

การกำหนดอายุเตาเผาโบราณด้วยวิธีการเรืองแสง

นางสาวปาณิสรา นวสมัครการ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GEOCHRONOLOGY OF ANCIENT KILNS USING LUMINESCENCE DATING

Miss Panissara Navasamakkarn

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Bachelor of Science

Department of Geology, Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

วันที่ส่ง/...../.....

วันที่อนุมัติ/...../.....

.....

(อาจารย์ ดร. สันติ ภัยหลบลี้)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้อ (ภาษาไทย)	การกำหนดอายุเตาเผาโบราณด้วยวิธีการเรืองแสง
หัวข้อ (ภาษาอังกฤษ)	GEOCHRONOLOGY OF ANCIENT KILNS USING LUMINESCENCE DATING
นิสิตผู้ทำโครงการ	นางสาวปาณิสรา นวสมัครการ รหัสนิสิต 5132724523 ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ได้ทำการกำหนดอายุเตาเผาโบราณจากอิฐที่เดิมประกอบเป็นเตาเผา จังหวัดบุรีรัมย์ ด้วยวิธีการเรืองแสง โดยใช้วิธีเรืองแสงความร้อน (Thermoluminescence Dating) และ การกระตุ้นด้วยแสง (Optically Stimulated Luminescence Dating) จาก การศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่า สองวิธีนี้เหมาะแก่การนำมากำหนดอายุวัตถุทางโบราณคดี และ ตะกอนต่างๆ เนื่องจากวัตถุทางโบราณคดีมักผลิตจากกระบวนการเผา จึงได้รับปริมาณความร้อนที่มากเพียงพอที่จะลบสัญญาณเรืองแสงที่สะสมอยู่ก่อนออกหมด ดังนั้นเมื่อนำมากำหนดอายุจึงได้อายุที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าอายุเทียบสัมพันธ์ทางโบราณคดี

การศึกษานี้ทำการเก็บตัวอย่างอิฐทั้งหมดสี่ตัวอย่าง จากเตาเผาโบราณ 2 ตัวอย่าง และ โบราณสถานปราสาททอง 2 ตัวอย่าง หลังจากทำการเตรียมตัวอย่างแล้วสามารถกำหนดอายุได้เพียง 1 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างเตาเผา ด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนเท่านั้น เนื่องด้วยเหตุขัดข้อง ทางด้านเครื่องมือวิเคราะห์ที่ชำรุด จึงไม่สามารถได้ผลการศึกษาอย่างที่คาดไว้ โดยอายุเตาเผา โบราณที่ได้ คือ พ.ศ. 585±120 ปี ทั้งนี้มีความคลาดเคลื่อนจากอายุเทียบสัมพันธ์ทางโบราณคดีที่ ให้อายุอยู่ในช่วงระหว่างพุทธศตวรรษที่ 14- 19 มาก ด้วยข้อจำกัดทางเครื่องมือผลอายุที่ได้ขาด การวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อความถูกต้องของข้อมูล จึงเป็นเพียงผลอายุเบื้องต้นเท่านั้น ควรมี การศึกษาวิเคราะห์ให้มากขึ้นในโอกาสต่อไป

คำสำคัญ: การกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสง, เตาเผาโบราณ, บ้านกรวด,บุรีรัมย์

Project Title (Thai)	การกำหนดอายุเตาเผาโบราณด้วยวิธีการเรืองแสง
Project Title (English)	GEOCHRONOLOGY OF ANCIENT KILNS USING LUMINESCENCE DATING
Researcher	Miss Panissara Navasamakkarn ID 5132724523 Department of Geology , Faculty of Science , Chulalongkorn University
Advisor	Dr. Santi Pailoplee
Academic Year	2011

Abstract

In this study, luminescence dating were planned for dating the ancient burnt bricks. The main aim of this study is to test the efficiency between OSL and TL dating including to determine the absolute scientific dates of the archaeological site. Four of bricks collected from the Prasat Thong archaeological site and Nai Jieang ancient burnt kiln in Amphoe Bankruad, Changwat Buriram and duplicate for hypothesis testing. The expected result of this study is the degree of paleodose variation. In geochronological meaningful, the paleodose determine from OSL dating should release the more accurate paleodose than that determine from TL dating method.

In individual sample, some portion of brick mass was etched by HCl and immersed in HF acid in order to extract the quartz mineral for equivalent dose determination. Then, the rest portion was treated for water content and annual dose determination. Unfortunately during this research study, the breakings down of the RISO TL/OSL equipment interrupt the research operation lead to the missing result of this study. The absolute age of ancient burnt kiln by the TL reader in Kasetsart University is 585 ± 120 years BE. The absolute age is dislocation from relative age that is 14-19 BE. From the limited to approach equipment and the absolute age was not enough to statistics analysis. The result of this study can give primary age of ancient burnt kiln. It could be more investigation in the future.

Keywords: OSL dating, TL dating, Buriram

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากขาดอาจารย์ที่ปรึกษาที่ดี อ.ดร.สันติ ภัยหลบลี้ ที่คอยสอบถามข้อสงสัย และ สามารถซักถามได้ตลอด ให้ความสะดวกสบาย อีกทั้งสอนการทำงานไปในเวลาเดียวกัน ขอขอบคุณ อ.ปิยพงษ์ เชนรัมย์ สำหรับความช่วยเหลือในการออกภาคสนาม รวมทั้งนางสาวธาริณีย์ จิรคงสวัสดิ์ นายปวีณ จิตรภิรมย์ศิริ และ นายวรวรรณ มหาเรือนทอง ด้วย นอกจากนี้ขอขอบคุณนาย อาจารย์สุรพล เทวัญรัมย์ และ อาจารย์สุรศักดิ์ เต็มประโคน สำหรับข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับพื้นที่ศึกษา และ การเสียสละเวลา ขอขอบคุณนายกองค์การบริหารส่วนตำบลปราสาทในการอำนวยความสะดวกในการออกภาคสนาม ขอขอบคุณ อ.ดร.กฤษณ์ วันอินทร์ ในการให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ สุดทำยขอขอบคุณเพื่อนๆ และ น้องๆ ภาควิชาธรณีวิทยาทุกคนที่คอยเป็นห่วงและให้กำลังใจจนการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง-จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช-ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 พื้นที่ศึกษา	2-7
1.4 งานวิจัยเก่า	7-11
1.5 ขอบเขตงานวิจัย	11
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	11
บทที่ 2 การกำหนดอายุด้วยวิธีการเรืองแสง	
2.1 หลักการเรืองแสง	12-14
2.2 การกำหนดอายุด้วยวิธีการเรืองแสง	15
2.2.1 การกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน	15
2.2.2 การกำหนดอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง	16
2.3 การตรวจวัดอัตราการแผ่รังสีต่อปี	17-20
2.4 การตรวจวัดค่ากัมมันตรังสีในตัวอย่าง	21-24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 การเก็บตัวอย่าง	25
3.2 การเตรียมตัวอย่าง	25-27
3.3 อัตราการแผ่รังสีต่อปี	27-31
3.4 การกระตุ้นด้วยความร้อน	31-32
3.5 การกระตุ้นด้วยแสง	33

บทที่ 4 ผลการศึกษา	34-39
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	40
เอกสารอ้างอิง	41-42

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเข้มข้นของธาตุกำมะถันตรังสี และ อัตราการแผ่รังสีต่อปี (Bell, 1979)	17
ตาราง 4.1 แสดงปริมาณที่เกี่ยวข้องในการคำนวณอายุที่ได้จาก วิธีเรืองแสงความร้อน รวมถึงผลอายุที่ได้	39

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูป 1.1	2
รูป 1.2	3
รูป 1.3	3
รูป 1.4	4
รูป 1.5	5
รูป 1.6	5
รูป 1.7	6
รูป 1.8	7
รูป 1.9	9
การกำหนดอายุวัสดุที่ได้รับความร้อน	
รูป 1.10	11
รูป 2.1	13
รูป 2.2	14
ของการเรืองแสงความร้อน	
รูป 2.3	16
รูป 2.4	18
เบตาและแกมมา	
รูป 2.5	19
รูป 2.6	19
รูป 2.7	20
รูป 2.8	22
รูป 2.9	23
อยู่ในตัวอย่าง	
(ข) Growth curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ที่มี	23
ที่มีอยู่ในตัวอย่างและปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ทราบค่า	

รูป 2.10 (ก) แผนภาพวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Additive dose หรือ First glows	24
(ข) Growth curve แสดงวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Additive dose	24
รูป 3.1 แผนภูมิแสดงกระบวนการปฏิบัติงานการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์และกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน	27
รูป 3.2 การเตรียมตัวอย่างอิฐ	28
รูป 3.3 เครื่อง Gamma Spectrometry	29
รูป 3.4 แสดงขั้นตอนในการใช้โปรแกรม AkWin	29
รูป 3.5 ตัวอย่างกราฟแสดงปริมาณธาตุกัมมันตรังสีในตัวอย่างที่ได้จากเครื่อง Gamma Spectrometry	31
รูป 3.6 แสดงการนำตัวอย่างควอตซ์บริสุทธิ์ใส่ภาดหลุมเพื่อทำการอบรังสีภายใต้แสงสีแดง	32
รูป 3.7 เครื่อง Thermoluminescence Detector	32
รูป 4.1 Glow curve ของตัวอย่างเตาเผา 1	35
รูป 4.2 Growth curve ของตัวอย่างเตาเผา 1	36
รูป 4.3 Glow curve ของตัวอย่างเตาเผา 2	36
รูป 4.4 Glow curve ของตัวอย่างบรรณาลย์	37
รูป 4.5 Glow curve ของตัวอย่างขี้มประตู่	38

บทที่ 1

บทนำ

(Introduction)

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยมีแหล่งโบราณคดีมากมาย ทั้งโบราณสถาน และ โบราณวัตถุที่พบกระจายอยู่ในหลายจังหวัด อันแสดงถึงการตั้งถิ่นฐาน ความเป็นอยู่ในอดีต รวมถึงวิวัฒนาการทางวัฒนธรรมที่ได้รับ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการวิจัยโดยสื่อออกมาในรูปศิลปะในเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ตลอดจนเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญในหลายพื้นที่ เช่น แหล่งโบราณคดีบ้านเชียง จังหวัดอุดรธานี อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย จังหวัดสุโขทัย เป็นต้น แต่ยังมีอีกหลายแหล่งที่สำรวจพบแต่ยังไม่มีการศึกษาอย่างเป็นระบบ หรือ ยังไม่มีข้อมูลที่สมบูรณ์เพียงพอ เช่น แหล่งเตาโบราณ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์ โดยข้อมูลทางโบราณคดีเบื้องต้น สันนิษฐานว่าเป็นแหล่งผลิตเครื่องถ้วยชามที่สำคัญในอดีตในภูมิภาคอีสานใต้และประเทศกัมพูชา

จากการศึกษาทางด้านโบราณคดีในแหล่งเตาเผาโบราณ อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์ เช่น การเทียบเคียงลวดลายของถ้วยชาม มีอายุอยู่ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 14-19 ซึ่งเป็นเพียงการกำหนดอายุแบบสัมพัทธ์ (Relative age) เท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะกำหนดอายุทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

การกำหนดอายุด้วยวิธีการเรืองแสง (Luminescence Dating) เป็นเทคนิคที่กลุ่มวิจัยทางวิทยาศาสตร์ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดอายุวัสดุทางธรณีวิทยา และ โบราณคดีอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นตะกอน หรือเครื่องปั้นดินเผา โดยผลการศึกษาที่ผ่านมาบ่งชี้ว่าการกำหนดอายุด้วยวิธีการเรืองแสงนั้นมีความแม่นยำและถูกต้องแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่เหมาะสมในการนำมากำหนดอายุ ดังนั้นโครงการวิทยาศาสตร์นี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาความแม่นยำของการกำหนดอายุด้วยวิธีการเรืองแสงกับวัสดุที่ได้จากเตาเผาโบราณ เช่น เศษอิฐหรือเศษภาชนะ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

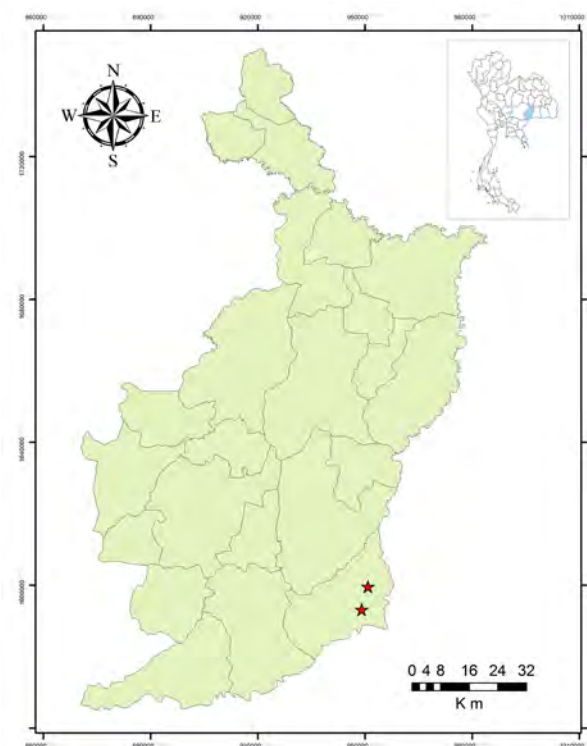
1. เพื่อกำหนดอายุเตาเผาโบราณโดยใช้วิธีการเรืองแสง (Luminescence dating) โดยเลือกใช้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการเรืองแสงความร้อน (Thermoluminescence Dating) และวิธีการกระตุ้นด้วยแสง (Optically Stimulated Luminescence Dating)

2. เพื่อเปรียบเทียบข้อดี-ข้อด้อยของการกำหนดอายุทั้ง 2 วิธีกับการกำหนดอายุเตาเผาโบราณและสรุปวิธีที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ในงานวิจัยด้านการกำหนดอายุแหล่งโบราณคดี พื้นที่อื่นๆ ต่อไปในอนาคต

1.3 พื้นที่ศึกษา

ความเป็นมาของพื้นที่ศึกษา

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เลือกพื้นที่ศึกษา บริเวณอำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์ (รูป 1.1) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการค้นพบเตาเผาโบราณเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้บริเวณที่ศึกษา และ เก็บตัวอย่างนั้นคือ เตาเผาสุวาย (รูป 1.2-1.3) ตั้งอยู่ที่บ้านโคกใหญ่ หมู่ 9 ตำบลโนนเจริญ ระยะทางห่างจากอำเภอบ้านกรวดประมาณ 7 กิโลเมตร พิกัดกริด คือ 0301506, 1597780 จากการศึกษาของกรมศิลปากร เตาเผาสุวายเป็นเตาเผาที่ใช้สำหรับเผาเครื่องปั้นดินเผา และ ภาชนะที่เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องเคลือบต่างๆ ตั้งแต่สมัยขอมโบราณ ประมาณศตวรรษที่ 15-18 โดยจัดให้เป็นเตาประเภท SLABKLINS ก่อด้วยดินเหนียว หรือ ดิน มีช่องระบายอากาศในแนวนอน และ เฝียงขึ้น เตาเผาหันไปทางทิศเหนือ ใช้เผาภาชนะต่างๆ เช่น ไห พาน กระจุก คนโท



รูป 1.1 แผนที่แสดงอำเภอบ้านกรวด จ.บุรีรัมย์ บริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างแทนสัญลักษณ์ดาวแสดงแหล่งเตาเผาโบราณ (บน) และโบราณสถานปราสาททอง (ล่าง)

