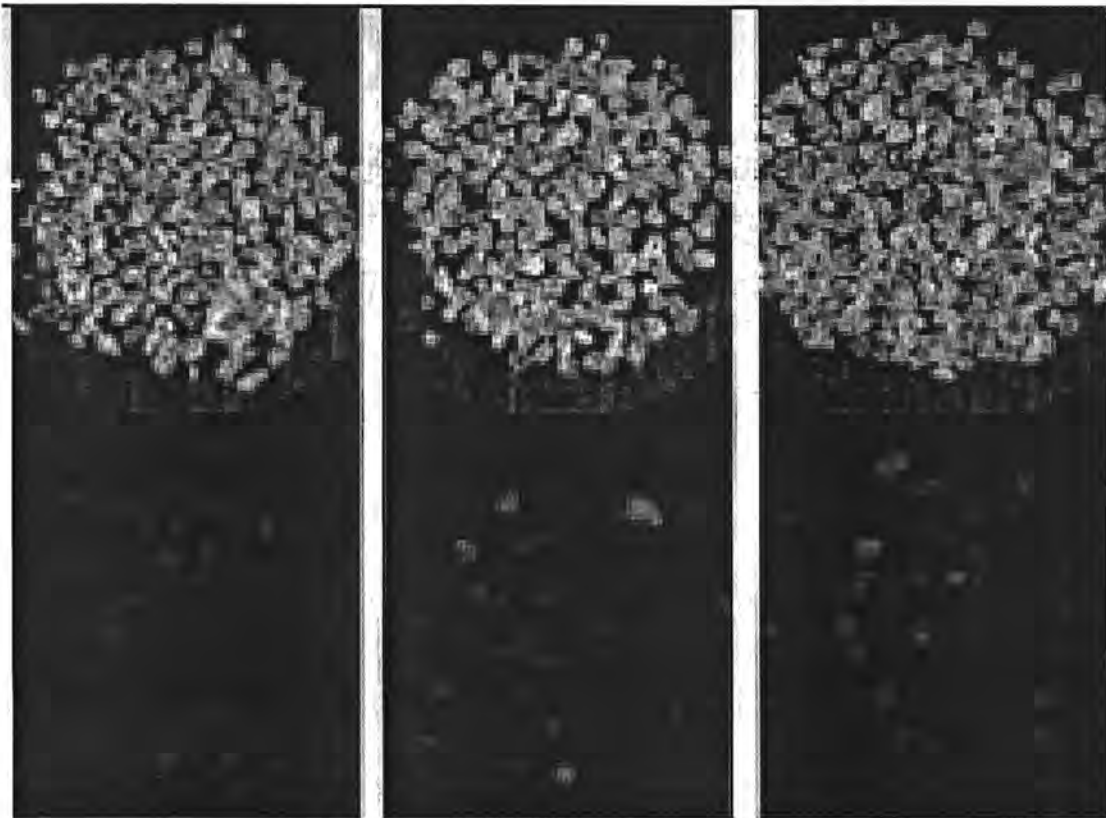
เนื่องจากเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน ไม่สามารถวัดค่ากัมมันตภาพรังสี หรือค่า ED ในหน่วยกัมมันตภาพรังสี (หน่วย Gy) ที่ต้องการได้โดยตรง ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งค่ากัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่าง ในหน่วยที่เราต้องการ ในที่นี้เราใช้เครื่องมือ RISO TL/OSL Detector จากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นหลัก (รูป 2.4) ซึ่งสามารถวัดปริมาณการเรืองแสงได้ทั้งจากการถูกกระตุ้นด้วยความร้อน (TL dating) และจากการกระตุ้นด้วยแสง (OSL dating)



- ① ส่วนหัววัดแสงและส่วนขยายสัญญาณ (Photo detector and Photo multipliers)
- ② ส่วนควบคุมระบบให้ความร้อน (Heater system)
- ③ ส่วนควบคุมการฉายกัมมันตภาพรังสี (Radioactive Irradiation system)
- ④ ส่วนควบคุมระบบฮาร์ดแวร์ (Hardware control system)
- ⑤ ส่วนควบคุมระบบซอฟต์แวร์ (Software control system)
- ⑥ ถาดบรรจุตัวอย่าง (Sample dish)

รูป 2.4 เครื่องมือ RISO TL/OSL Detector จากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักของงานวิจัยนี้

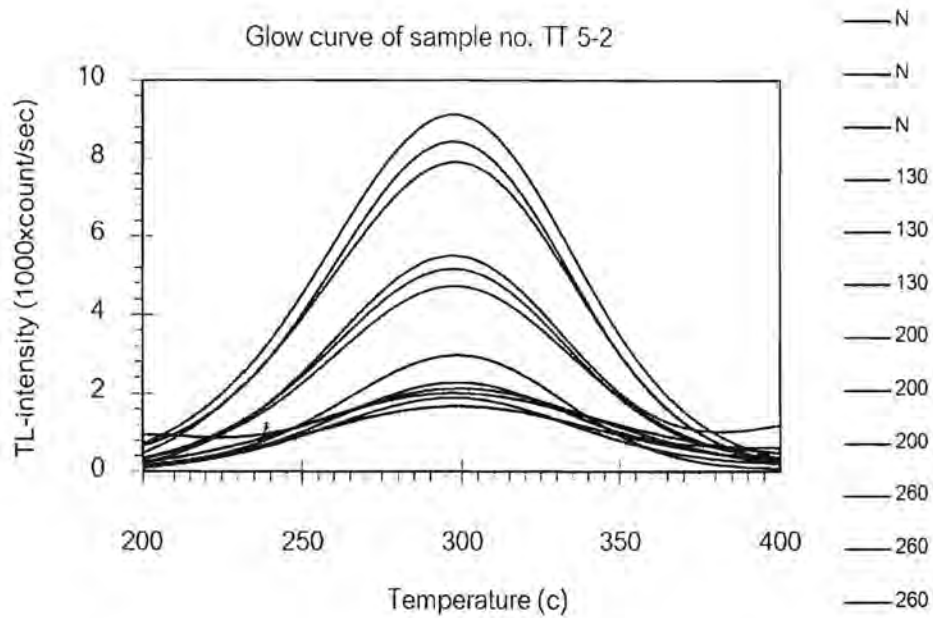
โดยหลักการของการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีนั้นเริ่มต้นจากการให้ความร้อน (Thermal) หรือแสงกระตุ้น (Optical) แก่ตัวอย่าง (หมายเลข 2) ซึ่งเมื่อถูกกระตุ้น อิเล็กตรอนจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของการเรืองแสง (รูป 2.5) จากนั้นวัดปริมาณโฟตอนของแสงด้วยหัววัดแสง (Photo detector) และขยายสัญญาณให้เด่นชัดขึ้นด้วยเครื่องขยายสัญญาณ (Photo multiplier) (หมายเลข 1)



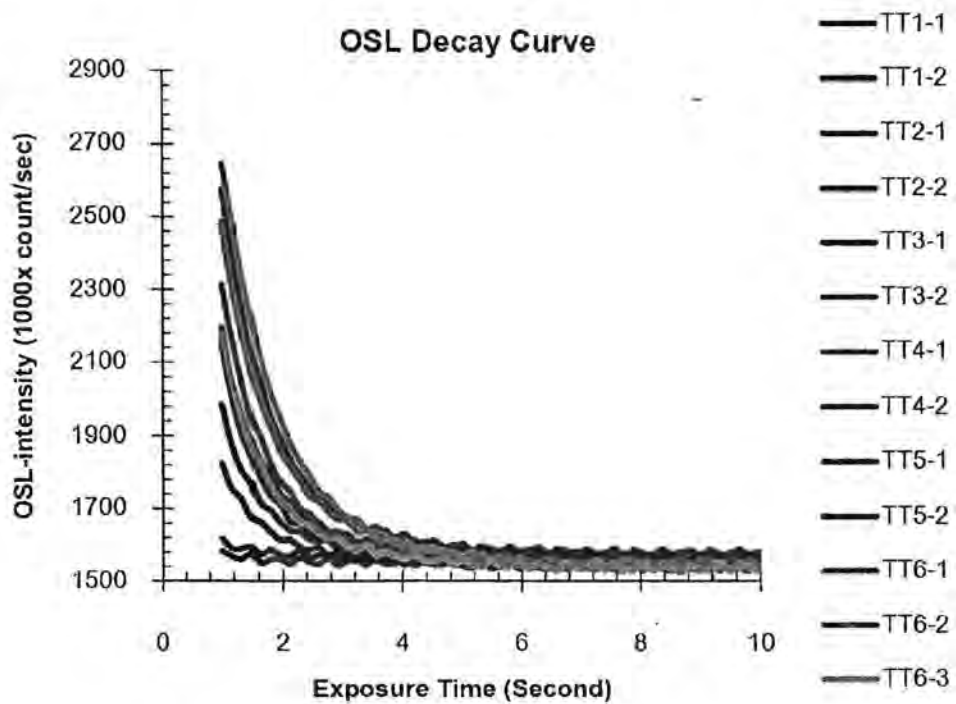
รูป 2.5 ตัวอย่างการเรืองแสงของตัวอย่างแร่ควอตซ์หลังจากได้รับการกระตุ้นด้วยความร้อน
(www.geology.com)

ผลที่ได้จากการตรวจวัด ในกรณีของ TL จะแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างระดับอุณหภูมิที่กระตุ้นให้ตัวอย่างในหน่วยองศาเซลเซียส (แกนแนวนอน) ต่อปริมาณอิเล็กตรอนที่ตรวจวัดได้ในแต่ละระดับอุณหภูมิ ในหน่วย count/sec (แกนตั้ง) ดังแสดงในรูป 2.6 กราฟความสัมพันธ์นี้เรียกว่า "TL Glow Curve" ส่วนในกรณีของ OSL ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยแสงนั้น จะแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่แสงกระตุ้นให้ตัวอย่างในหน่วยวินาที (แกนแนวนอน) ต่อปริมาณอิเล็กตรอนที่ตรวจวัดได้ในแต่ละระดับอุณหภูมิ ในหน่วย count/sec (แกนตั้ง) ดังแสดงในรูป 2.7 กราฟความสัมพันธ์นี้เรียกว่า "OSL Decay Curve"

จะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้จากการกระตุ้นของทั้ง TL และ OSL นั้นจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยกราฟ TL Glow Curve นั้นจะมีลักษณะเป็นทรงคล้ายระฆังคว่ำ และมีจุดสูงสุดของกราฟอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 280°C - 320°C ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของกราฟที่ได้จากการตรวจวัดแร่ควอตซ์นั้นถูกกระตุ้นด้วยความร้อน ส่วนในกรณีของ OSL Decay Curve นั้นกราฟจะมีลักษณะคล้ายเอ็กโพเนนเชียลฟังก์ชันลด ซึ่งสัญญาณนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกที่ถูกแสงกระตุ้น และต่อมาจะลดลงช้าลง จนถึงในระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง (ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับแต่ละตัวอย่าง) สัญญาณนั้นจะไม่มีลดลงอีก



รูป 2.6 TL Glow curve ของตัวอย่างอิฐ หมายเลข TT 5-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของการเรืองแสง (Count/sec) แกนตั้ง และอุณหภูมิกระตุ้น (Degree)



รูป 2.7 OSL Decay Curve ของตัวอย่างอิฐทั้งหมดที่นำมากำหนดอายุ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของการเรืองแสง (Count/sec) แกนตั้ง และระยะเวลาในการกระตุ้นด้วยแสง (Second)

ถึงตรงนี้ สิ่งที่เราต้องวิเคราะห์ต่อในการกำหนดอายุ คือ ทำอย่างไรจึงจะทราบว่ามีปริมาณอิเล็กตรอน (หน่วย count/sec) ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง RISO TL/OSL Detector นั้นมีค่าเทียบเคียงได้กับค่ากัมมันตภาพรังสีในหน่วย Gy เท่าใด จากคำถามดังกล่าวส่งผลให้เราต้องหาวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งค่ากัมมันตภาพรังสีตามที่เรต้องการ โดยวิธีการที่เราสามารถทำได้ คือ การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่าง (Gy) และปริมาณอิเล็กตรอนที่วัดได้ (Count/sec) โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ที่เรียกว่า Growth curve (รูป 2.8ข) และเทียบบัญญัติไตรยางค์ เพื่อหาความสัมพันธ์ (ดูรูป 2.8 ประกอบ) ซึ่งในการตรวจวัดรังสีของแต่ละกราฟนั้น ในกรณีของ TL จะนิยมใช้ค่าสูงสุดหรือ Peak เพื่อเป็นตัวแทนของกราฟแต่ละเส้น (รูป 2.8) ในขณะที่กรณีของ OSL นั้นจะนิยมใช้ค่าเฉลี่ยของสัญญาณในช่วง 4-6 วินาทีแรกหลังจากถูกแสงกระตุ้น (รูป 2.7) ซึ่งเมื่อได้ตัวแทนของกราฟแต่ละเส้นแล้ว เราก็จะสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีในแกนตั้ง (หน่วย Gy) ที่เราทราบอยู่แล้วเนื่องจากเรากำหนดและอาบรังสีเอง และความสูงของกราฟไม่ว่าจะเป็น TL หรือ OSL ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ RISO TL/OSL Detector ซึ่งตัวอย่างของการคำนวณปริมาณรังสีสาธิตดังนี้

1. ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณรังสีในตัวอย่างในหน่วย Gy
2. วัดปริมาณอิเล็กตรอนจากตัวอย่างธรรมชาติ ได้ 100 ตัว-
3. นำตัวอย่างธรรมชาติตัวเดียวกันไปอาบรังสีที่เราทราบค่า 10 Gy และวัดปริมาณอิเล็กตรอนได้ 200 ตัว
4. กำหนดให้ N คือ ค่าปริมาณอิเล็กตรอนในตัวอย่างในหน่วย Gy ซึ่งวัดปริมาณอิเล็กตรอนได้ 100 ตัว ดังนั้น

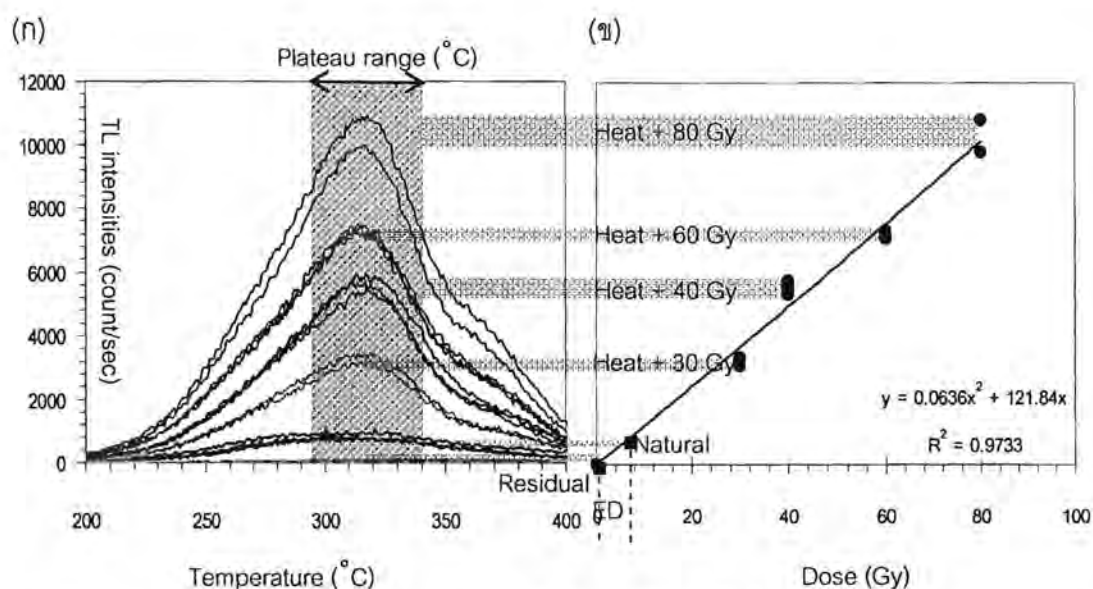
$$N+10 \text{ Gy} = 200 \text{ (count/sec)} \quad (1)$$

$$N \text{ Gy} = 100 \text{ (count/sec)} \quad (2)$$

เมื่อนำ (1) หาด้วย (2) ได้ว่า

$$(N+10)/N = 2$$

$$\text{ดังนั้น } N = 10 \text{ Gy}$$



รูป 2.8 (ก) TL Glow curve แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในตัวอย่าง (หน่วย count/sec) ในแต่ละระดับอุณหภูมิ ซึ่งวัดได้จากเครื่อง RISO TL/OSL Detector และ (ข) Growth curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าปริมาณอิเล็กตรอน (หน่วย count/sec) ที่มีอยู่ในตัวอย่างและปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ทราบค่า (Gy)

2.4. เทคนิคการประเมินปริมาณกัมมันตภาพรังสี (Dose Determination Technique)

ในปัจจุบันเทคนิคในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างและปริมาณอิเล็กตรอนที่วัดได้จากเครื่องตรวจวัดนั้นมีอยู่ด้วยกัน 4 เทคนิค คือ

1. เทคนิค Additive dose หรือ First glow (Aitken, 1985)

เป็นเทคนิคที่ใช้ตัวอย่างควอตซ์ธรรมชาติที่สกัดได้ นำไปอบรังสีที่ทราบค่าแล้วในหน่วย Gy เช่น 30 Gy, 60 Gy, 90 Gy และ 150 Gy เป็นต้น (รูป 2.9ก) จากนั้น นำมาวัดปริมาณอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในตัวอย่างและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างและปริมาณอิเล็กตรอนที่วัดได้จากเครื่อง (รูป 2.9ข) จากนั้นจึงนำตัวอย่างธรรมชาติ (N) ที่วัดได้จากเครื่องมาเทียบบัญญัติไตรยางค์กับกราฟ Growth curve เพื่อหาปริมาณรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างในหน่วย Gy

2. เทคนิค Partial bleach (Aitken, 1985)

เป็นเทคนิคที่ใช้ตัวอย่างควอตซ์ธรรมชาติที่สกัดได้ แบ่งเป็น 2 ชุด โดยชุดแรก แบ่งย่อยเป็นส่วนๆ และนำไปอบรังสีที่ทราบค่าแล้วในหน่วย Gy เช่น 30 Gy, 60 Gy, 90 Gy และ 150 Gy (Natural+β ในรูป 2.8ก) ส่วนชุดที่สอง นำไปอบแดด 2-3 ชั่วโมง และนำไปอบรังสีที่ทราบค่าแล้วในหน่วย Gy เช่น 30 Gy, 60 Gy, 90 Gy และ 150 Gy (Partial+β ในรูป 2.10ก) จากนั้นนำตัวอย่างทั้งสองชุดไปวัดปริมาณอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในตัวอย่างและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างและปริมาณอิเล็กตรอนที่วัดได้

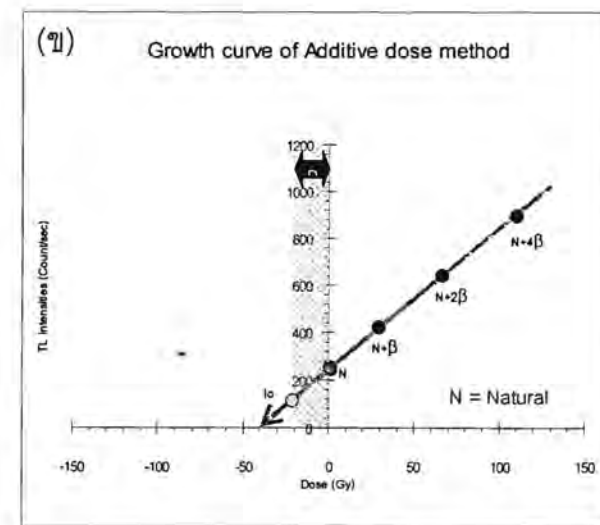
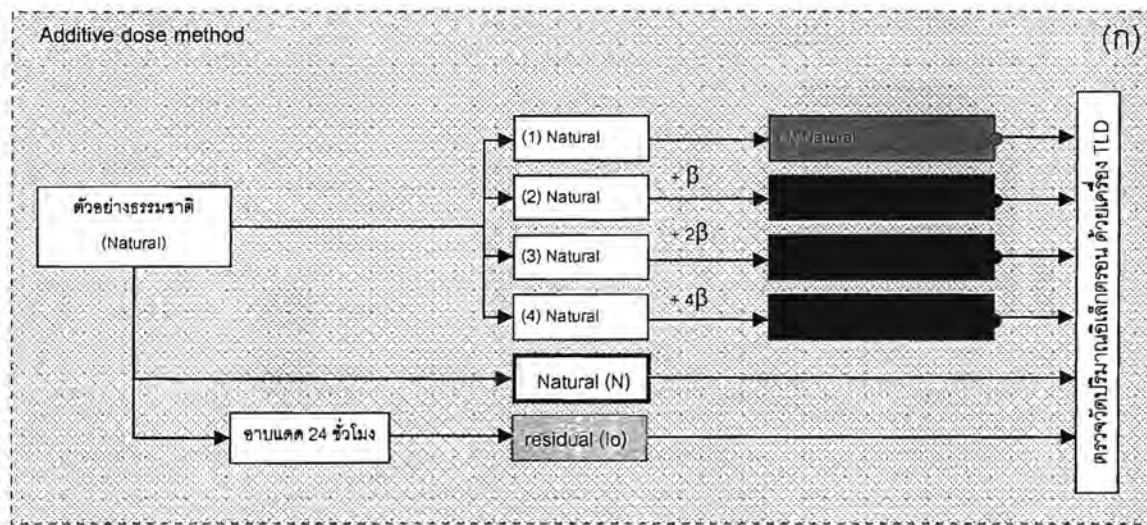
จากเครื่องหรือที่เรียกว่า กราฟ Growth curve (รูป 2.10ข) โดยจุดแรกเหมือนกับเทคนิค Additive dose โดยค่า ED ในหน่วย Gy คำนวณได้จากระยะห่างในแนวแกนนอน (X) จากจุดตัดระหว่างแกน ตั้งและแกนนอน จนถึงระยะในแนวแกนนอนที่กราฟทั้งสองเส้น (กราฟ Natural และ Partial) ตัดกัน (รูป 2.10ก)

3. เทคนิค Total bleach (Wintle และ Huntley, 1982)

