



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การกำหนดอายุอิฐด้วยวิธีเปล่งแสงในบริเวณอุทยานประวัติศาสตร์

จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดกาญจนบุรี

โดย

นายพงษ์ภัทร์ ชื่นอร่ามรุ่งเรือง

เลขประจำตัวนิสิต 5832725823

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

การกำหนดอายุอิฐด้วยวิธีเปล่งแสงในบริเวณอุทยานประวัติศาสตร์
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดกาญจนบุรี

นายพงษ์ภัทร์ ชื่นอร่ามรุ่งเรือง

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561

LUMINESCENCE DATING OF BRICKS IN HISTORICAL PARK,
PRA NAKHON SRI AYUTTHAYA AND KANCHANABURI PROVINCE

Mr. Pongpat Chinaramrungruang

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science Program in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2018

หัวข้อโครงการ

การกำหนดอายุอิฐด้วยวิธีเปล่งแสงในบริเวณอุทยาน

ประวัติศาสตร์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดกาญจนบุรี

โดย

นายพงษ์ภัทร์ ชื่นอร่ามรุ่งเรือง

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้

วันที่ส่ง 13 พ.ค. 2562

วันที่อนุมัติ 13 พ.ค. 2562



(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

พงษ์ภัทร์ ชื่นอร่ามรุ่งเรือง : การกำหนดอายุอิฐด้วยวิธีเปล่งแสงในบริเวณอุทยานประวัติศาสตร์
จังหวัดพระนครศรีอยุธยาและจังหวัดกาญจนบุรี (LUMINESCENCE DATING OF BRICKS IN
HISTORICAL PARK, PRA NAKHON SRI AYUTTHAYA AND KANCHANABURI PROVINCE)

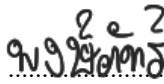

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้, 47 หน้า

จากการตรวจสอบที่ แหล่งโบราณคดีบ้านท่าโป๊ะที่จังหวัดกาญจนบุรีได้พบก้อนดินเผา และการศึกษาของ
กรมศิลปากรที่ 3 อุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา พบตัวอย่างที่เป็นอิฐก่อสร้างเป็นจำนวนมาก ซึ่ง
หลักฐานเหล่านี้ขาดการตีความอายุสัมพันธ์ ทั้งจากการไม่มีร่องรอยการบันทึกหลงเหลือและ ศิลปะโดยรอบก็
สูญหายหักพังไปมาก จึงเป็นประเด็นปัญหาทางด้านโบราณคดีที่ต้องการพิสูจน์ทราบถึงอายุของอิฐเพื่อมา อธิบาย
ถึงความแตกต่างทางกายภาพของอิฐ รวมถึงบอกสภาพแวดล้อมบรรพกาล ณ เวลาที่ก้อนดินเผานั้นถูกใช้งาน จาก
หลักการการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงซึ่งใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมตัวใน หลุมกักเก็บ
อิเล็กตรอนของโครงสร้างผลึกของแร่ ซึ่งเรียกว่า Equivalence dose (ED) กับอัตราการแผ่รังสีต่อปี ของธาตุ
กัมมันตรังสีในธรรมชาติ ซึ่งเรียกว่า Annual dose (AD) ประกอบกับการที่อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างทางธรณีวิทยาชนิด
หนึ่งที่สามารถพบแร่ควอตซ์ซึ่งเป็นแร่ที่มีคุณสมบัติในการเปล่งแสงเป็นองค์ประกอบ การหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง
จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาอายุอิฐได้ ผู้จัดทำโครงการจึงทำการศึกษาตัวอย่างอิฐและก้อนดินเผา ทั้งสิ้น
7 ตัวอย่าง โดยทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดลองหาค่า ED และ AD ด้วยเครื่อง TL/OSL reader และ Gamma-
ray spectrometer จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตามลำดับ จึงสามารถสรุปลักษณะสภาพแวดล้อมการตั้งถิ่น
ฐานของชุมชนโบราณบ้านท่าโป๊ะได้ และสนับสนุนสมมติฐานการเปลี่ยนรสนิยมใช้อิฐหนา 3 cm. ไปเป็น 6 cm.
ในสมัยอยุธยาตอนกลาง และตอนปลาย จากการศึกษาในพื้นที่ศึกษา วัดกระเจี พระราชวังโบราณฝ่ายใน และพระ
ที่นั่งสุริยาสน์อมรินทร์ ซึ่งถูกสร้างขึ้นในคนละยุคสมัยกัน

ภาควิชา: ธรณีวิทยา

สาขาวิชา: ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา: 2561

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาหลัก 

5832725823 : MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS : DATING / LUMINESCENCE / BRICK / BURNED CLAY / THA POH
 ARCHAEOLOGICAL SITE / WAT KRACHEE / INNER ROYAL PALACE / SURIYAS AMARIN PALACE
 PONGPAT CHINARAMRUNGRUANG : LUMINESCENCE DATING OF BRICKS IN
 HISTORICAL PARK, PRA NAKHON SRI AYUTTHAYA AND KANCHANABURI PROVINCE
 ADVISOR: ASSOC. PROFESSOR SANTI PAILOPLEE, Ph.D., 47 pp.

According to Fine Art Department of Thailand's report, Kanchanaburi burned clay from Tha Poh archaeological site and Bricks from Pra Nakhon Sri Ayutthaya historical park. This discovery causes an archaeological problem which is proofing the ages of the bricks and burned clay due to their non-record era and loss of index arts. In order to precisely explain the sequence of Ages. Luminescence dating is a method using the relationship between the number of electrons which are accumulated in the electron trap of the inorganic crystal structure from the mineral (Equivalence Dose: ED) and the annual radiation dose of the radioactive element in nature (Annual Dose: AD). Also, the brick is a geological material which probably contains quartz grains which can be applied luminescence dating method to date the bricks by its luminescence property. The gamma-ray spectrometer and TL/OSL reader at Chulalongkorn University were used to analyze AD and ED of 7 samples respectively. The results help to conclude the environment of the settlement at Kanchanaburi at that time, at Ayutthaya we can imply the results from Wat Krachee, Inner Royal Palace, Suriyas Amarin Palace were built by different used of bricks thickness.

Department: Geology

Field of Study: Geology

Academic Year: 2018

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการวิทยาศาสตร์นี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เกิดขึ้นได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจากผู้มี พระคุณหลากหลายท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุมัติการจัดทำโครงการและอนุมัติงบประมาณที่ใช้ในการจัดทำโครงการในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ และ รศ. ดร.สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้มอบโอกาส ๑ ในการทำโครงการที่มีความท้าทายฉบับนี้ อีกทั้งยังคอยให้คำปรึกษาและแนะนำการวางแผนการใช้เครื่องมือตลอดจนการคอยให้กำลังใจ ดูแลและเอาใจใส่ลูกศิษย์คนนี้เสมอมา

ขอขอบพระคุณ นายสุทธิภพ (พี่แบม) นักโบราณคดีชำนาญการ สังกัดกรมศิลปากรที่ 3 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่ได้ให้โอกาสในการทำโครงการในครั้งนี้ ได้เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการเก็บตัวอย่าง ได้ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างอิฐจากอุทยานประวัติศาสตร์ รวมไปถึงได้ให้ข้อมูลทางประวัติศาสตร์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมถึงคอยให้คำแนะนำและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นอยู่เสมอ

ขอขอบพระคุณ พี่บুম พี่มุก และ พี่แอร์ ที่ได้ให้ความรู้ทั้งทฤษฎีและเทคนิควิธีทำการทดลอง คอยช่วยเหลือและดูแลในขั้นตอนของการทำการทดลองและในขั้นตอนของการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมถึงคอยเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ บุคลากรทุกท่านในภาควิชาธรณีวิทยา ที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ คอยเป็นที่ปรึกษาและคอยดูแลเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาในการทำการทดลอง

ขอขอบพระคุณ รุ่นพี่ภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่าน โดยเฉพาะพี่ไวท์ใจ ที่ได้ให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ธรณีวิทยา รุ่นที่ 59 ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือและช่วยเป็นกำลังใจ คำว่ากล่าวตักเตือนให้ขยันทำงานเสมอมา

ขอขอบใจ รุ่นน้องภาควิชาธรณีวิทยาทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจที่ดี และยังช่วยออกภาคสนามอีกด้วย

และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณครอบครัวที่คอยสนับสนุนอยู่เบื้องหลัง คอยเป็นกำลังใจและคอยเป็นแรงผลักดันให้ผู้จัดทำโครงการมีความมุ่งมั่น ท้วมเท ทั้งร่างกายและแรงใจในการทำโครงการในครั้งนี้ จนประสบความสำเร็จและบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ไปได้ด้วยดี

นิยามศัพท์เฉพาะ

การเปล่งแสง

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พุทธศักราช 2554 ได้ระบุว่า การเปล่งแสง (Luminescence) หมายถึง การปลดปล่อยแสงออกจากสารหนึ่งโดยการกระตุ้น มี 2 ชนิด คือการเรืองแสงและการพรายแสง โดยที่ การเรืองแสง (Fluorescence) เป็นการเปล่งแสงที่เกิดขึ้นทันทีทันใดภายในเวลา 10-8 วินาที และหยุดทันทีเมื่อเลิกการกระตุ้น ส่วนการพรายแสง (Phosphorescence) เป็นการเปล่งแสงที่ปลดปล่อยแสงออกมาหลังจากได้รับการกระตุ้นแล้วนานกว่า 10-8 วินาที และจะเปล่งแสงต่อไปอีกนานแม้ว่าจะหยุดการกระตุ้นแล้ว

การหาอายุสัมพัทธ์ (Relative-age Dating)