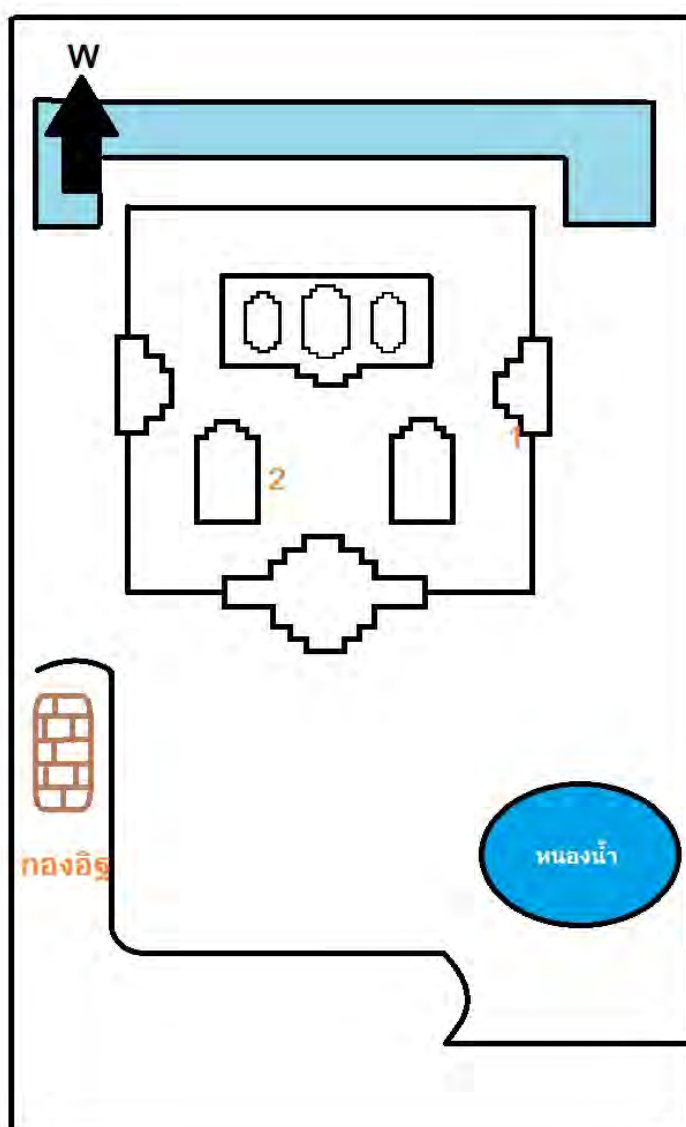


รูป 1.2 แสดงบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่าง 2 ตัวอย่างจากผนังของเตาสวาย (หมายเลข 1 และ 2) คือ ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุเครื่องปั้นดินเผา

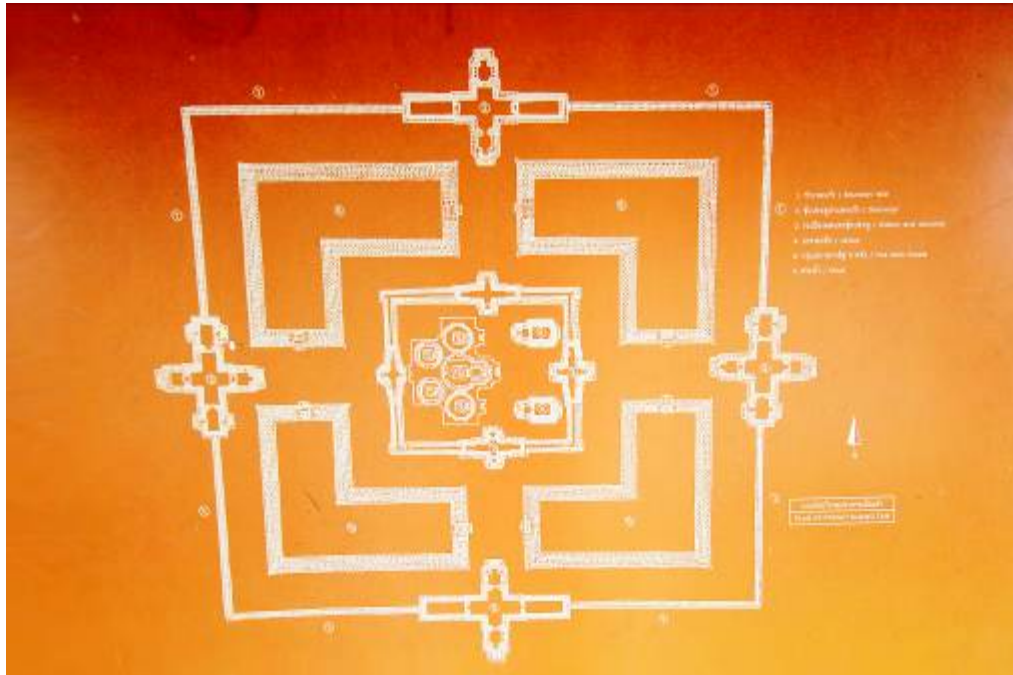


รูป 1.3 แสดงแบบจำลองของเตาเผาโบราณ

นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเพิ่มเติมในบริเวณโบราณสถานปราสาททอง ตำบลปราสาท อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์ (รูป 1.4-1.5) พิกัดกริด 0295294, 1594681 ไม่ปรากฏหลักฐานว่าสร้างก่อนหรือหลังเตาเผาสวาย โดยปราสาทหันหน้าไปทางทิศตะวันออก ตัวปราสาทมีศิลาแลงเป็นฐาน (รูป 1.6) ส่วนผนังนั้นทำจากอิฐ (รูป 1.7-1.8) ภายในประกอบด้วยบรรณาลัย 2 สอง ตรงกลางเป็นฐานไฟที่ประกอบด้วยปราสาทประธาน 3 องค์ บริเวณโดยรอบเป็นกำแพงอิฐเตี้ยๆ และคูน้ำ ดังรูปสเกตช์ ทั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 2 อย่าง



รูป 1.4 แสดงแผนผังปราสาททอง และ บริเวณโดยรอบ หมายเลข 1 และ 2 แสดงบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างอิฐ คือ บริเวณซุ้มประตูด้านข้าง และ ผนังด้านข้างของบรรณาลัย



รูป 1.5 แสดงแผนผังปราสาทเมืองต่ำ ซึ่งมีบางส่วนคล้ายคลึงกับแผนผังปราสาททอง ไม่ว่าจะ เป็นซุ้มด้านข้างของกำแพง หรือ บาราย (ภายในสี่เหลี่ยมด้านในสุดตรงกลาง)



รูป 1.6 แสดงบริเวณด้านหน้าปราสาททอง โดยประกอบด้วยฐานไพทีที่ทำด้วยศิลาแลง และ ซุ้ม ประตูด้านหน้า



รูป 1.7 แสดงบริเวณเก็บตัวอย่างอิฐในปราสาททอง โดยเป็นบริเวณด้านข้างของซุ้มประตูที่อยู่ทางทิศตะวันตกของปราสาทประธาน



รูป 1.8 แสดงบริเวณบรณาลัยภายในปราสาท ซึ่งอยู่บริเวณด้านหน้าปราสาทประธาน โดยเก็บบริเวณที่เป็นผนังของบรณาลัย

1.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การกำหนดอายุแหล่งโบราณคดี จากวัตถุต่างๆ ที่ค้นพบในแหล่งโบราณคดีนั้นๆ มีวิธีการหาอายุ 2 ลักษณะ คือ

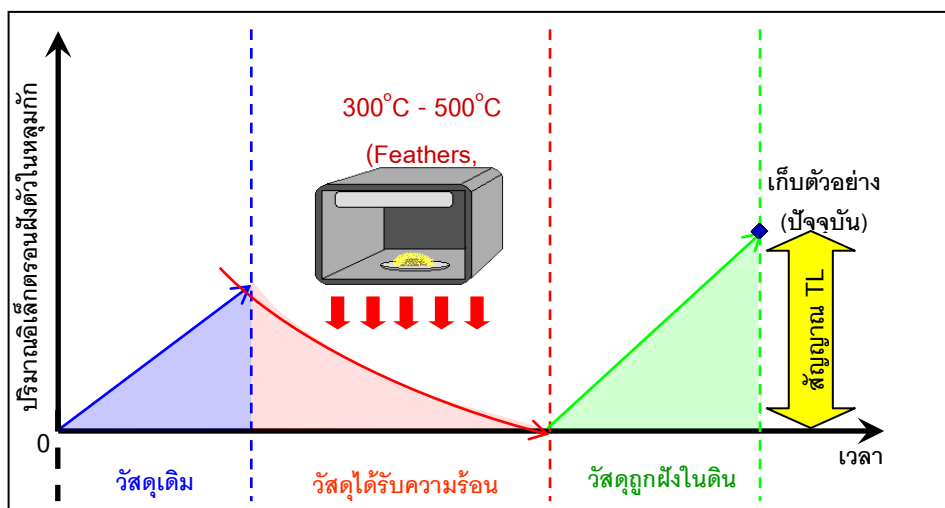
1. วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างที่ค้นพบกับแหล่งที่ทราบอายุแล้ว (Relative Dating Techniques) เช่น การเปรียบเทียบรูปทรงเครื่องปั้นดินเผาในแหล่งขุดค้นใหม่กับแหล่งขุดค้นที่ทราบอายุแล้วว่ามีรูปทรงลวดลายชนิดเดียวกันหรือไม่ เป็นต้น
2. วิธีการหาอายุโบราณวัตถุจากชิ้นตัวอย่างนั้นๆ โดยตรง (Absolute Dating Techniques) วิธีการที่เป็นที่รู้จักกันดี คือ การอายุด้วยการวัดการสลายตัวของไอโซโทปรังสีคาร์บอน-14 ในซากสิ่งมีชีวิตที่พบในแหล่งขุดค้นทางโบราณคดี (Changkian ,1999)

จากที่กล่าวเบื้องต้น วิธีการกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยกำหนดวัตถุทางโบราณคดีได้ โดยอาศัยเพียงอิฐ หรือ เครื่องปั้นดินเผา จากแหล่งโบราณคดีเท่านั้น ที่สามารถนำมากำหนดเป็นอายุสัมบูรณ์ได้ ซึ่งทำให้แหล่งโบราณคดีนั้นมีข้อมูลที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสง (Luminescence Dating) พัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Martin Aitken ในปี 1970 ซึ่งนำมากำหนดอายุเซรามิกด้วยการกระตุ้นด้วยความร้อนในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยออกซ์ฟอร์ด (Preusser และคณะ, 2008) ทั้งนี้การเรืองแสงเป็นการปล่อยแสง

จากโครงสร้างของผลึกที่ได้รับพลังงานจากภายนอก โดยสามารถจำแนกจากแสงอื่นๆได้ เช่น ฟลูออเรสเซนซ์ จากช่วงระยะห่างของเวลา(Time Interval) ระหว่างการได้รับ และ การปลดปล่อยพลังงาน และ ช่วงเวลาที่พลังงานคงที่ซึ่งเป็นช่วงที่นำมาใช้ในการกำหนดอายุ แหล่งพลังงานภายนอกนั้นมีมากมายแต่ในเทคนิคการกำหนดอายุนี้จะให้ความสำคัญกับแหล่งพลังงานที่ปรากฏในธรรมชาติ และ รังสีต่างๆ (แอลฟา , บีตา , แกมมา และ รังสีคอสมิก) การจะทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมานั้นต้องมีตัวกระตุ้น ในการกำหนดอายุมักกระตุ้นด้วยความร้อน (Thermoluminescence) หรือกระตุ้นด้วยแสง (Optical Stimulated Luminescence) โดยแสงไม่ได้หมายถึงแสงช่วงที่ตาเรามองเห็นเท่านั้น ยังรวมถึงแสงอินฟราเรด และ แสงอัลตราไวโอเล็ตด้วย การเรืองแสงจะสังเกตได้จากผลึกที่มีความผิดปกติในโครงสร้าง ทำให้เกิดประจุลักษณะเฉพาะซึ่งเป็นผลจากการมีอิเล็กตรอนไม่เพียงพอ ควอตซ์ และ เฟลสปาร์ เป็นสองแร่ที่เหมาะสมที่ใช้กันทั่วไปในการนำมากำหนดอายุ (Feathers ,2003)

การกำหนดอายุด้วยวิธีการเรืองแสงนั้นเหมาะสำหรับ “วัสดุที่ได้รับความร้อน” เช่น หินอัคนี หินแปร อีฐ ถ้วย ซามสังคโลกทางโบราณคดี เป็นต้น โดยกระบวนการเริ่มต้นจากวัสดุเดิมนั้นมีการสะสมอิเล็กตรอนอยู่ตลอดเวลาตามปัจจัยของเวลาและอัตราการแผ่กัมมันตภาพรังสีของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ จนถึง ณ เวลาหนึ่ง ซึ่งวัสดุนั้นได้รับความร้อน ด้วยอุณหภูมิ 300°C - 500°C (Feathers, 2002) ขึ้นไป ยกตัวอย่างในธรรมชาติ เช่น อีฐ ถ้วย ซามสังคโลกที่ถูกเผาในระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งสาเหตุต่างๆเหล่านี้ ทำให้วัสดุตั้งเดิมซึ่งเคยมีอิเล็กตรอนสะสมตัวอยู่ถูกขับออกจนหมดเหมือนกับการหมุนเข็มนาฬิกาไปที่ตำแหน่งศูนย์ จากนั้นวัสดุเหล่านั้นจึงเริ่มต้นสะสมอิเล็กตรอนใหม่อีกครั้ง จนถึงวันที่นำตัวอย่างมาตรวจวัดปริมาณอิเล็กตรอนหรือปริมาณสัญญาณ TL หรือ OSL เพื่อทำการกำหนดอายุวัสดุ ปริมาณอิเล็กตรอนที่ได้ จึงมีค่าเทียบเคียงได้กับปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมตัวนับตั้งแต่ได้รับความร้อนครั้งสุดท้ายถึงปัจจุบัน (รูป 1.9)



รูป 1.9 การประยุกต์หลักการเรื่องแสงความร้อนกับการกำหนดอายุวัสดุที่ได้รับความร้อน เช่น หินอัคนี หินแปร อีรูฐ ถ้วย ชามสังคโลกโบราณคดี โดยแสดงอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอิเล็กตรอนฝังตัวในหลุมกักเก็บและเวลา (Feathers, 2003)