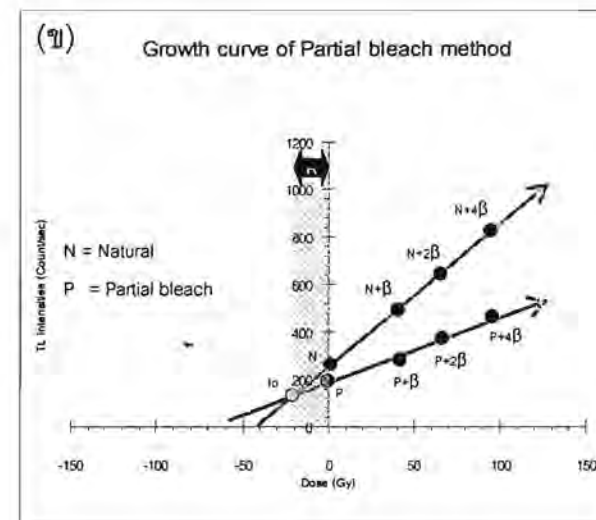
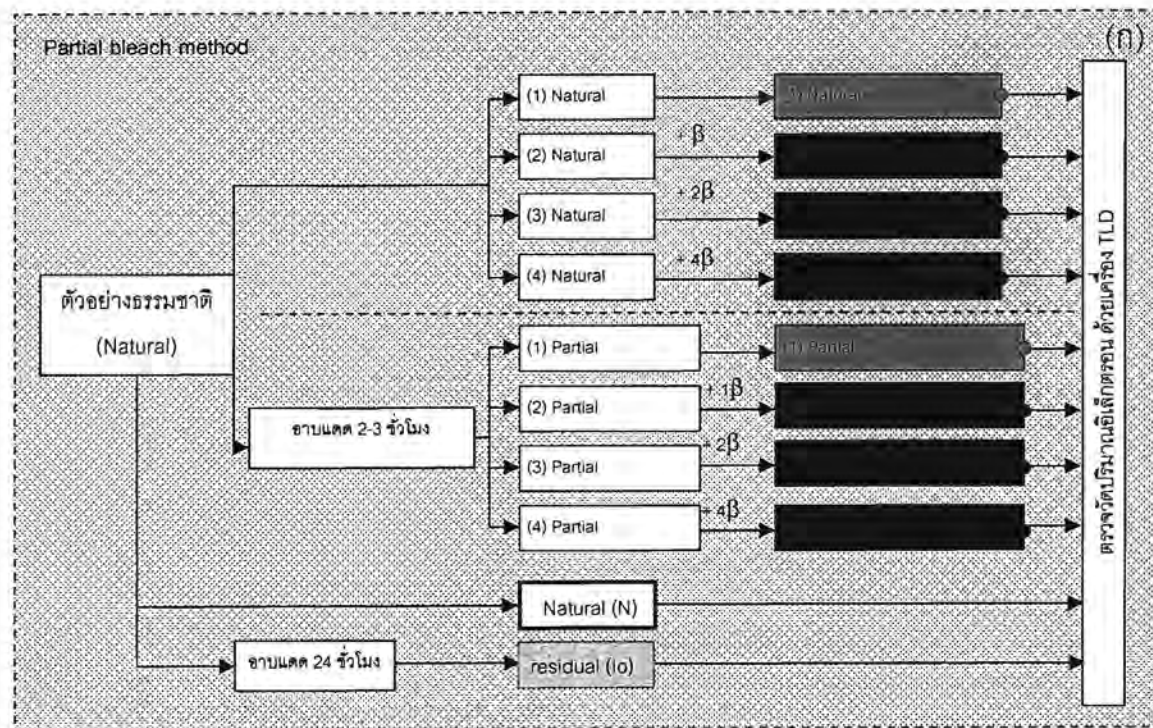
เป็นเทคนิคที่ใช้ตัวอย่างควอตซ์ธรรมชาติที่สกัดได้ นำไปอบแดดเป็นเวลาอย่างน้อย 6-8 ชั่วโมง ซึ่งเชื่อว่าในช่วงเวลา 6 ชั่วโมงเป็นต้นไปนั้นสัญญาณในตัวอย่งธรรมชาติจะลดทอนจนถึงค่าคงเหลือ (Residual value, I_0) และไม่สามารถลดทอนได้อีก (Aitken, 1985) จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการอบแดดแล้ว ไปอบรังสีที่ทราบค่าแล้วในหน่วย Gy เช่น 30 Gy, 60 Gy, 90 Gy และ 150 Gy เป็นต้น (รูป 2.11ก) จากนั้น นำมาวัดปริมาณอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในตัวอย่างและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างและปริมาณอิเล็กตรอนที่วัดได้จากเครื่อง (รูป 2.11ข) โดยเส้นกราฟจะเริ่มต้นจากค่าคงเหลือ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามสัดส่วนที่อบรังสีให้กับตัวอย่าง จากนั้นจึงนำตัวอย่างธรรมชาติ (N) ที่วัดได้จากเครื่องมาเทียบบัญญัติไตรยางค์กับกราฟ Growth curve เพื่อหาปริมาณรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างในหน่วย Gy โดย ED มีค่าเท่ากับระยะห่างในแนวแกนนอนของค่าสัญญาณตัวอย่างธรรมชาติไปจนถึงจุดตัดระหว่างแกนตั้งและแกนนอน (รูป 2.11ก)

4. เทคนิค Regeneration (Takashima และ Honda, 1989)

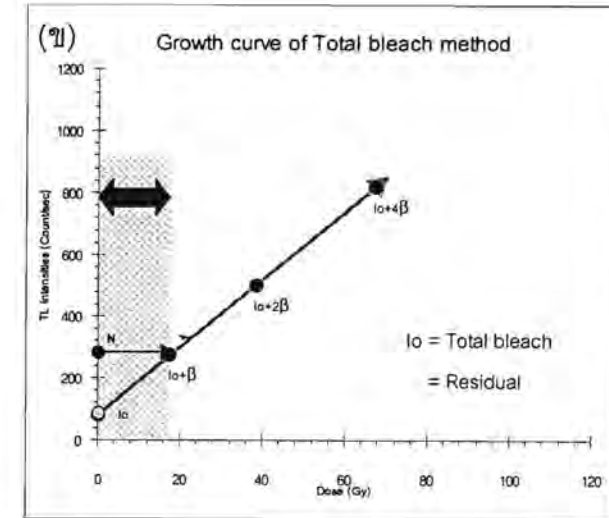
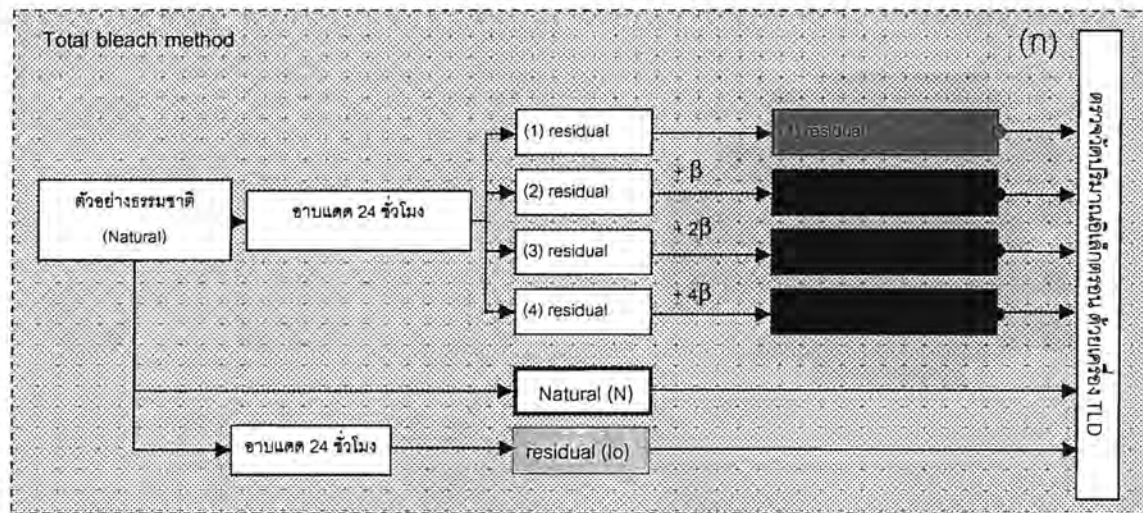
เป็นเทคนิคที่ใช้ตัวอย่างควอตซ์ธรรมชาติที่สกัดได้ นำไปอบด้วยอุณหภูมิ 320 OC เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งเชื่อว่าสามารถลบล้างสัญญาณจากตัวอย่างธรรมชาติจนมีค่าเป็น 0 (Takashima และ Honda, 1989) จากนั้น นำตัวอย่างที่ผ่านการอบแล้ว ไปอบรังสีที่ทราบค่าแล้วในหน่วย Gy เช่น 30 Gy, 60 Gy, 90 Gy และ 150 Gy เป็นต้น (รูป 2.12ก) จากนั้น นำมาวัดปริมาณอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในตัวอย่างและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างและปริมาณอิเล็กตรอนที่วัดได้จากเครื่อง (รูป 2.12ข) โดยเส้นกราฟจะเริ่มต้นจากค่า 0 (จุดตัดระหว่างแกนตั้งและแกนนอน) เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามสัดส่วนที่อบรังสีให้กับตัวอย่าง จากนั้นจึงนำตัวอย่างธรรมชาติ (N) และตัวอย่างที่ผ่านการอบแดด (I_0) ที่วัดได้จากเครื่องมาเทียบบัญญัติไตรยางค์กับกราฟ Growth curve เพื่อหาปริมาณรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างในหน่วย Gy



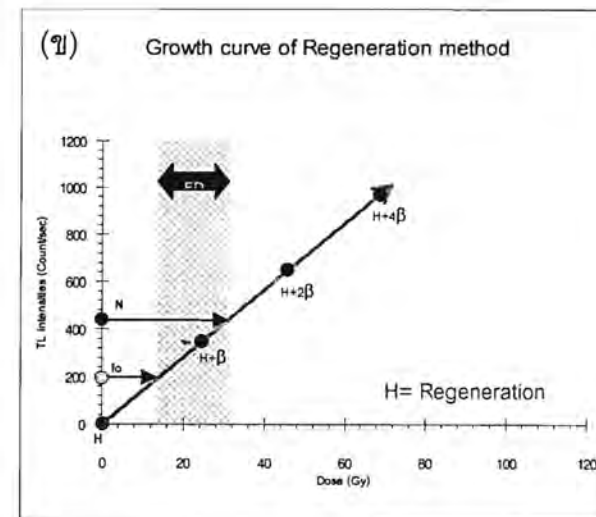
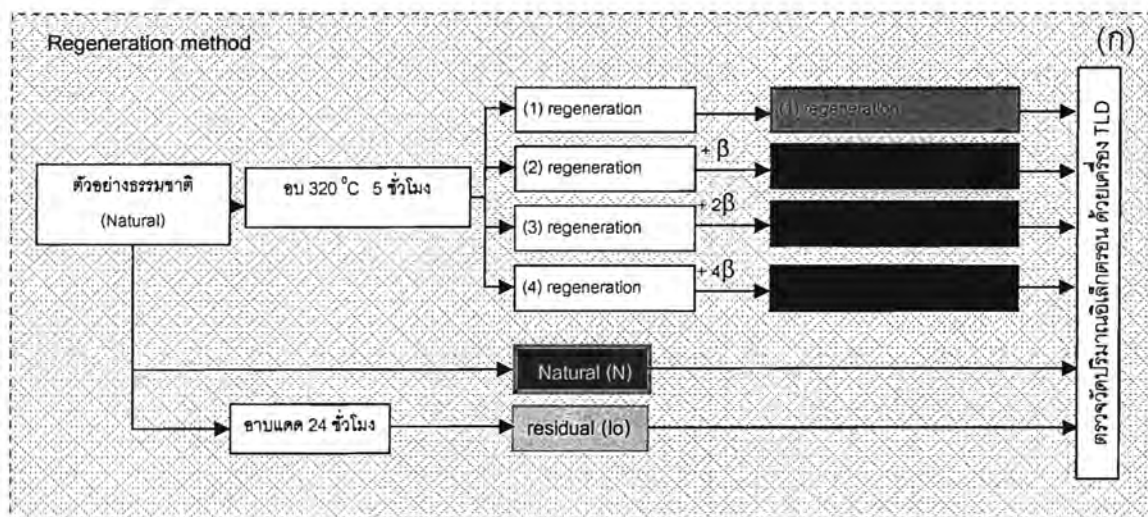
รูป 2.9 (ก) แผนภาพวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Additive dose หรือ First glows (ข) Growth curve แสดงวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Additive dose (Aitken, 1985)



รูป 2.10 (ก) แผนภาพวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Partial bleach (ข) Growth curve แสดงวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Partial bleach (Aitken, 1985)



รูป 2.11 (ก) แผนภาพวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Total bleach (ข) Growth curve แสดงวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Total bleach (Wintle และ Huntley, 1982)

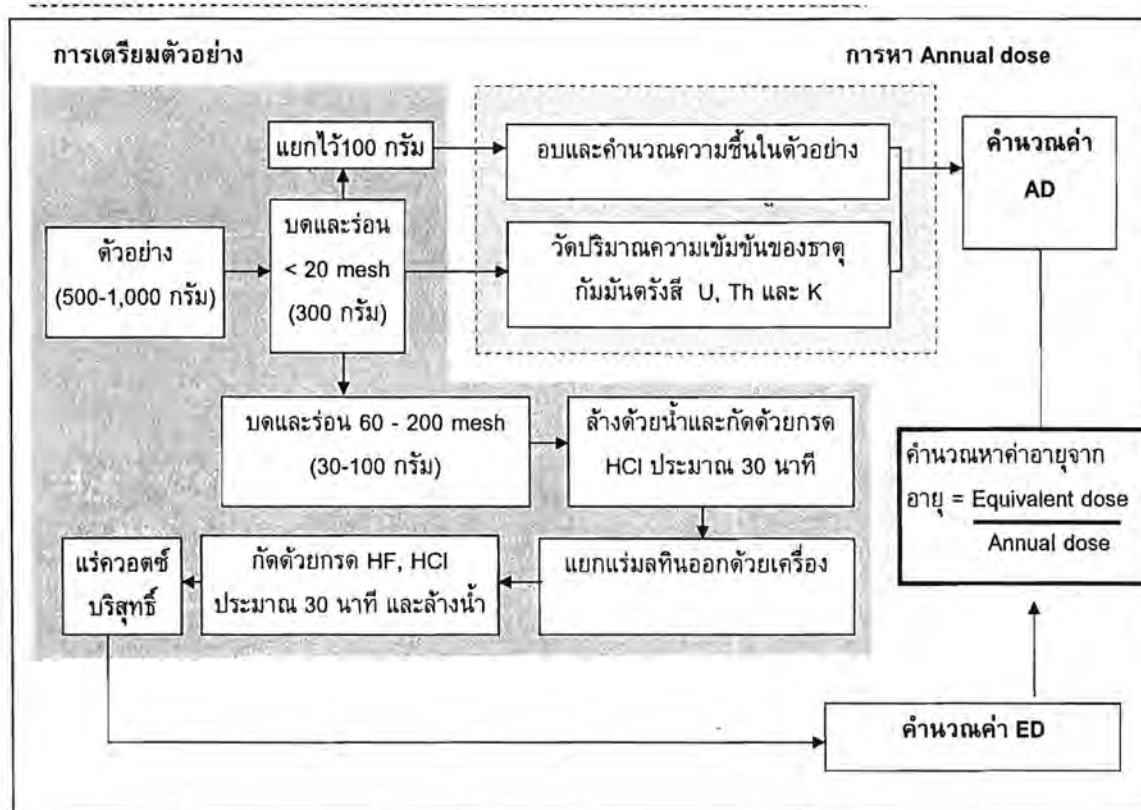


รูป 2.12 (ก) แผนภาพวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Regeneration (ข) Growth curve แสดงวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Regeneration (Takashima และ Honda, 1989)

บทที่ 3

การเตรียมตัวอย่างและประเมินอัตราการแผ่รังสี (Sample Preparation and Annual Dose Determination)

ในการเก็บตัวอย่างอิฐเพื่อนำมากำหนดอายุด้วยวิธี TL และ OSL สำหรับพื้นที่ศึกษาบ้านทุ่งตึกนั้น ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างอิฐมาทั้งสิ้น 6 ก้อน โดยหลังจากที่นำตัวอย่างอิฐมายังห้องปฏิบัติการแล้วนั้น ผู้วิจัยได้ทำการขูดผิวหน้าของตัวอย่างออกประมาณ 0.5 เซนติเมตร เพื่อป้องกันอิฐส่วนของผิวตัวอย่างที่สัมผัสแสงอยู่เดิมแล้วนับตั้งแต่มีการขูดแต่งแหล่งโบราณคดีแล้วนั้น เข้ามาปะปน โดยในกระบวนการการเตรียมตัวอย่างอ้างอิงจากวิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อให้ได้แร่ควอตซ์บริสุทธิ์ ตามแบบของ Takashima และ Honda (1989) ดังแสดงในรูป 3.1



รูป 3.1 แผนภูมิแสดงกระบวนการปฏิบัติงานการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์และกำหนดอายุด้วยวิธี TL และ OSL (Takashima และ Honda, 1989)

จากรูป 3.1 แสดงให้เห็นว่าในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างนั้นเป็นการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ 2 ส่วน คือ 1) วิเคราะห์อัตราการแผ่รังสีต่อปี (Annual dose, AD) และ 2) วิเคราะห์ค่าปริมาณสัญญาณการเรืองแสงหรือปริมาณรังสีที่สะสมอยู่ในตัวอย่าง (Equivalent dose, ED)

3.1. การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์อัตราการแผ่รังสีต่อปี (AD Preparation)

1. ทำให้ตัวอย่างมีขนาดเล็กกลง โดยตัดผากลางด้วยเครื่องตัดหินแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังแสดงในรูป 3.2

2. จากนั้นนำตัวอย่างที่แบ่งไว้ 1 ส่วนมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส และแบ่งตัวอย่างส่วนหนึ่ง นำไปหาปริมาณความชื้นในตัวอย่างนั้น (Water content)

3. บดตัวอย่างที่แห้งแล้วเบาๆ ด้วยครกไม้ และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 Mesh หรือ < 0.85 มิลลิเมตร) ในปริมาณ 250-300 กรัม ใส่ภาชนะพลาสติกและปิดให้แน่น (รูป 3.2) เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 เดือน เพื่อให้เกิดการสมดุลในตัวอย่าง ก่อนที่จะนำไปวัดและวิเคราะห์อัตราการแผ่รังสีต่อปี



รูป 3.2 รูปแสดงการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์อัตราการแผ่รังสีต่อปี

3.2. การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณสัญญาณการเรืองแสงที่สะสมอยู่ในตัวอย่าง (ED Preparation)

ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณสัญญาณการเรืองแสงที่สะสมอยู่ในตัวอย่าง ตลอดกระบวนการนับตั้งแต่เริ่มมีการเตรียมตัวอย่างจนถึงกระบวนการตรวจวัดสัญญาณจากตัวอย่างนั้น จำเป็นต้องทำในห้องมืด (Red subdue room) เพื่อป้องกันการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากแสงที่กระตุ้น โดยในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดเฉพาะแร่ควอตซ์ ซึ่งนิยมใช้เป็นแร่ตัวแทนในการกำหนดอายุทั้งด้วยวิธี TL และ OSL (Aitken, 1985) รายละเอียดการเตรียมตัวอย่างในแต่ละขั้นตอนนั้น สรุปได้ ดังนี้ (รูป 3.1)

- นำตัวอย่างส่วนที่ต้องการจะนำมาวิเคราะห์ปริมาณสัญญาณการเรืองแสงไปบดด้วยครกไม้ แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 Mesh (ขนาด 250 ไมโครเมตร) และค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 Mesh (ขนาด 74 ไมโครเมตร) ซึ่งในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการกำหนดอายุอัฐด้วยวิธี TL และ OSL โดยจากรูป 3.3 จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า หลังจากที่ได้มีการผ่าครึ่งตัวอย่างอัฐ มีอัฐหลายก้อนที่แสดงลักษณะของสีที่แตกต่างกันระหว่างขอบนอกของอัฐและส่วนภายในของอัฐ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้แบ่งย่อยอัฐที่เหลือหลังอีกครั้งเป็นส่วนนอกและส่วนใน เพื่อศึกษาลักษณะของสัญญาณการเรืองแสง และผลของอายุที่ได้จากการกำหนดอายุด้วยวิธี TL และ OSL ซึ่งผลของอายุและลักษณะสัญญาณ จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าส่วนใดของอัฐมีประสิทธิภาพในการกำหนดอายุมากที่สุด โดยหลังจากที่มีการแบ่งตัวอย่างอัฐทั้ง 6 ก้อน ตัวอย่างหรือกรณีศึกษาที่ได้สำหรับการวิเคราะห์ค่าปริมาณสัญญาณการเรืองแสงที่สะสมอยู่ในตัวอย่างนั้น มีทั้งสิ้น 14 ตัวอย่าง 13 ตัวอย่าง ดังแสดงในตาราง 3.1

- นำตัวอย่างจากข้อ 1 มาล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 10 ครั้ง จากนั้นกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 50 % เป็นเวลา 30 นาที โดยใส่ไว้ในเครื่องอุ่นตัวอย่าง (water bath) เพื่อเร่งปฏิกิริยา หลังจากนั้นเทกรดทิ้งแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีกประมาณ 10 ครั้ง ทั้งนี้การกัดตัวอย่างด้วยกรด HCl นั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดการปนเปื้อนของเศษอินทรีย์วัตถุที่อาจจะมีตกค้างหรือปนเปื้อนกับตัวอย่าง

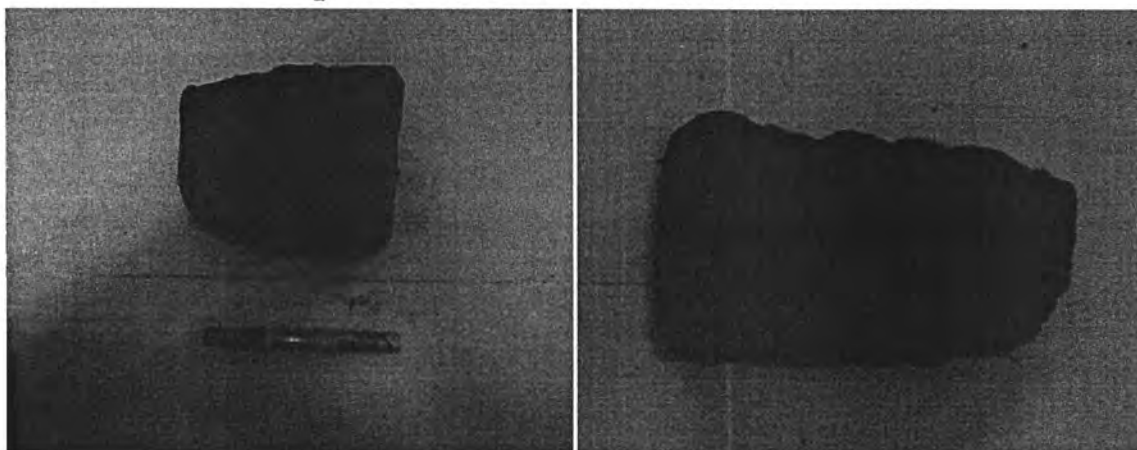
- จากนั้นนำตัวอย่าง (ใส่ในถ้วยพลาสติก) มากัดด้วยกรดกัดแก้ว (HF) ที่ความเข้มข้น 24 % เป็นเวลา 30 นาที เพื่อสลายแร่เฟลด์สปาร์ โดยใส่ไว้ในเครื่องอุ่นตัวอย่าง จากนั้นเทกรดทิ้ง และล้างด้วยน้ำอีกประมาณ 10 ครั้ง

- เติมกรดเกลือ (HCl) อีกครั้ง ดำเนินการตามขั้นตอนเหมือนข้อ 2 ต่อจากนั้นอบให้แห้งด้วยอุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส

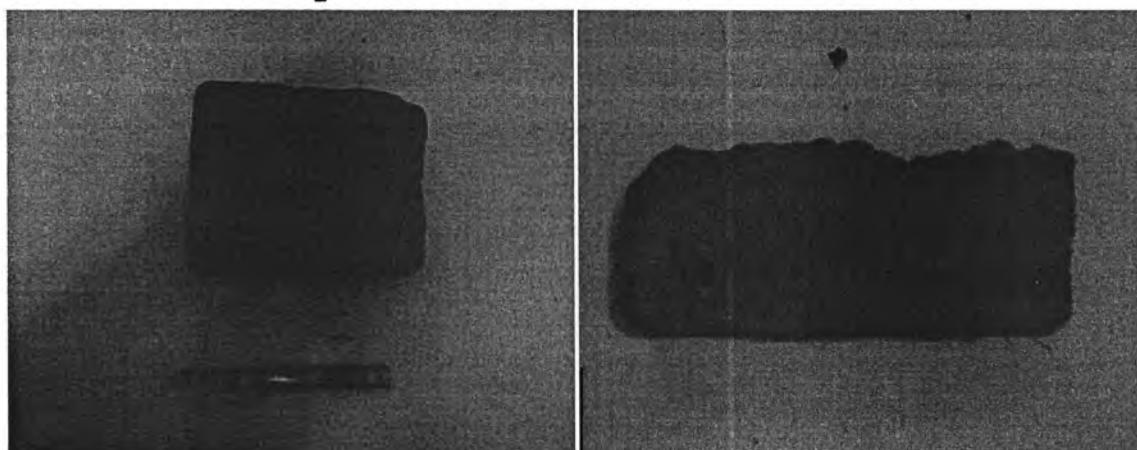
ตัวอย่างอิฐโบราณสถาน

ภาพตัดขวางภายในก้อนอิฐ

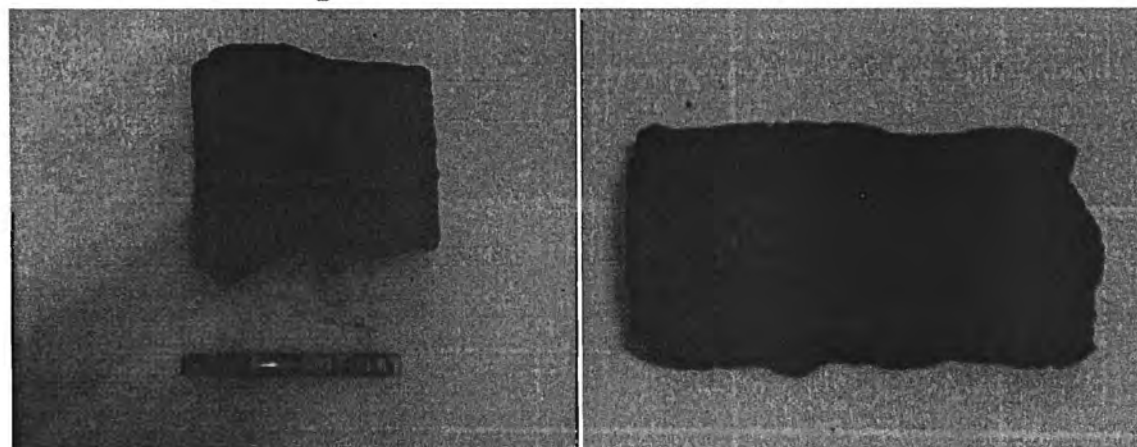
ตัวอย่างอิฐจากโบราณสถานหมายเลข 1 (รหัสตัวอย่าง TT 1)