การหาอายุสัมพัทธ์ เป็นการสังเกตรูปแบบและความสัมพันธ์ของหลักฐานที่ปรากฏ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาถึงลำดับการเกิดของหลักฐานแต่ละชิ้น โดยใช้ทฤษฎีประกอบการพิจารณาและทำการเทียบเคียงลำดับการเกิดจากหลักฐานแวดล้อมเพื่อบ่งบอกถึงอายุของหลักฐานนั้น ๆ ทั้งนี้ทฤษฎีในทางธรณีวิทยาที่ใช้ประกอบการพิจารณาลำดับการเกิดมีหลากหลายทฤษฎี เช่นการลำดับชั้นของหินตะกอน การตัดแทรกของผนังหิน ลักษณะการวางตัวและโครงสร้าง และการตัดผ่านของรอยเลื่อน เป็นต้น จากวิธีการหาอายุสัมพัทธ์ดังกล่าวจะสามารถบ่งบอกอายุได้โดยคร่าว่ว่าหลักฐานที่สนใจดังกล่าวเกิดขึ้นก่อนหรือหลังเมื่อเทียบกับหลักฐานแวดล้อมเพื่อใช้อธิบายถึงลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต ส่วนในทางโบราณคดีจะนิยมใช้การหาอายุสัมพัทธ์จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ประเภทหลักฐานที่ไม่เป็นลายลักษณ์อักษรเป็นหลัก เพราะเนื่องจากไม่มีการจดบันทึกเป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงอายุของโบราณสถาน หรือโบราณวัตถุชิ้น ๆ ทั้งนี้ใช้การสังเกตจากหลักฐานที่ปรากฏและพิจารณาด้วยทฤษฎีทางโบราณคดีซึ่งมีหลากหลายทฤษฎี เช่น วิธีการพิจารณารูปแบบ (Typology) โดยสังเกตจากรูปร่าง รูปทรง ลักษณะและปริมาณของหลักฐานเพื่อวิเคราะห์ถึงวิวัฒนาการการก่อสร้างและความนิยมในการใช้เครื่องมือเครื่องใช้ในแต่ละยุคสมัย หรือ การวิเคราะห์ชั้นดิน (Strati-graphical analysis) โดยสังเกตจกลำดับการก่อสร้าง การก่อรากฐานการขุดและการทับถม เพื่อวิเคราะห์ลำดับในการก่อสร้างของสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่ออธิบายลักษณะและความเป็นไปของการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ในอดีตที่ปรากฏให้เห็นเป็นหลักฐานและร่องรอยมาจนถึงปัจจุบัน

การหาอายุสัมบูรณ์ (Absolute-age Dating)

การหาอายุสัมบูรณ์ เป็นการหาอายุที่สามารถบ่งบอกค่าอายุเป็นตัวเลขระบุจำนวนปีได้ชัดเจนซึ่งส่วนใหญ่อาศัยทฤษฎีและหลักการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้อง ในทางธรณีวิทยามีการทดลองหลากหลายการทดลองที่สามารถหาอายุสัมบูรณ์ได้ เช่น การหาอายุจากตัวอย่างซากดึกดำบรรพ์ดัชนีที่ถูกเก็บรักษาไว้ในเนื้อหิน การหาอายุวงปีต้นไม้ การหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง และการหาอายุจากธาตุกัมมันตรังสี เป็นต้น ซึ่งการหาอายุในแต่ละวิธีนั้นมีข้อจำกัด ข้อดี และข้อเสียแตกต่างกันออกไป และแต่ละวิธีจะเหมาะสมกับตัวอย่างเฉพาะกลุ่มเท่านั้น ทั้งนี้การหาอายุจากธาตุกัมมันตรังสีนั้นได้รับความนิยมมาก เพราะเป็นการหาอายุจากตัวอย่างหินที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นธาตุกัมมันตรังสีซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ โดยใช้การวัดปริมาณธาตุกัมมันตรังสีที่มีในตัวอย่างและนำข้อมูลที่ได้ออกมาคำนวณอายุด้วยค่าครึ่งชีวิต ธาตุกัมมันตรังสีที่ใช้ในการหาอายุโดยวิธีนี้มีหลากหลายชนิด เช่น ธาตุคาร์บอน-14 ธาตุโพแทสเซียม-40 ธาตุเรเดียม-226 และธาตุยูเรเนียม-238 เป็นต้น จากหลักการทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาอายุของตัวอย่างด้านโบราณคดีจากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่พบเจอได้ โดยส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีหาอายุจากธาตุกัมมันตรังสีคาร์บอน-14 เพราะเป็นวิธีที่เหมาะสมกับสารประกอบอินทรีย์ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไป และเหมาะสมกับตัวอย่างที่มีอายุน้อยกว่า 50,000 ปี ซึ่งครอบคลุมในช่วงประวัติศาสตร์ที่มีการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์

Equivalence dose (ED)

Equivalence dose (ED) คือ ค่าปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมในตัวตัวอย่าง เนื่องจากกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) เป็นคุณสมบัติของธาตุบางชนิด ที่สามารถเปลี่ยนแปลงตัวเองเป็นธาตุชนิดอื่นที่มีความเสถียรมากกว่า ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะมีการปลดปล่อยรังสีออกมาด้วย โดยที่ปริมาณรังสีที่ปลดปล่อยมาจากธาตุกัมมันตรังสีซึ่งเป็นต้นกำเนิดของรังสี จะวัดออกมาในหน่วยเบคเคอเรล (Becquerel (Bq)) เมื่อรังสีที่ปลดปล่อยออกมามีค่าดังกล่าว เช่น การอาบรังสีให้กับตัวอย่างพลังงานที่ตัวอย่างได้รับการอาบรังสี เรียกว่า ปริมาณรังสีที่ได้รับ (radiation dose) มีหน่วยเป็น เกรย์ (Gray (Gy)) ซึ่งสำหรับการทดลองการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงนั้นจะสนใจปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมในตัวในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นหลุมที่เกิดจากการจัดเรียงของโครงสร้างผลึกที่ไม่สมบูรณ์ของแร่ในธรรมชาติ โดยการสะสมตัวของอิเล็กตรอนดังกล่าวเกิดขึ้นจากการผลักอิเล็กตรอนลงในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นพลังงานจากการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ เช่น ยูเรเนียม (U) ทอเรียม (Th) และโพแทสเซียม (K) เป็นต้น จึงเรียกปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมในตัวในโครงสร้างผลึกที่ไม่สมบูรณ์ของแร่ในธรรมชาติว่า Equivalence dose (ED) มีหน่วยเป็น เกรย์ (Gray (Gy))

Annual dose (AD)

Annual dose (AD) คือ ค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ เนื่องจากกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) เป็นปฏิกิริยาที่มีอัตราในการสลายตัวคงที่ ในการทดลองการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงจะสนใจอัตราการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของปริมาณกัมมันตรังสีที่ถูกปลดปล่อย อันได้แก่ รังสีแอลฟา รังสีเบตาและรังสีแกมมากับระยะเวลาในการปลดปล่อย 1 ปี ซึ่งเรียกว่า Annual dose มีหน่วยเป็น เกรย์ต่อปี (Gray/Year (Gy/Y))

อายุ (Age)

อายุที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์ในโครงการฉบับนี้มีหน่วยเป็น ปีก่อนปัจจุบัน ซึ่งเป็นอายุที่เทียบกับปี 2019 CE. แต่ในความเป็นจริงควรเทียบกับ year BP เพื่อให้ง่ายต่อการนำข้อมูลไปใช้เทียบอายุกับการหาอายุจากคาร์บอน-14

สารบัญ (Contents)

เรื่อง		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)		ข
กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)		ค
นิยามศัพท์เฉพาะ		ง
สารบัญ (Contents)		ช
สารบัญรูปภาพ (Figure Contents)		ฅ
สารบัญตาราง (Table Contents)		ฉ
บทที่ 1	บทนำ (Introduction)	
	1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	3
	1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
	1.4 พื้นที่ศึกษา	4
	1.5 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
บทที่ 2	วิธีการทดลอง (Methodology)	
	2.1 การเก็บตัวอย่าง	20
	2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง	25
บทที่ 3	ผลการทดลอง (Result)	
	3.1 ผลการทดลองร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง	31
	3.2 ผลการหาค่าอัตราการแผ่รังสีในธรรมชาติ (AD)	32
	3.3 ผลการหาปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ที่สะสมในตัวอย่าง (ED)	33
บทที่ 4	วิเคราะห์ผลการทดลอง (Discussion)	
	4.1 การคำนวณอายุจากผลการทดลอง	37
	4.2 การวิเคราะห์ผลอายุทางสถิติ	38
	4.3 การวิเคราะห์สรุปอายุที่ได้จากการทดลอง	40

เรื่อง		หน้า
บทที่ 5	สรุปผล (Conclusion)	
	5.1 สรุปผลอายุที่ได้จากการทดลอง	42
เอกสารอ้างอิง (Reference)		46

สารบัญรูปภาพ (Figure Contents)