การกำหนดอายุด้วยวิธีเรื่องแสงความร้อนจะบ่งบอกอายุที่วัตถุนั้นได้รับความร้อนครั้งสุดท้าย หรือ เวลาที่ถูกผลิตขึ้น (Martini และ Sibilia, 2001) โดย การกำหนดอายุด้วยวิธีเรื่องแสงเป็นเทคนิคที่ประเมินจากปริมาณการสะสมตัวของรังสีที่อยู่ในผลึกของแร่ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา (Preusser และคณะ, 2008) เราสามารถหาอายุได้จากวัสดุที่มีสภาวะเหมาะสม เนื่องด้วย ณ ช่วงเวลาหนึ่งวัสดุนั้นได้รับแสง และ ความร้อนเพียงพอ ทำให้ไม่มีหลุมอิเล็กตรอน ซึ่งก็คือ Zero state โดยถ้าวัดหลังจาก Zero state ทันทีจะไม่พบสัญญาณใดๆ ต่อมาเกิดหลุมอิเล็กตรอนทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับรังสีในธรรมชาติ ทำให้เกิดสัญญาณการเรืองแสงขึ้นเมื่อถูกกระตุ้น ซึ่งสามารถหาอายุได้จากสมการ 1 (Aitken, 1985)

$$\text{Age (ka)} = D_E \text{ (Gy)} / D_R \text{ (Gy/ka)} \text{ ----- (1)}$$

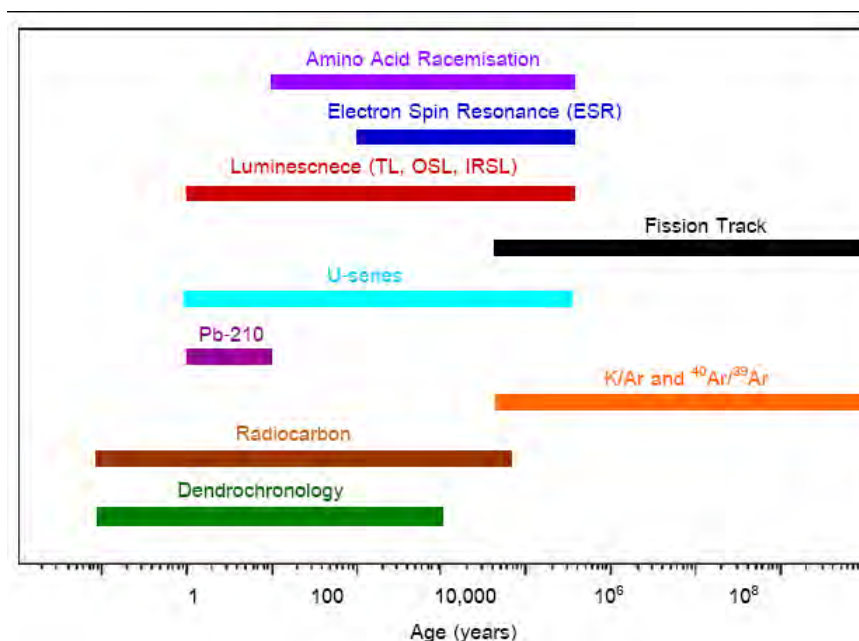
D_E = Equivalent dose หรือ ค่า Paleodose คือ ค่าปริมาณอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นให้ไปอยู่ในระดับ Meta state อันเนื่องมาจากการกระตุ้นจากการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีในบริเวณรอบข้าง (หน่วย เกรย์ (Grey))

D_R = Average dose rate over time ($k_a=1,000$ ปี) คือ อัตราการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในบริเวณรอบข้าง ซึ่งธาตุกัมมันตรังสีที่สำคัญ ได้แก่ ยูเรเนียม (U), ทอเรียม (Th), โปแตสเซียม (K) และ รังสีคอสมิกจากชั้นบรรยากาศ ซึ่งมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (หน่วยเกรย์ต่อปี (Grey/year))

หมายเหตุ ในการหาอัตราการแผ่รังสีต่อปี จะทำการหาค่าความอิมมิตีวของน้ำประกอบด้วย เนื่องจากน้ำที่อยู่ในโครงสร้างมีผลต่อปริมาณรังสีที่สะสมอยู่ในตัวอย่าง และ ส่งผลต่อค่าที่ได้ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น (Robert ,1997)

โดยสามารถใช้สมการดังกล่าวในการกำหนดอายุได้ทั้งสองวิธีวิเคราะห์ ได้แก่ การเรืองแสงความร้อน และ วิธีการกระตุ้นด้วยแสง การกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนนั้นเป็นที่นิยมในเซรามิก และ อีฐ เช่นที่ Rathgen-Ferchangslabor ในเบอร์ลิน (Ceechák และคณะ, 2000) ส่วนการกำหนดอายุด้วยการเรืองแสงด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยแสงนั้น ถูกคิดค้นเป็นครั้งแรกโดย Huntley และคณะ (1985) ในการกำหนดอายุตะกอน ซึ่งถูกพัฒนาขึ้น และ ใช้อย่างกว้างขวางในการกำหนดอายุของวัสดุทางธรณีวิทยา และ โบราณคดี โดยกลายเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กำหนดอายุแร่ที่สะสมตัวในช่วงเวลาในอดีต (Leung และคณะ, 2005) พบว่าการกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยแสงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และสามารถกำหนดอายุอีฐได้

ทั้งนี้การเลือกใช้วิธีการกำหนดอายุนั้นต้องคำนึงถึงตัวอย่างที่ต้องการกำหนดด้วย โดยสามารถพิจารณาได้จากรูป 1.9 ถึงขอบเขตอายุที่เหมาะสมในแต่ละวิธี เพื่อผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงอายุจริง และ ความคลาดเคลื่อนน้อย และ งานวิจัยนี้เลือกการกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน และ วิธีการกระตุ้นด้วยแสง ซึ่งมีขอบเขตอายุอยู่ที่ 1 – 10,000 ปี อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความคลาดเคลื่อนจะมากขึ้นเมื่อวัตถุนั้นเก่ามากหลายหมื่นปี



รูป 1.10 แสดงขอบเขตอายุที่เหมาะสมในการกำหนดอายุด้วยเทคนิคต่างๆ (Colman et al., 1987; Colman and Pierce, 2000)

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

กำหนดอายุเตาเผาโบราณด้วยวิธีเรืองแสง โดยเลือกใช้วิธีเรืองแสงความร้อนและวิธีกระตุ้นด้วยแสงเพื่อเปรียบเทียบกัน จากตัวอย่างอิฐแหล่งโบราณคดีเตาเผาโบราณบ้านกรวด อำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบอายุสัมบูรณ์ของเตาเผาโบราณ
- บ่งบอกความถูกต้อง และ ความแม่นยำจากอายุที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับอายุเทียบสัมพัทธ์ทางโบราณคดี

บทที่ 2

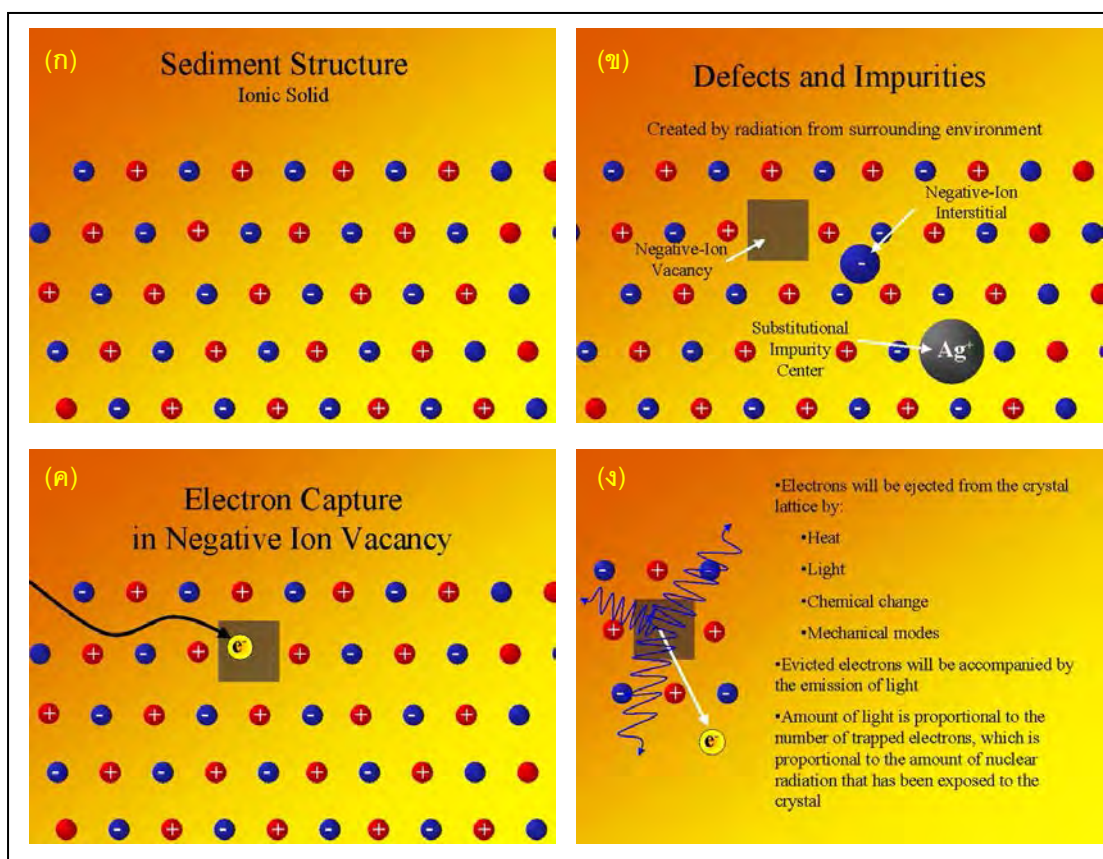
การกำหนดอายุด้วยวิธีการเรืองแสง (Thermoluminescence Dating)

2.1 หลักการเรืองแสง

การอธิบายเรื่องหลักการเรืองแสงความร้อน คือ การอธิบายผลึกแร่ในรูปของของแข็ง (Solid state physics) ซึ่งจะเกี่ยวกับระดับพลังงานของอิเล็กตรอนและการกักเก็บอิเล็กตรอน (Electron trap) โดยในทางทฤษฎีแล้วผลึกที่สมบูรณ์ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยโครงข่ายของผลึก (Lattice) ของประจุลบ (Electron) และประจุบวก (Proton) ที่ยึดเหนี่ยวอยู่ด้วยกันอย่างสมดุล (รูป 2.1ก)

อย่างไรก็ตาม ผลึกแร่ในธรรมชาติ นั้นมักจะเกิดความบกพร่อง (Defected mineral) ขึ้นได้อันเนื่องมาจากหลายกรณี เช่น เกิดจากการแทนที่โดยประจุของธาตุมลทิน เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วจากขั้นตอนการหลอมเหลวหรือได้รับการทำลายโดยการแผ่กัมมันตภาพรังสี จากรูป 2.1ข แสดงรูปแบบของโครงข่ายผลึก อย่างง่ายที่เกิดความผิดปกติโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา ได้แก่ ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบหายไปจากตำแหน่งที่ควรอยู่ (Negative – ion vacancy) ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบแทรกอยู่ระหว่างกลาง (Negative – ion interstitial) และความผิดปกติเนื่องจากการแทนที่ของศูนย์กลางความไม่บริสุทธิ์ (Substitution impurity center) ซึ่งเมื่อผลึกเกิดความบกพร่อง ทำให้ลักษณะของโครงข่ายผลึกของแร่มีตำแหน่งของประจุลบบางตำแหน่งที่ไม่พบประจุลบวางอยู่ จึงทำให้ตำแหน่งนั้นกลายเป็นหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน (Electron traps) และมักเป็นจุดดึงดูดอิเล็กตรอนอื่นๆ ที่กระจายตัวอยู่บริเวณรอบข้างให้เข้ามาฝังตัวอยู่ในหลุม (รูป 2.1ค)

เมื่อได้รับการกระตุ้นจากพลังงานต่างๆ ซึ่งถ่ายทอดจากสิ่งแวดล้อมรอบข้าง เช่น พลังงานจากการแผ่รังสีนิวเคลียร์ของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ เช่น โปแตสเซียม ทอเรียม และ ยูเรเนียม (K, Th, U) ประจุอิเล็กตรอนเหล่านี้ สามารถหลุดออกมาได้ตลอดเวลาเมื่อมีการกระตุ้นอีกครั้งด้วยพลังงานรูปต่าง ๆ เช่น ความร้อน (Thermal) หรือแสง (Optical) (รูป 2.1ง)

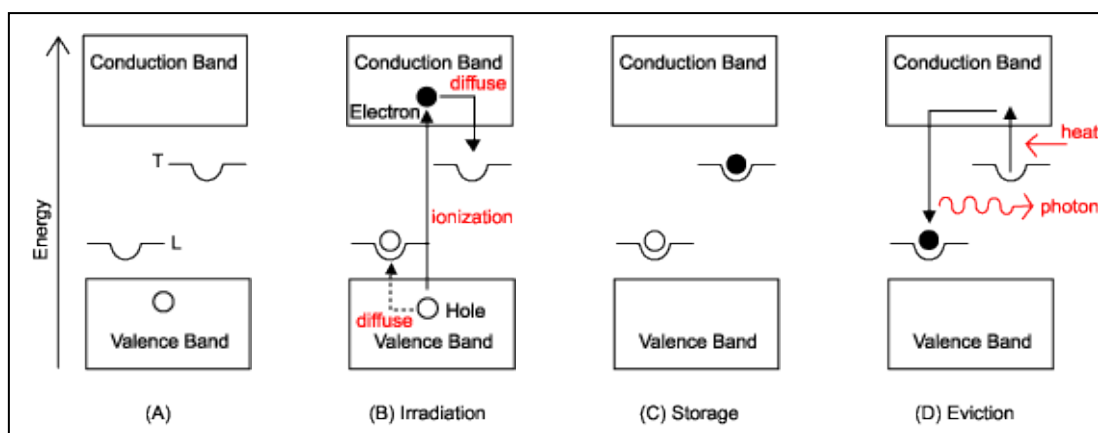


รูปที่ 2.1 (ก) ลักษณะโครงข่ายของผลึก (Lattice) ที่สมบูรณ์ (ข) รูปแบบโครงข่ายผลึกที่มีประจุ (ionic crystal) อย่างง่ายที่เกิดความผิดปกติโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา ได้แก่ ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบหายไปจากตำแหน่งที่ควรอยู่ (Negative - ion vacancy) ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบแทรกอยู่ระหว่างกลาง (Negative - ion interstitial) และความผิดปกติเนื่องจากการแทนที่ของศูนย์กลางความไม่บริสุทธิ์ (Substitution impurity center) (ค) ลักษณะของหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน (Electron trap) และ (ง) การกระตุ้นอิเล็กตรอนด้วยแสงหรือความร้อน (<http://www.rses.anu.edu.au>)

นอกจากการอธิบายหลักการการเรืองแสงโดยใช้แบบจำลองอย่างง่ายดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ทฤษฎีการเรืองแสงสามารถอธิบายด้วยทฤษฎีระดับพลังงาน ได้ดังนี้ (ดูรูป 2.2 ประกอบ)

สถานะของผลึกที่ไม่สมบูรณ์ (Defected lattice) จะประกอบไปด้วยหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน (T) และศูนย์กลางการเรืองแสง (Luminescence centers, L) ซึ่งหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนนี้จะมีระดับพลังงานอยู่ในช่วงระหว่าง ชั้น Valence band ที่อยู่ในสถานะพื้น

1. **ขั้นสถานะพื้น (Ground state)** ซึ่งเป็นชั้นที่มีความเสถียรสูง และชั้น Conduction band หรือสถานะกระตุ้น (Excited state) ซึ่งเป็นสถานะที่ไม่เสถียร (รูป 2.2ก)
2. **ขั้นการแผ่รังสี (Irradiation)** เกิดจากอิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากการแผ่กัมมันตภาพรังสี จากธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นขึ้นไปในสถานะไม่เสถียรที่ชั้น Conduction band เกิดการกักเก็บอิเล็กตรอน ในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน (รูป 2.2ข)
3. **ขั้นการกักเก็บ (Storage)** โดยค่าช่วงชีวิต (Life-time) คือ ระดับความลึกของหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนนั้นต้องมีพลังงานมากกว่าหรือลึกเพียงพอสำหรับการกักเก็บจำนวนของอิเล็กตรอน (ซึ่งจำนวนของอิเล็กตรอนในหลุมกักเก็บมีความสัมพันธ์กับอายุของตัวอย่าง) ส่วนการเล็ดลอดของอิเล็กตรอนออกจากหลุมกักเก็บในช่วงระยะเวลาการกักเก็บนั้นเกิดขึ้นน้อยมาก จึงไม่นำมาพิจารณา (รูป 2.2ค)
4. **ขั้นการให้ความร้อน (Heating)** เมื่อมีการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง เพื่อขับไล่อิเล็กตรอนออกจากหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน ซึ่งหลังจากอิเล็กตรอนถูกขับไล่ออกมา จะเกิดกระบวนการรวมตัวกันอีกครั้ง (Recombination) ที่บริเวณศูนย์กลางการเรืองแสง และมีการเรืองแสง (Luminescence) เกิดขึ้น (รูป 2.2ง)