ตัวอย่างอิฐจากโบราณสถานหมายเลข 3 (รหัสตัวอย่าง TT 2)



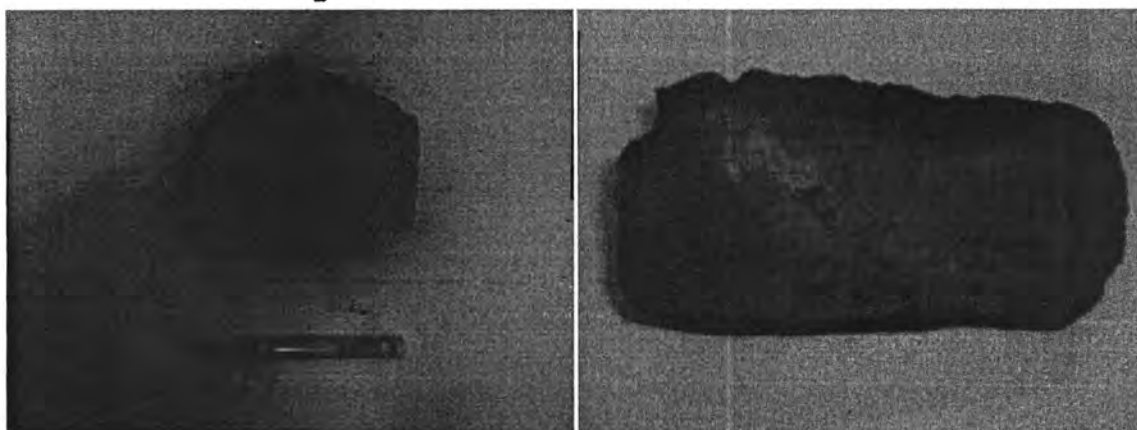
ตัวอย่างอิฐจากโบราณสถานหมายเลข 4 (รหัสตัวอย่าง TT 3)



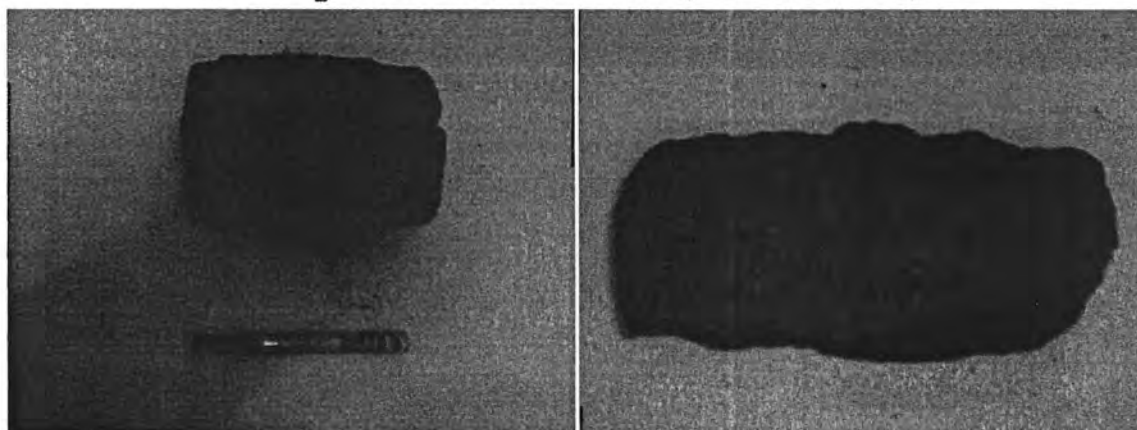
ตัวอย่างอิฐโบราณสถาน

ภาพตัดขวางภายในก้อนอิฐ

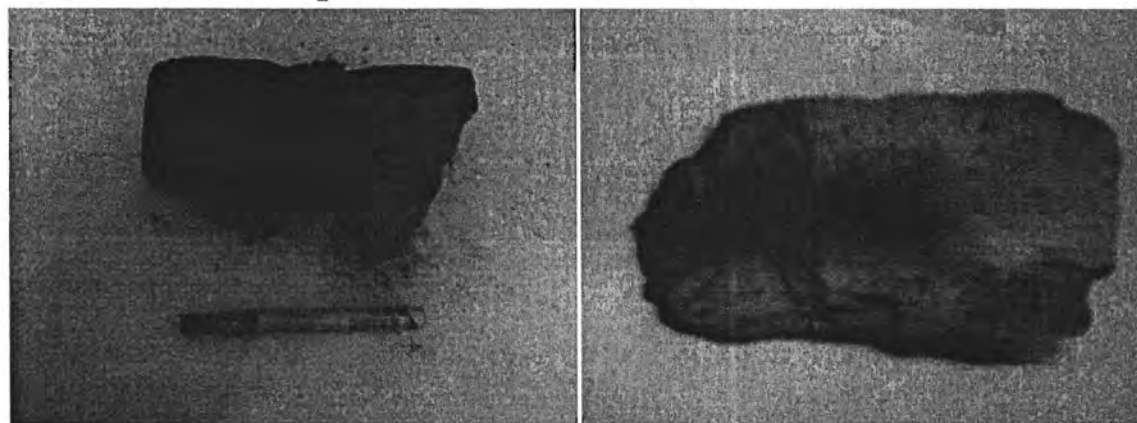
ตัวอย่างอิฐจากโบราณสถานหมายเลข 6 (รหัสตัวอย่าง TT 4)



ตัวอย่างอิฐจากโบราณสถานหมายเลข 7 (รหัสตัวอย่าง TT 5)



ตัวอย่างอิฐจากโบราณสถานหมายเลข 8 (รหัสตัวอย่าง TT 6)



รูป 3.3 การเตรียมตัวอย่างอิฐและภาพตัดขวางภายในของก้อนอิฐแสดงให้เห็นความแตกต่างของสีภายในก้อนอิฐ

ตาราง 3.1 สรุปการแบ่งแยกตัวอย่างเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรวจวัดค่าปริมาณสัญญาณการเรืองแสงที่สะสมอยู่ในตัวอย่างด้วยวิธี TL และ OSL

หมายเลขตัวอย่าง	คำอธิบาย
TT1-1	มวลอิฐส่วนนอกของโบราณสถานหมายเลข 1
TT1-2	มวลอิฐส่วนในของโบราณสถานหมายเลข 1
TT2-1	มวลอิฐส่วนนอกของโบราณสถานหมายเลข 3
TT2-2	มวลอิฐส่วนในของโบราณสถานหมายเลข 3
TT3-1	มวลอิฐส่วนนอกของโบราณสถานหมายเลข 4
TT3-2	มวลอิฐส่วนในของโบราณสถานหมายเลข 4
TT4-1	มวลอิฐส่วนนอกของโบราณสถานหมายเลข 6
TT4-2	มวลอิฐส่วนในของโบราณสถานหมายเลข 6
TT5-1	มวลอิฐส่วนนอกของโบราณสถานหมายเลข 7
TT5-2	มวลอิฐส่วนในของโบราณสถานหมายเลข 7
TT6-1	มวลอิฐส่วนนอกของโบราณสถานหมายเลข 8
TT6-2	มวลอิฐส่วนในของโบราณสถานหมายเลข 8
TT6-3	มวลอิฐเนื้อผสมทั้งก้อนของโบราณสถานหมายเลข 8

5. นำตัวอย่างที่แห้งสนิทแล้วไปแยกแรมลทินออกด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก Isodynamic magnetic separator โดยผ่านกระแสไฟฟ้าขนาด 1.4 แอมแปร์ ณ ที่ความเอียงประมาณ 25 องศา (รูป 3.4) ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการแยกแรมลทินดังกล่าวแล้วตัวอย่างส่วนใหญ่ก็จะเหลือเพียงแร่ควอตซ์บริสุทธิ์ และหลังจากผ่านกระบวนการทั้งการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์อัตราการแผ่รังสีต่อปีและการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณสัญญาณการเรืองแสงที่สะสมอยู่ในตัวอย่างแล้วจะได้ตัวอย่างประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ

- ส่วนที่ 1 ตัวอย่างสำหรับวัดค่าปริมาณความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีในตัวอย่าง เช่น ยูเรเนียม, ทอเรียม และโปแตสเซียม เพื่อคำนวณค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในบริเวณรอบข้าง (Annual Dose)
- ส่วนที่ 2 คือ ค่าปริมาณความชื้นในตัวอย่าง ซึ่งใช้ประกอบการคำนวณอัตราการแผ่รังสีต่อปีร่วมกับปริมาณความเข้มข้นของธาตุยูเรเนียม, ทอเรียม และโปแตสเซียม
- ส่วนที่ 3 คือ ตัวอย่างควอตซ์บริสุทธิ์ สำหรับนำไปวัดค่าปริมาณรังสีหรือค่าปริมาณอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในตัวอย่าง

(ก) เครื่อง Isodynamic magnetic separator



(ข) เศษแร่มลทินที่เหลือจากการแยกแร่



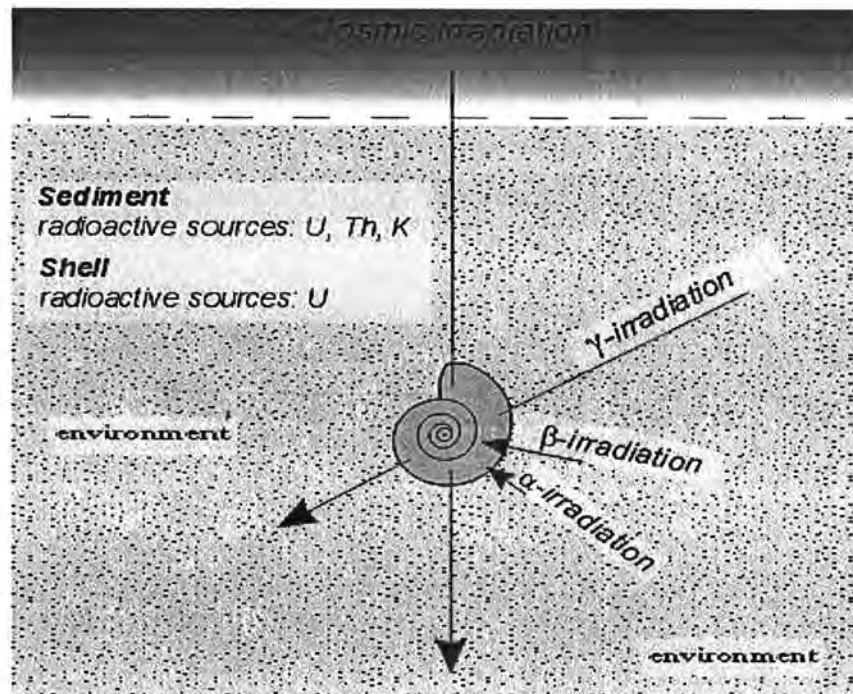
รูป 3.4 อุปกรณ์และเศษแร่มลทินที่เหลือจากกระบวนการแยกแร่ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าปริมาณสัญญาณการเรืองแสงที่สะสมอยู่ในตัวอย่าง

3.3. การตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของธาตุกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่าง (Measurement of the Radioactive Element Concentration)

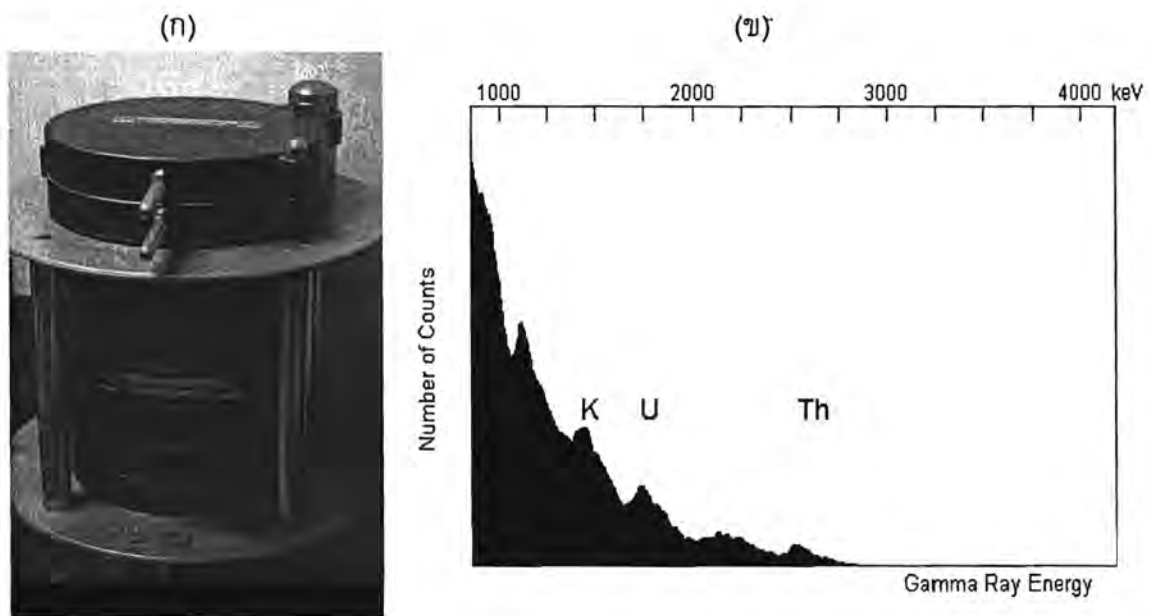
ในการคำนวณอัตราการแผ่กัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นดิน ธาตุกัมมันตรังสีที่สำคัญ ได้แก่ ธาตุยูเรเนียม (U), ทอเรียม (Th) และโปแตสเซียม (K) (รูป 3.5) ซึ่งทั้ง 3 ธาตุนี้จะสลายตัวตามหลักการของครึ่งชีวิต (Half-Life) ของธาตุแต่ละตัว และในระหว่างการสลายตัวจะแผ่รังสีออกมาในปริมาณต่างๆ กัน ในรูปของรังสีแอลฟา เบตา และแกมมา นอกจากนี้ยังมีรังสีบางส่วนที่ได้รับจากนอกโลก เช่น รังสีคอสมิก แต่เป็นส่วนน้อย

หลังจากเตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนการวิเคราะห์อัตราการแผ่รังสีต่อปี ต้องนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของธาตุกัมมันตภาพรังสีต่างๆ ที่กล่าวมาในข้างต้นที่มีอยู่ในดิน ด้วยวิธีทางเทคนิคต่างๆ เช่น วิธี Neutron Activation Analysis (NAA), วิธี Gamma Spectrometry หรือ วิธี Inductively coupled plasma mass spectroscopy (ICP-MS) โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้ของธาตุยูเรเนียมและทอเรียมมีหน่วยความเข้มข้นเป็น ppm ส่วนธาตุโปแตสเซียมมีหน่วยความเข้มข้นเป็น %

ในส่วนของงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้การหาปริมาณความเข้มข้นของธาตุกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างด้วยวิธี Gamma Spectrometry โดยใช้เครื่องจากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รูป 3.6) โดยในแต่ละตัวอย่างทำการวัดค่าปริมาณรังสีใช้เวลา 2 วัน และเมื่อครบกำหนดแล้ว ผลที่ได้จะเป็นกราฟระหว่างปริมาณกัมมันตรังสีและระยะเวลา (รูป 3.7) ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Akwin ของเครื่องมือ ผลการประเมินธาตุยูเรเนียม (U), ทอเรียม (Th) และโปแตสเซียม (K) แสดงในตาราง 3.2

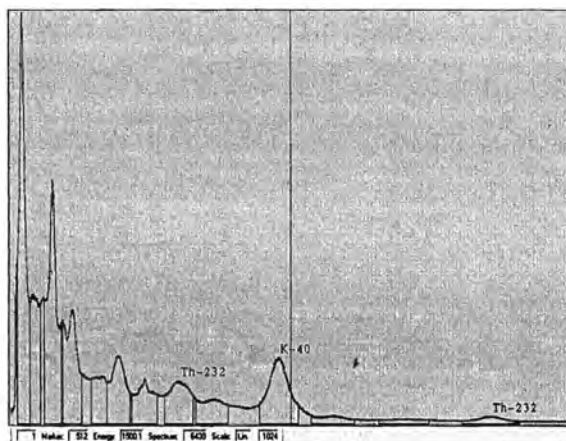


รูป 3.5 แบบจำลองแสดงธาตุกัมมันตภาพรังสีต่างๆ ที่ส่งผลต่ออัตราการแผ่รังสีต่อปี เข้าไปในตัวอย่างอัฐที่ต้องการประเมินอายุด้วยวิธี TL หรือ OSL

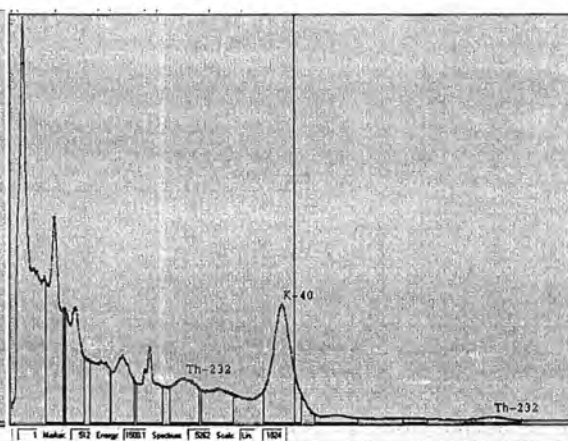


รูป 3.6 (ก) เครื่อง Gamma Spectrometry ที่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งในการตรวจวัดปริมาณธาตุกัมมันตรังสีในตัวอย่าง (ข) ตัวอย่างกราฟแสดงปริมาณธาตุกัมมันตรังสีในตัวอย่างที่ได้จากเครื่อง Gamma Spectrometry

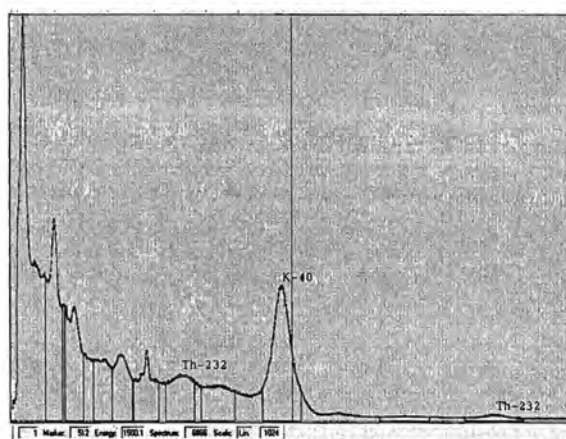
ตัวอย่างหมายเลข TT 1



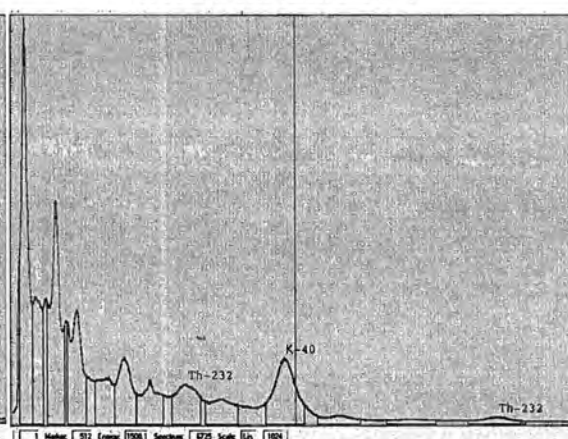
ตัวอย่างหมายเลข TT 2



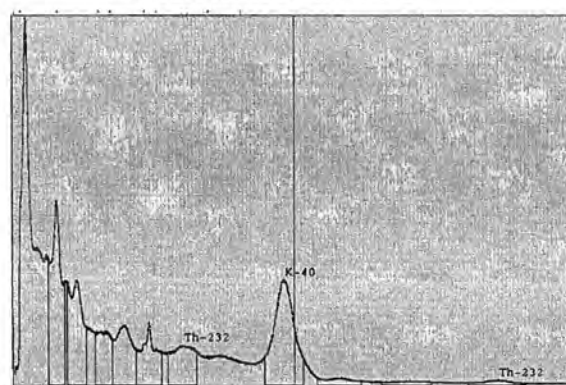
ตัวอย่างหมายเลข TT 3



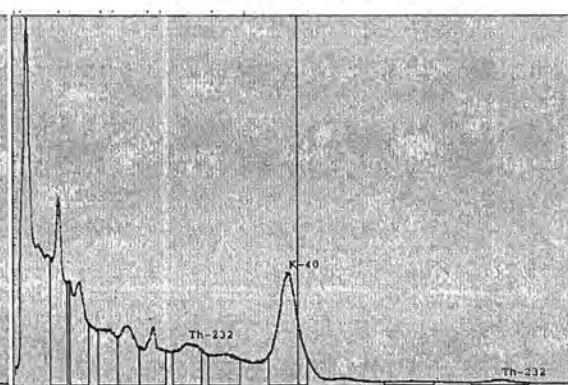
ตัวอย่างหมายเลข TT 4



ตัวอย่างหมายเลข TT 5



ตัวอย่างหมายเลข TT 6



รูป 3.7 กราฟแสดงผลการตรวจวัดความเข้มข้นของธาตุกัมมันตภาพรังสีด้วยเครื่อง Gamma Spectrometry

ตาราง 3.2 ผลการประเมินความเข้มข้นของธาตุกัมมันตภาพรังสีที่ส่งผลต่อการประเมินอัตรา
การแผ่รังสีต่อปีของแต่ละตัวอย่าง

ตัวอย่าง	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	ความชื้น (%)
TT1	9.43±0.23	2.2	2.95±0.1	3.52
TT2	11.66±0.22	64.41±1.99	3±0.09	4.57
TT3	19.3±0.27	77.2±2.16	4.07±0.1	0.62
TT4	4.94±0.19	29.96±1.5	2.14±0.09	5.38
TT5	9.98±0.18	59.37±1.93	3.07±0.08	9.38
TT6	6.27±0.16	33.32±1.26	2.39±0.08	4.70

3.4. การวิเคราะห์หัตถการแผ่รังสีต่อปี (Annual Dose Determination)

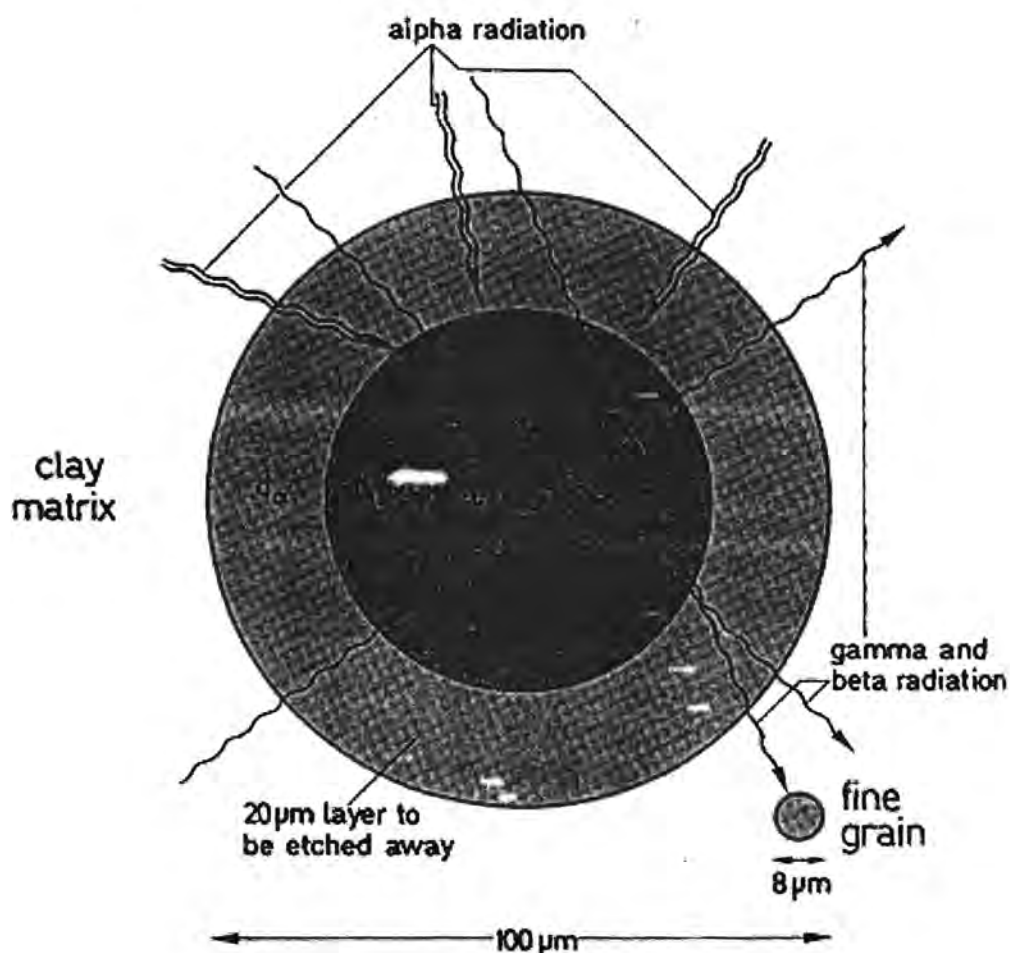
หลังจากได้ค่าปริมาณความเข้มข้นของธาตุยูเรเนียม (U), ทอเรียม (Th) และโปแตสเซียม (K) ดังแสดงในตาราง 3.1 แล้วจากนั้น จึงทำการแปลงค่าที่ได้จากการวัดเป็นหน่วยที่เราต้องการ คือหน่วยเกรย์ (Gy) โดยใช้ตารางมาตรฐานของ Bell (1979) ดังแสดงในตาราง 3.3