		หน้า
รูป 1.1	หลุมขุดค้นที่พบ ก้อนดินเผาที่บ้านท่าโป๊ะ	1
รูป 1.2	หลุมขุดค้นที่ระดับความลึกสมมติ ต่างๆ (รายงานการขุดค้นบ้านท่าโป๊ะ, ม. ศิลปากร, 2561)	2
รูป 1.3	(ซ้าย) เจดีย์วัดกระเจี๊ว (ขวา) ฐานเจดีย์บริเวณที่เก็บตัวอย่าง AY-1	2
รูป 1.4	(ซ้าย) พื้นที่วังโบราณ (ขวา) กำแพงวังฝายใน ตัวอย่าง AY-3	3
รูป 1.5	เกาะเมืองอยุธยาพื้นที่ สีแดงเป็นตัวอย่าง AY-1,2 สีม่วง AY-3,4,6,7	4
รูป 1.6	แหล่งโบราณคดีบ้านโป๊ะ อยู่ติดกับพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ อ. ไทรโยค จ.กาญจนบุรี	5
รูป 1.7	(ซ้าย) ศิลปะอยุธยาตอนต้น[รวมถึงอุ้งทองโบราณ] (ขวา) ศิลปะอยุธยาตอนต้น-กลาง	6
รูป 1.8	ศิลปะอยุธยาตอนปลาย (หนังสือเรียน Archaeology of Thai)	7
รูป 1.9	แผนที่ธรณีวิทยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา [วงกลมสีแดงแสดงพื้นที่ศึกษา]	7
รูป 1.10	แหล่งโบราณคดีในปัจจุบันไม่ได้ยู่ติดแม่น้ำแควแล้ว	8
รูป 1.11	รูปแสดงลักษณะความผิดปกติแบบต่าง ๆ ที่สามารถเกิดขึ้นในโครงสร้างของแร่	9
รูป 1.12	แสดงการแผ่รังสีหลังได้รับพลังงาน	10
รูป 1.13	แสดงลักษณะการสะสมตัวและการถูกปลดปล่อยของอิเล็กตรอนในเหตุการณ์ต่าง ๆ	11
รูป 1.14	เครื่อง Thermoluminescence Detector (TLD), ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	15
รูป 1.15	Glow curve แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในตัวอย่าง (หน่วย count/sec) ในแต่ละระดับอุณหภูมิ ซึ่งวัดได้จากเครื่อง TLD และ (ข) Growth curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าปริมาณอิเล็กตรอน (หน่วย count/sec) ที่มีอยู่ในตัวอย่างและปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ทราบค่า (Gy)	16
รูป 2.1	บริเวณพื้นที่ขุดค้น TP.5 – 7[หลุมขุดที่พบก้อนดินเผา]	20
รูป 2.2	เจดีย์วัดกระเจี๊ว ตัวอย่าง AY-1,2	21
รูป 2.3	พระราชวังโบราณฝายใน กำแพงแบ่งฝายใน-กลางและกำแพงในฝายใน	22

รูป 2.4	พื้นที่พระราชวังโบราณ พระที่นั่งสุริยาสน์อมรินทร์ สร้างอยู่ด้านหลังวัดพระศรีสรรเพชญ์	23
รูป 2.4	แสดงลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ของอิฐที่สังเกตได้จากการตัดทดสอบ	26
รูป 2.5	ตารางแสดงภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองหาค่าร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง จากซ้ายมาขวา ตัวอย่างที่ 1-7	27
รูป 2.6	แสดงกระปุกพลาสติกที่บรรจุตัวอย่าง สำหรับการทดลองหาค่า AD	28
รูป 2.7	แสดงบรรยากาศและอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ทดลองหาค่า ED	29
รูป 2.8	แสดงเครื่อง TL/OSL Reader ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	30
รูป 3.1	แสดงผลที่ได้จากการทดลองหาค่า AD จากเครื่อง Gamma-ray Spectrometer	32
รูป 3.2	แสดงตัวอย่างของผลที่ได้จากการทดลองหาค่า ED จากเครื่อง TL/OSL Reader ของตัวอย่าง AY-7 aliquot ที่ 1 (ตัวอย่างย่อย)	33
รูป 3.3	แสดง Histogram การกระจายตัวของค่า ED ซึ่งจะนำมาทำกระบวนการทางสถิติ Normal distribution หรือ Minimum age ตามสมการ [ค่า error ไม่ควรเกิน 15%]	34
รูป 4.1	ตาราง Excel คำนวณทางสถิติ	40
รูป 4.2	แสดงสรุปผลอายุทางสถิติของตัวอย่าง 6 ตัวจากอุทยานประวัติศาสตร์ พระนครศรีอยุธยา	40
รูป 4.3	แสดงยุคสมัยการวิวัฒนาการของมนุษย์ แทนช่วงอายุที่หาได้จาก [PK-5]	41
รูป 5.1	รายงานความคืบหน้า งานโบราณคดีวัดกระเจี สำนักศิลปากรที่ 3 พระนครศรีอยุธยา	43
รูป 5.2	(ซ้าย)สภาพเจดีย์ปัจจุบัน (ขวา)สภาพตอนสมบูรณ์	43
รูป 5.3	พื้นที่ พระราชวังโบราณ ฝายใน	44
รูป 5.4	พื้นที่บริเวณพระที่นั่งสุริยาสน์อมรินทร์	44
รูป 5.5	(ซ้าย) สภาพแวดล้อมการตั้งถิ่นฐานยุคหินใหม่ (ขวา) ที่ตั้งบ้านท่าโปะห่างจากแม่น้ำแคว 2 km.	45
รูป 5.6	Meander-Scar โบราณ มีแหล่งโบราณคดีบ้านเก่าและบ้านท่าโปะอยู่	45

สารบัญตาราง (Table Contents)

		หน้า
ตาราง 1.1	ตารางแสดงประสิทธิภาพในการประยุกต์วิธีการหาอายุของตัวอย่างทางธรณีวิทยาและโบราณคดี ชนิดต่าง ๆ โดยปริมาณของสัญลักษณ์ * จะแปรผันตามประสิทธิภาพ	12
ตาราง 1.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีกับปริมาณรังสีชนิดต่าง ๆ ที่ธาตุกัมมันตรังสีแต่ละชนิดปลดปล่อยออกมา	13
ตาราง 2.1	ตารางแสดงข้อมูลและภาพของตัวอย่าง	25
ตาราง 3.1	แสดงผลการหาค่าร้อยละของปริมาณน้ำหรือ water content (W) ในแต่ละตัวอย่าง	31
ตาราง 3.2	แสดงผลการหาค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปีหรือ Annual Dose (AD)	33
ตาราง 3.3	แสดงผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ AY-7	34
ตาราง 3.4	แสดงผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ AY, PK 1-6 [7 แสดงแยกไปแล้ว]	36
ตาราง 4.1	ตารางแสดงผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอิฐทั้ง 7 ตัวอย่าง	37

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากแหล่งโบราณคดีบ้านท่าโป๊ะที่จังหวัดกาญจนบุรี เป็นแหล่งขุดค้นใหม่ ที่ถูกพบในภายหลัง แหล่งโบราณคดีบ้านเก่าในบริเวณเดียวกัน ซึ่งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของมนุษย์สมัยก่อนประวัติศาสตร์ตั้งแต่ยุคหินเก่าและพัฒนาสืบเนื่องมาจนมีการตั้งถิ่นฐานถาวรในที่ราบริมน้ำในยุคหินใหม่ โดยที่บ้านท่าโป๊ะ หายอายุได้ตั้งแต่สมัยหินเก่าตอนปลายไปจนถึงสมัยหินกลางตอนปลาย จากการเปรียบเทียบรูปแบบเครื่องมือหินกะเทาะ ในส่วนของหลักฐานทางโบราณคดีประเภทภาชนะดินเผา มักพบเป็นเนื้อดินมีรูปทรงและการตกแต่งที่หลากหลาย และถูกหาอายุด้วยวิธีคาร์บอน-14 จึงมีการเริ่มนำการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงมาใช้ควบคู่ไปด้วยเพื่อ วิเคราะห์ข้อมูลให้ถูกต้องมากขึ้นไปในอนาคต

แผนผังที่ 10 แผนผังหลุมขุดค้นที่ 4 ด้านแปลน



รูปที่ 1.1 หลุมขุดค้นที่พบ ก้อนดินเผา ที่บ้านท่าโป๊ะ (รายงานการขุดค้นบ้านท่าโป๊ะ, ม.ศิลปากร, 2561)



ภาพที่ 36 แสดงพื้นที่หลุมขุดค้น TP.4 ในระดับชั้นดินสมมติที่ 13



ภาพที่ 37 แสดงพื้นที่หลุมขุดค้น TP.4 ในระดับชั้นดินสมมติที่ 14

รูปที่ 1.2 หลุมขุดค้นที่ระดับความลึกสมมติ ต่างๆ (รายงานการขุดค้นบ้านท่าโป๊ะ, ม.ศิลปากร, 2561)

จากการศึกษาของกรมศิลปากรที่ 3 อุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา พบว่าอิฐที่ใช้สร้างวัด กระจี นั้น เป็นอิฐที่มีความหนา 3 ซม. ซึ่งจากข้อมูลทางประวัติศาสตร์บ่งบอกว่าเป็นอิฐที่มีอายุเก่าแก่ถูกสร้างขึ้นเป็นกลุ่มแรกตั้งแต่ก่อตั้งกรุงศรีอยุธยาและยังไม่มี การหาอายุสัมบูรณ์ (Absolute-age Dating) ที่แน่นอน รวมไปถึงบริเวณวังโบราณที่เป็นฐานอยู่ด้านล่าง ถูกขุดค้นพบขึ้นมาใหม่ ซึ่งมีความหนา 6 ซม. เป็นอิฐกลุ่มที่ถูกสร้างหลังจากที่วัด กระจี คาดว่าถูกใช้แบ่งเขตระหว่างบริเวณวังภายในและฝายนอก โดยที่บริเวณนี้ก็ยังไม่มีการหาอายุสัมบูรณ์ (Absolute-age Dating)