รูป 2.2 รูปจำลองแสดงระดับพลังงานในระหว่างกระบวนการต่างๆ ของการเรืองแสงความร้อน (Aitken, 1985)

2.2 การกำหนดอายุด้วยวิธีการเรืองแสง

2.2.1 การกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงเมื่อกระตุ้นด้วยความร้อน

โดยทั่วไปแล้วการกำหนดอายุด้วยวิธีการเรืองแสง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับวัสดุ 2 ชนิดหลัก คือ วัสดุที่ได้รับความร้อน และ ตะกอนดิน ทั้งนี้จากทฤษฎีการเรืองแสงที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 ซึ่งบ่งบอกว่าทั้งสองอย่างนั้นมีหลักการเหมือนกัน เพียงแต่อาจแตกต่างกันบ้างในด้านการเก็บตัวอย่าง และการเตรียมตัวอย่าง โดยจะกล่าวเป็นลำดับไป ดังนี้

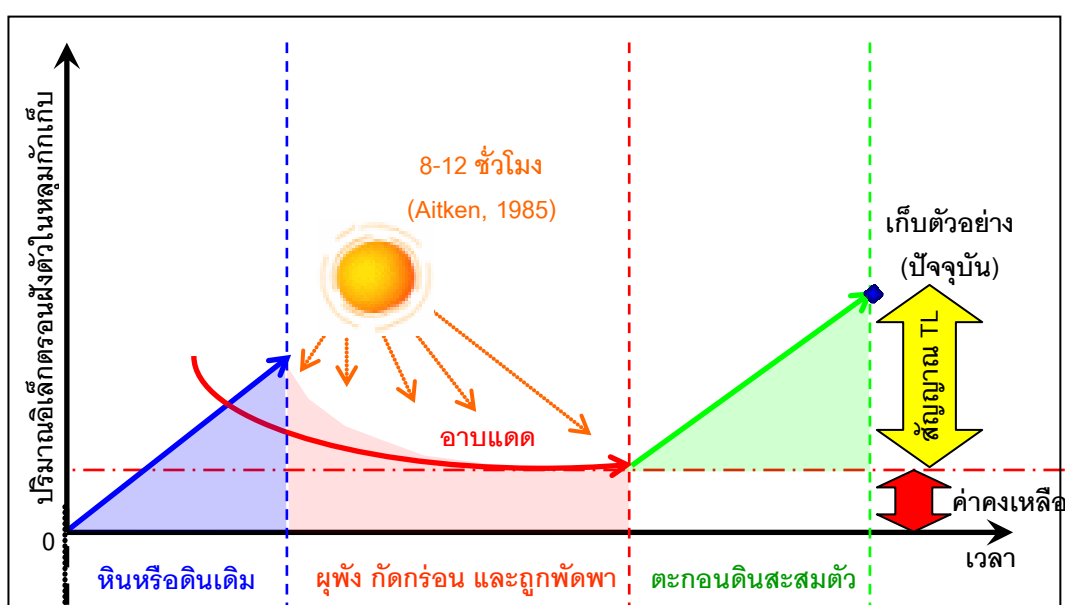
วัสดุที่ได้รับความร้อน เช่น อิฐ เครื่องปั้นดินเผา หรือ ส่วนประกอบต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นเตาเผา นั้น เดิมเมื่อเป็นตะกอนดินมีการสะสมอิเล็กตรอน ต่อมาเมื่อนำมาผลิตเป็นเครื่องอุปโภคบริโภคดังเช่นอิฐ จึงได้รับความร้อนที่สูงมากพอเข้าไป ทำให้อิเล็กตรอนที่สะสมตัวอยู่ได้รับพลังงานกระตุ้น และ หลุดออกมา ภายในโครงสร้างนั้น จึงไม่มีอิเล็กตรอนสะสมอยู่ เมื่อกระบวนการผลิตสิ้นสุดลง จึงมีการสะสมตัวของอิเล็กตรอนอีกครั้ง เรื่อยมาจนถึงวันที่นำมา กำหนดอายุ ซึ่งสามารถหาอายุได้จากสมการ (Aitken, 1987)

$$\text{Age (ka)} = D_E \text{ (Gy)} / D_R \text{ (Gy/ka)} \text{ ----- (1)}$$

โดยอายุที่ได้มานั้น เป็นผลหารของจำนวนอิเล็กตรอนที่สะสมอยู่ในโครงสร้าง กับ อัตราการแผ่รังสีต่อปี ทั้งนี้จะมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ต่อไป ในบทที่ 3

ส่วนการกำหนดอายุตะกอนดินนั้น จะมีข้อแตกต่างเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการกำหนดอายุ วัสดุที่ได้รับความร้อน โดยกระบวนการเริ่มต้นจากหินหรือตะกอนดั้งเดิมมีการสะสมตัวของอิเล็กตรอน จนกระทั่งหินหรือตะกอนเหล่านั้นถูกบัจฉัยทางธรณีวิทยาต่างๆ เช่น น้ำ ลม ฯลฯ กัดกร่อนและเกิดการฟุ้งเป็นเม็ดตะกอน จากนั้นตะกอนเกิดการพัดพาจากแหล่งกำเนิดตะกอนลงสู่แหล่งสะสมตะกอน ซึ่งในระหว่างช่วงเวลาของการพัดพา เม็ดตะกอนจะค่อยๆสูญเสียปริมาณอิเล็กตรอนหรือสัญญาณ TL เนื่องจากสัมผัสกับแสงอาทิตย์ซึ่งเรียกว่า การอาบแดด (Bleaching) จนกระทั่งสัญญาณที่มีอยู่เดิมถูกลบล้างออกไป และเริ่มต้นสะสมปริมาณอิเล็กตรอนใหม่อีกครั้ง โดยมีเม็ดตะกอนชั้นบนที่ปิดทับเป็นตัวป้องกันแสงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อมาถึงปัจจุบันปริมาณอิเล็กตรอน ที่มีอยู่ในดินจะสะท้อนถึงปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมตัว นับตั้งแต่ตะกอนนั้นสะสมตัวครั้งสุดท้ายจนถึงปัจจุบัน

การอาบแดด ในทางทฤษฎีแล้วคาดว่าสามารถลบล้างปริมาณอิเล็กตรอนที่มีอยู่เดิมหมดจนหมด แต่ในทางปฏิบัติไม่เป็นเช่นนั้น เนื่องจากยังคงมีสัญญาณ TL หรือปริมาณอิเล็กตรอนหลงเหลืออยู่ทุกครั้ง ถึงแม้ว่าจะอาบแดดนานเท่าใดก็ตาม สัญญาณที่เหลืออยู่ เรียกว่า ค่าคงเหลือ (Residual) ซึ่งจะแตกต่างกับการได้รับความร้อน ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น ดังนั้นในการกำหนดตะกอน เราจึงต้องนำค่าคงเหลือนี้มาพิจารณาเพื่อหักลบออกจากค่าที่เราวัดได้ เพื่อให้ค่าสัญญาณที่ได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด (ดูรูป 2.3 ประกอบ)



รูป 2.3 การประยุกต์หลักการเรื่องแสงความร้อนกับการกำหนดอายุของตะกอนดิน โดยแสดงอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณอิเล็กตรอนที่ฝังตัวในหลุมกักเก็บและเวลา (Won-in, 2003)

2.2.2 การกำหนดอายุด้วยวิธีการเรืองแสงเมื่อกระตุ้นด้วยแสง

การกำหนดอายุด้วยการเรืองแสงเมื่อกระตุ้นด้วยแสงนั้น มีหลักการทั่วไปเหมือนกับการกระตุ้นด้วยความร้อน ไม่ว่าจะเป็นการเตรียมตัวอย่าง หรือ การคำนวณอายุ เพียงแต่แตกต่างกันในด้านการเก็บตัวอย่าง และ ตัวกลางที่ใช้ในการกระตุ้น โดยต้องเก็บตัวอย่างให้มิดชิด ไม่ควรโดนแสงภายนอก และ เตรียมตัวอย่างภายใต้แสงสีแดง เนื่องด้วยมีพลังงานต่ำ จึงไม่กระทบต่อสัญญาณที่จะตรวจวัด ซึ่งก็คือ พลังงานของแสงสีน้ำเงิน ทั้งนี้ในการตรวจวัดก็จะกระตุ้นด้วยแสงสีน้ำเงิน ซึ่งเหมาะแก่แร่ควอตซ์ที่ได้เตรียมไว้ (Fu และ คณะ, 2010)

2.3 การคำนวณอัตราการแผ่รังสีต่อปี

ในการคำนวณอัตราการแผ่รังสีในธรรมชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นดิน ธาตุกัมมันตรังสีที่สำคัญ ได้แก่ ธาตุยูเรเนียม (U), ทอเรียม (Th) และโปแตสเซียม (K) ซึ่งทั้ง 3 ธาตุนี้จะสลายตัวตามหลักการของครึ่งชีวิต (Half-Life) ของธาตุแต่ละตัว และในระหว่างการสลายตัวจะแผ่รังสีออกมาในปริมาณต่างๆกัน ในรูปของรังสีแอลฟา, เบตา และแกมมา นอกจากนี้ยังมีรังสีบางส่วนที่ได้รับจากนอกโลกหรืออวกาศ เช่น รังสีคอสมิก (Cosmic ray) แต่เป็นส่วนน้อย

หลังจากเตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของธาตุต่างๆที่มีอยู่ในดิน ด้วยวิธีทางเทคนิคต่างๆ เช่น วิธี Neutron Activation Analysis (NAA), วิธี Gamma Spectrometry หรือ วิธี Inductively coupled plasma mass spectroscopy (ICP-MS) โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้ของธาตุยูเรเนียมและทอเรียมมีหน่วยความเข้มข้นเป็น ppm ส่วนธาตุโปแตสเซียมมีหน่วยความเข้มข้นเป็น % จากนั้น จึงทำการแปลงค่าที่ได้จากการวัดเป็นหน่วยที่เราต้องการ คือ Gy โดยใช้ตารางมาตรฐานของ Bell (1979) ดังแสดงในตาราง 2.1

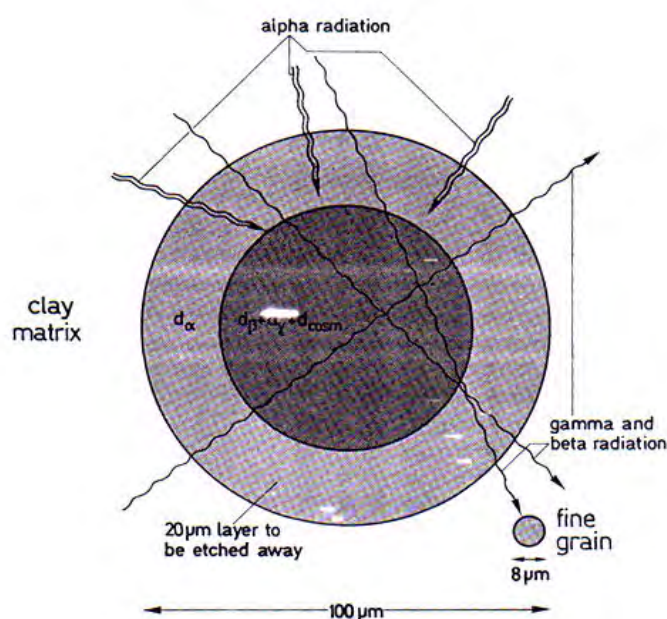
ตาราง 2.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสี (หน่วย ppm หรือ %) และอัตราการแผ่รังสีต่อปี (หน่วย μGy) (Bell, 1979)

อนุภาค	ความเข้มข้น	ชนิด radionuclide		
		แอลฟา	เบตา	แกมมา
Thorium series	1 ppm ^{232}Th			
- no thoron loss		738	28.6	51.4
- 100% thoron loss		309	10.3	20.8
Uranium series	1 ppm ^{238}U			
- no radon loss		2783	146.2	114.8
- 100% radon loss		1262	60.9	5.6
Natural potassium	1% K_2O	-	689.3	206.9
	1% K	-	830.3	249.2
Natural rubidium	100 ppm Rb	-	46.4	-

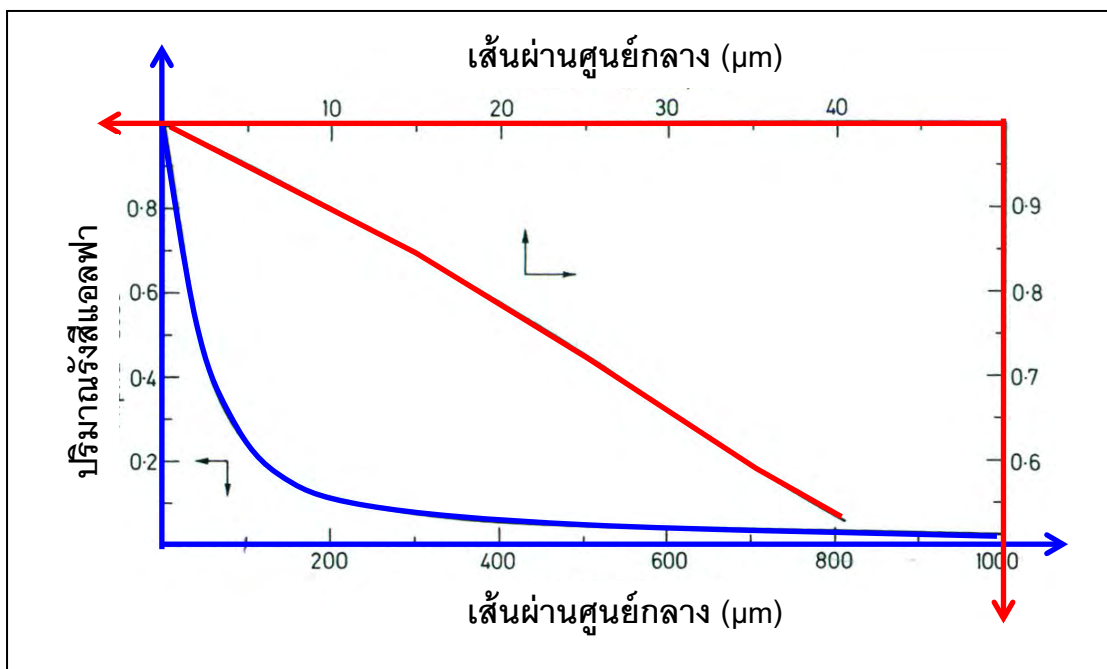
จากค่า AD ที่ได้ถึงขั้นตอนนี้ เป็นค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปีในทางอุดมคติ หรือเป็นค่าที่ได้ 100% โดยที่ไม่ได้รับผลกระทบซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการลดทอนของสัญญาณแต่อย่างใด แต่ในทางปฏิบัติสาเหตุของการลดทอนของอัตราการแผ่รังสีนั้นมีอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน เช่น การลดทอนของสัญญาณอันเนื่องมาจากขนาดของเม็ดตะกอน และการลดทอนอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในดินในธรรมช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