ตาราง 3.3 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสี (หน่วย ppm หรือ %) และ
อัตราการแผ่รังสีต่อปี (หน่วย μGy ต่อ ปี) (Bell, 1979)

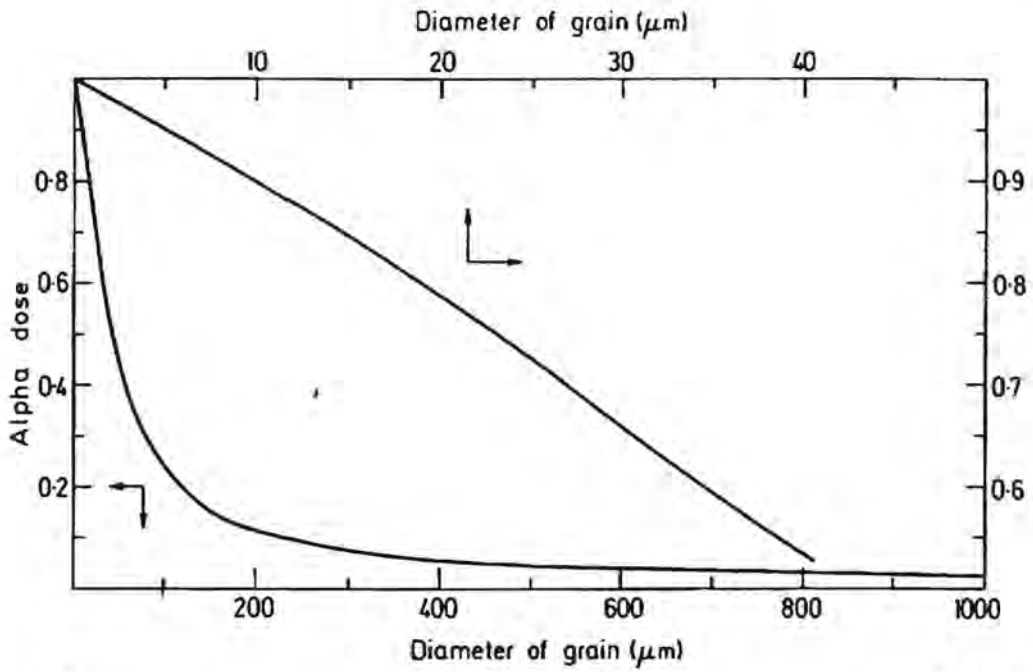
อนุภาค	ความเข้มข้น	ชนิด radionuclide		
		แอลฟา	เบตา	แกมมา
Thorium series	1 ppm ^{232}Th	738	28.6	51.4
Uranium series	1 ppm ^{238}U	2783	146.2	114.8
Natural potassium	1% K	-	830.3	249.2
Natural rubidium	100 ppm Rb	-	46.4	-

จากค่า AD ที่ได้ถึงขั้นตอนนี้ เป็นค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปีในทางอุดมคติ หรือเป็นค่าที่ได้ 100% โดยที่ไม่ได้รับผลกระทบซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการลดทอนของสัญญาณแต่อย่างใด แต่ในทางปฏิบัติสาเหตุของการลดทอนของอัตราการแผ่รังสีนั้นมีอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน เช่น การลดทอนของสัญญาณอันเนื่องมาจากขนาดของเม็ดตะกอน และการลดทอนอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในดินในธรรมชาติ เป็นต้น

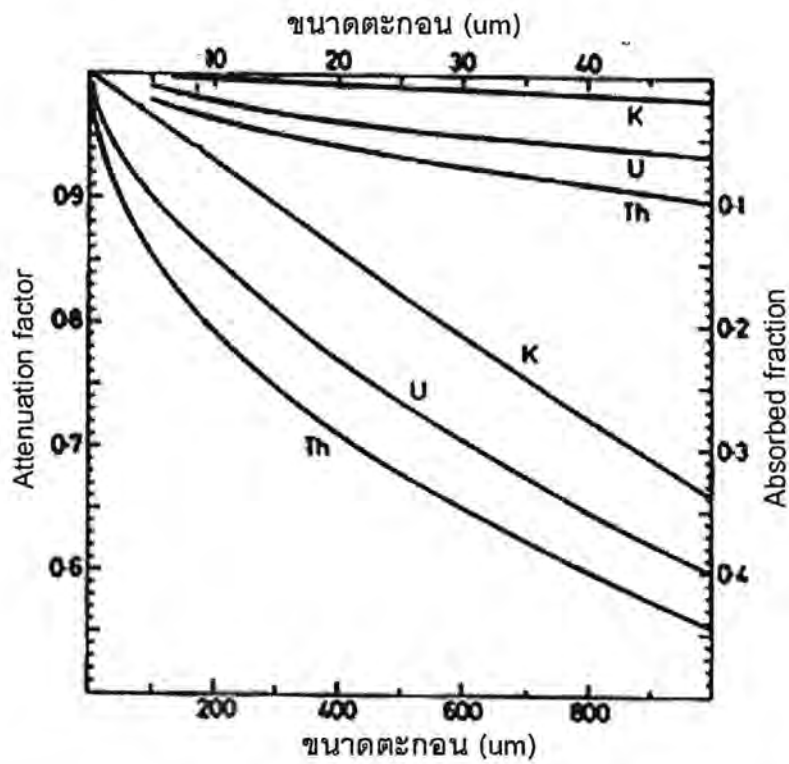
เนื่องจากอนุภาคต่างๆ ที่เป็นตัวกระตุ้นอิเล็กตรอน ได้แก่ อนุภาค แอลฟา เบตา แกมมา ซึ่งในแต่ละอนุภาคนั้นมีลักษณะและคุณสมบัติการทะลุทะลวงไม่เท่ากัน ดังรูป 3.8 โดยในกรณีของดิน อนุภาคแกมมามีความสามารถในการทะลุทะลวงได้ถึง 30 เซนติเมตร ส่วนอนุภาคเบตามีความสามารถในการทะลุทะลวงได้ในระยะ 3 เซนติเมตร ในขณะที่อนุภาคแอลฟามีความสามารถในการทะลุทะลวงเพียง 0.3 มิลลิเมตรเท่านั้น ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะสิ่งแวดล้อมในระยะรัศมี 30 เซนติเมตร โดยมีตัวอย่างเป็นจุดศูนย์กลาง อนุภาคแกมมาจะมีประสิทธิภาพการทะลุทะลวงได้ 100% จากที่คำนวณได้ในตอนต้น ในขณะที่อนุภาคเบตาและแอลฟาถูกกักกั้นไปตามขนาดของเม็ดตะกอนที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้น ซึ่ง Aitken (1985) ได้นำเสนออัตราการกักกั้นของอนุภาคเบตาและแอลฟาที่สัมพันธ์กับขนาดของเม็ดตะกอนไว้ดังรูป 3.9 และ 3.10



รูป 3.8 ประสิทธิภาพการทะลุทะลวงของอนุภาคแอลฟา เบตาและแกมมา (Aitken, 1985)

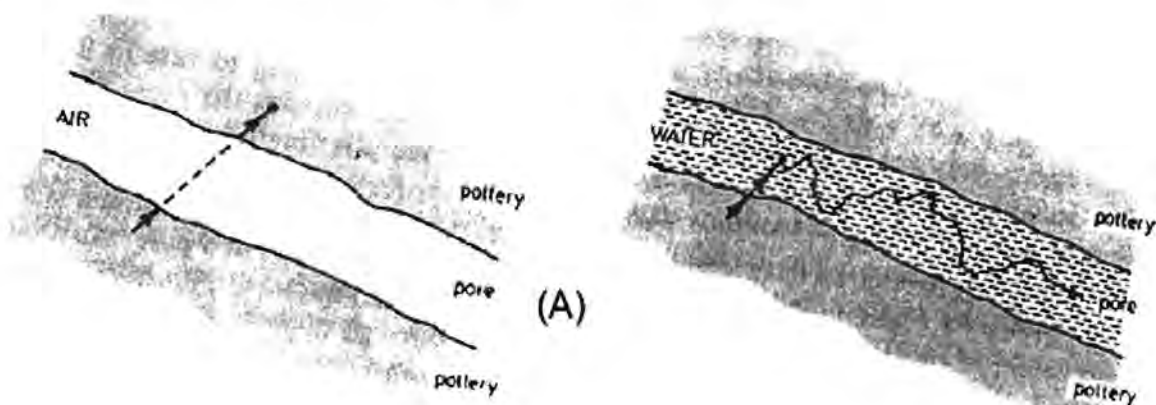


รูป 3.9 อัตราการลดทอนความสามารถในการทะลวงของอนุภาคแอลฟา (K) ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของเม็ดตะกอน (Aitken, 1985)



รูป 3.10 อัตราการลดทอนความสามารถในการทะลวงของอนุภาคเบตา (B) ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของเม็ดตะกอน (Aitken, 1985)

นอกจากการลดทอนความสามารถในการกระตุ้นอันเนื่องมาจากสาเหตุของขนาดตะกอนแล้ว ยังมีปัจจัยที่สำคัญอีกอย่าง คือ ความชื้นหรือปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในตัวอย่างดินในธรรมชาติ ซึ่งมีประสิทธิภาพการลดทอนที่แตกต่างกันในแต่ละอนุภาค (แอลฟา 50%, เบตา 25% และแกมมา 14 %) เช่นเดียวกัน (ดูรูป 3.11 ประกอบ)



รูป 3.11 (ก) ประสิทธิภาพการทะลุทะลวงของอนุภาคเมื่อไม่ผ่านตัวกลางที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (ข) การลดทอนความสามารถในการทะลุทะลวงของอนุภาคกัมมันตภาพรังสีจากสาเหตุความชื้นในตัวอย่าง (Aitken, 1985)

ดังนั้น สรุปสมการการคำนวณอัตราการแผ่รังสีต่อปี (หน่วย mGy) อันเนื่องมาจากความเข้มข้นของธาตุกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในดินและความเข้มข้นของความชื้นของตัวอย่างสามารถแสดงได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 D_{\text{แอลฟา}} &= K(2.783U+0.783 \text{ Th}) / (1+1.50W), \\
 D_{\text{เบตา}} &= B(0.1462U+0.0286\text{Th}+0.8303K) / (1+1.25W), \\
 D_{\text{แกมมา}} &= (0.1148U+0.0514\text{Th}+0.2492K) / (1+1.14W), \text{ และ} \\
 D_{\text{คอสมิก}} &= \text{กำหนดให้เป็นค่าประมาณคงที่ เท่ากับ } 0.15
 \end{aligned}$$

โดยกำหนดให้

K และ B ขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดตะกอน (ดูรูป 3.10 และ 3.11 ประกอบ)

W คือ ปริมาณน้ำหรือความชื้นคิดเป็นร้อยละที่อยู่ในช่องว่างของตะกอนดิน

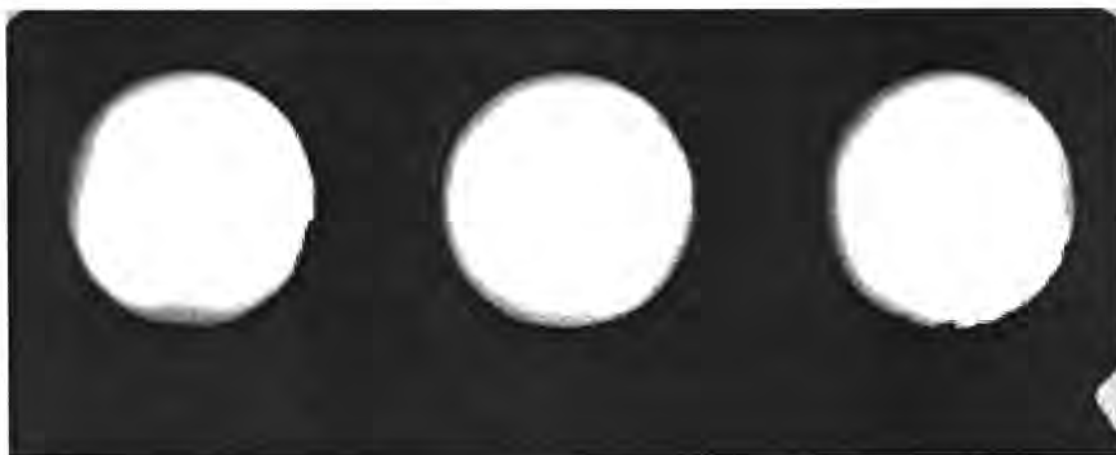
บทที่ 4

การประเมินปริมาณรังสีในตัวอย่าง (Equivalent Dose Determination)

4.1. การเทียบการอาบรังสี (Calibration of Radioactive Source)

สืบเนื่องจากในกระบวนการประเมินปริมาณรังสีในตัวอย่างนั้น ไม่สามารถตรวจวัดรังสีได้โดยตรงและจำเป็นต้องมีการอาบรังสีตัวอย่างเพื่อทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของการเรืองแสง (count/sec) และปริมาณรังสีที่มีอยู่ (Gy) ซึ่งในกรณีของเครื่องตรวจวัดปริมาณรังสี RISO TL/OSL ที่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์นั้น สามารถอาบรังสีได้ในหน่วยของความหนาของการอาบรังสี (วินาที) อย่างไรก็ตามเนื่องจากการกำหนดอายุต้องการการอาบรังสีในหน่วยของ Gy ดังที่กล่าวไปแล้วในข้างต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ก่อนที่จะมีการตรวจวัดปริมาณรังสีในตัวอย่างจึงจำเป็นต้องมีการเทียบการอาบรังสีของเครื่อง RISO TL/OSL ที่ภาควิชาธรณีวิทยา

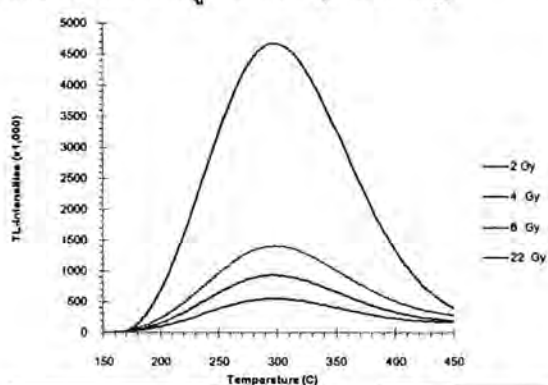
โดยผู้วิจัยได้ใช้ตัวอย่างสังเคราะห์ TL Detector หรือ TLD ซึ่งใช้สำหรับการตรวจวัดรังสีในหน่วยงานที่มีการทำงานเกี่ยวข้องกับรังสี (รูป 4.1) โดยนำไปอาบรังสีที่ทราบค่าในหน่วย Gy ที่แตกต่างกัน จากแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน โคบอลต์-60 ที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ บางเขน กรุงเทพฯ ซึ่งในแต่ละตัวอย่างของ TLD เราจะทราบค่าอาบรังสีมาเท่าใดในหน่วยของ Gy จากนั้นนำมาตรวจวัดความเข้มของรังสีด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนหรือ TL โดยกราฟ TL glow curve ของกลุ่มตัวอย่างที่อาบรังสีมาจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันตินั้นแสดงในรูป 4.2ก และกราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการอาบรังสี (หน่วย Gy) และความเข้มของสัญญาณ TL แสดงในรูป 4.2ค



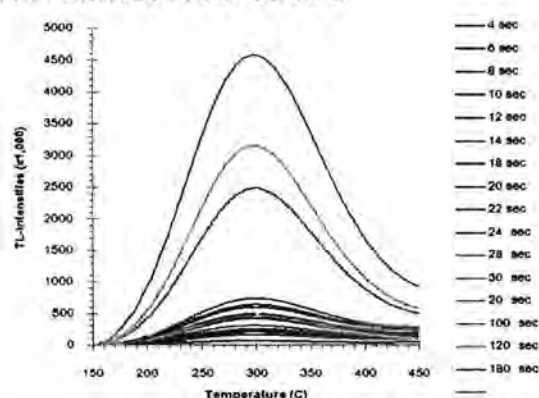
รูป 4.1 ตัวอย่าง TLD ที่ใช้ในการเทียบการอาบรังสี

หลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำตัวอย่าง TLD ชุดเดิมไปทดสอบอาบรังสีด้วยแหล่งกำเนิดรังสี Sr/Y-90 เบตา ซึ่งติดตั้งอยู่ในเครื่อง RISO TL/OSL ที่ภาควิชาธรณีวิทยา ซึ่งอาบรังสีในหน่วยของเวลา (วินาที) ด้วยค่าที่แตกต่างกัน จากนั้นจึงนำมาวัดปริมาณรังสีด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนเช่นเดิม โดยกราฟ TL glow curve ของกลุ่มตัวอย่างที่อาบรังสีมาจากเครื่อง RISO TL/OSL ที่ภาควิชาธรณีวิทยานั้นแสดงในรูป 4.2ข และกราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการอาบรังสี (หน่วย วินาที) และความเข้มข้นของสัญญาณ TL แสดงในรูป 4.2ง

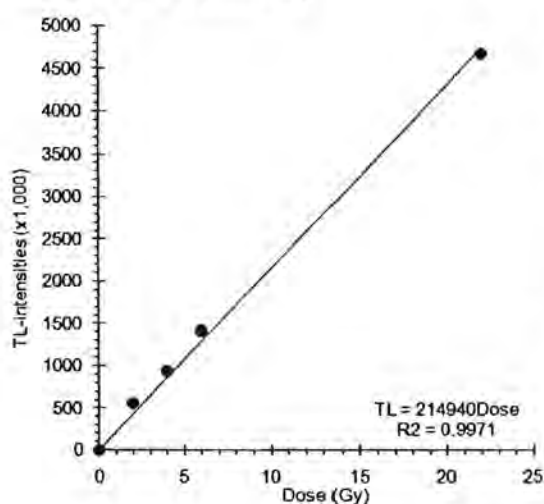
ก) กราฟ TL glow curve ที่อาบรังสีจากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (หน่วย Gy)



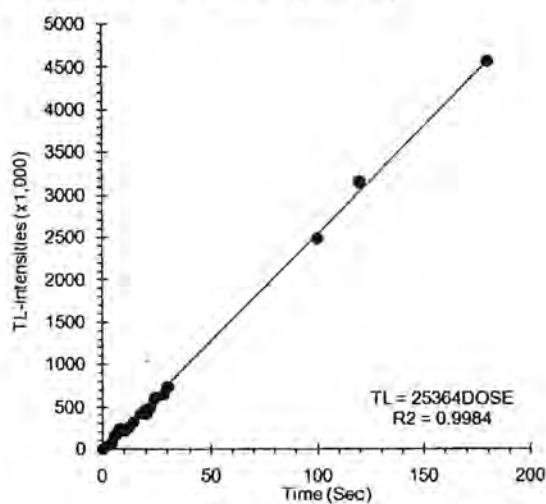
ข) กราฟ TL glow curve ที่วัดได้จากการอาบรังสีจากเครื่อง RISO TL/OSL



ค) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสี (Gy) ที่ทราบค่า (แกนนอน) และความเข้มข้นของการเรืองแสง (แกนตั้ง)



ง) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสี (วินาที) ที่ทราบค่า (แกนนอน) และความเข้มข้นของการเรืองแสง (แกนตั้ง)



รูป 4.2 ผลการเปรียบเทียบการอาบรังสีระหว่างเครื่องอาบรังสีโคบอลต์-60 จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและการอาบรังสีด้วยเครื่อง RISO TL/OSL ที่ภาควิชาธรณีวิทยา

ผลจากการเปรียบเทียบการอาบรังสีทั้งจากแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานโคบอลต์-60 ที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และการอาบรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีด้วยเครื่อง RISO TL/OSL ที่ภาควิชาธรณีวิทยา (รูป 4.2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสัญญาณ TL (TL intensity) และปริมาณการอาบรังสี ดังแสดงในสมการ 4.1-4.2

$$\text{TL intensity} = 214940 \times \text{Dose (Gy)} \quad (\text{สมการ 4.1})$$

$$\text{TL intensity} = 25364 \times \text{Dose (Sec)} \quad (\text{สมการ 4.2})$$

ซึ่งเมื่อพิจารณาสมการทั้งสอง จะสามารถเปรียบเทียบการอาบรังสีประเมินความสัมพันธ์ระหว่างการอาบรังสีที่เครื่อง RISO TL/OSL ในหน่วยวินาที และหน่วยปริมาณรังสีมาตรฐาน (Gy) ดังแสดงในสมการ 4.3

$$1 \text{ วินาที} = 0.141 \text{ Gy หรือ} \quad (\text{สมการ 4.3})$$

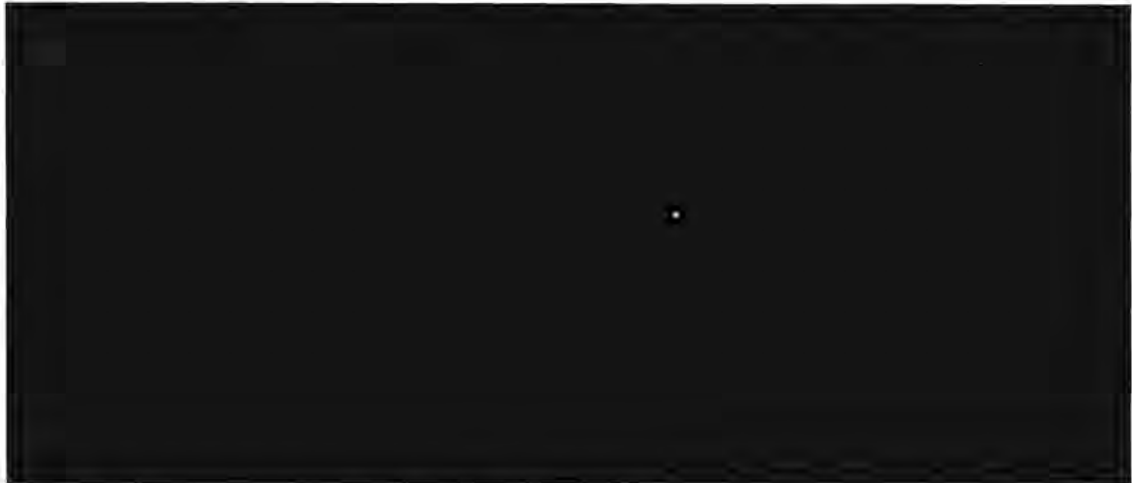
$$1 \text{ นาที} = 8.47 \text{ Gy}$$

ดังนั้นในการประเมินรังสีในตัวอย่างในขั้นตอนต่อไปนั้น ผู้วิจัยสามารถอาบรังสีด้วยเครื่อง RISO TL/OSL ที่ภาควิชาธรณีวิทยาในหน่วยวินาทีได้และสามารถเปรียบเทียบให้อยู่ในรูปของปริมาณรังสี (Gy) ดังแสดงในสมการ 4.3 ดังกล่าว

4.2. การทดสอบรังสีเบื้องต้น (Pre-test of Equivalent Dose)

หลังจากที่ได้มีการเปรียบเทียบปริมาณการอาบรังสีเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงดำเนินการประเมินปริมาณรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งในทางปฏิบัติของการสร้างกราฟ Growth curve (รูป 2.8ข) ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของการเรืองแสง (แกนตั้ง) และปริมาณรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่าง (แกนนอน) นั้น นิยามที่จะสร้างกราฟที่มีการอาบรังสีตัวอย่างที่ 1) ต่ำกว่า 2) ใกล้เคียง และ 3) สูงกว่าปริมาณรังสีโดยประมาณที่มีอยู่ในแต่ละตัวอย่าง เพื่อให้การประเมินพฤติกรรมระหว่างปริมาณรังสีและสัญญาณการเรืองแสงนั้นครอบคลุม (interpolation) ในช่วงของปริมาณรังสีซึ่งจะทำให้การประเมินปริมาณรังสีนั้นมีความแม่นยำมากที่สุด

โดยในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้แบ่งตัวอย่างบางส่วนใส่เครื่อง RISO TL/OSL (รูป 4.3) โดยใส่ตัวอย่างละ 1 หลุม รวมทั้งสิ้น 13 ตัวอย่าง หรือ 13 หลุม จากนั้นจึงทำการวัดปริมาณการเรืองแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง (OSL) ของตัวอย่างแต่ละตัว (N) หลังจากนั้นจึงทำการอาบรังสีตัวอย่างทุกตัวด้วยระยะเวลา 100 วินาที และทำการตรวจวัดสัญญาณ OSL อีกครั้ง ซึ่งกราฟ OSL decay curve ที่ได้แสดงในรูป 4.4

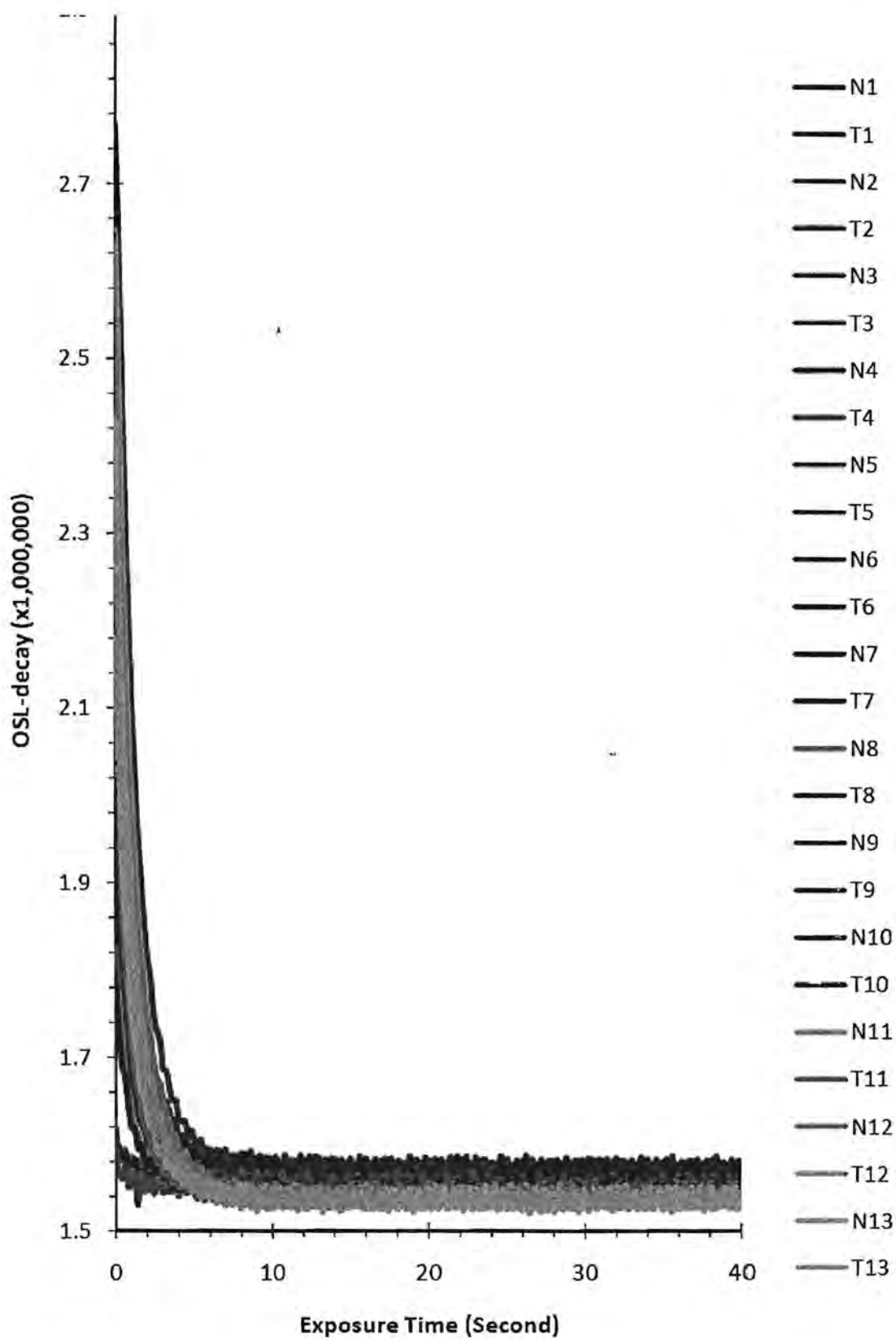


รูป 4.3 แสดงการนำตัวอย่างควอตซ์บริสุทธิ์ใส่ภาตหลุมเพื่อทำการประเมินปริมาณรังสีเบื้องต้น

หลังจากนั้นจึงทำการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ระหว่างปริมาณรังสีที่อ่านและความสูงของกราฟ OSL ซึ่งผลที่ได้จะแสดงในรูปของปริมาณรังสีในเบื้องต้นของแต่ละตัวอย่าง (Test dose) จากนั้นจึงวางแผนในการอาบรังสีในแต่ละตัวอย่าง อย่างน้อย 3 ค่า (R1-R3) ซึ่งโดยสรุปการออกแบบการอาบรังสีแสดงในตาราง 4.1 เพื่อใช้ในการตรวจวัดจริงทั้งด้วยวิธี TL และ OSL

ตาราง 4.1 ผลการประเมินปริมาณรังสีในเบื้องต้นของแต่ละตัวอย่าง (Test dose) และการออกแบบค่าการอาบรังสี 3 ค่าในการตรวจวัดปริมาณรังสีจริง (R)

No.	No.	Test Dose (วินาที)	R1 (วินาที)	R2 (วินาที)	R3 (วินาที)
1	TT1-1	166	100	170	250
2	TT1-2	238	170	240	300
3	TT2-1	122	70	120	190
4	TT2-2	154	80	150	200
5	TT3-1	5	2	3	20
6	TT3-2	8	2	7	20
7	TT4-1	66	20	70	150
8	TT4-2	75	20	80	150
9	TT5-1	135	70	130	200
10	TT5-2	198	130	200	260
11	TT6-1	46	20	50	90
12	TT6-2	87	30	90	180
13	TT6-3	47	20	50	100

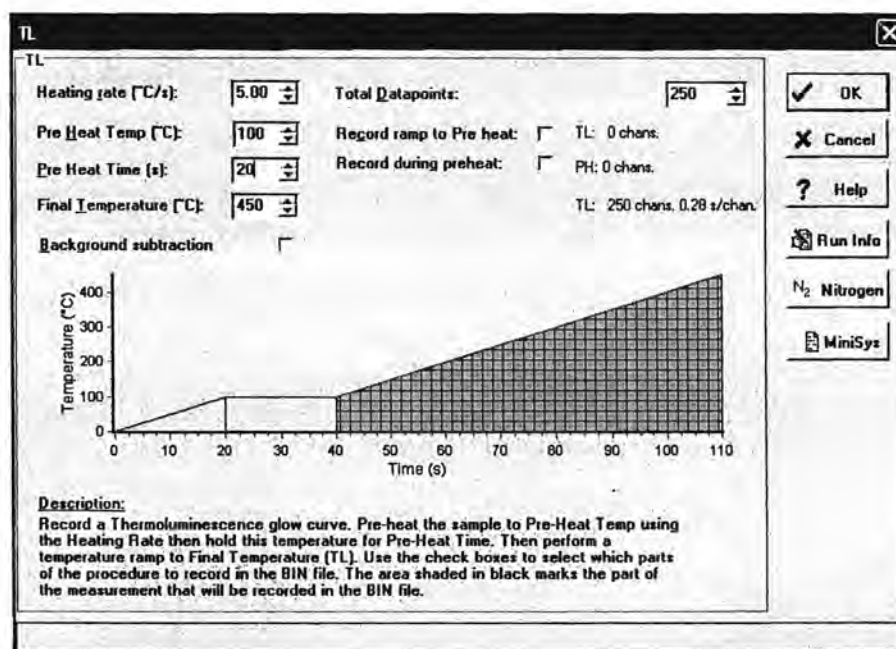


รูป 4.4 OSL decay curve ของตัวอย่างธรรมชาติ (N) และตัวอย่างที่ผ่านการอบรังสี (T)
หมายเลขสัมพันธ์กับคอลัมน์ No. ในตาราง 4.1

4.3. การประเมินรังสีด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (Thermoluminescence)

ในการวิเคราะห์หาอายุโดยการเรืองแสงความร้อน ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิค Regeneration (Takashima and Honda, 1989) ในการประเมินค่าปริมาณรังสี ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเทคนิคที่เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายและเหมาะสมกับการประเมินปริมาณรังสีของตัวอย่างที่ได้รับความร้อน โดยในแต่ละตัวอย่างนั้นมีขั้นตอนการตรวจวัด เริ่มต้นจากการวัดสัญญาณการเรืองแสงจากตัวอย่างธรรมชาติ (Natural) จำนวน 3 ครั้ง หลังจากนั้นตัวอย่างที่ผ่านการวัดแล้วจะไม่มีสัญญาณการเรืองแสงเหลืออยู่ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการอบรังสี (R1) ตามที่ได้วางแผนไว้ในแต่ละตัวอย่าง (ตาราง 4.1) และทำการวัดสัญญาณการเรืองแสง จากนั้นอบรังสีซ้ำอีก (R2) ตรวจวัด เช่นเดิม และ อบรังสี (R3) เป็นครั้งสุดท้าย และทำการตรวจวัด ซึ่งจะทำให้ในแต่ละตัวอย่างจะมีการตรวจวัดสัญญาณการเรืองแสงจากการกระตุ้นด้วยความร้อน 12 ครั้ง (หรือ 12 เส้นกราฟ glow curve)

โดยในการวัดสัญญาณแต่ละครั้งนั้นมีการเซทสภาวะการตรวจวัดในเครื่อง RISO TL/OSL ดังแสดงในรูป 4.5 โดยมีการให้ความร้อนก่อนการตรวจวัดด้วยอัตรา $5^{\circ}\text{C}/\text{วินาที}$ เป็นเวลา 20 วินาที จนกระทั่งตัวอย่างมีอุณหภูมิถึง 100°C จึงเริ่มทำการตรวจวัดและบันทึกปริมาณสัญญาณการเรืองแสงหรือปริมาณรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยจะวัดไปเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 450°C ระบบจึงหยุดให้ความร้อนและหยุดตรวจวัด ซึ่งจะทำให้ได้กราฟ TL glow curve ดังแสดงในรูป 4.6

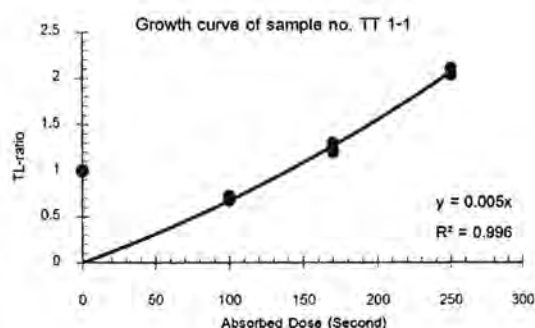
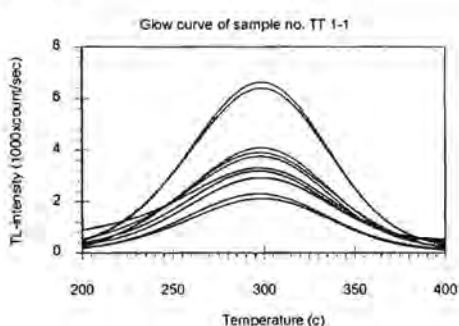


รูป 4.5 สภาวะการตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่อง RISO TL/OSL ด้วยวิธี TL

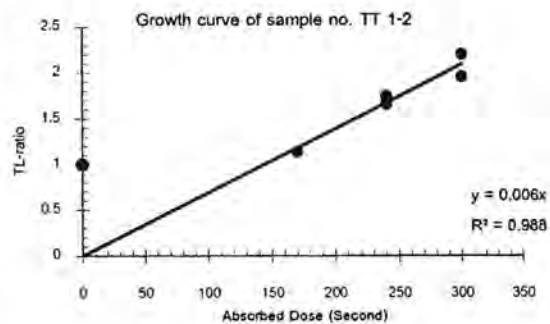
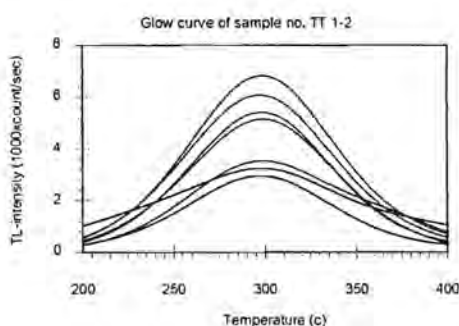
ซึ่งผลจากการตรวจวัดปริมาณรังสีในรูปของ TL glow curve ของแต่ละตัวอย่างนั้นได้นำมาสร้างเป็นกราฟ TL growth curve ดังแสดงในรูป 4.6 โดยได้จากการสร้างเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณรังสีที่อาบให้ตัวอย่างและปริมาณความเข้มข้นสูงสุดของกราฟ TL glow curve

จากนั้นจึงนำค่าสัญญาณที่วัดได้จากตัวอย่างธรรมชาติ (N) มาเปรียบเทียบกับบัญญัติไตรยางศ์ และประเมินค่าปริมาณรังสีในหน่วยของ Gy ซึ่งผลของค่าปริมาณรังสีหรือ ED ในแต่ละตัวอย่าง แสดงในตาราง 4.2

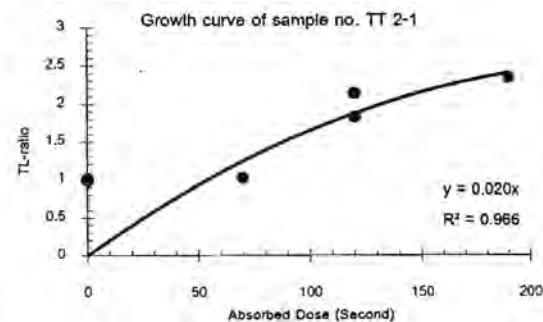
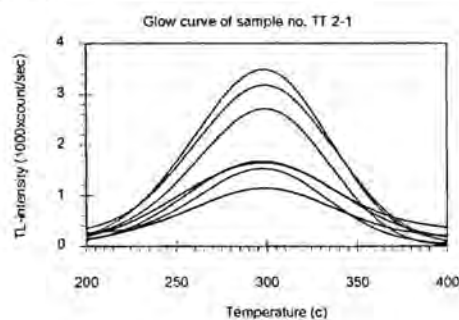
TT 1-1



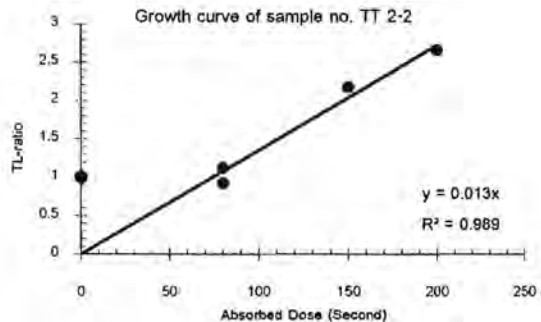
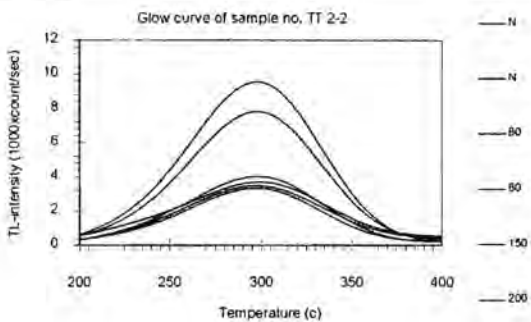
TT 1-2



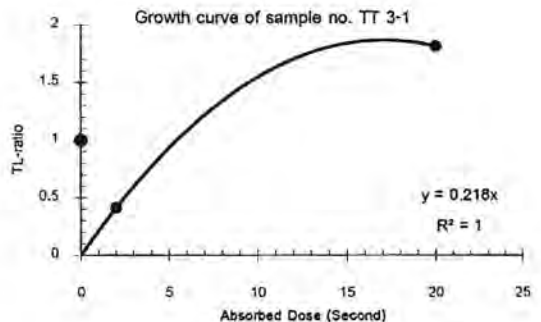
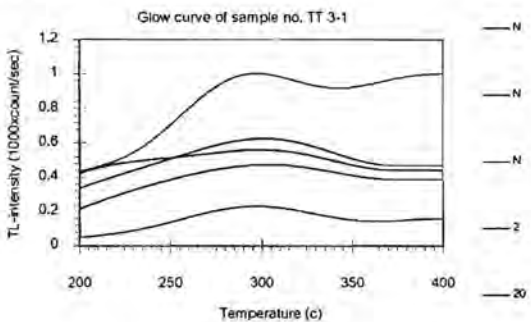
TT 2-1



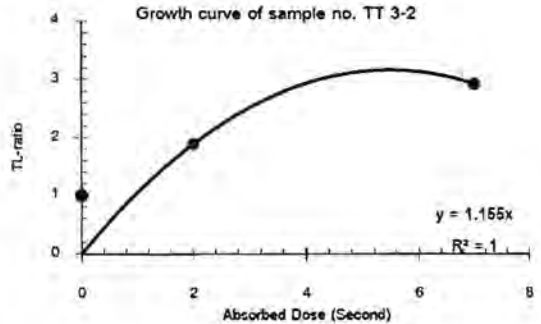
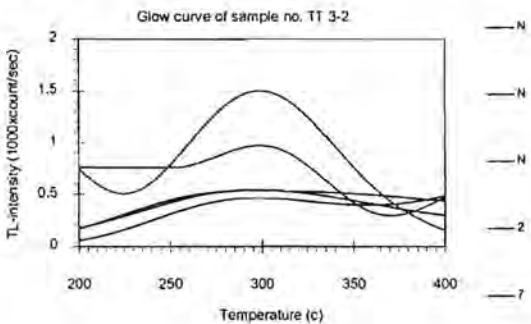
TT 2-2



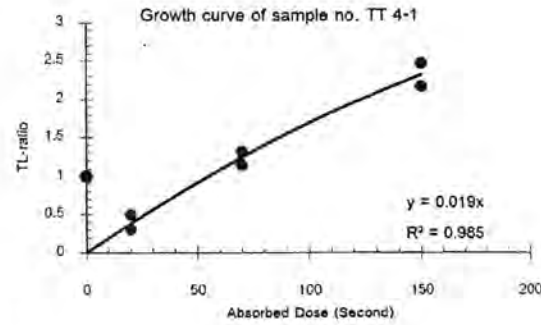
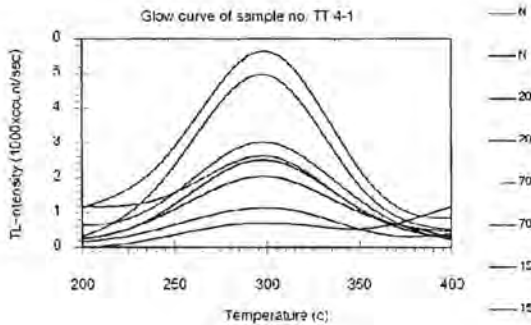
TT 3-1



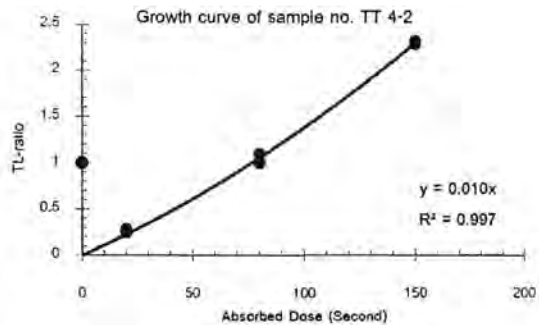
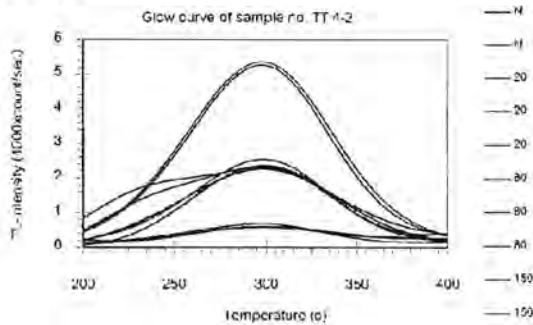
TT 3-2



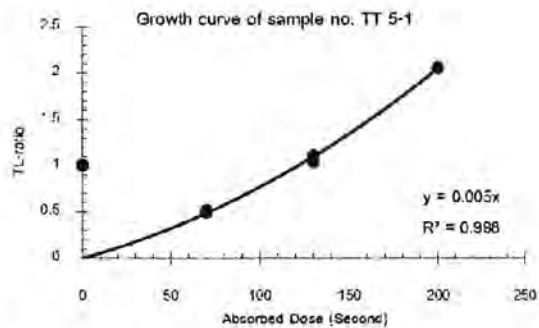
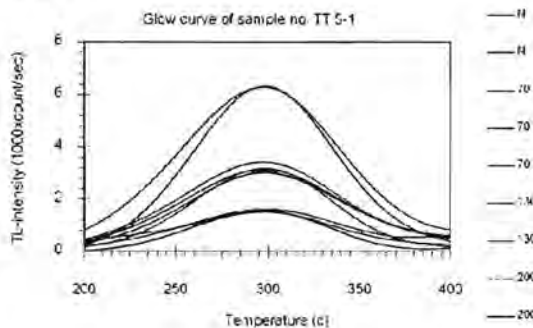
TT 4-1



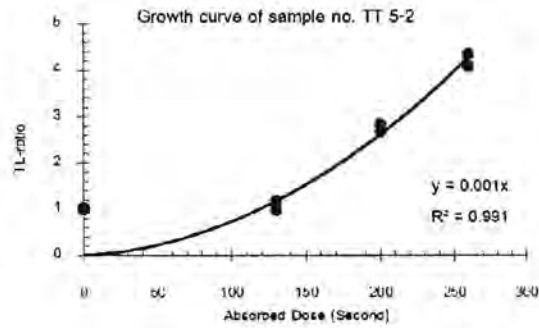
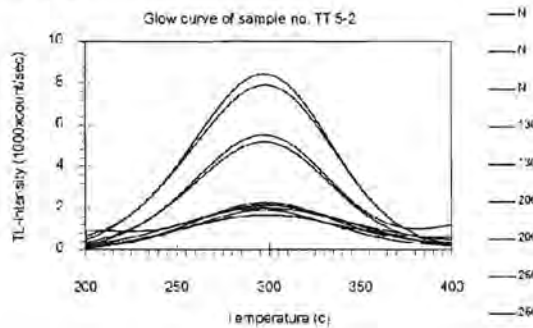
TT 4-2



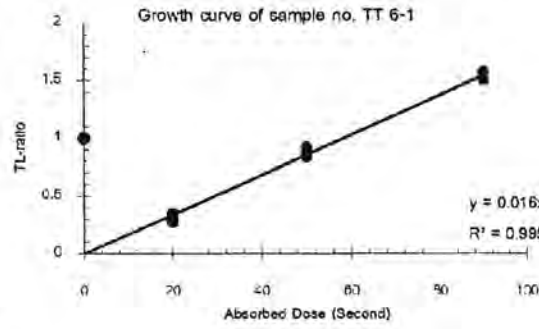
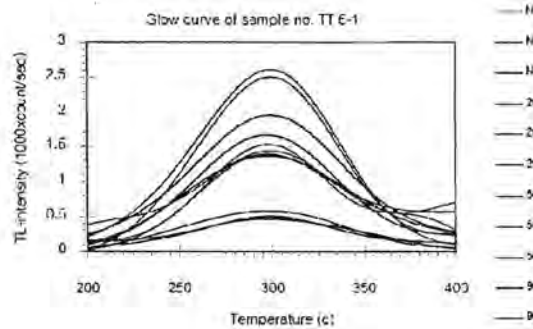
TT 5-1