รูป 1.3 (ซ้าย) เจดีย์วัดกระจี (ขวา) ฐานเจดีย์บริเวณที่เก็บตัวอย่าง AY-1



รูป 1.4 (ซ้าย) พื้นที่วังโบราณ (ขวา) กำแพงวังฝ่ายใน ตัวอย่าง AY-3

จากงานวิจัยของ ธนีสรณ์ พุทธกาล (2560) กล่าวว่า การหาอายุอิฐในทางโบราณคดีแต่เดิมนั้นใช้การหาอายุสัมพัทธ์ (Relative-age Dating) ซึ่งไม่สามารถหาอายุเป็นตัวเลขที่แน่นอนและไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบช่วงเวลาอย่างเป็นสากล ได้เหมือนกับการหาอายุสัมบูรณ์ (Absolute-age Dating) และในช่วงประมาณ 20 ปี ที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์ได้คิดค้นและพัฒนาวิธีการกำหนดอายุของอิฐจากโบราณสถานที่สำคัญต่างๆ โดยใช้การหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง (ยกตัวอย่างเช่น ธนีสรณ์ พุทธกาล, 2560, G.T.H.Jenkins et al, 2018 และ Pailoplee et al., 2016) ซึ่งเป็นวิธีการหาอายุแบบหนึ่งนอกจากวิธีคาร์บอน-14 ที่จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการหาอายุ จากประเด็นปัญหาดังกล่าวนี้ผู้ที่จัดทำโครงการจึงมีความสนใจ ที่จะทำการทดลองเพื่อหาอายุของอิฐด้วยวิธีเปล่งแสง และนำผลการทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์เทียบกับข้อมูลทางประวัติศาสตร์เพื่อการสรุปผล และอธิบาย ถึงการสร้างวัดและวังโบราณรวมถึงการใช้ก้อนดินเผาของมนุษย์ยุคหินใหม่ ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อหาอายุอิฐจากกำแพงวังเก่าและวัดกระเจี ที่อุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา และอายุก้อนดินเผาจากหลุมขุดค้นแหล่งโบราณคดีบ้านท่าไเปะ จังหวัดกาญจนบุรี

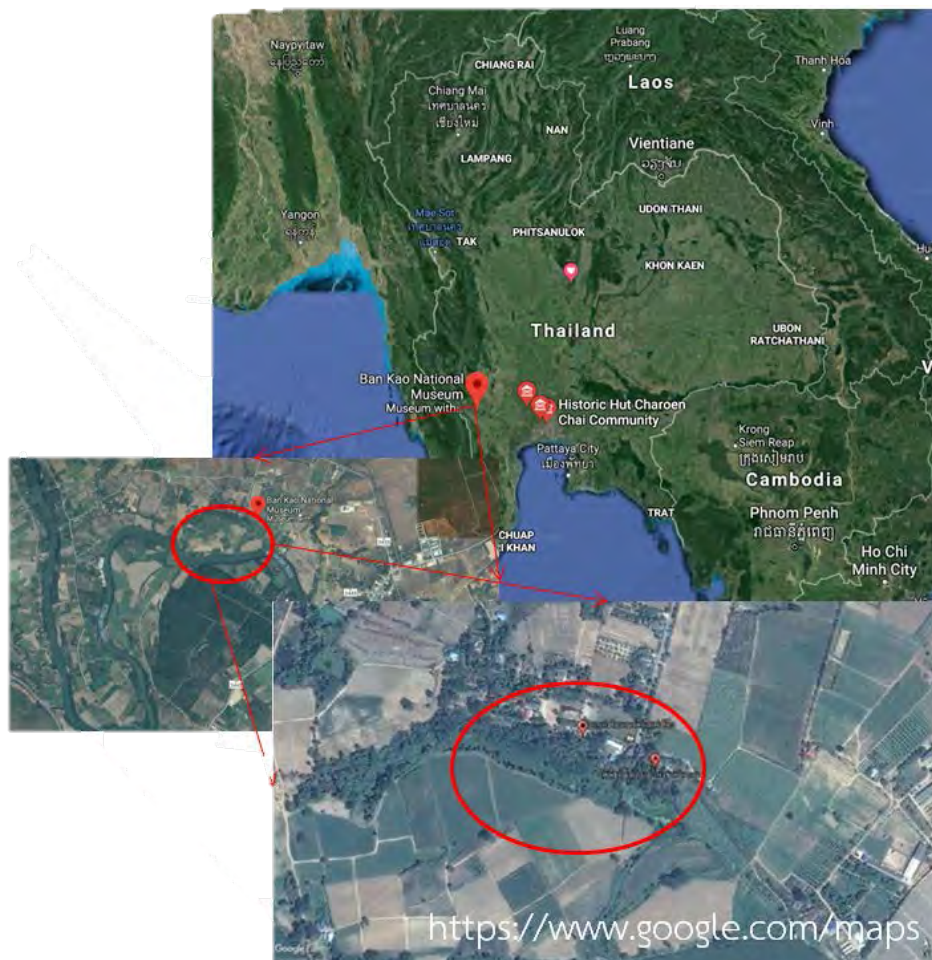
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

มีความรู้ความเข้าใจในหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับการหาอายุโดยวิธีเปล่งแสงรวมไปถึงสามารถเตรียมตัวอย่างแร่สำหรับการหาอายุวัสดุประเภทอิฐ สามารถใช้เครื่องมือทำการทดลองและสามารถวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองการหาอายุโดยวิธีเปล่งแสงได้ นอกจากนี้ผลที่ได้จากการทดลองดังกล่าวเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถนำไปใช้ประกอบกับข้อมูลทางประวัติศาสตร์เพื่อการอธิบายถึงสภาพแวดล้อมการตั้งถิ่นฐานของชุมชนโบราณบ้านท่าโป๊ะ และสอดคล้องกับสมมติฐานรูปแบบการใช้งานอิฐของอยุธยาในแต่ละยุคสมัย

1.4 พื้นที่ศึกษา



รูป 1.5 เกาะเมืองอยุธยาพื้นที่ สีแดงเป็นตัวอย่าง AY-1,2 สีม่วง AY-3,4,6,7



รูป 1. 6 แหล่งโบราณคดีบ้านโป๊ะ อยู่ติดกับพิพิธภัณฑสถานเก่า อ.ไทรโยค จ.กาญจนบุรี

ในส่วนของอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยาที่มีความเป็นมาอย่างยาวนาน จึงจะขอเจาะประเด็นไปที่แต่ละพื้นที่ศึกษาเลย วัดกระเจี๊ว จากทรงเจดีย์ที่ยังเหลือก่อนการบูรณะนั้นคาดว่าเป็นทรงลังกา ได้รับอิทธิพลมาจากศาสนาพุทธนิกายเถรวาทต้นกำเนิดมาจากประเทศศรีลังกา แต่คาดว่าอยุธยาสมัยนั้น (ตอนต้น) รับอิทธิพลมาจากทางสุโขทัยที่กำลังรุ่งเรืองอยู่ในขณะนั้น จึงคาดการณ์ว่าเป็นศิลปะสมัยอยุธยาตอนต้นนั่นเอง ถัดมาเป็นพระราชวังโบราณ ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในสมัยพระบรมไตรโลกนาถ เป็นพระมหากษัตริย์ไทยรัชกาลที่ 8 แห่งอาณาจักรอยุธยา สมัยราชวงศ์สุพรรณภูมิ ในสมัยของท่านมีเหตุการณ์เกิดขึ้นมากมายทั้งการเปลี่ยนแปลงระบบการเมืองการราชการเป็น

- หัวเมืองชั้นใน เช่น เมืองราชบุรี นครสวรรค์ นครนายก เมืองฉะเชิงเทรา และปราจีนบุรี เป็นต้น จัดเป็นเมืองจัตวา พระมหากษัตริย์ทรงแต่งตั้งผู้ที่เหมาะสมไปปกครอง แต่สิทธิอำนาจทั้งหมดยังขึ้นอยู่กับองค์พระมหากษัตริย์

- หัวเมืองชั้นนอก หรือ เมืองพระยามหานคร มีการกำหนดเป็นเมืองเอก โท หรือตรี ตามลำดับความสำคัญ เมืองใหญ่อาจมีเมืองเล็กขึ้นอยู่กับด้วย พระมหากษัตริย์ทรงแต่งตั้งเจ้านายหรือขุนนางชั้นผู้ใหญ่ไปปกครอง มีการจัดการปกครองเหมือนกับราชธานี คือ มีการมการตำแหน่งพลและกรมการตำแหน่งมหาดไทย และพนักงานเมือง วัง คลัง นา[6] เช่น เมืองพิษณุโลก สุโขทัย นครราชสีมา และทวาย จัดเป็น เมือง เอก โท ตรี พระมหากษัตริย์ทรงแต่งตั้งพระราชวงศ์หรือข้าราชการชั้นผู้ใหญ่ไปเป็นเจ้าของมีอำนาจบังคับบัญชาเป็นสิทธิขาด เป็นผู้แทนองค์พระมหากษัตริย์ มีการมการปกครองในตำแหน่ง เมือง วัง คลัง นา เช่นเดียวกับของทางราชธานี

- เมืองประเทศราช คงให้เจ้าเมืองปกครองกันเอง เพียงแต่ส่งเครื่องราชบรรณาการมาถวายตามกำหนด และเกณฑ์ผู้คนและทรัพย์สินเพื่อช่วยราชการสงคราม

สำหรับการปกครองส่วนท้องถิ่น ให้จัดเป็นหมู่บ้าน มีผู้ใหญ่บ้านปกครองดูแล ตำบล มีกำนันเป็นหัวหน้าแขวง มีหมื่นแขวงเป็นหัวหน้า พระองค์ยังทรงแบ่งการปกครองในภูมิภาค ออกเป็นหมู่บ้าน ตำบล แขวง และเมือง ซึ่งในสมัยพระองค์นี้เองนักโบราณคดีก็ได้จัดให้เป็น สมัยอยุธยาตอนกลาง