เนื่องจากอนุภาคต่างๆ ที่เป็นตัวกระตุ้นอิเล็กทรอนิกส์อน ได้แก่ อนุภาค แอลฟา เบตา แกมมา ซึ่งในแต่ละอนุภาคนั้นมีลักษณะและคุณสมบัติการทะลุทะลวงไม่เท่ากัน ดังรูป 2.4

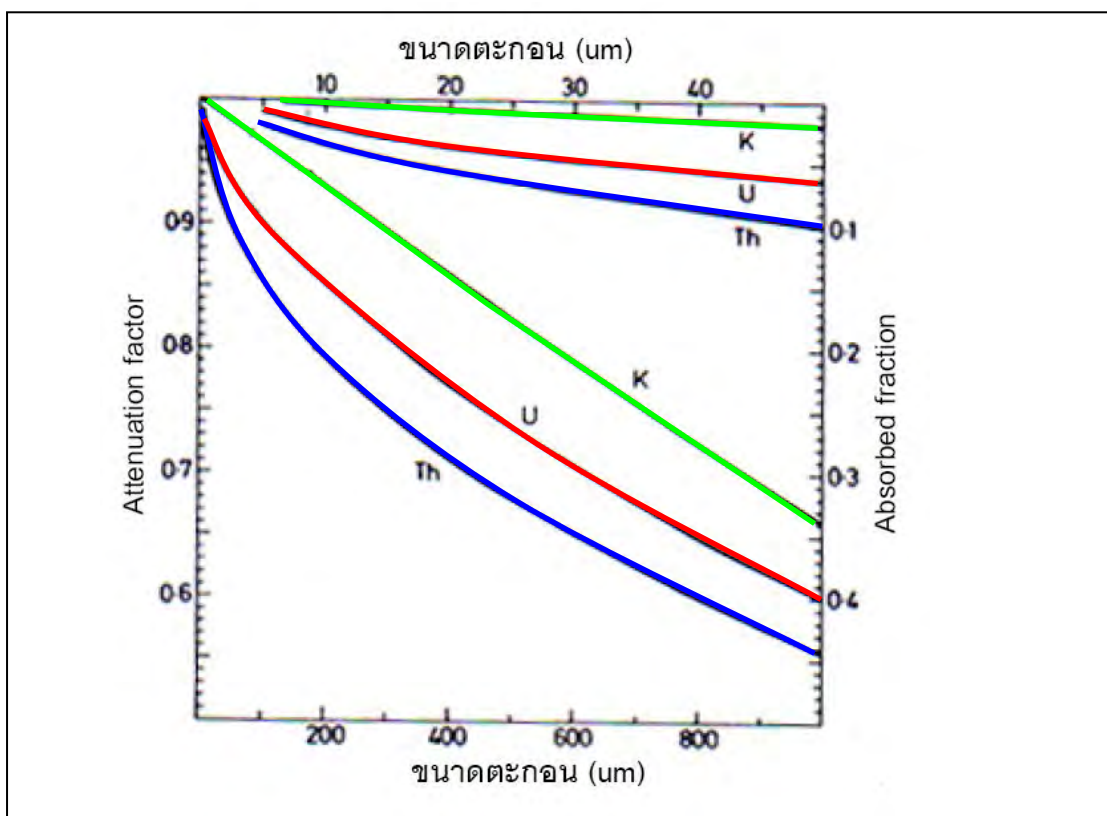
ในกรณีของดิน อนุภาคแกมมามีความสามารถในการทะลุทะลวงได้ถึง 30 เซนติเมตร ส่วนอนุภาคเบตามีความสามารถในการทะลุทะลวงได้ในระยะ 3 เซนติเมตร ในขณะที่อนุภาคแอลฟามีความสามารถในการทะลุทะลวงเพียง 0.3 มิลลิเมตรเท่านั้น ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะสิ่งแวดล้อมในระยะรัศมี 30 เซนติเมตร โดยมีตัวอย่างเป็นจุดศูนย์กลาง อนุภาคแกมมาจะมีประสิทธิภาพการทะลุทะลวงได้ 100% จากที่คำนวณได้ในตอนต้น ในขณะที่อนุภาคเบตาและแอลฟาถูกลดทอนไปตามขนาดของเม็ดตะกอนที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้น ซึ่ง Aitken (1985) ได้นำเสนออัตราการลดทอนของอนุภาคเบตาและแอลฟาที่สัมพันธ์กับขนาดของเม็ดตะกอนไว้ดังรูป 2.5 และ 2.6



รูป 2.4 ประสิทธิภาพการทะลุทะลวงที่แตกต่างกันของอนุภาคแอลฟา เบตาและแกมมา (Aitken, 1985)

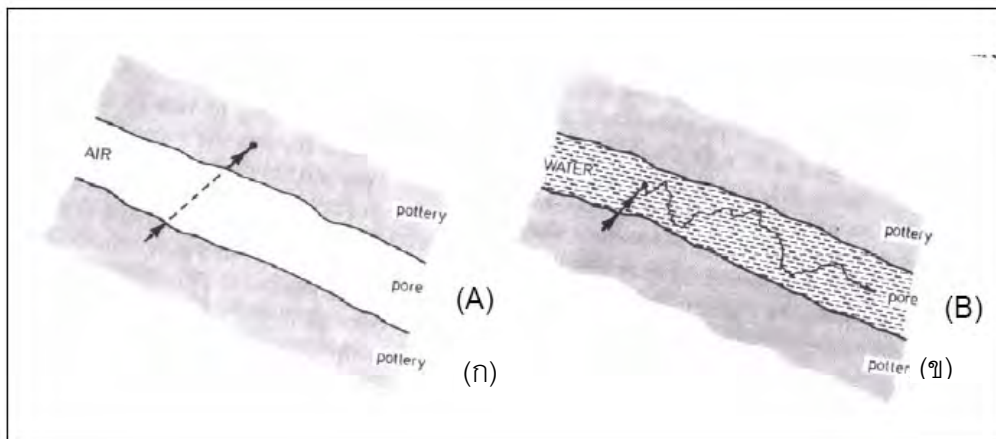


รูป 2.5 อัตราการลดทอนความสามารถในการทะลวงของอนุภาคแอลฟา (K) ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของเม็ดตะกอน (Aitken, 1985)



รูป 2.6 อัตราการลดทอนความสามารถในการทะลวงของอนุภาคเบตา (B) ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของเม็ดตะกอน (Aitken, 1985)

นอกจากการลดทอนความสามารถในการกระตุ้นเนื่องมาจากสาเหตุของขนาดตะกอนแล้ว ยังมีปัจจัยที่สำคัญอีกอย่าง คือ ความชื้นหรือปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในตัวอย่างดินในธรรมชาติ ซึ่งมีประสิทธิภาพการลดทอนที่แตกต่างกันในแต่ละอนุภาค (แอลฟา 50%, เบตา 25% และแกมมา 14 %) เช่นเดียวกัน (ดูรูป 2.7)



รูป 2.7 (ก) ประสิทธิภาพการทะลุทะลวงของอนุภาคเมื่อไม่ผ่านตัวกลางที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (ข) การลดทอนความสามารถในการทะลุทะลวงของอนุภาคกัมมันตภาพรังสีจากสาเหตุความชื้นในตัวอย่าง (Aitken, 1985)

ดังนั้น สมการอย่างง่ายของการคำนวณอัตราการแผ่รังสีต่อปี (หน่วย mGy) สามารถแสดงได้ ดังนี้

$$D_{\text{แอลฟา}} = K(2.783U+0.783 \text{ Th}) / (1+1.50W)$$

$$D_{\text{เบตา}} = B(0.1462U+0.0286\text{Th}+0.8303K) / (1+1.25W)$$

$$D_{\text{แกมมา}} = (0.1148U+0.0514\text{Th}+0.2492K) / (1+1.14W)$$

$$D_{\text{คอสมิก}} = \text{กำหนดให้เป็นค่าประมาณคงที่ เท่ากับ } 0.15$$

กำหนดให้ K และ B ขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดตะกอน

2.4 การคำนวณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่าง

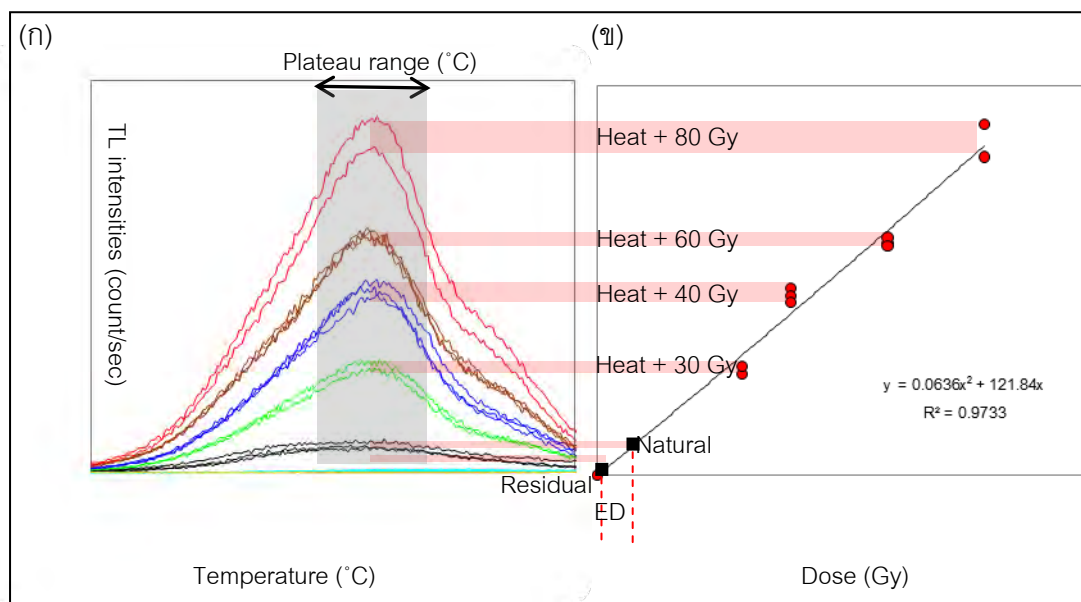
เนื่องจากเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน ไม่สามารถวัดค่ากัมมันตภาพรังสี หรือ Equivalent Dose ในหน่วยกัมมันตภาพรังสี (หน่วย Gy) ได้โดยตรง ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งค่ากัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่าง ในหน่วยที่เราต้องการ ในที่นี้เราใช้เครื่องมือกระตุ้นด้วยความร้อนและตรวจวัดปริมาณการเรืองแสงของตัวอย่างเป็นเครื่องมือในการตรวจวัด ซึ่งเครื่องมือนี้เรียกว่า Thermoluminescence Detector (TLD) (รูป 2.8)

หลักการของการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีนั้นเริ่มต้นจากการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง ซึ่งเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อน อิเล็กตรอนจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของการเรืองแสง จากนั้นวัดปริมาณฟิสิกส์ของแสง ด้วยหัววัดแสง (Photo detector) และขยายสัญญาณให้เด่นชัดขึ้นด้วยเครื่องขยายสัญญาณ (Photo multiplier) ผลที่ได้จากการตรวจวัด แสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างระดับอุณหภูมิที่กระตุ้นให้ตัวอย่างในหน่วยองศาเซลเซียส (แกนแนวนอน) ต่อปริมาณอิเล็กตรอนที่ตรวจวัดได้ในแต่ละระดับอุณหภูมิ ในหน่วย count/sec (แกนตั้ง) ดังแสดงในรูป 2.9ก กราฟความสัมพันธ์นี้เรียกว่า "Glow curve"



รูป 2.8 เครื่อง Thermoluminescence Detector (TLD), ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิ่งที่เราต้องวิเคราะห์ต่อไปในการกำหนดอายุ คือ ทำอย่างไรจึงจะทราบว่าปริมาณอิเล็กตรอน (หน่วย count/sec) ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง TLD นั้นมีค่าเทียบเคียงได้กับค่ากัมมันตภาพรังสีในหน่วย Gy เท่าใด จากคำถามดังกล่าว ส่งผลให้เราต้องสรรหาวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งค่ากัมมันตภาพรังสีตามที่เราต้องการ โดยวิธีการที่เราสามารถทำได้ คือ การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่าง (Gy) และปริมาณอิเล็กตรอนที่วัดได้ (Count/sec) โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ที่เรียกว่า Growth curve (รูป 2.9ข) และเทียบบัญญัติไตรยางค์ เพื่อหาความสัมพันธ์ (ดูรูป 2.9 ประกอบ)



รูป 2.9 (ก) Glow curve แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในตัวอย่าง (หน่วย count/sec) ในแต่ละระดับอุณหภูมิ ซึ่งวัดได้จากเครื่อง TLD และ (ข) Growth curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าปริมาณอิเล็กตรอน (หน่วย count/sec) ที่มีอยู่ในตัวอย่างและปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ทราบค่า (Gy)

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณรังสีในตัวอย่างในหน่วย Gy

- วัดปริมาณอิเล็กตรอนจากตัวอย่างธรรมชาติ ได้ 200 ตัว
- นำตัวอย่างธรรมชาติตัวเดียวกันไปอบรังสีที่เรารู้ค่า 20 Gy และวัดปริมาณอิเล็กตรอนได้ 400 ตัว
- กำหนดให้ N คือ ค่าปริมาณอิเล็กตรอนในตัวอย่างในหน่วย Gy ซึ่งวัดปริมาณอิเล็กตรอนได้ 100 ตัว

$$\text{ดังนั้น } N+20 \text{ Gy} = 400 \text{ (count/sec)} \text{ ----- (1)}$$

$$N \text{ Gy} = 200 \text{ (count/sec)} \text{ ----- (2)}$$

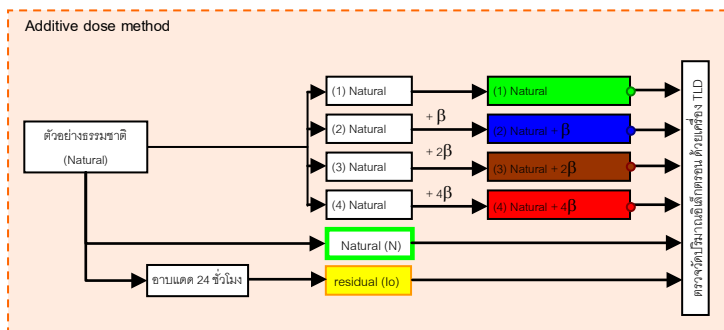
เมื่อนำ (1) หาดด้วย (2) ได้ว่า

$$(N+ 20)/N = 2$$

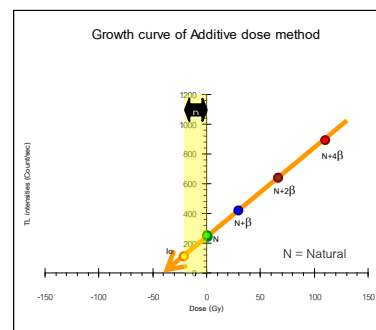
$$\text{ดังนั้น } N = 20 \text{ Gy}$$

ทั้งนี้ในการศึกษาคั้งนี้เลือกวิธี Additive ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีในตัวอย่าง และ ปริมาณอิเล็กตรอนที่วัดได้จากเครื่อง TLD