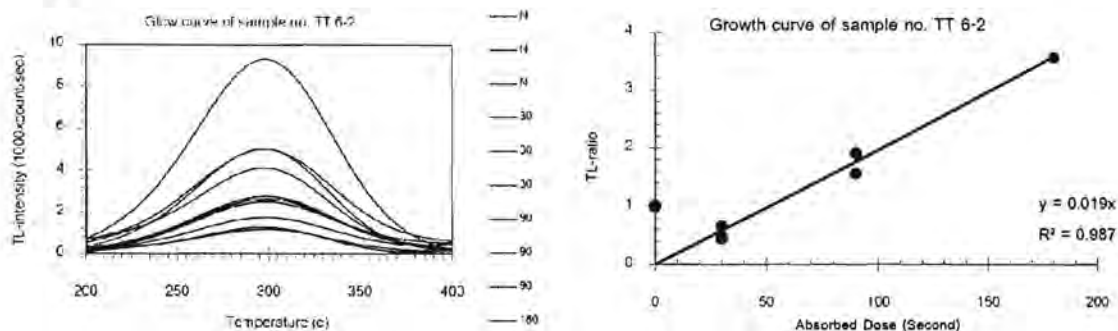
TT 5-2



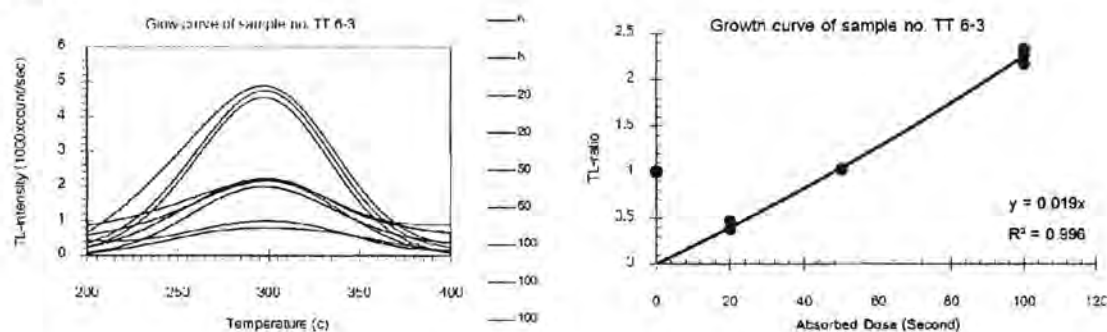
TT 6-1



TT 6-2



TT 6-3



รูป 4.6 กราฟ TL glow curve และ growth curve ของแต่ละตัวอย่างที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง RISO TL/OSL ด้วยวิธี TL และการประเมินค่าปริมาณรังสี

จากตาราง 4.2 แสดงให้เห็นว่าผลการประเมินค่าปริมาณรังสีของตัวอย่างอิฐต่างๆ นั้นมีความแตกต่างกันแปรผันในช่วง 0.13-20.35 Gy และเมื่อนำมาคำนวณร่วมกับค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปี หรือ AD ที่ประเมินไว้จากขั้นตอนที่ผ่านมา ทำให้ผลการกำหนดอายุของอิฐทั้งหมดนั้นเคยถูกเผาหรือมีอายุอยู่ในช่วง 8-230 ปี โดยอายุต่ำสุดที่ได้นั้นเป็นของอิฐจากโบราณสถานหมายเลข 4 ในขณะที่ตัวอย่างอิฐจากแหล่งโบราณสถานหมายเลข 1 นั้นมีอายุอยู่ในช่วง 1980 (อิฐส่วนนอก)-2030 (อิฐส่วนใน) ปี นอกจากนี้อิฐก้อนอื่นๆ นั้นมีอายุอยู่ในช่วงหลัก 700-1700 ปี เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสามารถแปลความในเบื้องต้นได้ว่า แหล่งโบราณคดีทุ่งตึกนี้มีอายุที่แตกต่างกันหรือใช้อิฐที่มีการผลิตในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 700-1700 ปี

อย่างไรก็ตาม ในการกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไปนั้นควรมีการกำหนดอายุด้วยเทคนิคอื่นๆ มาเปรียบเทียบกับค่าอายุที่ได้นั้นมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดสัญญาณ OSL กับตัวอย่างอิฐเพื่อประเมินอายุของอิฐอีกครั้ง ซึ่งกระบวนการทำงานนั้นแสดงในขั้นตอนต่อไป

ตาราง 4.2 ผลการประเมินปริมาณรังสีและอายุของตัวอย่างอิฐด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (Thermoluminescence Dating)

No.	Sample	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	W (%)	AD (Gy/ka)	ED (Gy)	Age (Yr)
1	TT1-1	9.43±0.23	61.85±2.2	2.95±0.1	3.52	9.99±7.68	19.84±0.61	1980±1520
2	TT1-2	9.43±0.23	61.85±2.2	2.95±0.1	3.52	9.99±7.68	20.35±0.63	2030±1560
3	TT2-1	11.66±0.22	64.41±1.99	3±0.09	4.57	10.71±7.24	7.56±1.65	700±490
4	TT2-2	11.66±0.22	64.41±1.99	3±0.09	4.57	10.71±7.24	10.46± 1.15	970±660
5	TT3-1	19.3±0.27	77.2±2.16	4.07±0.1	0.62	14.85±10.03	0.77±0.01	51±34
6	TT3-2	19.3±0.27	77.2±2.16	4.07±0.1	0.62	14.85±10.03	0.13±0.00	8±5
7	TT4-1	4.94±0.19	29.96±1.5	2.14±0.09	5.38	5.70±2.57	7.77±2.23	1360±720
8	TT4-2	4.94±0.19	29.96±1.5	2.14±0.09	5.38	5.70±2.57	10.91±1.70	1910±910
9	TT5-1	9.98±0.18	59.37±1.93	3.07±0.08	9.38	9.78±6.16	16.41±0.91	1670±1050
10	TT5-2	9.98±0.18	59.37±1.93	3.07±0.08	9.38	9.78±6.16	16.42±1.33	1670±1060
11	TT6-1	6.27±0.16	33.32±1.26	2.39±0.08	4.70	6.54±2.44	8.28±1.16	1260±500
12	TT6-2	6.27±0.16	33.32±1.26	2.39±0.08	4.70	6.54±2.44	7.21±1.96	1100±500
13	TT6-3	6.27±0.16	33.32±1.26	2.39±0.08	4.70	6.54±2.44	6.83±1.10	1040±420

4.4. การประเมินรังสีด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง (Optically Stimulated Luminescence)

นอกจากการตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยวิธี TL แล้ว ในงานวิจัยนี้ยังมีการประยุกต์ใช้หลักการกระตุ้นด้วยแสง (OSL) เพื่อการกำหนดอายุอิฐโบราณคดีอีกด้วย โดยวิธี OSL นี้ริเริ่มโดย Huntley และคณะ (1985) โดยใช้แสงกระตุ้นสีเขียวจากหลอดอาร์กอนเลเซอร์ ($\lambda = 514$ นาโนเมตร) กระตุ้นการเรืองแสงในแร่ควอตซ์ที่สกัดจากตะกอนที่ต้องการทราบอายุการสะสมตัว หลักจากนั้นหลายกลุ่มวิจัยได้นำแนวคิด Huntley และคณะ (1985) ไปศึกษาวิจัยและพัฒนาในรายละเอียดแขนงต่างๆ เพื่อให้การกำหนดอายุด้วยวิธี OSL นั้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1. แหล่งกำเนิดแสง

โดยเทคนิคของการกระตุ้นด้วยแสงที่นิยมกันเป็นอย่างมากในปัจจุบันนั้น คือ การกระตุ้นด้วยแสงต่อเนื่อง (Continuous wave stimulation, CW) ซึ่งเป็นชนิดที่มีทั้งการกระตุ้นและการตรวจวัดแสงไปพร้อมกัน ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดการปนกันของแสงกระตุ้นและแสงจากการเรืองแสงของตัวอย่าง จึงต้องใช้ระบบกรองแสงเข้าช่วยเพื่อเลือกวัดเฉพาะการเรืองแสงจากตัวอย่างเท่านั้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่ากับแร่ควอตซ์ถูกกระตุ้นได้อย่างสมบูรณ์กับช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible light) ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นที่มากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นสัญญาณ OSL ลดหลั่นตามลำดับ (Botter-Jensen และคณะ, 1994b) ในขณะที่แร่เฟลสปาร์เรืองแสงได้ดี หากถูกกระตุ้นด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นใกล้กับแสงอินฟราเรด เป็นต้น

2. เทคนิคการประเมินปริมาณรังสีในตัวอย่าง

ส่วนแนวทางในการประเมินปริมาณรังสีและการอาบรังสีนั้น ปัจจุบันนิยมใช้เทคนิคที่เรียกว่า การประเมินโดยใช้กลุ่มตะกอนเดี่ยว (Single-aliquot) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถตรวจวัดและประเมินค่าปริมาณรังสีในตัวอย่างโดยใช้ตัวอย่างกลุ่มตะกอนเพียงส่วนเดียว (Single-aliquot) ซึ่งมีหลายเทคนิคที่พัฒนาร่วมกัน เช่น เทคนิค Additive dose (Duller, 1991; Galloway, 1996; Murray และคณะ, 1997) เป็นเทคนิคแรกที่พัฒนาเพื่อสนับสนุนวิธีการ Single-aliquot จากนั้นในปัจจุบันเทคนิค Regeneration dose ได้ทำการพัฒนาขึ้นสำหรับใช้กับตัวอย่างแร่ควอตซ์ (Murray และ Wintle, 1999)

วิธีการนี้มีแนวปฏิบัติที่ไม่ซับซ้อน เริ่มจากการวัดสัญญาณ OSL ธรรมชาติ ซึ่งทำให้สัญญาณ OSL หดไป จากนั้นอาบรังสีให้โดยประมาณให้ใกล้เคียงกับสัญญาณ OSL ธรรมชาติให้มากที่สุด และทำการวัดสัญญาณ OSL อีกครั้ง จากนั้นคำนวณปริมาณรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างจากการเปรียบเทียบอัตราส่วนของสัญญาณ OSL ธรรมชาติและตัวอย่าง (เดิม) ที่อาบรังสีที่เราทราบค่า ปัญหาของวิธีการนี้ คือ โดยปกติจะมีความเปลี่ยนแปลงความว่องไวต่อแสง อันเนื่องมาจากการใช้ตัวอย่างเดิม ผ่านการอาบรังสีใหม่ การอบก่อนการตรวจวัด และการให้ความร้อนระหว่างการตรวจวัดสัญญาณ OSL อย่างไรก็ตามงานวิจัยในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าการสร้างความแม่นยำสำหรับความว่องไวต่อแสงนั้นสามารถทำได้โดย หลักการ รังสีทดสอบ (test dose) ซึ่งหมายถึง ทุกครั้งที่มีการตรวจวัดสัญญาณ OSL ธรรมชาติ หรือการตรวจวัดตัวอย่างที่

อาบรังสี หลังจากนั้น ทำการอาบรังสีทดสอบซึ่งมีปริมาณต่างๆ (ปกติ 10-20% ของปริมาณ ED ที่ได้คาดการณ์ไว้)

ในการศึกษาวิจัยการกำหนดอายุอุทกโบราณคดีด้วยวิธี OSL นี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจวัดตามระเบียบแบบแผนของงานวิจัยในอดีต ที่อธิบายว่าเป็นการตรวจวัดที่แม่นยำมากที่สุด โดยระเบียบวิธีการทำงาน มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Preheat plateau test หมายถึง การทดสอบว่าช่วงอุณหภูมิของการ Pre-heat ใดที่ทำให้ได้ค่า ED ใกล้เคียงกันมากที่สุด เพราะบางครั้งอุณหภูมิต่ำไปก็ลบ ฟิคที่ 110TL ไม่หมด แต่บางครั้งสูงไป ก็อาจจะลบทั้ง ฟิค 100TL และ สัญญาณ OSL ที่เราต้องการวัดเพื่อประเมินรังสีด้วย ดังนั้นจะต้องมีการตรวจสอบในเบื้องต้นว่าช่วงอุณหภูมิใดเหมาะสมที่สุด ซึ่งวิธีการเริ่มต้นจากนำตัวอย่างธรรมชาติ มาตรวจวัดด้วย OSL เพื่อลบสัญญาณ OSL ออกให้หมดจากนั้นอาบรังสีที่ทราบค่า เพื่อให้เหมือนเป็นตัวอย่างธรรมชาติที่เราทราบค่าปริมาณรังสีอยู่แล้ว (ส่วนใหญ่จะให้ค่ารังสีประมาณใกล้เคียง กับค่ารังสีที่ตัวอย่างธรรมชาติ โดยประมาณ)

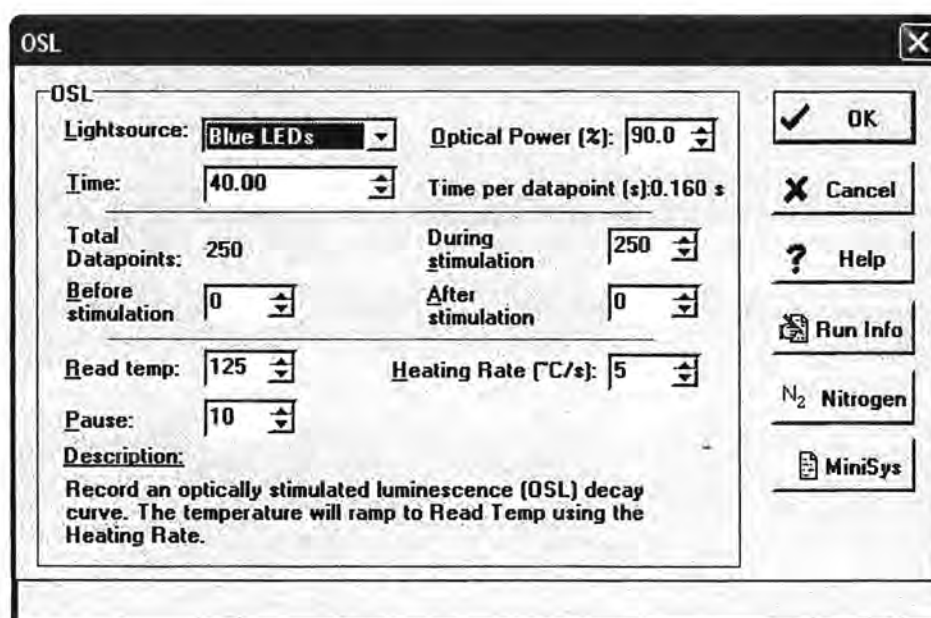
จากนั้นนำมาทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค Single Aliquot Regeneration (SAR) เพื่อหา ค่า ED ว่าอุณหภูมิ Preheat ใดให้ค่า ED ใกล้เคียงกับค่า ED ที่เราอาบมากที่สุด โดยใช้ อุณหภูมิที่ต่างกัน เช่น SAR1 200°C, SAR2 220°C, SAR3 240°C, ..., SARn 280°C เป็นต้น ซึ่งจะได้ค่า ED ในแต่ละอุณหภูมิที่ให้ จากนั้นดูว่า ED ที่ได้จากอุณหภูมิไหนที่ให้ค่า ED เท่ากับ ปริมาณรังสีที่เราอาบในตอนแรกถือว่า pre-heat นั้นดีเหมาะสมเป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 Thermal transfer checking หมายถึง ปรากฏการณ์ที่ในบางครั้ง ถึงแม้ว่าตัวอย่างจะไม่มีปริมาณรังสีอยู่เลยแม้แต่ชนิดเดียว (สมมุติให้ค่ารังสีเป็น 0) แต่เมื่อมารัน ด้วยอุณหภูมิ pre-heat ที่ต่างๆ กัน (เหมือนการทำ preheat plateau test) กลับให้ค่าสัญญาณ มาค่า 1 ซึ่งไม่เป็น 0 ดังนั้น เช่น เมื่อเราทำ preheat plateau test พบว่า อุณหภูมิ preheat มี เหมาะสมหลายค่า เช่น อาจจะใช้ได้ทั้ง 200-300 ก็ทำให้ plateau ได้ค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมา ทำ thermal transfer กลับพบว่า มีบางอุณหภูมิเท่านั้นที่ทำให้ ค่าตัวอย่าง 0 นั้นวัดปริมาณรังสี ได้ 0 จริง ซึ่งจากการทำทั้ง preheat plateau test และการทำ thermal transfer checking เราก็ จะได้ condition ของการ preheat ที่ดีที่สุดในการนำมาใช้ในการวัดตัวอย่างหรือสัญญาณ OSL ของเรา วิธีการ Thermal transfer นี้ จำเป็นมากหากทำกับตัวอย่างอายุอ่อน (ED 0.05-0.1 Gy) เพราะในบางครั้ง ค่าที่ไม่เท่ากับ 0 นี้ อาจทำให้การวัด ED ผิดพลาดไป แต่ในกรณีที่ตัวอย่างแก่ ก็ไม่ต้อง เพราะมันน้อยมากเมื่อเทียบกับ ED ที่ได้

ขั้นตอนที่ 3 Dose recovery หลังจากเราได้สภาวะ (condition) ที่เหมาะสมจากการทำ ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 เพื่อใช้ในการตรวจวัดสัญญาณ OSL แล้ว ขั้นตอนการทำ Dose recovery หมายถึง การทดสอบศักยภาพของ condition โดยการใช้ condition นั้นไปตรวจวัดเพื่อประเมิน

ปริมาณรังสีในตัวอย่างที่ทราบอายุแล้ว ว่ามีค่า ED ที่ทำให้การคำนวณอายุนั้นได้ใกล้เคียงกับความเป็จริงมากเพียงใด

หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการตรวจวัดตัวอย่างตามกระบวนการของ SAR โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ฟิลเตอร์ Hoya U-340 (หนา 7.5 มม. และ $\phi = 45$ นาโนเมตร) ในการแยกกันระหว่างแสงที่ใช้กระตุ้นและแสงที่ได้จากการเรืองแสง และสภาวะที่ใช้ในการกระตุ้นด้วยแสงนั้นแสดงในรูป 4.7 ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นแบบ Blue LEDs ใช้เวลาในการกระตุ้นด้วยแสง 40 วินาทีต่อตัวอย่าง และทำการตรวจวัดประมาณการเรืองแสงของตัวอย่าง ซึ่งผลของการตรวจวัดบางส่วนแสดงในรูป 4.4



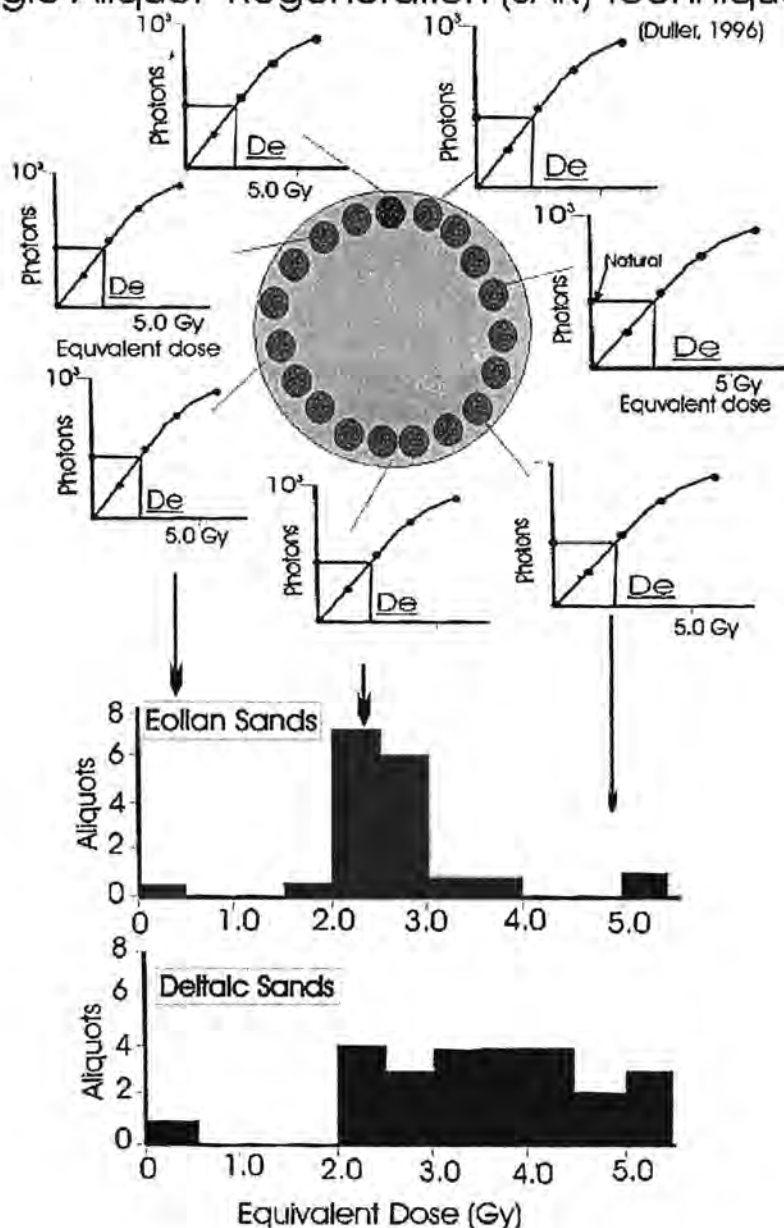
รูป 4.7 สภาวะการตรวจวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่อง RISO TL/OSL ด้วยวิธี OSL

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้นว่าเทคนิค SAR ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ มีประโยชน์อย่างมากตรงที่สามารถตรวจวัดหาค่า ED ได้ในปริมาณมากๆ โดยการตรวจวัดค่า ED ในแต่ละตัวอย่างนั้น ผู้วิจัยจะใส่ตัวอย่างในหลุมตัวอย่างทั้งหมด 24 หลุม (ทำ 24 ซ้ำ) ดังแสดงในรูป 4.8 ซึ่งในแต่ละหลุมนั้นจะมีการตรวจวัดประมาณการเรืองแสงและประเมินค่า ED ตามเทคนิคของ SAR ส่งผลให้ในแต่ละตัวอย่างอิฐนั้นจะมีค่า ED ประเมินได้ 24 ค่า (รูป 4.9)

ซึ่งผลของการประเมินค่า ED ในงานวิจัยนี้ได้ทำการประมวลผลทางสถิติออกเป็น 2 รูปแบบคือ การประเมินค่าเฉลี่ยของ ED และการประเมินค่าต่ำสุดของ ED (รูป 4.9) ซึ่งผลของการประเมินนั้นนำไปวิเคราะห์อายุร่วมกับค่า AD ทำให้ได้ค่าอายุของอิฐในแต่ละตัวอย่างที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในตาราง 4.3-4.4

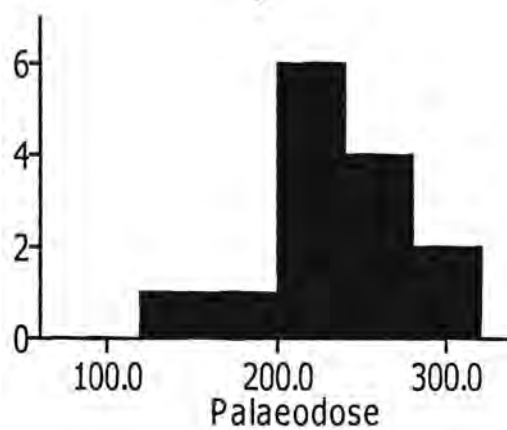
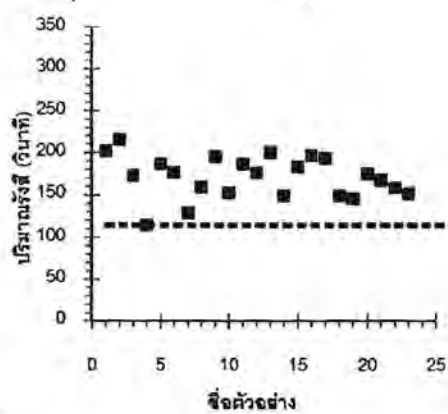
โดยจากรายการ 4.3 ซึ่งเป็นอายุที่ได้จากค่าเฉลี่ยของ ED จะเห็นได้ว่าค่าอายุของตัวอย่างอิฐนั้นมีความหลากหลายอย่างมากแปรผันในระหว่าง 27 (ตัวอย่าง TT3-1) ไปจนถึง 3380 (ตัวอย่าง TT 1-1) ปี ในขณะที่ผลการกำหนดอายุในตาราง 4.4 ซึ่งเป็นผลการกำหนดอายุจากค่าต่ำสุดนั้น มีค่าอยู่ในช่วง 18-2014 ปี ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าผลการประเมินอายุจากแนวคิดการวิเคราะห์ ED ที่แตกต่างกัน (เฉลี่ยหรือต่ำสุด) นั้นให้ค่าอายุที่แตกต่างกัน

Single Aliquot Regeneration (SAR) Technique

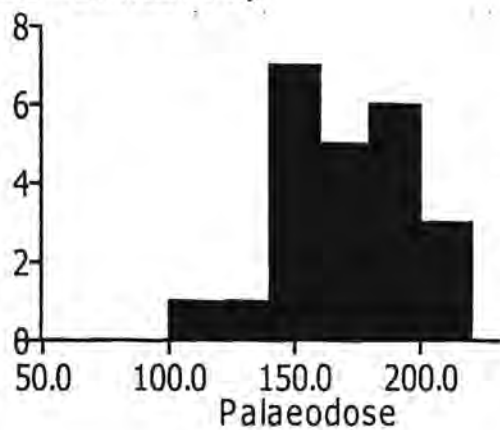
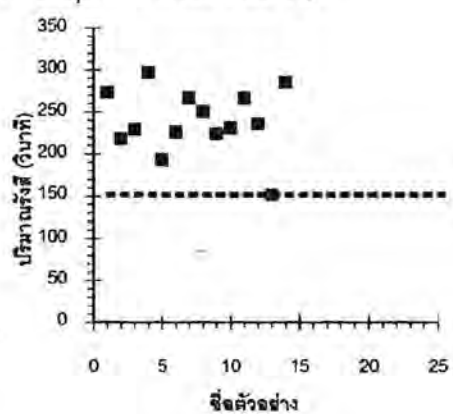