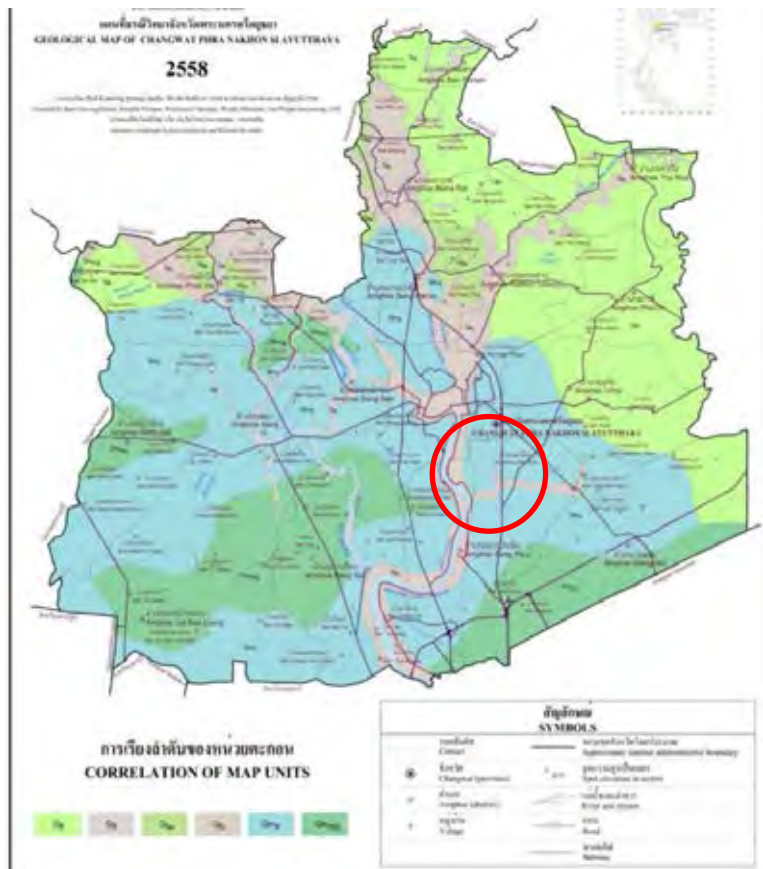
รูป 1.7 (ซ้าย) ศิลปะอยุธยาตอนต้น[รวมถึงอุทงโโบราณ] (ขวา) ศิลปะอยุธยาตอนต้น-กลาง

ต่อมาเป็น พระที่นั่งสุริยาศน์อมรินทร์ถูกสร้างขึ้นในสมัยของสมเด็จพระเจ้าปราสาททอง ผู้ก่อตั้งราชวงศ์ปราสาททอง ท่านมีพื้นเพเป็นขุนนางมาก่อน กษัตริย์องค์ต่อมาคือ สมเด็จพระนารายณ์มหาราช ยุคสมัยของท่านถือว่าเป็นยุคทองของศิลปะเลยทีเดียว เกิดสถาปัตยกรรมแปลกใหม่ขึ้นมามากมาย ทำให้มีการมองว่าเป็นจุดเริ่มต้นของศิลปะแบบใหม่ หรือ ศิลปะอยุธยายุคปลายนั่นเอง



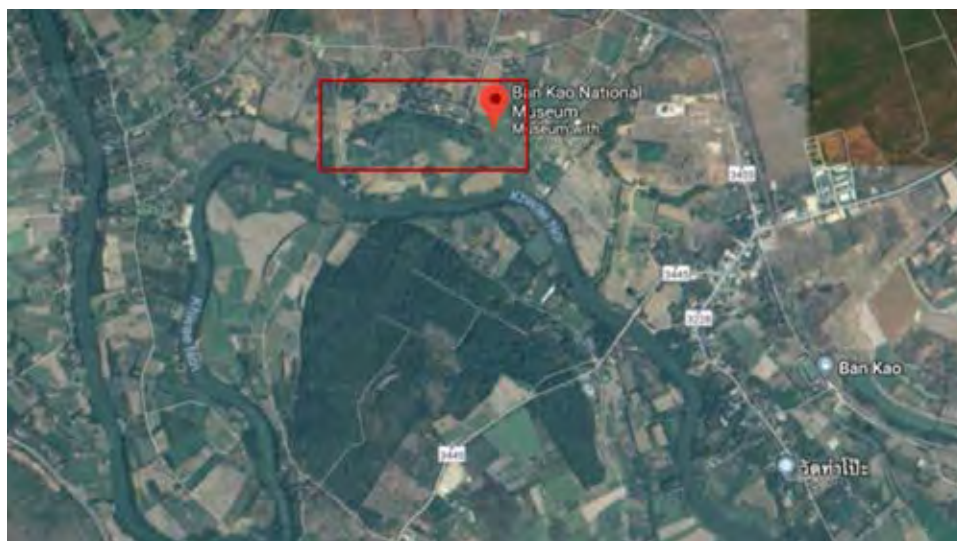
รูป 1.8 ศิลปะอยุธยาตอนปลาย (หนังสือเรียน Archaeology of Thai)

ข้อมูลทางธรณีวิทยา : ทั้ง 2 พื้นที่นั้นตั้งอยู่บนตะกอนยุคปัจจุบัน Quaternary เกิดการสะสมตัวมาไม่นานดินชั้นบนมีแร่ธาตุอุดมสมบูรณ์ จึงนิยมเพาะปลูกรวมถึงนำมาทำเครื่องปั้นดินเผาและ อิฐด้วย



รูป 1.9 แผนที่ธรณีวิทยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา [วงกลมแดงแสดงพื้นที่ศึกษา] (www.dmr.go.th)

โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำแควของกาญจนบุรี เป็นดินแดนอันอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การอยู่อาศัยของมนุษย์ยุคโบราณมาก แต่ในขณะที่แหล่งโบราณคดีที่ถูกขุดพบในปัจจุบันนั้นอยู่ห่างจากแม่น้ำออกมาถึงเกือบ 2 กิโลเมตร และประกอบกับการสังเกตจากภาพถ่ายทางอากาศทำให้เกิดสมมติฐานต่อการเปลี่ยนแปลงของแม่น้ำแควได้ จึงเป็นการนำข้อมูลที่ได้มาตีความทั้งทางประวัติศาสตร์การตั้งถิ่นฐานและสภาพแม่น้ำบรรพกาลไปพร้อมๆกัน



รูป 1.10 แหล่งโบราณคดีในปัจจุบันไม่ได้อยู่ติดแม่น้ำแคว

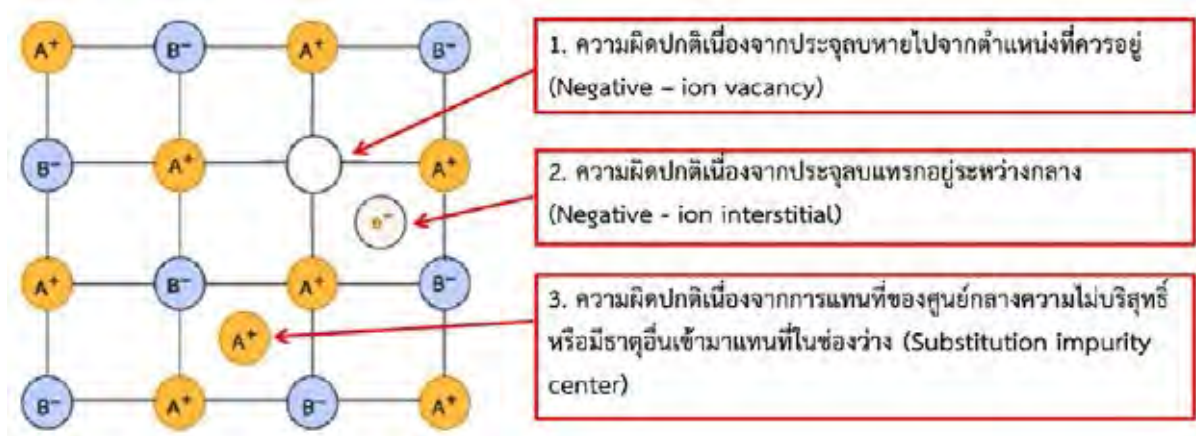
1.5 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง

Aitken (1985) ได้เสนอหลักการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงขึ้นโดยอาศัยหลักการของผลึกแร่ที่เกิดจากการทำพันธะไอออนิกของธาตุองค์ประกอบซึ่งเป็นพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างธาตุที่มีประจุบวกและธาตุที่มีประจุลบ โดยในเชิงทฤษฎีการทำพันธะไอออนิกจะประกอบด้วยธาตุที่มีประจุบวกและธาตุที่มีประจุลบในปริมาณที่เท่ากันเพื่อความสมดุลและควมมีเสถียรภาพ แต่การจัดเรียงของอะตอมของธาตุในธรรมชาติสามารถเกิดข้อบกพร่องขึ้นได้ กล่าวคือการจัดเรียงอะตอมของธาตุในธรรมชาติอาจเกิดความไม่เท่ากันของปริมาณธาตุที่มีประจุบวกและธาตุที่มีประจุลบ ซึ่งความบกพร่องของผลึกของแร่ในธรรมชาตินี้มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย อาทิ ความเร็วในการเย็นตัวของแร่ซึ่งส่งผลให้การจัดเรียงอะตอมเกิดความไม่เป็นระเบียบเรียบร้อย การแทนที่ในโครงสร้างแร่โดยไอออนของธาตุมลทินจากสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติที่มีธาตุหลากหลายชนิด และการได้รับอิทธิพลจากธาตุกัมมันตรังสีซึ่งปลดปล่อยพลังงานอันมีผลกระทบต่อการจัดเรียงอะตอม เป็นต้นส่งผลให้ธาตุที่เป็นประจุบวกและธาตุที่เป็นประจุ