เทคนิค Additive (Aitken,1985) เป็นเทคนิคที่ใช้ตัวอย่างควอตซ์ธรรมชาติที่สกัดได้ นำไปอบรังสีที่ทราบค่าแล้วในหน่วย Gy เช่น 30 Gy, 60 Gy, 90 Gy และ 150 Gy เป็นต้น (รูป 2.10ก) จากนั้นนำมาวัดปริมาณอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในตัวอย่างและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างและปริมาณอิเล็กตรอนที่วัดได้จากเครื่อง TLD หรือที่เรียกว่ากราฟ Growth curve (รูป 2.10ข) จากนั้นจึงนำตัวอย่างธรรมชาติ (N) และตัวอย่างที่ผ่านการอบแดด (I₀) ที่วัดได้จากเครื่อง TLD มาเทียบบัญญัติไตรยางศ์กับกราฟ Growth curve เพื่อหาปริมาณรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่างในหน่วย Gy โดยในกรณีการกำหนดอายุตะกอนดิน ค่า Equivalent dose (ED) = N-I₀ (หน่วย Gy)



(ก)



(ข)

รูป 2.10 (ก) แผนภาพวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Additive dose หรือ First glows (ข) Growth curve แสดงวิธีการประเมินค่า Equivalent dose ด้วยเทคนิค Additive dose (Aitken, 1985)

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

(Methodology)

3.1 การเก็บตัวอย่าง

ในการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมากำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนมีข้อควรปฏิบัติ ดังนี้

1. ต้องมีหลักฐานสนับสนุนว่าตัวอย่างที่เก็บนั้นสัมผัสกับแสงในตอนกลางวันหรือได้รับความร้อนมากเพียงพอที่ลบล้างสัญญาณ TL เดิมให้เหลือน้อยที่สุด ก่อนที่จะสะสมตัวครั้งสุดท้าย (มีค่าเท่ากับศูนย์ในกรณีของวัสดุที่ถูกเผา และมีค่าเท่ากับค่าคงเหลือในกรณีของตะกอนดิน) ในกรณีของการกำหนดอายุเตาเผาโบราณนั้น จึงมั่นใจได้ว่าอิฐนั้นได้รับปริมาณความร้อนที่มากพอในการลบล้างสัญญาณที่มีอยู่เดิม โดยการวิจัยครั้งนี้ เก็บตัวอย่างบริเวณผนังของเตาเผาโบราณ
2. ก่อนการเก็บตัวอย่างเพื่อกำหนดอายุ ควรชุดผิวหน้าของตัวอย่าง เพื่อป้องกันผิวตัวอย่างที่สัมผัสแสงเข้ามาปะปน ใส่ภาชนะที่ทึบแสง หรือ แสงรบกวนได้น้อยที่สุด
3. บันทึกรายละเอียดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเก็บและสภาพรอบข้างของบริเวณเก็บตัวอย่าง โดยละเอียด

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างเพื่อวัดหาอายุโดยวิธีเรืองแสง ต้องเก็บตัวอย่างให้ได้น้ำหนักประมาณ 500-700 กรัมเป็นอย่างน้อย ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างนั้น เป็นการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ 2 ส่วน คือ

- 1) วิเคราะห์อัตราการแผ่รังสีต่อปี (Annual dose) และ
- 2) วิเคราะห์ค่าปริมาณสัญญาณ TL ที่มีอยู่ในตัวอย่าง (Equivalent dose)

ตลอดกระบวนการนับตั้งแต่การเก็บตัวอย่างจนถึงกระบวนการวัดสัญญาณจากตัวอย่างนั้น จำเป็นต้องทำในห้องมืด (Red subdue room) เพื่อป้องกันการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากแสงที่กระตุ้น โดยในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดเฉพาะแร่ควอตซ์ ซึ่งนิยมใช้เป็นแร่ตัวแทนในการกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (Aitken, 1985) รายละเอียดการเตรียมตัวอย่างในแต่ละขั้นตอนนั้น สรุปได้ ดังนี้ (รูป 3.1)

1. ทำให้ตัวอย่างมีขนาดเล็กกลง โดยตัดด้วยเครื่องตัดหินแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนนอก 2 ชั้น และ ส่วนในสุด 1 ชั้น ดังรูป 3.2

2. จากนั้นนำทั้งสองส่วนนอกมาบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส และแบ่งตัวอย่างส่วนหนึ่ง นำไปหาปริมาณความชื้นในตัวอย่างนั้น (Water content)

3. บดตัวอย่างส่วนนอก และ ส่วนในที่แห้งเบาๆ ด้วยครกไม้ หรือครกสแตนเลส และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 Mesh (<0.85 mm) ในปริมาณ 250-300 กรัม ใส่ภาชนะพลาสติกปิด เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อให้เกิดการสมดุลในตัวอย่าง สังวิเคราะห์ค่า Annual Dose

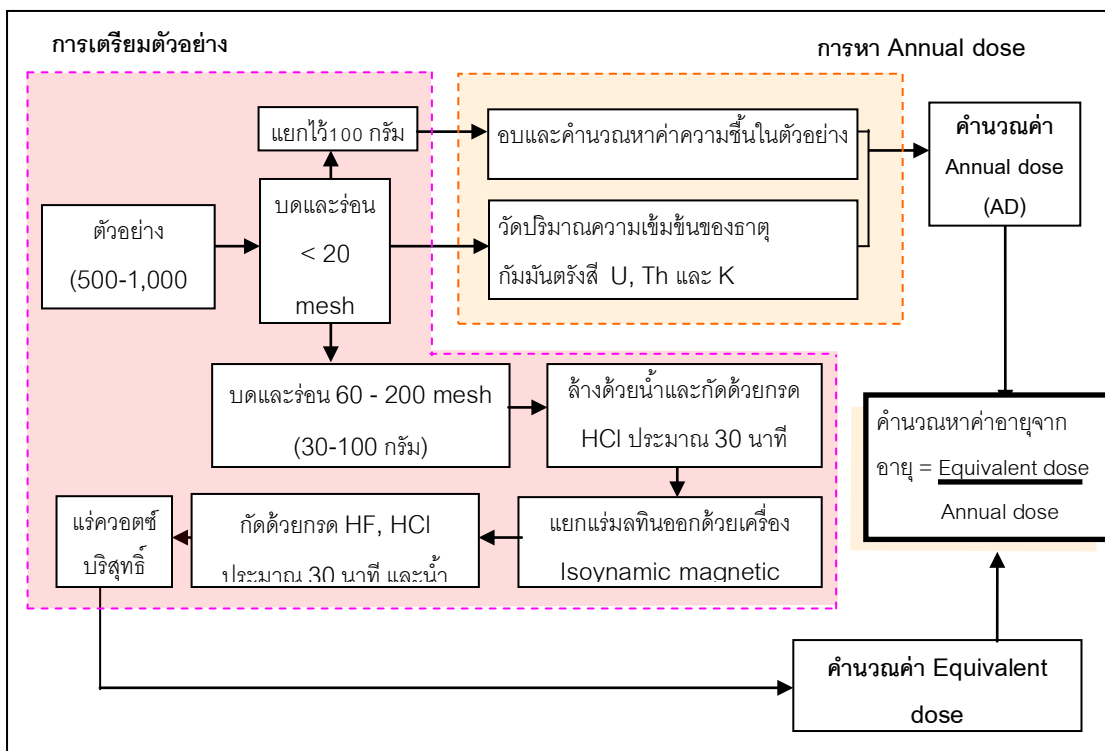
4. นำตัวอย่างส่วนในสุดที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 Mesh ที่เหลือ บดด้วยครกไม้ ต่อและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 Mesh (ขนาด 250 μm) และค้ำบนตะแกรงเบอร์ 200 Mesh (ขนาด 74 μm)

5. นำตัวอย่างจากข้อ 3 ล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 10 ครั้ง จากนั้นกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 50 % เป็นเวลา 30 นาที โดยใส่ไว้ในเครื่องอุ่นตัวอย่าง (water bath) เพื่อเร่งปฏิกิริยา หลังจากนั้นเทกรดทิ้งแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีกประมาณ 10 ครั้ง

6. จากนั้นนำตัวอย่าง (ใส่ในถ้วยพลาสติก) มากัดด้วยกรดกัดแก้ว (HF) ที่ความเข้มข้น 24 % เป็นเวลา 30 นาที เพื่อสลายแร่เฟลด์สปาร์ โดยใส่ไว้ในเครื่องอุ่นตัวอย่าง จากนั้นเทกรดทิ้ง และล้างด้วยน้ำอีกประมาณ 10 ครั้ง แล้วจึงเติมกรดเกลือ (HCl) อีกครั้ง ดำเนินการตามขั้นตอนเหมือนข้อ 4 ต่อจากนั้นอบให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการสกัดแร่ควอตซ์ (ข้อ 1-6) เรียบร้อยแล้ว จะได้ตัวอย่าง 3 ส่วน คือ

- ส่วนที่ 1 ตัวอย่างสำหรับวัดค่าปริมาณความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีในตัวอย่าง เช่น ยูเรเนียม, ทอเรียม และโปแตสเซียม เพื่อคำนวณค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในบริเวณรอบข้าง (Annual Dose)
- ส่วนที่ 2 คือ ตัวอย่างควอตซ์บริสุทธิ์ สำหรับนำไปวัดค่าปริมาณรังสีหรือค่าปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ที่มีอยู่ในตัวอย่าง
- ส่วนที่ 3 คือ ค่าปริมาณความชื้นในตัวอย่าง ซึ่งจะใช้สำหรับการคำนวณอัตราการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในบริเวณรอบข้าง (Annual Dose) ในกระบวนการคำนวณ



รูป 3.1 แผนภูมิแสดงกระบวนการปฏิบัติงานการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์และกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน (Takashima and Honda, 1989)

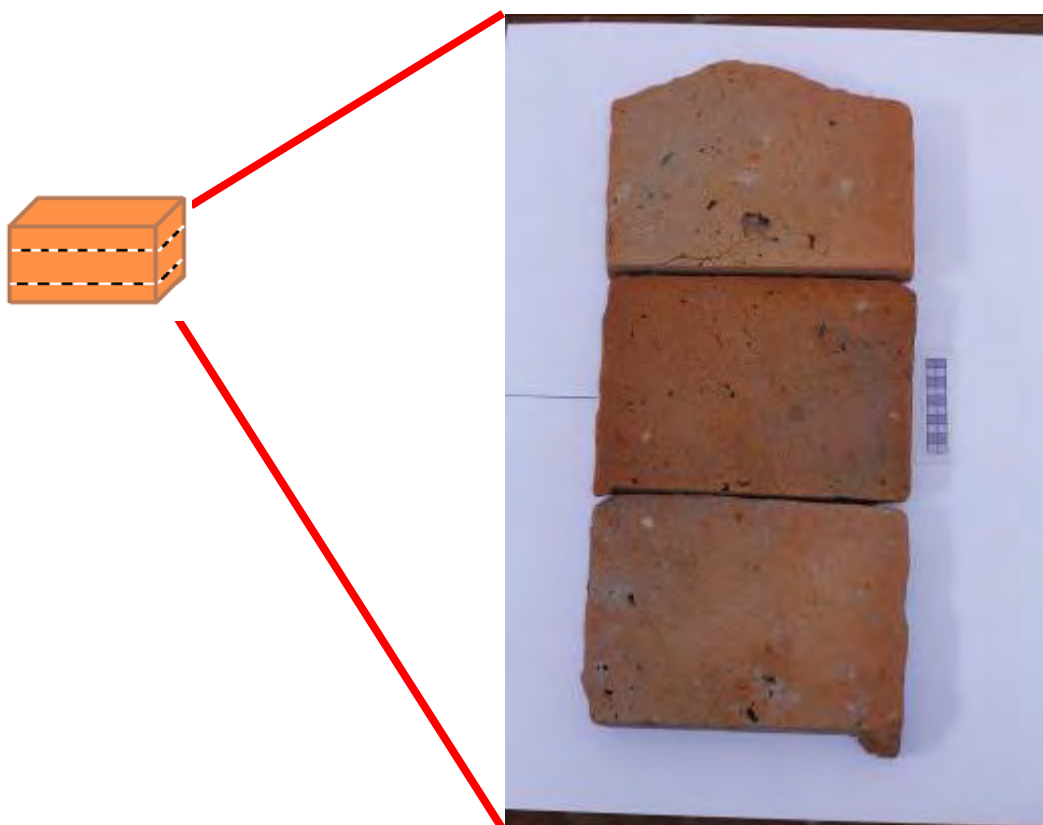
3.3 อัตราการแผ่รังสีต่อปี (Annual Dose)

หลังจากการเตรียมตัวอย่างแล้ว นำตัวอย่างที่ได้ใส่ภาชนะปิด ทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน เพื่อให้เกิดการสลายตัวของกัมมันตภาพรังสี (โปแทสเซียม ยูเรเนียม และ ทอเรียม) จากนั้นนำไปตรวจวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่มีในแต่ละตัวอย่าง โดยเครื่อง Gamma Spectrometry (รูป 3.3) ทั้งนี้ทำการวัดด้วยโปรแกรม AkWin ดังรูป 3.4 ทำการตรวจวัดตัวอย่างละ 2 วัน

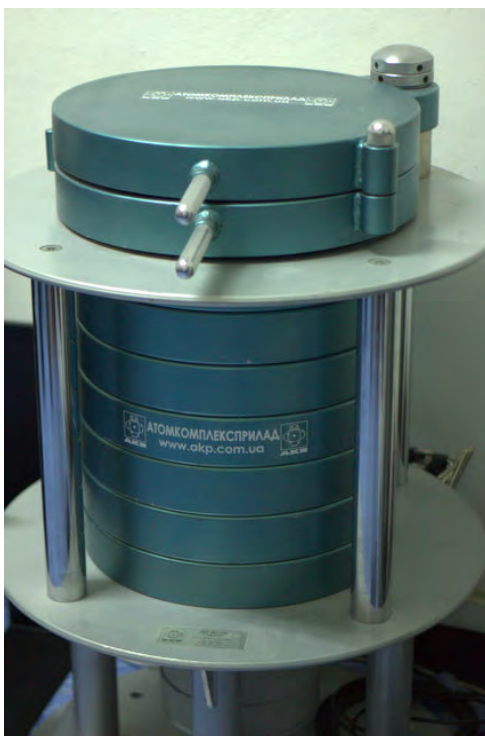
เมื่อครบกำหนดแล้ว ผลที่ได้จะเป็นกราฟระหว่างปริมาณกัมมันตรังสี และ ระยะเวลา โดยจะทำการแปลงผลที่ได้ไปเป็นปริมาณกัมมันตรังสีในหน่วย Gy จากตารางความสัมพันธ์ความเข้มข้นของปริมาณกัมมันตรังสีของ Bell, 1979 และ แก้ไขให้ถูกต้องตามอัตราการลดทอนในแต่ละสารกัมมันตรังสี (Aitken, 1985)

ดังรูป 3.5

จากสมการที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 เกี่ยวกับการคำนวณอัตราการแผ่รังสีต่อปี จึงได้ผลของอัตราการแผ่รังสีต่อปีในแต่ละตัวอย่างออกมา ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 4