รูป 4.8 ระเบียบวิธีการตรวจวัดและประเมินปริมาณสัญญาณการเรืองแสงด้วยวิธี OSL ในงานวิจัยนี้

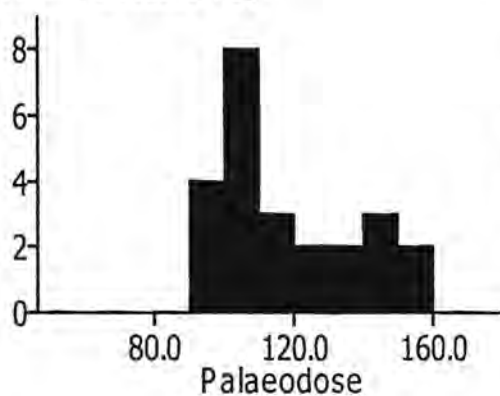
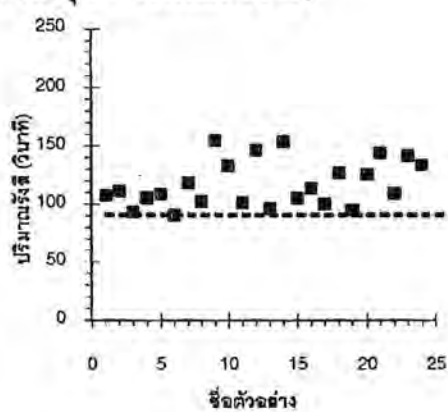
TT 1-1

ค่าเฉลี่ย = 33.78 ± 5.41 Gyค่าต่ำสุด = 16.14 ± 1.47 Gy

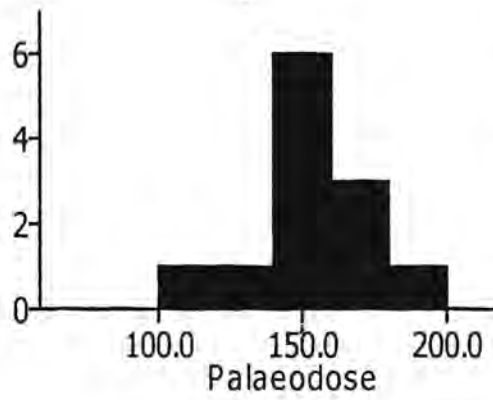
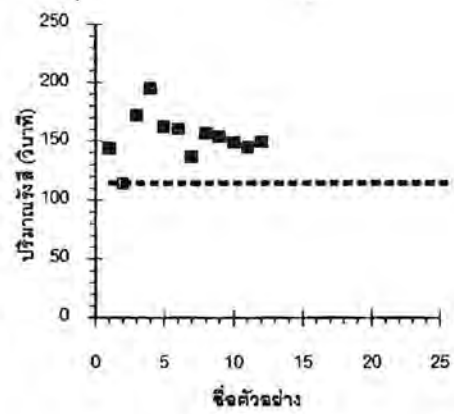
TT 1-2

ค่าเฉลี่ย = 24.17 ± 3.54 Gyค่าต่ำสุด = 21.40 ± 1.82 Gy

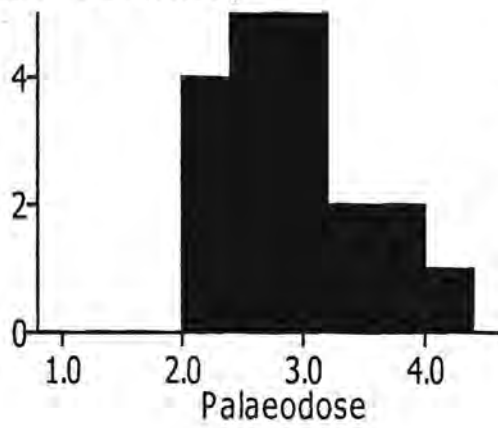
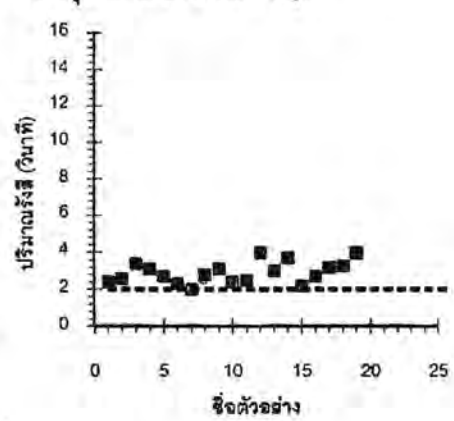
TT 2-1

ค่าเฉลี่ย = 16.58 ± 2.81 Gyค่าต่ำสุด = 12.82 ± 0.56 Gy

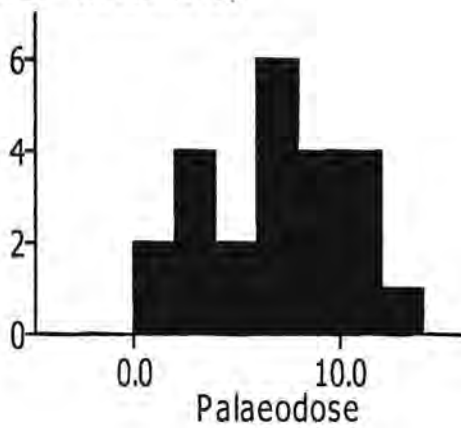
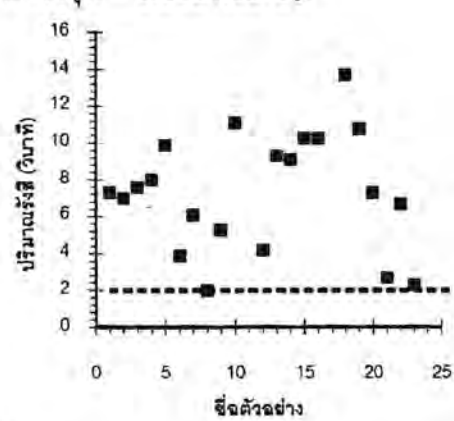
TT 2-2

ค่าเฉลี่ย = 21.60 ± 2.76 Gyค่าต่ำสุด = 16.12 ± 0.31 Gy

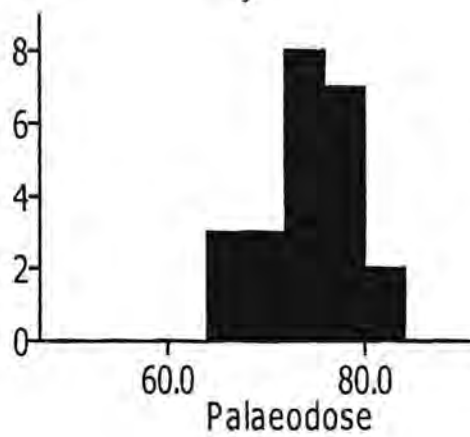
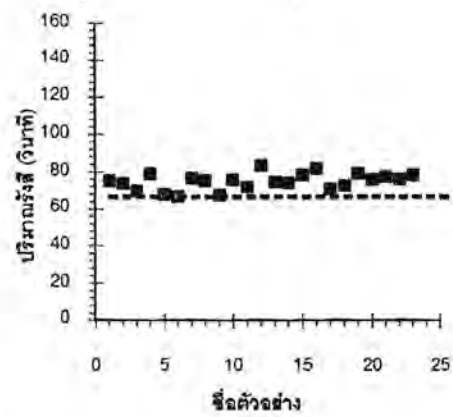
TT 3-1

ค่าเฉลี่ย = 0.41 ± 0.08 Gyค่าต่ำสุด = 0.28 ± 0.07 Gy

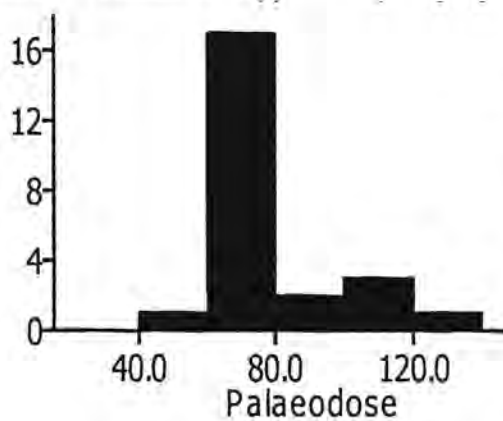
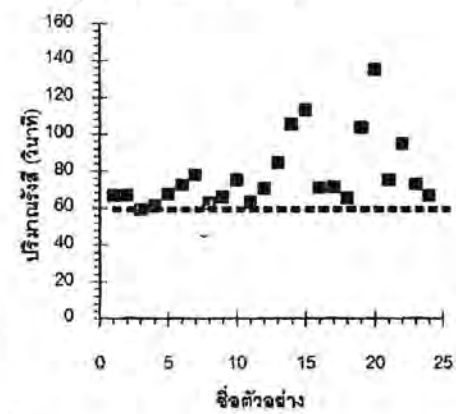
TT 3-2

ค่าเฉลี่ย = 0.96 ± 0.49 Gyค่าต่ำสุด = 0.28 ± 1.02 Gy

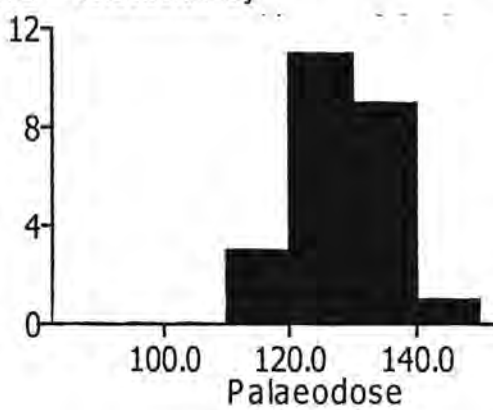
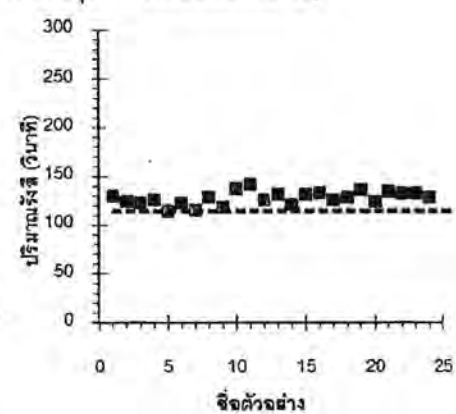
TT 4-1

ค่าเฉลี่ย = 10.55 ± 0.62 Gyค่าต่ำสุด = 8.36 ± 0.49 Gy

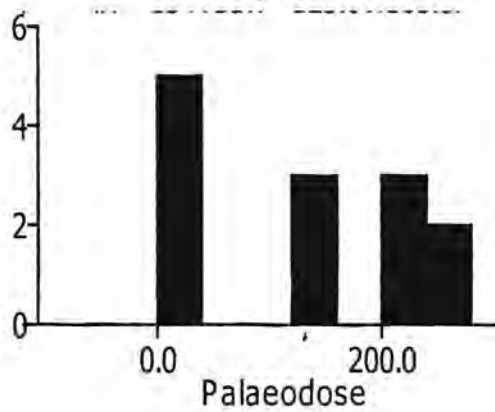
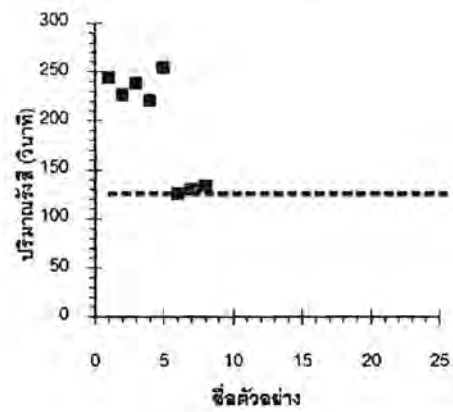
TT 4-2

ค่าเฉลี่ย = 10.98 ± 2.69 Gyค่าต่ำสุด = 9.38 ± 0.37 Gy

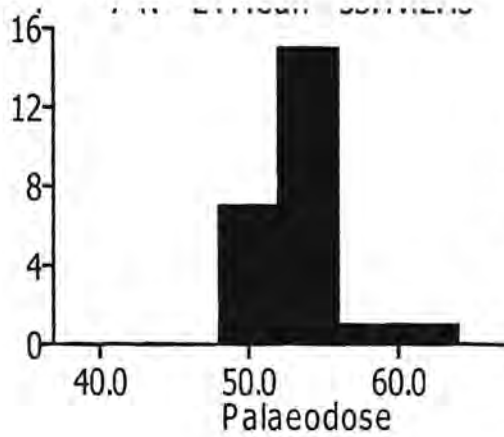
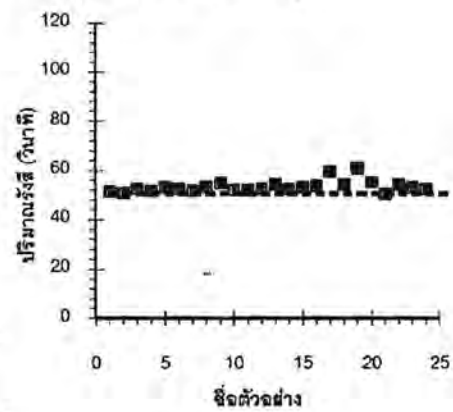
TT 5-1

ค่าเฉลี่ย = 18.05 ± 0.95 Gyค่าต่ำสุด = 16.20 ± 0.58 Gy

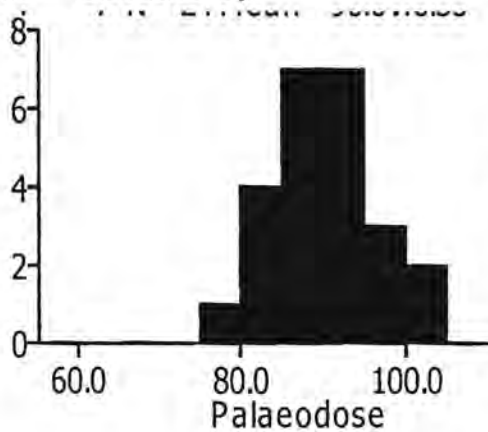
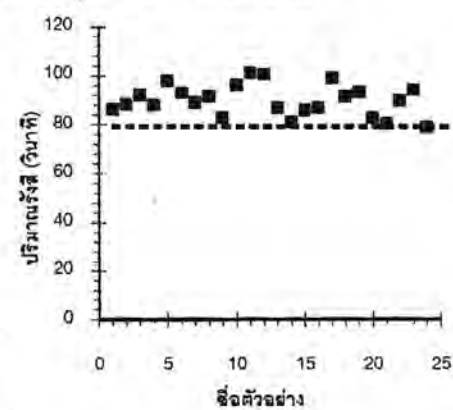
TT 5-2

ค่าเฉลี่ย = 17.43 ± 14.93 Gyค่าต่ำสุด = 17.74 ± 8.43 Gy

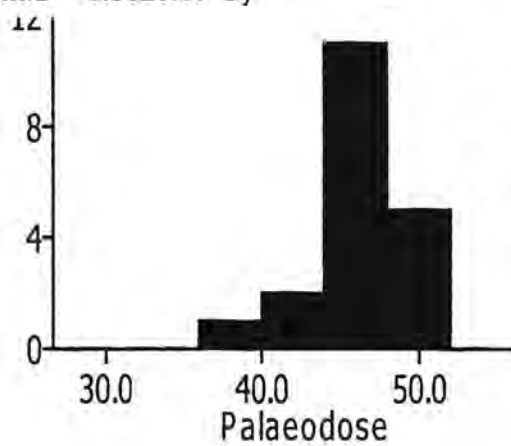
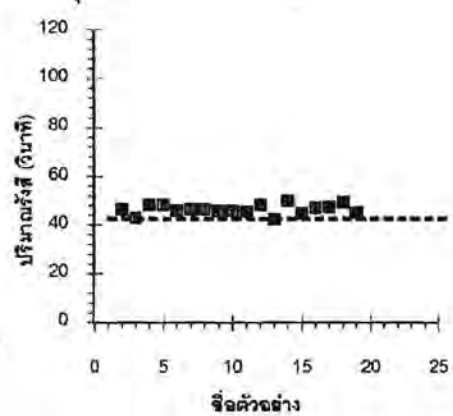
TT 6-1

ค่าเฉลี่ย = 7.53 ± 0.34 Gyค่าต่ำสุด = 7.12 ± 0.21 Gy

TT 6-2

ค่าเฉลี่ย = 12.69 ± 0.90 Gyค่าต่ำสุด = 11.17 ± 0.45 Gy

TT 6-3

ค่าเฉลี่ย = 6.50 ± 0.37 Gyค่าต่ำสุด = 6.56 ± 0.55 Gy

รูป 4.9 กราฟแสดงการกระจายตัวของผลการตรวจวัดค่า ED จากการตรวจวัดซ้ำ 24 ครั้ง ในแต่ละตัวอย่าง (ซ้าย) ค่าเฉลี่ย (ขวา) ค่าต่ำสุด

ตาราง 4.3 ผลการประเมินปริมาณรังสีและอายุของตัวอย่างอิฐด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง (Optically Stimulated Luminescence Dating) ด้วยแนวคิดการประเมินรังสีด้วยค่าเฉลี่ย (Mean ED)

No.	Sample	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	W (%)	AD (Gy/ka)	ED (Gy)	Age (Yr)
1	TT1-1	9.43±0.23	61.85±2.2	2.95±0.1	3.52	9.99±7.68	33.78±5.41	3380±2650
2	TT1-2	9.43±0.23	61.85±2.2	2.95±0.1	3.52	9.99±7.68	24.17±3.54	2410±1880
3	TT2-1	11.66±0.22	64.41±1.99	3±0.09	4.57	10.71±7.24	16.58±2.81	1540±1070
4	TT2-2	11.66±0.22	64.41±1.99	3±0.09	4.57	10.71±7.24	21.60±2.76	2010±1380
5	TT3-1	19.3±0.27	77.2±2.16	4.07±0.1	0.62	14.85±10.03	0.41±0.08	27±18
6	TT3-2	19.3±0.27	77.2±2.16	4.07±0.1	0.62	14.85±10.03	0.96±0.49	64±54
7	TT4-1	4.94±0.19	29.96±1.5	2.14±0.09	5.38	5.70±2.57	10.55±0.62	1840±830
8	TT4-2	4.94±0.19	29.96±1.5	2.14±0.09	5.38	5.70±2.57	10.98±2.69	1920±980
9	TT5-1	9.98±0.18	59.37±1.93	3.07±0.08	9.38	9.78±6.16	18.05±0.95	1840±1160
10	TT5-2	9.98±0.18	59.37±1.93	3.07±0.08	9.38	9.78±6.16	17.43±14.93	1780±1890
11	TT6-1	6.27±0.16	33.32±1.26	2.39±0.08	4.70	6.54±2.44	7.53±0.34	1150±430
12	TT6-2	6.27±0.16	33.32±1.26	2.39±0.08	4.70	6.54±2.44	12.69±0.90	1940±730
13	TT6-3	6.27±0.16	33.32±1.26	2.39±0.08	4.70	6.54±2.44	6.50±0.37	990±370

ตาราง 4.4 ผลการประเมินปริมาณรังสีและอายุของตัวอย่างอิฐด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง (Optically Stimulated Luminescence Dating) ด้วยแนวคิดการประเมินรังสีด้วยค่าต่ำสุด (Minimum ED)

No.	Sample	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	W (%)	AD (Gy/ka)	ED (Gy)	Age (Yr)
1	TT1-1	9.43±0.23	61.85±2.2	2.95±0.1	3.52	9.99±7.68	16.14±1.47	1610±1240
2	TT1-2	9.43±0.23	61.85±2.2	2.95±0.1	3.52	9.99±7.68	21.40±1.82	2140±1650
3	TT2-1	11.66±0.22	64.41±1.99	3±0.09	4.57	10.71±7.24	12.82±0.56	1190±800
4	TT2-2	11.66±0.22	64.41±1.99	3±0.09	4.57	10.71±7.24	16.12±0.31	1500±1010
5	TT3-1	19.3±0.27	77.2±2.16	4.07±0.1	0.62	14.85±10.03	0.28±0.07	18±12
6	TT3-2	19.3±0.27	77.2±2.16	4.07±0.1	0.62	14.85±10.03	0.28±1.02	18±65
7	TT4-1	4.94±0.19	29.96±1.5	2.14±0.09	5.38	5.70±2.57	8.36±0.49	1460±660
8	TT4-2	4.94±0.19	29.96±1.5	2.14±0.09	5.38	5.70±2.57	9.38±0.37	1640±740
9	TT5-1	9.98±0.18	59.37±1.93	3.07±0.08	9.38	9.78±6.16	16.20±0.58	1650±1040
10	TT5-2	9.98±0.18	59.37±1.93	3.07±0.08	9.38	9.78±6.16	17.74±8.43	1810±1420
11	TT6-1	6.27±0.16	33.32±1.26	2.39±0.08	4.70	6.54±2.44	7.12±0.21	1080±400
12	TT6-2	6.27±0.16	33.32±1.26	2.39±0.08	4.70	6.54±2.44	11.17±0.45	1700±630
13	TT6-3	6.27±0.16	33.32±1.26	2.39±0.08	4.70	6.54±2.44	6.56±0.55	1000±380

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล (Discussions and Conclusions)

5.1. อภิปรายผล (Discussions)

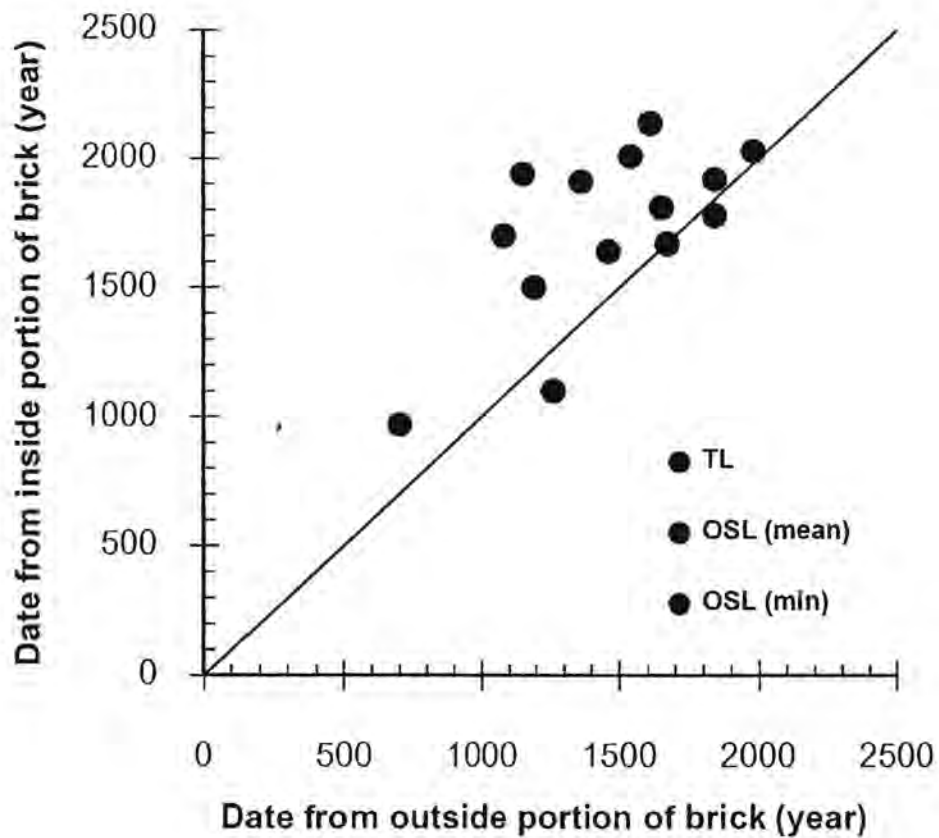
จากผลการกำหนดอายุของตัวอย่างอิฐทั้ง 6 ก้อน ที่เก็บมาจากฐานโบราณสถานของแหล่งโบราณคดีทุ่งตึก อ. ตะกั่วป่า จังหวัดพังงา ซึ่งแบ่งย่อยเป็น 13 กรณีศึกษาของการกำหนดอายุ ผลการกำหนดอายุในเบื้องต้นพบว่าอายุของอิฐทั้งหมดอยู่ในช่วงหลัก 10 ปี- 1000 ปี ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่รับได้ในการกำหนดอายุแหล่งโบราณคดี เนื่องจากงานวิจัยในอดีตนั้นเคยมีการรายงานไว้ว่าหากเทียบเคียงกับลวดลายหรือลักษณะเฉพาะของเศษโบราณวัตถุที่กระจายอยู่ในพื้นที่นั้น แหล่งโบราณคดีทุ่งตึกนั้นน่าจะมีอายุอยู่ในช่วง 1,000-1,300 ปีที่ผ่านมา และในกรณีของผลการกำหนดอายุด้วยวิธีคาร์บอน-14 จากตัวอย่างถ่านที่เก็บได้จากแหล่งขุดค้นนั้นพบว่ามีความอยู่ในช่วง 740-2,080 ปีตามลำดับ