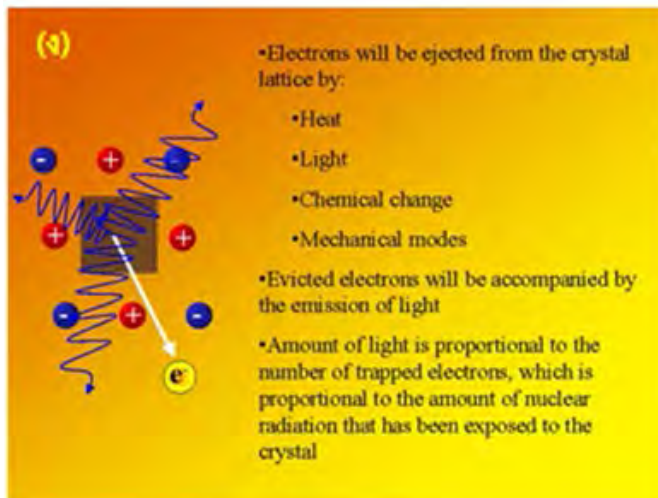
ลบในผลึกแร่ไม่สามารถที่จะจัดเรียงได้อย่างปกติหรือสามารถหลุดออกไปได้จากผลึกแร่ จากปัจจัยเหล่านี้ทำให้โครงร่างผลึก (Lattice) ของแร่ในธรรมชาติเกิดความบกพร่องเกิดเป็นความผิดปกติ 3 รูปแบบ ที่กลายเป็นหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน (Electron traps) ภายในโครงสร้างแร่ อันได้แก่

- 1) ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบหายไปจากตำแหน่งที่ควรอยู่ (Negative-ion vacancy)
- 2) ความผิดปกติเนื่องจากประจุลบแทรกอยู่ระหว่างกลาง (Negative-ion interstitial)
- 3) ความผิดปกติเนื่องจากการแทนที่ของศูนย์กลางความไม่บริสุทธิ์หรือมีธาตุอื่นเข้ามาแทนที่ในช่องว่าง (Substitution impurity center)



รูป 1.11 รูปแสดงลักษณะความผิดปกติแบบต่าง ๆ ที่สามารถเกิดขึ้นในโครงผลึกของแร่

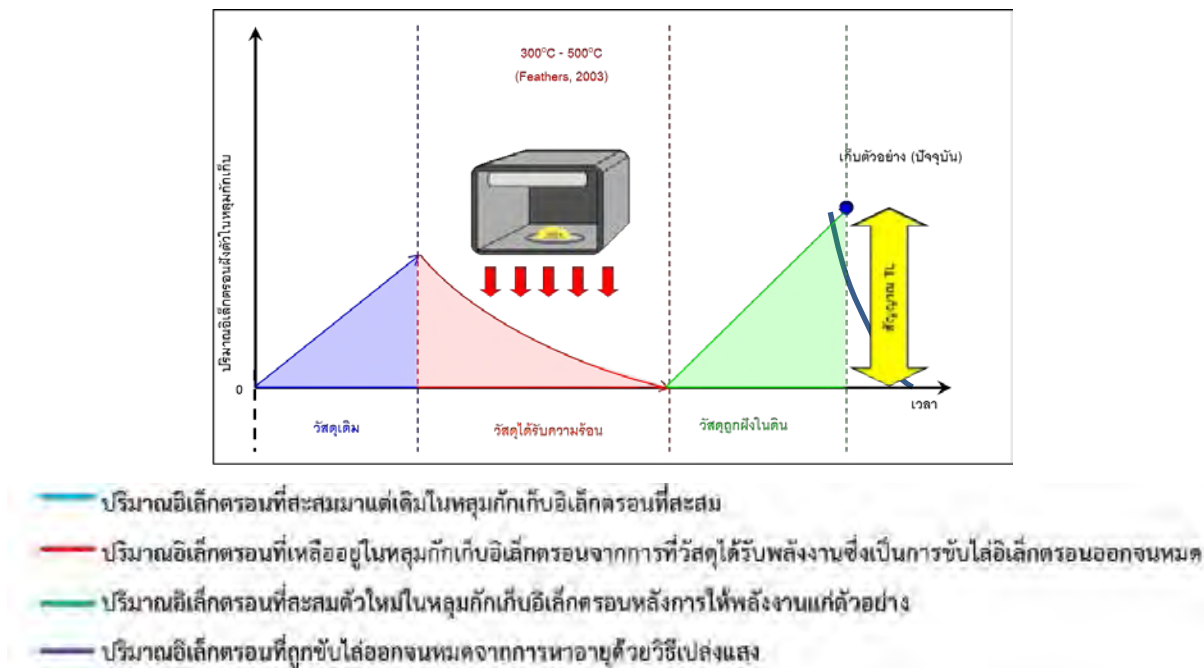
เมื่อได้รับการกระตุ้นจากพลังงานต่างๆ ซึ่งถ่ายทอดจากสิ่งรอบข้าง เช่น พลังงานจากการแผ่รังสีนิวเคลียร์ของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ เช่น ยูเรเนียม ทอเรียม และ โปแตสเซียม (K, Th, U) โดยที่ประจุอิเล็กตรอนเหล่านี้ สามารถหลุดออกมาได้ตลอดเวลาเมื่อมีการกระตุ้นอีกครั้งด้วยพลังงานรูปต่าง ๆ เช่น ความร้อน (Thermal) หรือแสง (Optical)



รูป 1.12 แสดงการแผ่รังสีหลังได้รับพลังงาน (www.rses.anu.edu.au)

จากหลักการนี้ นักวิทยาศาสตร์จึงนำมาประยุกต์ใช้ในการหาอายุ โดยทำการทดลองให้พลังงานแก่อิเล็กตรอน ซึ่งการให้พลังงานแก่อิเล็กตรอนนั้นมี 2 รูปแบบ คือกระตุ้นด้วยความร้อนซึ่งเรียกว่า วิธีเปล่งแสงความร้อน (Thermoluminescence (TL)) ซึ่งคิดค้นครั้งแรกโดย Aitken(1985) และกระตุ้นด้วยแสง ซึ่งเรียกว่า วิธีเปล่งแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง (Optically stimulated luminescence: OSL) ซึ่งคิดค้นครั้งแรกโดย Huntley et al. (1985) จากการให้พลังงานดังกล่าวทำให้อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้นและหลุดออกจากหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานอื่นที่สูงกว่า ทั้งนี้เพื่อจะกลับไปอยู่ในสถานะเสถียร (Ground State) อิเล็กตรอนที่หลุดออกดังกล่าวจึงต้องคายพลังงานออกมา จึงเกิดปรากฏการเปล่งแสง (Luminesces) ขึ้น โดยจะเรียกค่าที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 รูปแบบนี้ว่า Equivalence dose (ED)

นอกจากนี้ Aitken (1985) ยังทำการทดลองหาความสามารถของพลังงานที่ปลดปล่อยโดยธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติที่สามารถลักให้อิเล็กตรอนเข้าไปสะสมตัวในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนเป็นเวลา 1 ปี เรียกค่าที่ได้จากการทดลองนี้ว่า Annual dose (AD) จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ทั้ง ED และ AD มาหาความสัมพันธ์ระหว่างกันและเกิดเป็นการคำนวณเพื่อหาอายุโดยวิธีเปล่งแสงขึ้น โดยอายุที่ได้จากการทดลองโดยวิธีนี้จะเป็อายุที่นับตั้งแต่วัตถุนั้นได้รับพลังงานเป็นครั้งสุดท้าย ซึ่งเป็นเวลาเดียวกันกับที่ตะกอนได้รับแสงเป็นครั้งสุดท้ายก่อนที่จะสะสมตัวโดยมีตะกอนอื่นมาปิดทับ และเป็นเวลาเดียวกันกับที่เครื่องปั้นดินเผาผ่านกระบวนการเผาขณะผลิต (Martini and Sibilis, 2001)



รูป 1.13 แสดงลักษณะการสะสมตัวและการถูกปลดปล่อยของอิเล็กตรอนในเหตุการณ์ต่าง ๆ

(ปรับปรุงจาก Feathers, 2003)

จากทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวอย่างที่ใช้ในการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง คือ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนั้นจะต้องมีองค์ประกอบเป็นแร่ที่มีคุณสมบัติในการ เปล่งแสง (Aitken, 1985) ซึ่งแร่ที่มีความเหมาะสมและใช้กันอย่างแพร่หลายในการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงคือ แร่ควอตซ์ (Quartz) และแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) (Feathers, 2003) รวมไปถึง ตัวอย่างนั้นจะต้องผ่านการได้รับพลังงานเพื่อขับไล่อิเล็กตรอนไปจนหมดมาก่อนจึงจะสามารถนำมา ทำการทดลองเพื่อวัดปริมาณอิเล็กตรอนที่เกิดการรวมกันอีกครั้ง (recombination) ได้ กล่าวคือ การหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงนั้นเหมาะสมกับตัวอย่างที่เคยได้รับแสง หรือเคยได้รับความร้อนมาก่อน เช่น ตัวอย่างประเภทตะกอนที่มีการได้รับแสงขณะสะสมตัวก่อนที่จะมีตะกอนอื่นปิดทับ และวัตถุจำพวก เครื่องปั้นดินเผา อาทิ อิฐ ถ้วยชาม กระเบื้อง เป็นต้น ซึ่งการได้รับพลังงานในกระบวนการ เผาเครื่องปั้นดินเผาที่เหมาะสมต่อการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงนั้นวัตถุดังกล่าวจะต้องได้รับความร้อนขณะเผาที่อุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียสขึ้นไป (Feathers, 2002) จากคุณสมบัติของตัวอย่างที่เหมาะสมกับการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงข้างต้น ทำให้ เกิดตารางเสนอตารางแสดงประสิทธิภาพของวิธีการหาอายุในหลากหลายวิธีที่เหมาะสมกับตัวอย่างชนิดต่าง ๆ (ตารางที่ 1.1) ฉะนั้นแล้วการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการทดลองเพื่อการหาอายุ อิฐได้ (ธนีสรรณ์ พุทธกาล, 2561)