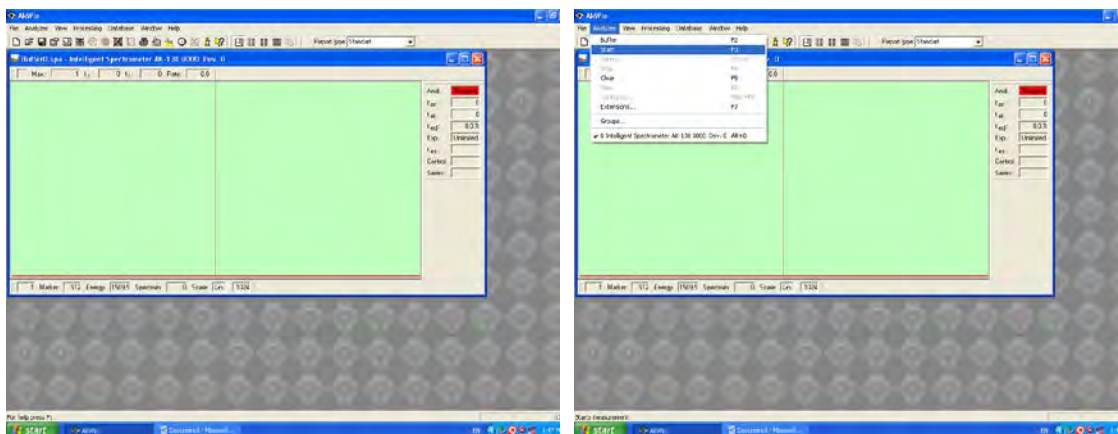


รูป 3.2 การเตรียมตัวอย่างอิฐในชั้นตอนที่ 1 แบ่งอิฐเป็นสามส่วน โดยสองส่วนนอกนำไปวิเคราะห์หาค่า water content และ ค่า Annual dose ส่วนตรงกลางนำไปวิเคราะห์หาค่า Paleodose (ตัวอย่างที่แสดงนำไปกำหนดอายุด้วยวิธีการเรืองแสงความร้อน จึงสามารถถูกแสงได้)

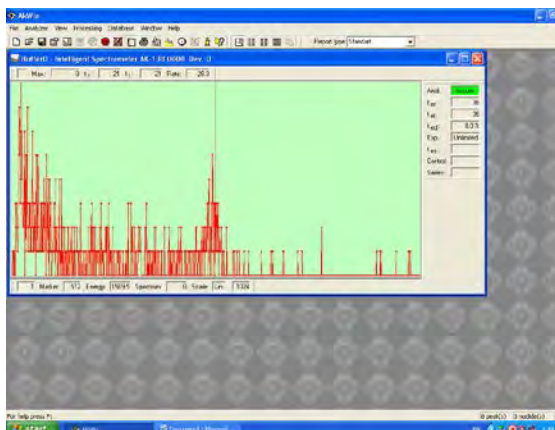


รูป 3.3 เครื่อง Gamma Spectrometry ในการตรวจวัดปริมาณธาตุกัมมันตรังสีในตัวอย่าง

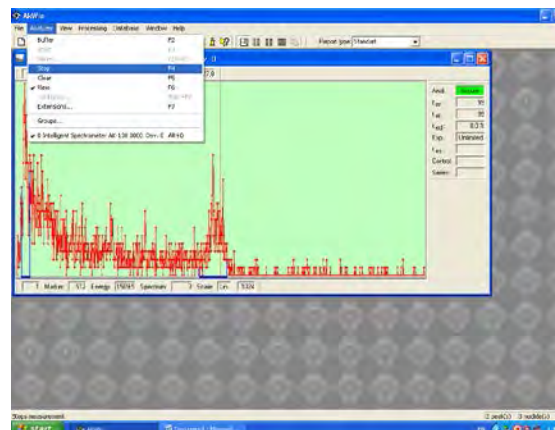
- 1) หลังจากเปิดโปรแกรม AkWin จะแสดง 2) จากนั้นทำการตรวจวัดตัวอย่าง โดยไปที่ หน้าต่างดังรูป Analyzer > Start



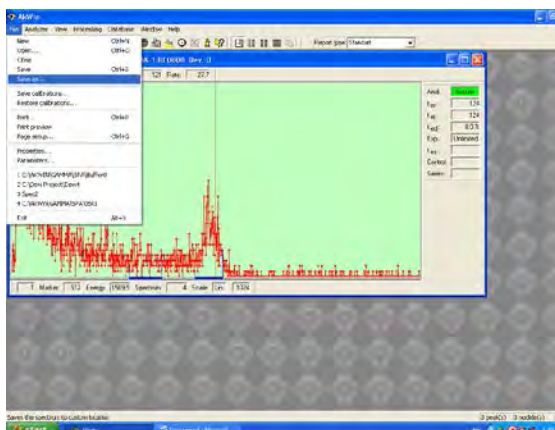
3) เมื่อเสร็จสิ้นการตรวจวัดกราฟจะแสดงยอดของปริมาณธาตุแก๊สมันตรงสีต่างๆ อย่างชัดเจน



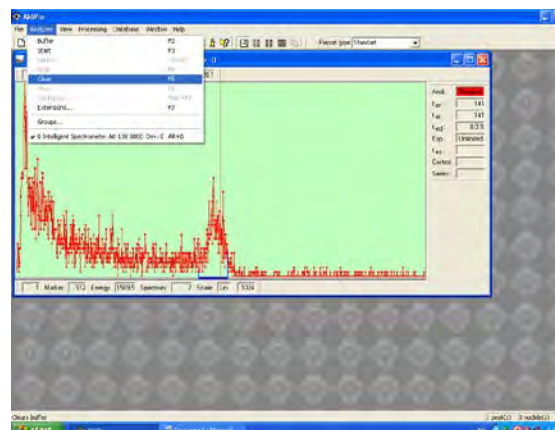
4) เมื่อต้องการหยุดวิเคราะห์ ไปที่ Analyzer > Stop



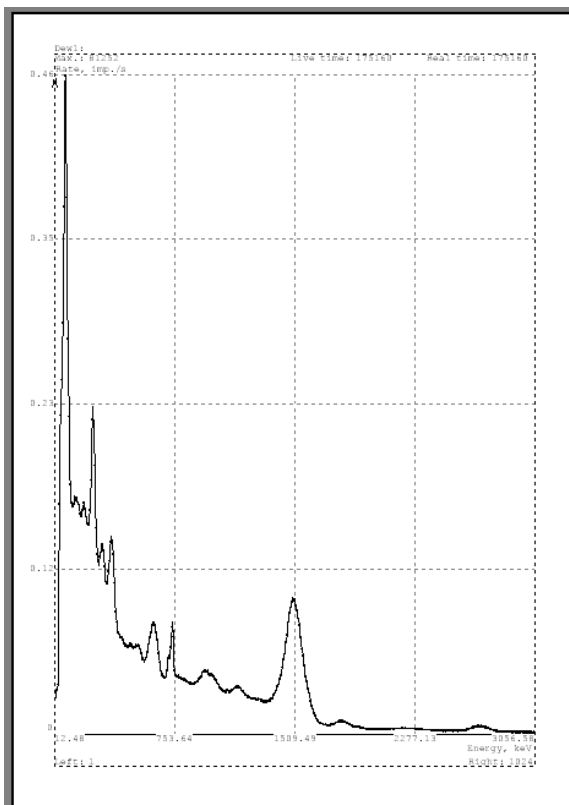
5) ทำการบันทึกข้อมูล File > Save as



6) เมื่อต้องการตรวจวัดตัวอย่างอื่น ทำการล้างข้อมูลเก่า โดย Analyzer > Clear



รูป 3.4 แสดงขั้นตอนในการใช้โปรแกรม AkWin ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุแก๊สมันตรงสีในตัวอย่าง คือ ยูเรเนียม โพแทสเซียม และ ทอเรียม เพื่อนำไปคำนวณอัตราการแผ่รังสีต่อไป



รูป 3.5 ตัวอย่างกราฟแสดงปริมาณธาตุกัมมันตรังสีในตัวอย่างที่ได้จากเครื่องGamma Spectrometry

3.4 การกระตุ้นด้วยความร้อน

ขั้นตอนต่อมาหลังจากที่ได้เตรียมตัวอย่างแล้ว คือ นำตัวอย่างนั้นมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLD เพื่อหาปริมาณอิเล็กตรอนที่ถูกกักเก็บอยู่ในตัวอย่าง โดยในที่นี้ทำการกระตุ้นด้วยความร้อน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการอบรังสีแก่ตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างใส่ในภาดหลุม ซึ่งมีทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างจากอิฐในปราสาททอง 2 ตัวอย่าง และ ตัวอย่างเตาเผาโบราณ 2 ตัวอย่าง แบ่งใส่ในภาดหลุมจำนวน 4 เซทตัวอย่าง ทั้งนี้ทำการอบรังสีในปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละเซท ได้แก่ 7 Gy, 14 Gy, 28 Gy, และ 56 Gy ซึ่งใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมงในการอบรังสีโดยเครื่อง Thermoluminescence Detector ด้วยโปรแกรม TL Riso โดยขั้นตอนทั้งหมดทำภายใต้แสงสีแดง (รูป 3.6)

2. นำตัวอย่างที่ผ่านการอบรังสีแล้วไปอบด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน

3. หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยการกระตุ้นด้วยความร้อนประมาณ 800°C โดยเครื่อง Thermoluminescence Detector ที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังรูป 3.7

4. ได้ผลสัญญาณออกมาอยู่ในรูปกราฟ Glow Curve จากนั้นทำการแปลงกราฟเป็น Growth Curve เพื่อหาปริมาณสารกัมมันตรังสีในตัวอย่างดั้งเดิม

5. ค่าที่ได้นำมาเข้าสมการของ Aitken (1985) เพื่อคำนวณหาอายุของตัวอย่างต่อไป



รูป 3.6 แสดงการนำตัวอย่างควอตซ์บริสุทธิ์ใส่ถาดหลุมเพื่อทำการอบรังสีภายใต้แสงสีแดง



รูป 3.7 เครื่อง Thermoluminescence Detector ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.5 การกระตุ้นด้วยแสง

เนื่องจากประสบปัญหาในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLD เนื่องด้วยเครื่องชำรุด และไม่สามารถซ่อมแซมได้ทัน จึงไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยแสงได้ อีกทั้งเครื่องมือตรวจวัดที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นเครื่องมือที่ไม่มีระบบการตรวจวัดด้วยวิธีนี้ การศึกษาครั้งนี้จึงทำได้เพียงการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธีเรืองแสงความร้อนเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นไม่ได้ด้วยเหตุสุดวิสัยจากเครื่องมือ ผู้วิจัยจึงต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

บทที่ 4

ผลการศึกษา

(Result)

4.1 ผลอายุที่ได้จากการกระตุ้นด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน

ก่อนที่จะได้ผลอายุที่ได้จากเทคนิคนี้ก็มีค่าที่เกี่ยวข้องหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นค่าความอึมตัวของน้ำในตัวอย่าง, ค่ารังสีต่างๆ เช่น ค่ารังสียูเรเนียม โพลแทสเซียม และ ทอเรียม , และ ค่าปริมาณสารกัมมันตรังสีที่มีในตัวอย่าง จากนั้นนำมาเข้าสมการดังที่ได้กล่าวไปแล้ว สุดท้ายจะได้ผลอายุออกมา จึงขอลำดับถึงค่าต่างๆที่เกี่ยวข้อง เป็นลำดับไปจนถึงผลอายุที่ได้

4.1.1 ค่าความอึมตัวของน้ำในตัวอย่าง

หลังจากที่ได้กล่าวขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อหาค่าความอึมตัวของน้ำในบทที่ 3 เมื่อทำการคำนวณตามความสัมพันธ์

$$\text{ค่าความอึมตัวของน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตะกอนหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตะกอนหลังอบ}} \times 100$$

ค่าความอึมตัวของน้ำมีดังนี้

1. ตัวอย่างเตาเผา 1 = 0.079 %
2. ตัวอย่างเตาเผา 2 = 0.178 %
3. ตัวอย่างอิฐบรรณาลัย ปราสาททอง 1 = 0.816 %
4. ตัวอย่างอิฐซุ่มประตู ปราสาททอง 2 = 0.291%

4.1.2 ปริมาณรังสีต่างๆ ในค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปีของตัวอย่าง

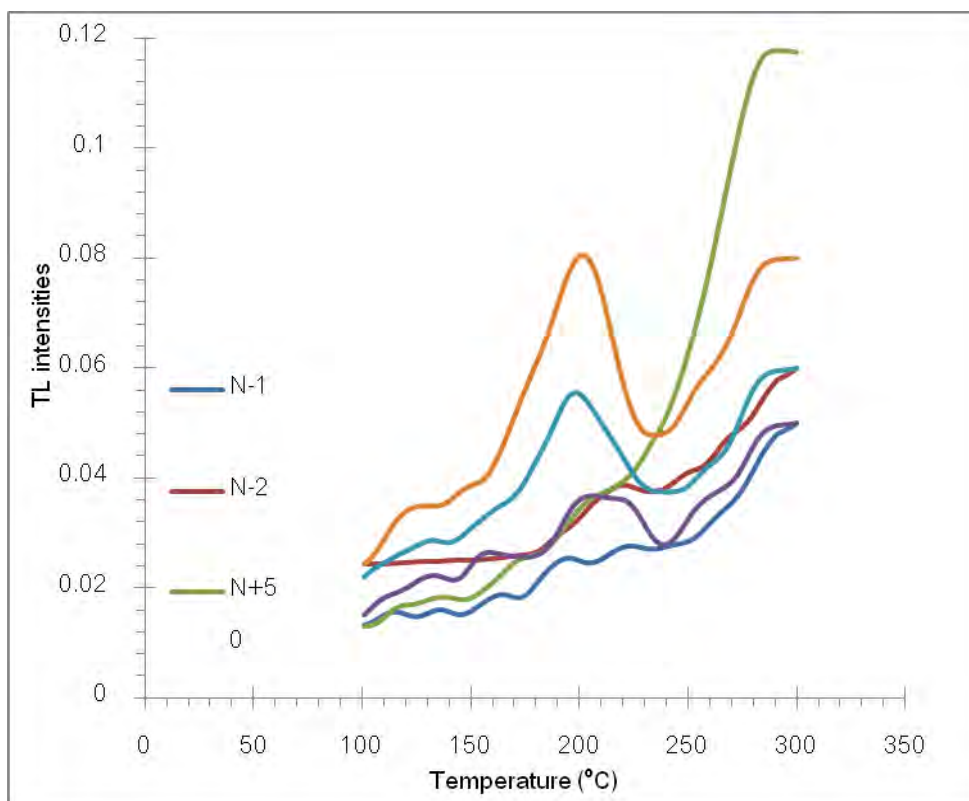
เมื่อได้กราฟของปริมาณรังสี ยูเรเนียม โพลแทสเซียม และ ทอเรียม ทำการแปลงค่าออกมาเป็นหน่วย Gy จะได้ผลดังนี้

ตัวอย่าง	Wt(g)	U (ppm)	Th(ppm)	K(%)
เตาเผา 1	195	3.501	10.858	1.46
เตาเผา 2	290	2.656	8.687	1.11
บรรณาลัย	255	0.579	5.249	0.33
ซุ่มประตู	290	0.780	6.114	0.24