อย่างไรก็ตามในการอภิปรายผลในเชิงรายละเอียด ผู้วิจัยมุ่งเน้นที่จะตีแผ่ศักยภาพของการกำหนดอายุอิฐจากโบราณสถานด้วยเทคนิคการกำหนดอายุด้วยวิธี TL และ OSL ไปพร้อมๆ กัน ดังนั้นในประเด็นแรกที่ผู้วิจัยต้องการนำเสนอ คือ

1. ผลจากการใช้ตัวอย่างในส่วนที่แตกต่างกัน (ตอบวัตถุประสงค์โครงการข้อที่ 1)

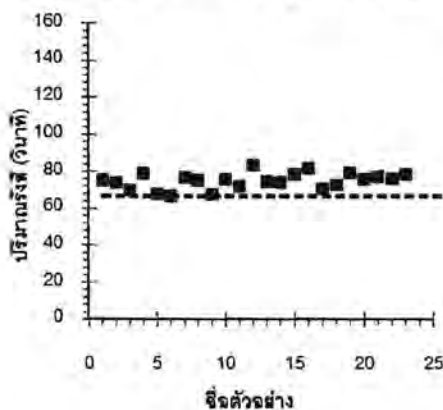
สืบเนื่องจากการที่ได้ลองแสดงภาพตัดขวางของตัวอย่างอิฐทุกก้อน (รูป 3.3.) และพบว่าอิฐส่วนใหญ่ นั้นแสดงลักษณะของสีเนื้ออิฐที่แตกต่างกันระหว่างภายนอกสุดของอิฐและภายในของอิฐ ซึ่งผู้วิจัยได้ทดสอบการใช้ส่วนภายนอกและภายในมากำหนดอายุด้วยทั้งวิธี TL และ OSL ซึ่งผลการกำหนดอายุนั้นก็ให้ผลที่แตกต่างกัน โดยจากการทดสอบพลอตกราฟความสัมพันธ์ (รูป 5.1) ระหว่างการกำหนดอายุด้วยวิธีทั้ง TL และ OSL จากส่วนภายในของอิฐ (แกนตั้ง) และส่วนภายนอกของอิฐ (แกนนอน) แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการกำหนดอายุส่วนของอิฐจากภายในนั้นให้ผลของอายุที่แก่กว่าผลการกำหนดอายุจากอิฐส่วนภายนอกอย่างชัดเจน

ซึ่งหากพิจารณาการกระจายตัวของค่า ED ที่ประเมินได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า ED ที่ประเมินได้จากวิธี OSL (รูป 5.2) จะเห็นได้ว่าหลังจากมีการทำซ้ำและประเมินค่า ED ในหลายๆ ครั้ง (24 ครั้ง) จะพบว่าอิฐส่วนนอกนั้นจะให้ค่า ED ที่เกาะกลุ่มกัน (รูป 5.2ก) ในขณะที่ค่า ED ที่ได้จากอิฐส่วนในนั้นมีความหลากหลายกระจายตัวอย่างมาก (รูป 5.2ข) ผู้วิจัยจึงสรุปว่าอิฐส่วนในนั้นน่าจะยังไม่ได้รับอุณหภูมิสูงพอในกระบวนการเผาอิฐ จึงทำให้สัญญาณทั้ง TL และ OSL ที่เรืองแสงนั้นมีส่วนที่หลงเหลือมาจากดินเก่าที่นำมาปั้นอิฐรวมอยู่ด้วย ทำให้มีโอกาสได้ค่า ED ที่กระจายและหลากหลาย

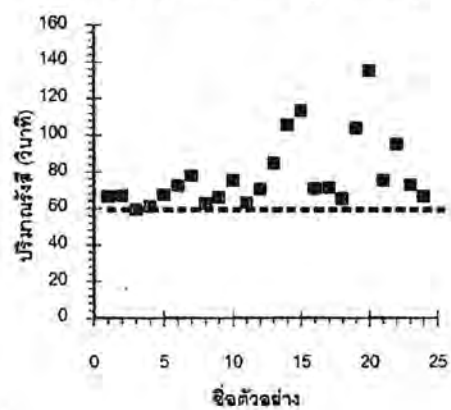


รูป 5.1 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการกำหนดอายุด้วยวิธี TL/OSL จากส่วนภายในของอิฐ (แกนตั้ง) และส่วนภายนอกของอิฐ (แกนนอน)

ก) TT 4-1 (สกัดจากอิฐส่วนนอก)



ข) TT 4-2 (สกัดจากอิฐส่วนใน)



รูป 5.2 ตัวอย่างกราฟการกระจายตัวของค่า ED ที่ประเมินได้ด้วยวิธี OSL ทั้งจากที่สกัดมาจากอิฐส่วนนอก (ตัวอย่าง TT 4-1) และที่สกัดมาจากอิฐส่วนใน (ตัวอย่าง TT 4-2)

2. ผลการกำหนดอายุ (ตอบวัตถุประสงค์โครงการข้อที่ 2)

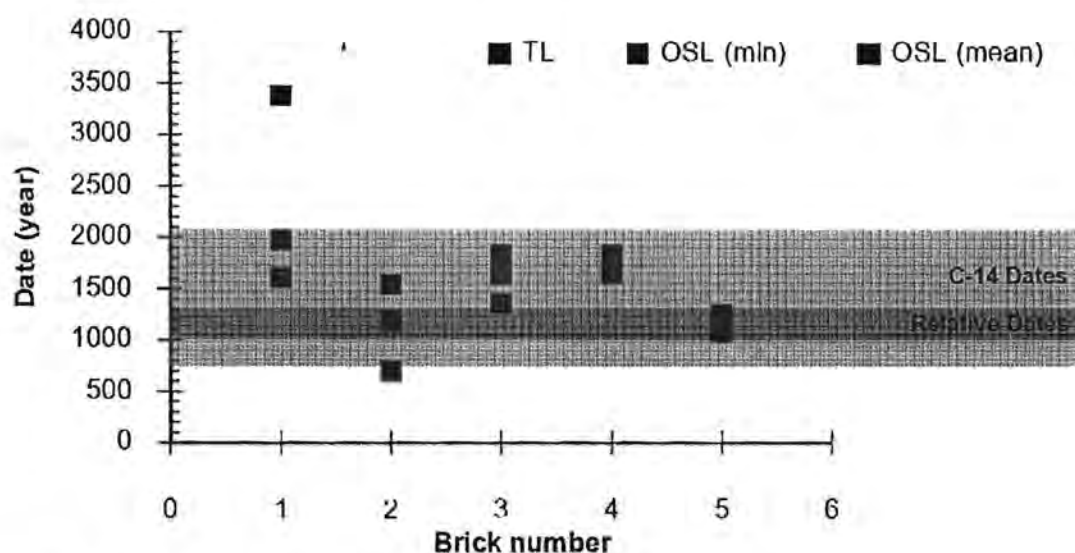
ในส่วนของผลของการกำหนดอายุ ผู้วิจัยพบว่าอิฐหมายเลข TT 3-1 และ TT3-2 ที่เก็บมาจากโบราณสถาน หมายเลข 4 นั้นมีค่าอายุที่แตกต่างจากอิฐก้อนอื่นๆ อย่างมาก (ดูรูป 3.3 ประกอบ) ทั้งในด้านของสีและเนื้อของอิฐ โดยอิฐก้อนนี้นั้นแสดงผลการกำหนดอายุทั้งจากวิธี TL และ OSL ได้อยู่ในช่วง 8-50 ปี (TL) และ 18-64 ปี (OSL) ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปว่าอิฐที่เก็บมาจากแหล่งโบราณสถานหมายเลข 4 นี้ น่าจะเป็นอิฐปัจจุบันที่มีการนำมาใช้ในการปรับปรุงซ่อมแซมโบราณสถานในช่วงที่มีการขุดค้นและปรับปรุงให้เป็นแหล่งท่องเที่ยว และถึงแม้ว่าจะสามารถประเมินผลของอายุได้ตั้งตัวเลขที่กล่าวในข้างต้น แต่หากพิจารณากราฟ โดยเฉพาะกราฟ TL glow curve และ growth curve ของตัวอย่าง (รูป 4.6) แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างนั้นมีอายุอ่อนมาก แต่จากกราฟที่ได้จากการอาบรังสีนั้น ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีและการเรืองแสง ซึ่งผู้วิจัยสรุปว่า อายุที่ได้ในข้างต้นนั้น ไม่ใช่อายุที่แท้จริงของอิฐ แต่สามารถบอกได้โดยประมาณว่าเป็นอิฐอายุอ่อนหรืออิฐปัจจุบัน

และหากพิจารณาตัวอย่างอิฐส่วนที่เหลือและนำมาเปรียบเทียบกับกำหนดอายุด้วยวิธีอื่นๆ เช่นวิธีคาร์บอน-14 และการเทียบเคียงโบราณวัตถุจากงานวิจัยในอดีต (รูป 5.3) จะพบว่าผลการกำหนดอายุอิฐทั้งจากวิธี TL และ OSL นั้นให้ค่าอายุที่ใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงของอายุที่เคยมีการประเมินไว้ทั้งด้วยวิธีคาร์บอน-14 และการเทียบเคียงโบราณวัตถุจากงานวิจัยในอดีต (รูป 5.3) อย่างไรก็ตามหากพิจารณาระหว่างผลการกำหนดอายุจากอิฐส่วนนอกและอิฐส่วนใน จะเห็นได้ว่า อิฐส่วนนอกนั้นเกาะกลุ่ม (รูป 5.3ก) และมีอายุใกล้เคียงกับผลการเทียบเคียงกับโบราณวัตถุมากกว่า ผลการกำหนดอายุด้วยอิฐส่วนใน (รูป 5.3ข) ผู้วิจัยจึงสรุปว่าการกำหนดอายุทั้งด้วยวิธี TL และ OSL นั้นจะมีประสิทธิภาพและให้ผลที่แม่นยำ (precision) สูง เมื่อกำหนดอายุกับอิฐส่วนนอกเท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างเทคนิคที่ใช้ ผู้วิจัยพบว่า การกำหนดอายุด้วยวิธี OSL และเลือกใช้แบบจำลองของการใช้ค่าที่น้อยที่สุดของค่า ED มาเป็นตัวแทนในการประเมินอายุนั้นจะให้ผลที่เกาะกลุ่มกันและใกล้เคียงกับอายุที่แท้จริงมากที่สุด โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับ การเทียบเคียงโบราณวัตถุ

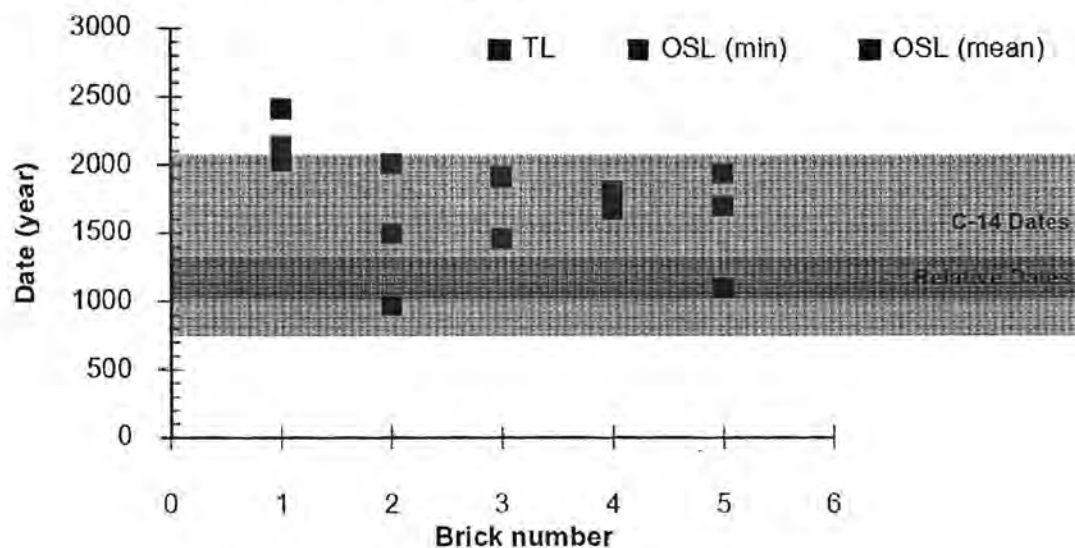
ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสรุปเนื้อหาโดยรวมของงานวิจัยว่า ถึงแม้ว่าการกำหนดอายุจากการเทียบเคียงกับโบราณวัตถุนั้นจะมีความแม่นยำอยู่พอสมควร แต่ในการทำงานทางด้านโบราณคดีหรือธรณีวิทยา ซึ่งต้องอาศัยองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เข้ามายืนยันเพื่อสร้างความเชื่อถือของงานวิจัย การกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและขาดไม่ได้ และหากพิจารณาการกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้กับงานทางด้านโบราณคดีหรือธรณีวิทยาอายุอ่อน วิธีที่มีประสิทธิภาพได้แก่ การกำหนดอายุด้วยวิธีคาร์บอน-14 การกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (TL) หรือแม้กระทั่งการกำหนดอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง (OSL) ซึ่งหากพิจารณาในรูป 5.3 พบว่า การกำหนดอายุด้วยวิธีคาร์บอน-14 นั้นจะให้ผลของอายุที่กว้าง ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากตัวอย่างถ่านนั้นปนเปื้อนได้ง่าย หรืออาจจะเป็นตัวอย่างถ่านเก่าที่ถูกพัด

พามาสะสมตัวที่แหล่งโบราณคดีนี้ ดังนั้นการกำหนดอายุอิฐด้วยวิธี TL หรือ OSL นั้นจึงเป็นอีกหนี่งทางเลือกกับงานโบราณคดีหรือธรณีวิทยาในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การกำหนดอายุด้วยวิธี OSL โดยเลือกใช้แนวคิดค่าต่ำสุดของ ED ในการกำหนดอายุ นั้นจะให้ผลการกำหนดอายุที่แคบและแม่นยำกว่าวิธีอื่นๆ

ก) กราฟการเทียบเคียงจากตัวอย่างอิฐส่วนนอก



ข) กราฟการเทียบเคียงจากตัวอย่างอิฐส่วนใน



รูป 5.3 กราฟแสดงการกระจายตัวของผลการกำหนดอายุด้วยวิธีต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ การกำหนดอายุด้วยวิธีคาร์บอน-14 และการเทียบเคียงโบราณวัตถุจากงานวิจัยในอดีต

5.2. สรุปผล (Conclusions)

ปัจจุบันการกำหนดอายุอิฐจากโบราณสถานด้วยวิธี TL หรือ OSL นั้นยังไม่เป็นที่นิยมกันทั่วไปโดยเฉพาะในประเทศไทย สาเหตุหลักไม่ใช่เพราะว่ามีข้อต่อมาก แต่เนื่องจากยังเป็นวิธีที่ใหม่สำหรับนักธรณีวิทยาหรือโบราณคดีในประเทศไทย อย่างไรก็ตามจากแนวคิดหรือทฤษฎีเบื้องต้นการกำหนดอายุของอิฐ เปรียบเสมือนกับการหาค่าอายุนับตั้งแต่อิฐก้อนนั้นได้รับความร้อนหรือถูกเผาไฟครั้งสุดท้าย ซึ่งอาจเทียบเคียงได้กับอายุของการเริ่มต้นสร้างสิ่งปลูกสร้างต่างๆ หรือการก่อกำเนิดของชุมชนโบราณนั้นๆ ในการกำหนดอายุด้วยอิฐนั้นมีข้อดีและข้อควรระวังที่แตกต่างกันไป ข้อดี คือ ปริมาณของอิฐในแต่ละก้อนนั้นเพียงพอต่อการกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน ซึ่งต่างจากถ้วยซามหรือหม้อโบราณ ซึ่งต้องใช้เศษหม้อหลายๆชิ้นมาใช้ในการหา ซึ่งเสี่ยงต่อการปนหรือผสมของหม้อหลายๆช่วงอายุ หากในกรณีที่ดินที่ศึกษานั้นมีหลายวัฒนธรรม หลายชุมชน ส่วนข้อต่อ คือ ในกรณีของการนำอิฐมาจากบริเวณอื่นที่พังแล้ว มาซ่อมแซมที่ใหม่ ซึ่งเคยเกิดขึ้นมาแล้วในหลายๆพื้นที่ ข้อต่ออีกอย่างของอิฐ คือ เนื่องจากอิฐนั้นมีปริมาตรหรือรูปทรงที่หนาเมื่อเทียบกับหม้อเผาไฟ ดังนั้นอิฐจึงมีโอกาสที่จะไม่โดนเผาไฟทั่วทั้งก้อน โดยด้านในของเนื้ออิฐอาจจะไม่ได้รับความร้อนอย่างเต็มที่เหมือนด้านนอก ดังที่เคยเกิดขึ้นมาแล้วในการกำหนดอายุที่แหล่งโบราณคดี บ้านทุ่งตึก อ.คุระบุรี จังหวัดพังงา แสดงให้เห็นว่าอิฐที่มีลักษณะของการเผาไม่ทั่วถึงนั้นทำให้ค่าอายุที่ได้นั้นต่ำกว่าความเป็นจริง เมื่อเทียบกับค่าอายุที่ได้จากอิฐก้อนอื่นๆ หรือค่าอายุที่ได้จากวิธี คาร์บอน 14 หรือการเทียบเคียงจากโบราณวัตถุที่พบ

ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงข้อต่อเหล่านี้ ผู้วิจัยแนะนำให้ควรแยกส่วนตัวอย่างในอิฐแต่ละก้อนให้เหมาะสมกับแต่ละกระบวนการในการหาค่าซึ่งได้มาซึ่งค่าอายุ ส่วนนอกสุดพื้นผิวของก้อนอิฐนั้น ควรจะกำจัดทิ้งไป เนื่องจากในระหว่างการขนย้ายตัวอย่างหรือในกรณีที่อิฐก้อนนั้นมีการโดนแสงอยู่แล้วก่อนที่จะนำมากำหนดอายุ และอีกข้อคือ เพื่อป้องกันเศษดินที่ไม่ใช่เนื้อเดียวกับอิฐนั้นปนเปื้อนมากับอิฐ หลังจากนั้น ส่วนนอกสุดเราจะแยกออกมาให้น้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้เพื่อนำไปใช้ในการหาค่าปริมาณรังสี (ED) ที่มีอยู่ในตัวอย่าง และสุดท้ายส่วนในที่เหลือให้นำไปใช้หาค่าปริมาณธาตุกัมมันตรังสีเพื่อใช้ในการหาอัตราการแผ่รังสีต่อปี (AD)

5.3. ปัญหาและอุปสรรคของการทำวิจัย (Problems)

สืบเนื่องจากการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ล่าช้ากว่าแผนการดำเนินงานวิจัยที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากเครื่องมือ RISO TL/OSL ที่มีอยู่ในภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักในการตรวจวัดผลและการวิจัยนั้น ได้เสียเกิดการชำรุดเสียหายในช่วงเริ่มต้นทำงานวิจัย ซึ่งถึงแม้ว่าการตรวจวัดด้วยวิธี Thermoluminescence (TL) นั้นจะมีเครื่องมือสำรองจากหน่วยงานอื่น ที่อาจขอความช่วยเหลือได้ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แต่ในส่วนของการ

ตรวจวัดด้วยวิธี Optically Stimulated Luminescence (OSL) นั้น ผู้วิจัยได้สืบหาและไม่พบว่ามีเครื่องมือตรวจวัดในประเทศไทย ดังนั้นก่อนที่จะเริ่มทำการตรวจวัดและทำการวิจัยตามแผนที่ดำเนินไว้ ผู้วิจัยจะต้องใช้เวลาในการซ่อม เปลี่ยนอุปกรณ์ และปรับเทียบเครื่องมือให้อยู่ในมาตรฐานและมีประสิทธิภาพในการกำหนดอายุตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้เป็นไปอย่างล่าช้าเกินกำหนดเวลาของแหล่งทุนและแผนการดำเนินงานหรือความมุ่งหวังของผู้วิจัยเอง ผู้วิจัยจึงขอขอร้องในความล่าช้ามา ณ โอกาสนี้

อ้างอิง (References)

- บุญยฤทธิ์ ฉายสุวรรณ และ เรไร นัยวัฒน์ 2547. ทึ่งตึกทำการค้าโบราณ. การประชุมสัมมนาทางวิชาการโบราณคดี "วันนี้ของโบราณคดีไทย". ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร, 17-18 สิงหาคม 2547, 27 หน้า.
- Aitken, M.J. 1985. Thermoluminescence dating. London: Academic Press.
- Aitken, M.J. 1990. Science-based dating in archaeology. London: Longman.
- Aitken, M.J. 1998. An introduction to optical dating. Oxford: Oxford University Press.
- Bell, W.T. 1979. Attenuation factors for the absorbed radiation dose in quartz inclusions for Thermoluminescence dating. *Ancient TL* 8: 2-13.
- Bøtter-Jensen, L., Duller, G.A.T., and Poolton N.R.J. 1994b. Excitation and emission spectrometry of stimulated luminescence from quartz and feldspars. *Radiat. Meas.* 23: 613-616.
- Colman, S.M., and Pierce, K.L. 2000. Classifications of quaternary geochronological methods. In J. S. Noller, J. M. Sowers, and W. R. Lettis (eds.), *Quaternary Geochronology: Methods and Applications*, pp.2-5. Washington D.C.: American Geophysical Union.
- Duller, G.A.T. 1991. Equivalent dose determination using single aliquots. *Nucl. Tracks. Radiat. Meas.* 18: 371-378.
- Dumitru, T.A. 2000. Fission-track geochronology. In J.S. Noller, J.M. Sowers, and W.R. Lettis (eds.), *Quaternary Geochronology: Methods and Applications*, pp. 131-155. Washington D.C.: American Geophysical Union.
- Feathers, J.K. 2003. Luminescence dating in less than ideal conditions: case studies from Klasies River Mouth and Duinefontein, South Africa. *Journal of Archaeological Science* 29:177-194.
- Galloway, R.B. 1996. Equivalent dose determination using only one sample: alternative analysis of data obtained from infrared stimulation of feldspars. *Radiat. Meas* 26: 103-106.
- Grün, R. 2001. Trapped charge dating (ESR TL OSL). In M. Pollard, and D. Brothwell (eds.), *Introduction to Archaeological Sciences*, pp. 47-62. London: Wiley.
- Hedges, R. E. M. 2000. Radiocarbon dating. In E. Ciliberto, and G. Spoto (eds.), *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology Chemical Analyses Series*, pp. 465-502. New York: Wiley.

- Huntley, D.J., Godfrey-Smith, D.I., and Thewalt, M.L.W. 1985. Optical dating of sediments. *Nature* 313: 105-107.
- Kuniholm, P.I. 2001. Dendrochronology and other applications of tree ring studies in archaeology. In M. Pollard, and D. Brothwell (eds.), *Introduction to Archaeological Sciences*, pp. 35-46. London: Wiley.
- McDougall, I., and Harrison, T.M. 1999. *Geochronology and thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method*. 2nd ed. New York: Oxford University Press.
- Murray, A.S., Roberts, R.G., and Wintle, A.G. 1997. Equivalent dose measurement using a single aliquot of quartz. *Radiat. Meas.* 27: 171-184.
- Murray, A.S., and Wintle, A.G. 1999. Isothermal decay of optically stimulated luminescence in quartz. *Radiat. Meas.* 30: 119-126.
- Roberts, R.G., Jones, R., and Smith, M.A. 1994. Beyond the radiocarbon barrier in Australian prehistory. *Antiquity* 68: 611-616.
- Takashima, I., and Honda, S. 1989. Comparison between K-Ar and TL dating results of pyroclastic flow deposits in the Aizutajima area, Northeast Japan. *Journal of Geological Society* 95: 807-816.
- Wehmler, J.F., and Miller, G.H. 2000. Aminostratigraphic dating methods in quaternary geology. In J.S. Noller, J.M. Sowers, and W.R. Lettis (eds.), *Quaternary Geochronology: Methods and Applications*, pp. 187-222. Washington D.C.: American Geophysical Union.
- Wintle, A.G., and Huntley, D.J. 1982. Thermoluminescence dating of sediments. *Quaternary Science Reviews* 1: 31-53.

www.geology.com

www.rses.anu.edu.au