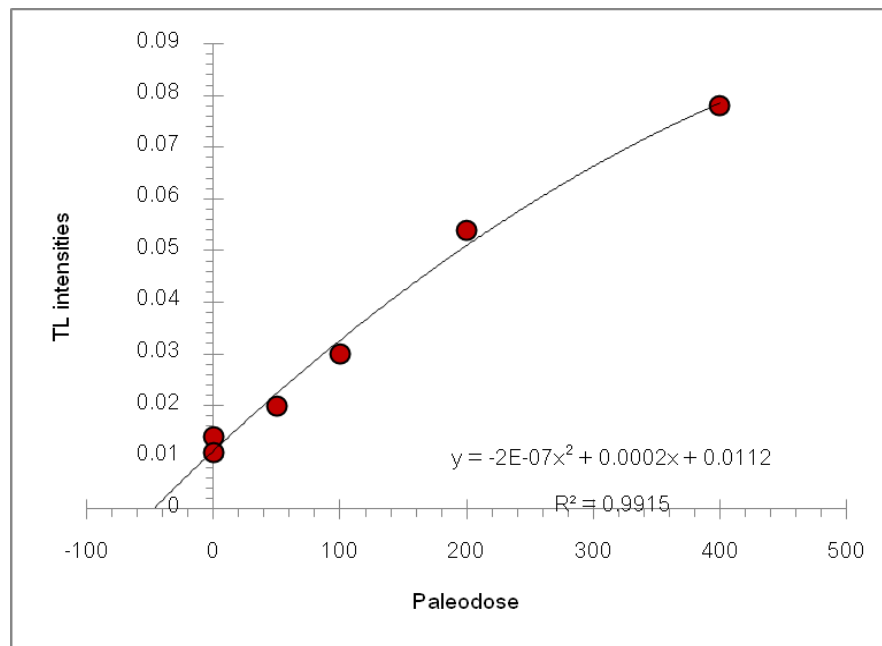
4.1.3 ปริมาณกัมมันตรังสีในตัวอย่าง

นำตัวอย่างไปตรวจวัดปริมาณธาตุกัมมันตรังสีที่มีในตัวอย่างด้วยเครื่อง Thermoluminescence Detector ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ผลออกมาเป็นกราฟ Glow curve และ แปลงค่าเป็น Growth curve แต่ละตัวอย่าง

4.1.3.1 ตัวอย่างเตาเผา 1

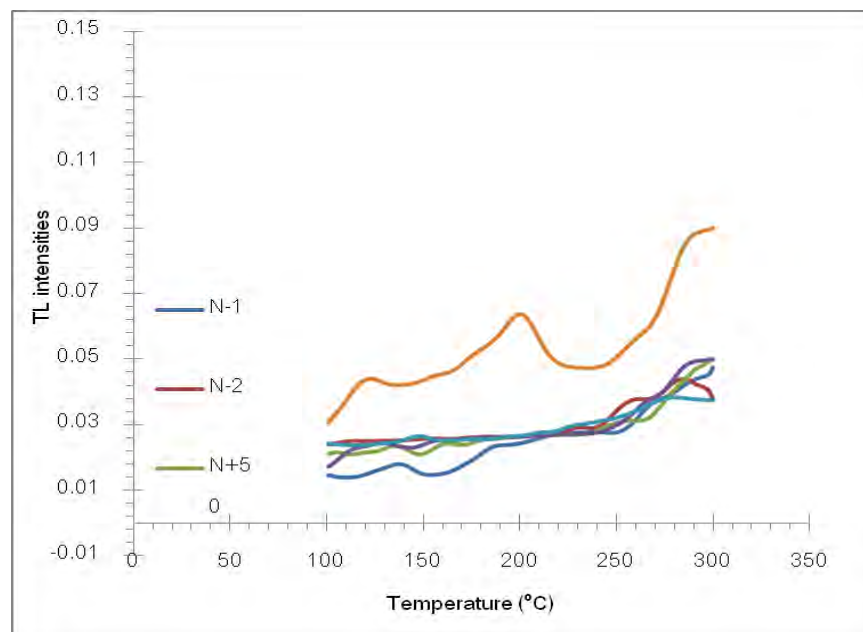


รูป 4.1 Glow curve ของตัวอย่างเตาเผา 1 โดย N = Natural คือ ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบรังสีทำการตรวจวัด 2 ครั้ง จึงมี 2 เส้น ส่วน N+x คือ ตัวอย่างที่ผ่านการอบรังสีด้วยค่าต่างๆ (X) คือ 50s, 100s, 200s, 400s ตามลำดับ



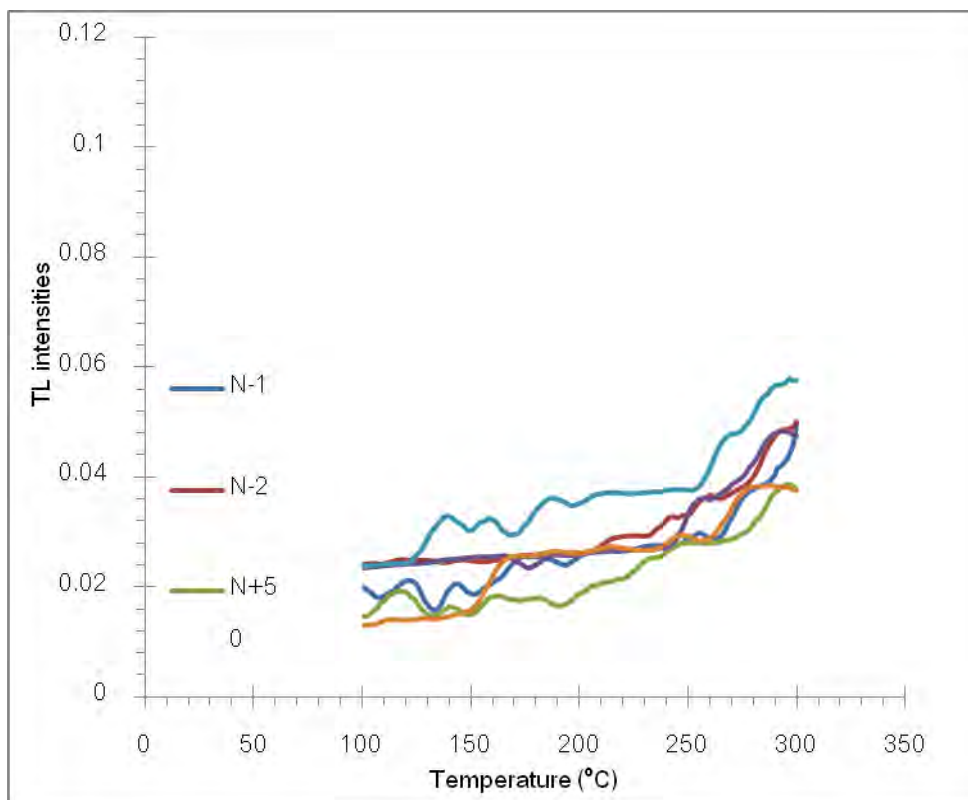
รูป 4.2 Growth curve ของเตาเผา 1 โดยได้ค่า $N = 47$ วินาที หรือ 6.627 Gy

4.1.3.2 ตัวอย่างเตาเผา 2



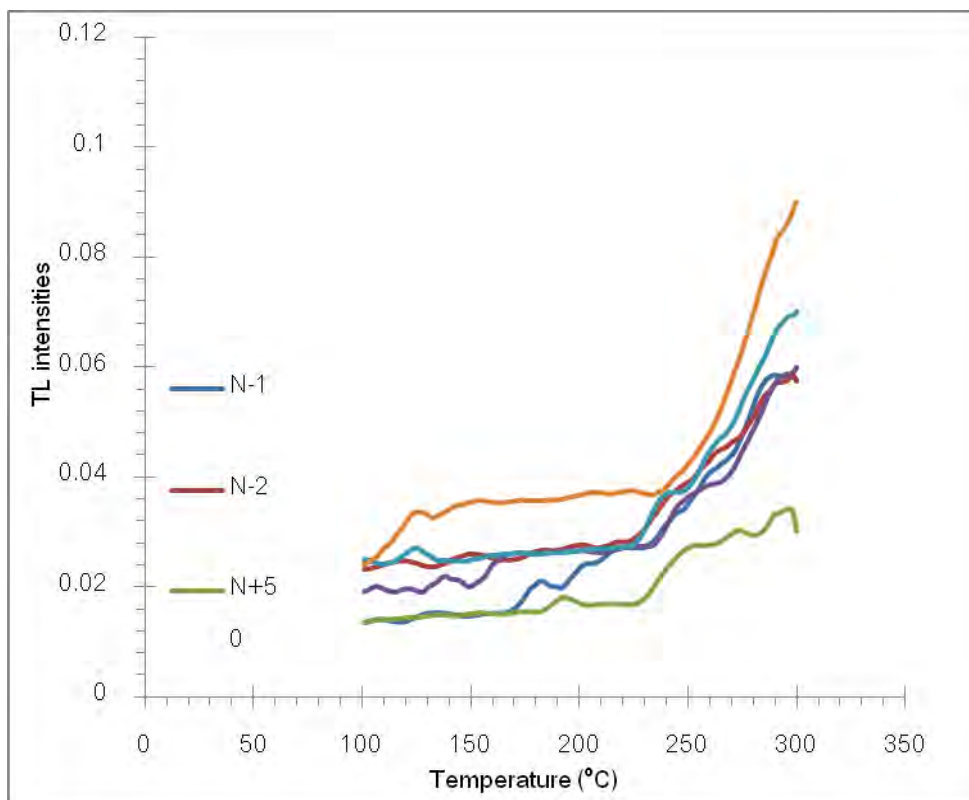
รูป 4.3 Glow curve ของตัวอย่างเตาเผา 2 โดย $N = \text{Natural}$ คือ ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบรังสีทำการตรวจวัด 2 ครั้ง จึงมี 2 เส้น ส่วน $N+x$ คือ ตัวอย่างที่ผ่านการอบรังสีด้วยค่าต่างๆ (X) คือ 50s, 100s, 200s, 400s ตามลำดับ

4.1.3.3 ตัวอย่างอิฐบรรณาลัย



รูป 4.4 Glow curve ของตัวอย่างบรรณาลัย โดย N = Natural คือ ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบรังสีทำการตรวจวัด 2 ครั้ง จึงมี 2 เส้น ส่วน N+x คือ ตัวอย่างที่ผ่านการอบรังสีด้วยค่าต่างๆ (X) คือ 50s, 100s, 200s, 400s ตามลำดับ

4.1.3.4 ตัวอย่างอิฐซุ่มประตู่



รูป 4.5 Glow curve ของตัวอย่างซุ่มประตู่ โดย N = Natural คือ ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบรังสีทำการตรวจวัด 2 ครั้ง จึงมี 2 เส้น ส่วน N+x คือ ตัวอย่างที่ผ่านการอบรังสีด้วยค่าต่างๆ (X) คือ 50s, 100s, 200s, 400s ตามลำดับ

ทั้งนี้อาจเนื่องด้วยตัวอย่างเตาเผา 2, ตัวอย่างบรรณาลัย และ ตัวอย่างซุ่มประตู่มีสัญญาณต่ำหรือ ประสิทธิภาพของเครื่องมือตรวจวัดที่ไม่มากพอจะตรวจวัดสัญญาณปริมาณน้อยเหล่านั้น ทำให้ไม่สามารถเห็นยอดกราฟของสัญญาณ TL ได้อย่างชัดเจน จึงไม่อาจแปลงGlow curve ที่ได้เป็น Growth curve ได้อย่างตัวอย่างเตาเผา 1

4.1.4 อายุที่ได้จากวิธีเรืองแสงความร้อน

จากที่ได้กล่าวถึงค่าที่เกี่ยวข้องไปแล้ว สามารถสรุปผลเหล่านั้น และ ผลอายุที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ของ Aitken (1985) ได้ดังตาราง

Sample No.	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	W (%)	AD (Gy/ka)	ED (Gy)	Age (Yr)
S1	3.501	10.858	1.46	0.08	3.36 ± 0.22	6.63	1,970 ± 120
S2	2.656	8.687	1.11	0.18	2.63 ± 0.16	-	-
S3	0.78	6.114	0.33	0.82	1.17 ± 0.10	-	-
S4	0.579	5.249	0.24	0.29	0.97 ± 0.08	-	-

จากตารางอายุตัวอย่างเตาเผา 1 ด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน ได้อายุประมาณ พ.ศ. 585±120 ปี ซึ่งผลที่ได้นี้คลาดเคลื่อนจากอายุเทียบสัมพันธ์ทางโบราณคดีที่ให้อายุอยู่ในช่วงพุทธศตวรรษที่ 14-19 มาก ทั้งนี้อายุที่ได้เป็นผลการศึกษาเบื้องต้นเท่านั้น ยังไม่ใช่อายุที่ถูกต้องนัก เนื่องด้วยขาดหลักสถิติอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากปัญหาทางด้านเครื่องมือตรวจวัดที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้น ผู้วิจัยจึงขออภัยมา ณ ที่นี้ หากมีโอกาสก็คงจะได้ผลอายุเตาเผาโบราณที่ถูกต้อง และแม่นยำมากกว่านี้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

(Conclusion)

จากการศึกษาในการกำหนดอายุเตาเผาโบราณด้วยวิธีการเรืองแสง ทั้งนี้ได้กำหนดอายุด้วยเทคนิคเรืองแสงความร้อน (TL dating) เท่านั้น ไม่อาจกำหนดอายุด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยแสง (OSL dating) ได้ อันเนื่องมาจากเครื่องมือชำรุด ผลอายุของเตาเผาโบราณ แหล่งเตาเผาสวายอำเภอบ้านกรวด จังหวัดบุรีรัมย์ คือ พ.ศ. 585 ± 120 ปี ซึ่งเป็นผลการศึกษาที่ได้เบื้องต้น ยังไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยหลักสถิติได้ด้วยเงื่อนไขทางเครื่องมือ และ ระยะเวลาที่จำกัด จากผลอายุที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากอายุเทียบสัมพันธ์ทางโบราณคดี คือ ช่วงพุทธศตวรรษที่ 14-19 จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปเพื่อให้ได้อายุที่ถูกต้อง ใกล้เคียงกับอายุที่แท้จริงของเตาเผาโบราณ และโบราณสถานปราสาททอง เพื่อเป็นข้อมูลของแหล่งโบราณสถานเหล่านี้ครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- 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.
- 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.
- Fu R.Y., Huang W.W., Yuan B.Y., Zhang J.F. and Zhou L.P., 2010. Optical Stimulated Luminescence dating of cave deposits at the Xiaogushan prehistoric site, northeastern China. Journal of Human Evolution, p.514-524.
- Leung P.L., Li M., Tang Q. and Zhang C.X., 2005. The preliminary application of OSL in comparison with TL for authentication of ancient Chinese bricks. Radiation Measurements; 40,p.1-4.
- Martini M., Sibilia E., 2001. Radiation in archaeometry: Archaeological Dating. Radiation Physics and Chemistry;61,p.241-246.
- Murray A.S., Wintle A.G., 2000. Quartz OSL: Effects of thermal treatment and their relevance to laboratory dating procedures. Radiation Measurements; 32,p.387-400.
- Nagabhushanam P., Reddy D.V. and Thomas P.J., 2008. Optically Stimulated Luminescence dating of heated materials using single-aliquot regenerative-dose procedure: a feasibility study using archaeological artifacts from India. Journal of Archaeological Science; 35, p.781-790.
- 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.
- Wintle, A. G., and Huntley, D. J. 1982. Thermoluminescence dating of sediments. Quaternary Science Reviews 1: 31-53.

- Pailoplee S., 2004. Thermoluminescence dating of quaternary sediments using total bleach and regeneration methods. Thesis (M.Sc.): Chulalongkorn University.
- Pailoplee et al. , 2004. Dating Ancient Remains by Thermoluminescence: Implications of Incompletely Burnt Bricks. Bulletin of Earth Sciences of Thailand.
- Prescott J.R., Robertson G.B.,1988. The Thai Ceramics Archaeological project: TL characteristic of the artifacts. Radiation Measurements;14,p.290-305.
- Preusser et. , 2008. Luminescence Dating: Basics, Method and applications. Elizeitalter and Greensward Quaternary Science Journal, p.95-149.
- Robert R.G., 1997. Luminescence Dating in Archaeology: from origins to optical. Radiation Measurements; 27, p.819-892.
- [http:// www.rses.anu.edu.au](http://www.rses.anu.edu.au)