วิธีการกำหนดอายุ	วัสดุ	หิน	กระดูก	งาช้าง	ฟัน	ปะการัง	ตะกอนดิน	ตะกอนดิน	ออปติคัล	วัตถุเผาไฟ	Burn Flint	หม้อ ดินเผา
Amino Acid Racemisation			*	*	**							
Electron Spin Resonance				**	**	***				**	**	
Luminescence (TL, OSL)							***		*	***		***
Fission Tracks								***	***			
U-series		**	**	*	***	*			***			
K/Ar, ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar									***			
Radiocarbon	***	***	*	***	**	**						**
Dendrochronology	***											

ตาราง 1.1 ตารางแสดงประสิทธิภาพในการประยุกต์วิธีการหาอายุของตัวอย่างทางธรณีวิทยาและโบราณคดีชนิดต่าง ๆ โดยปริมาณของสัญลักษณ์ * จะแปรผันตามประสิทธิภาพ (ดัดแปลงจาก สันติ ภัยหลบลี้, 2545)

สำหรับโครงการฉบับนี้จะศึกษาเฉพาะแร่ควอตซ์ เนื่องจากแร่ควอตซ์เป็นแร่ที่มีความเสถียรที่สภาวะแวดล้อมบนพื้นผิวโลก จึงทำให้พบแร่ควอตซ์ในตัวอย่างได้ง่าย ประกอบกับวิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อสกัดแร่ควอตซ์นั้นสามารถทำได้ง่าย นอกจากนี้ด้วยข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองของทางภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเหมาะสมสำหรับการทดลองเพื่อสกัดแร่ควอตซ์เท่านั้น (ธนีสรณ์ พุทธกาล, 2561) จากเหตุผลดังกล่าวผู้จัดทำโครงการจึงเลือกใช้แร่ ควอตซ์เพื่อทำการการศึกษาในครั้งนี้

การคำนวณอัตราการแผ่รังสีต่อปี (Annual dose: AD)

ภายหลังการทดลองวัดหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติที่มีอยู่ในตัวอย่าง ได้แก่ โพแทสเซียม (K) ยูเรเนียม (U) และทอเรียม (Th) โดยใช้เครื่อง Gamma Spectrometer ซึ่งค่าที่ได้จากเครื่องมือจะอยู่ในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่นับได้กับพลังงานของรังสีแกมมา จึงต้องทำการแปลผลข้อมูลจากกราฟให้เป็นปริมาณของธาตุยูเรเนียมและทอเรียม ในหน่วย ppm และปริมาณของโพแทสเซียมออกไซด์ในหน่วยร้อยละ (wt%) จากนั้นทำการแปลงค่าปริมาณความเข้มข้นที่วัดได้ให้เป็นหน่วยเกรย์ (Gy) โดยใช้ตารางความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุกัมมันตรังสี (หน่วย ppm หรือ %) และอัตราการแผ่รังสีในหน่วยเกรย์ต่อปี (Gy/Y) ของ Bell (1979)

ธาตุกัมมันตรังสี	ความเข้มข้น	ปริมาณ Radionuclide ($\mu\text{Gy/Y}$)		
		รังสีแอลฟา	รังสีเบตา	รังสีแกมมา
ทอเรียม (Th)				
- No thoron loss	1 ppm	738	28.6	51.4
- 100% thoron loss		309	10.3	20.8
ยูเรเนียม (U)				
- No radon loss	1 ppm	2783	146.2	114.8
- 100% radon loss		1262	60.9	5.6
โพแทสเซียม (K)	1 %	-	830.3	249.2
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	1%	-	689.3	206.9
รูบิเดียม (Rb)	100 ppm	-	46.4	-

ตาราง 1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีกับปริมาณรังสีชนิดต่าง ๆ ที่ธาตุกัมมันตรังสีแต่ละชนิดปลดปล่อยออกมา (Bell, 1979)

นอกจากนี้ในการคำนวณหา AD นั้นจะต้องใช้ค่าร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง (W) มาประกอบด้วย เนื่องจากปริมาณน้ำในตัวอย่างนั้นจะลดทอนประสิทธิภาพในการทะลุทะลวงของรังสีชนิดต่าง ๆ ลง โดยปริมาณน้ำในตัวอย่างจะลดทอนประสิทธิภาพของรังสีแอลฟา 50% ลดทอนประสิทธิภาพของรังสีเบตา 25% และลดทอนประสิทธิภาพของรังสีแกมมา 14% (Aitken, 1990) นอกจากปริมาณน้ำในตัวอย่างที่เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการลดทอนประสิทธิภาพของรังสีแต่ละชนิดแล้ว ขนาดตะกอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการคำนวณค่า AD เพราะคุณสมบัติในการทะลุทะลวงเข้าไปในเม็ดตะกอนที่ไม่เท่ากันของรังสีแต่ละชนิด โดยที่รังสีแกมมามีอำนาจทะลุทะลวงมากที่สุด รองลงมาคือรังสีเบตาและรังสีแอลฟามีอำนาจทะลุทะลวงน้อยที่สุด Aitken (1985) จึงเสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะกอนกับอัตราการลดทอนของรังสีแอลฟาและรังสีเบตา (ค่าของ a และ b) เพื่อใช้เทียบประกอบในการคำนวณ

จากปัจจัยทั้งหมดข้างต้นจึงใช้สูตรในการคำนวณหาค่า AD ของ Aitken (1985) ที่ว่า

$$AD = D\alpha + D\beta + D\gamma + DC \quad \text{โดยที่}$$

AD คือ ค่า Annual Dose ทั้งหมด มีหน่วยเป็นเกรย์ (Gy)

$D\alpha$ คือ ค่า Annual Dose จากรังสีแอลฟามีค่าเท่ากับ $a(2783\text{U}+783\text{Th})/1+1.50W$

$D\beta$ คือ ค่า Annual Dose จากรังสีเบตามีค่าเท่ากับ $b(146.2U+28.6Th+689.3K)/1+1.25W$

$D\gamma$ คือ ค่า Annual Dose จากรังสีแกมมามีค่าเท่ากับ $114.18U+51.4Th+206.9K/1+1.14W$

DC คือ ค่า Annual Dose จากรังสีคอสมิก กำหนดให้มีค่าคงที่ เท่ากับ 0.1

เมื่อ K คือ ปริมาณ Radionuclide ชนิดต่าง ๆ ที่โพแทสเซียม (K) ปลดปล่อยออกมา

U คือ ปริมาณ Radionuclide ชนิดต่าง ๆ ที่ยูเรเนียม (U) ปลดปล่อยออกมา

Th คือ ปริมาณ Radionuclide ชนิดต่าง ๆ ที่ทอเรียม (Th) ปลดปล่อยออกมา

a และ b ขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดตะกอน และ W คือ ร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง

การคำนวณค่าปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมตัวในตัวอย่าง Equivalence dose (ED)

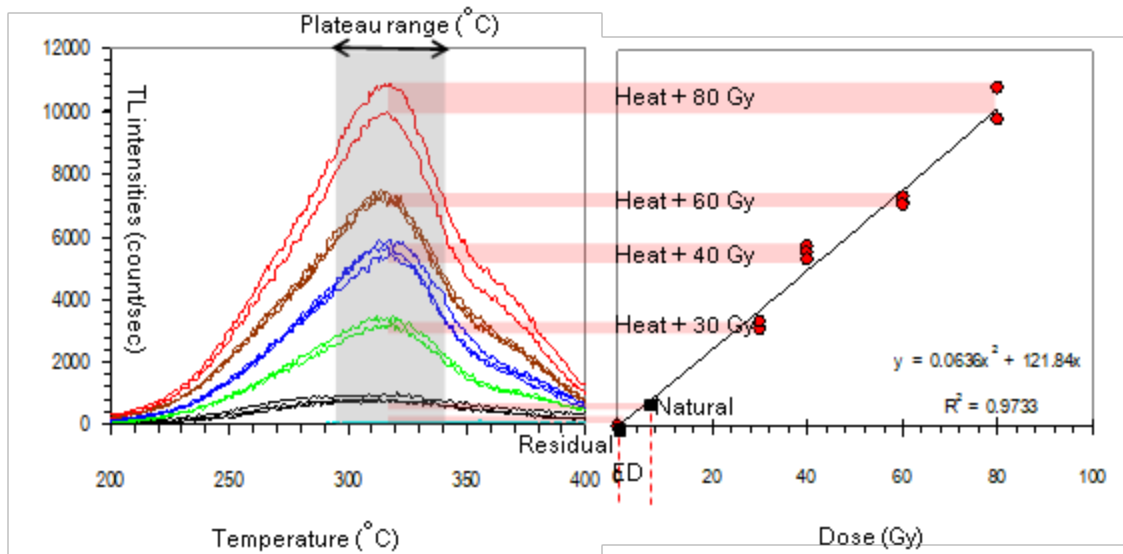
เนื่องจากเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน ไม่สามารถวัดค่ากัมมันตภาพรังสี หรือ Equivalent Dose ในหน่วยกัมมันตภาพรังสี (หน่วย Gy) ได้โดยตรง ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งค่ากัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่าง ในหน่วยที่เราต้องการ ในที่นี้เราใช้เครื่องมือกระตุ้นด้วยความร้อนและตรวจวัดปริมาณการเรืองแสงของตัวอย่างเป็นเครื่องมือในการตรวจวัด ซึ่งเครื่องมือนี้เรียกว่า Thermoluminescence Detector (TLD) (รูป 1.14)



- 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 1.14 เครื่อง Thermoluminescence Detector (TLD), ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สันติ ภัยหลบลี้, 2545)

หลักการของการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีนั้นเริ่มต้นจากการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง ซึ่งเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อน อิเล็กตรอนจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของการเรืองแสง จากนั้นวัดปริมาณโฟตอนของแสงด้วยหัววัดแสง (Photo detector) และขยายสัญญาณให้เด่นชัดขึ้นด้วยเครื่องขยายสัญญาณ (Photo multiplier) ผลที่ได้จากการตรวจวัด แสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างระดับอุณหภูมิที่กระตุ้นให้ตัวอย่างในหน่วยองศาเซลเซียส (แกนแนวนอน) ต่อปริมาณอิเล็กตรอนที่ตรวจวัดได้ในแต่ละระดับอุณหภูมิ ในหน่วย count/sec (แกนตั้ง) ดังแสดงในรูป 1.15 กราฟความสัมพันธ์นี้เรียกว่า “Glow curve”



รูป 1.15 Glow curve แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในตัวอย่าง (หน่วย count/sec) ในแต่ละระดับอุณหภูมิ ซึ่งวัดได้จากเครื่อง TLD และ (ข) Growth curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าปริมาณอิเล็กตรอน (หน่วย count/sec) ที่มีอยู่ในตัวอย่างและปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ทราบค่า (Gy) (สันติ ภัยหลบลี้, 2545)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาอายุอัญมณีด้วยวิธีเปล่งแสง

Pailoplee et al. (2016) ได้ทำการศึกษาจากตัวอย่างอัญมณีที่พบในโบราณสถานทุ่งตึกซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณตอนล่างของเกาะคอเขา อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา ซึ่งเคยมีงานวิจัยของ Chaisuwan และ Naiyawatt (2002) ที่ได้มีการหาอายุจากวัสดุอินทรีย์ที่พบในพื้นที่โดยใช้วิธีหาอายุจากธาตุกัมมันตรังสีคาร์บอน-14 ซึ่งระบุว่าโบราณสถานทุ่งตึกนี้มีอายุ 1,070-1,310 ปีก่อนปัจจุบัน และ Pailoplee et al. (2010) ได้ทำการศึกษาหาอายุโบราณสถานทุ่งตึกจากอัญมณีโดยใช้วิธีการหาอายุทั้งวิธีเปล่งแสงความร้อนและวิธีเปล่งแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง ซึ่งสามารถสรุปผลการหาอายุทั้ง 2 วิธีจากตัวอย่างอัญมณีในโบราณสถานทุ่งตึกนี้ได้ว่า อัญมณีดังกล่าวมีอายุ 840-1,500 ปี แต่จากการสังเกตในรายละเอียดพบว่าตัวอย่างอัญมณีบางตัวอย่างให้ค่าอายุที่แกกผิดแปลกไปซึ่งมีผลมาจากการเผาอัญมณีไม่สุกหรือไม่สุกทั่วทั้งก้อน ทั้งนี้จากงานวิจัยของ Gredmaier et al. (2011) ซึ่งได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอัญมณีที่เผาไม่สุกทั่วทั้งก้อน โดยศึกษาถึงชนิดของแร่องค์ประกอบภายในก้อนอัญมณีซึ่งเป็นบริเวณที่มีสีดำและแร่องค์ประกอบของขอบนอกของก้อนอัญมณีซึ่งเป็นบริเวณที่มีสีส้ม พบว่าทั้งภายในและภายนอกมีองค์ประกอบเป็นชนิดของแร่ที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะการตรวจพบแร่ควอตซ์ในเนื้ออัญมณีสีส้มและ แร่คริสโตบาลิต (Cristobalite) ในเนื้ออัญมณีสีดำ ซึ่งแร่ทั้ง 2 ชนิดนี้มีสูตรทางเคมีเหมือนกันแต่ มีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกัน อันเกิดจากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของแร่ในระหว่างการเผา ซึ่งมีผลต่อปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมในหลุม

กักเก็บอิเล็กตรอน ฉะนั้นการหาอายุโดยใช้ตัวอย่างอิฐด้านในของก้อนอิฐและขอบนอกของก้อนอิฐจึงให้อายุที่แตกต่างกัน จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้ Pailoplee et al. (2016) ได้ออกแบบการทดลองหาอายุจากตัวอย่างในบริเวณดังกล่าวอีกครั้งโดยใช้วิธีเปล่งแสงทั้ง 2 วิธีคือวิธีเปล่งแสงความร้อนและวิธีเปล่งแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง โดยทำการทดลอง 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการทดลองหาค่า Equivalence Dose ทาการแยกตัวอย่างระหว่างเนื้อด้านในของอิฐและขอบนอกของอิฐ แล้วทำการเตรียมตัวอย่างซึ่งยึดตามวิธีการของ Takashima and Honda (1989) โดยทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาด 74-250 ไมโครเมตร (ตัวอย่างที่ใช้จะร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 และค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 200) จากนั้นนำตัวอย่างไปใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 10% ตามด้วยแช่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ที่ความเข้มข้น 40% เป็นเวลา 45 นาที อบแห้งและแยกแร่โลหะด้วยเครื่อง Magnetic separator จากนั้นตรวจสอบความบริสุทธิ์ของแร่ควอตซ์ด้วยเครื่อง XRD ซึ่งพบว่าการเตรียมตัวอย่างวิธีนี้ได้ความบริสุทธิ์ของแร่ควอตซ์ถึงร้อยละ 95 จากนั้นจึงทำการรันตัวอย่างด้วยเครื่อง Risø TL/OSL-DA-15 โดยใช้วิธีเปล่งแสงทั้ง 2 วิธีดังที่กล่าวมาข้างต้น

ส่วนขั้นตอนการทดลองหาค่า Annual Dose เริ่มจากทำการตัดตัวอย่างอิฐและขัดผิวอิฐออก 3 มิลลิเมตร (Bailiff and Holland, 2000) แล้วนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดเล็กกว่า 90 ไมโครเมตร อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและบันทึกค่าปริมาณน้ำในตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างจำนวน 300 กรัม บรรจุใส่กล่องพลาสติก ซึ่งในระหว่างการตัดตัวอย่างนั้นพบลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ของอิฐที่มีความแตกต่างกันระหว่างด้านในและขอบอิฐด้านนอก ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีจากแคลเซียมและซิลเฟอริในตะกอนที่ใช้ในการสร้างอิฐนั้นเกิดการทำพันธะซึ่งกันและกันในขณะที่อิฐกำลังเข้าสู่ขั้นตอนการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,050 องศาเซลเซียส จนเกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมซิลเฟต ทั้งนี้ในปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบดังกล่าวนั้นจะต้องใช้ออกซิเจนเข้ามาร่วมทำปฏิกิริยา ฉะนั้นในการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจึงเกิดการดึงออกซิเจนออกจากแร่แมกนีไทต์ซึ่งเป็นแร่ในกลุ่มออกไซด์ จนทำให้สัดส่วนระหว่างออกซิเจนต่อแมกนีเซียมลดลงจนเปลี่ยนเป็นแร่ฮีมาไทต์ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีดาเป็นสีส้ม (Gredmaier et al., 2011)

ผลที่ได้จากการทดลองของ Pailoplee et al. (2016) พบว่าค่าต่ำสุดของค่า ED ที่วัดด้วยวิธีเปล่งแสงจากการกระตุ้นด้วยแสงมีค่าใกล้เคียงกันกับค่า ED ที่วัดด้วยวิธีเปล่งแสงความร้อน และเมื่อเปรียบเทียบค่า ED และค่าอายุระหว่างตัวอย่างขอบนอกของอิฐกับตัวอย่างจากเนื้อด้านในของอิฐ พบว่าค่า ED ที่ได้จากตัวอย่างเนื้อด้านในของอิฐมีค่าความแปรปรวนที่มากกว่า และค่าอายุที่ได้จากการทดลองโดยใช้ส่วนเนื้อด้านในของอิฐมีค่าสูงผิดปกติ ผลการทดลองที่ได้ดังกล่าวจึงแสดงให้เห็นถึงการเผาอิฐไม่สุกถึงเนื้ออิฐด้านใน นอกจากนี้บางตัวอย่างพบว่ามีค่าอายุที่น้อยผิดปกติ จึงสรุปว่ามีอิฐสมัยใหม่เข้ามาปะปนในพื้นที่

G.T.H.Jenkins, (2018) ใช้วิธีแปลงแสงจากการกระตุ้นด้วยแสงกับตัวอย่างแร่ควอตซ์เพียงเม็ดเดียว [Single grain regeneration] ซึ่งต้องใช้ความแม่นยำของเครื่องมือที่สูงและการเตรียมตัวอย่างที่ดีเพื่อไม่ให้เกิดการเจือปนแร่อื่นไปกับควอตซ์และไม่ให้เกิดความเสียหายกับตัวเม็ดควอตซ์ด้วย วิธีนี้จะทำให้ได้ค่าอายุที่แม่นยำมากขึ้น และตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ยังเป็นตะกอนธารน้ำแข็งหดตัวกลับด้วย (Glacial till) จึงเหมาะกับการใช้วิธี OSL ค่าอายุที่ทำได้อยู่ในช่วงหลายสองหมื่นถึงสองหมื่นห้าพันปี ซึ่งต้องระวังค่าการอิ่มตัวของสัญญาณอีกด้วย

ธนีสรณ์ พุทธกาล, (2561) ใช้วิธีแปลงแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง เพื่อหาอายุตัวอย่างอิฐจากกำแพงเมืองเก่าสงขลา โดยมีการเก็บตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง และนำไปส่งตรวจค่า ED 2 ที่ ซึ่งสามารถนำค่าที่สรุปผลได้ [ภายในช่วงของจากทั้ง 2 ที่] มาใช้วิเคราะห์เหตุการณ์แวดล้อมทางประวัติศาสตร์ ขณะที่สร้างกำแพงได้ โดยมีการนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับพงศาวดารเมืองเก่าสงขลาด้วย

ข้อจำกัดการหาอายุด้วยวิธีแปลงแสงความร้อน

Aitken (1985) ได้ระบุว่า ข้อจำกัดในการหาอายุด้วยวิธีการแปลงแสงความร้อนมีสาเหตุมาจาก 2 ปัจจัย คือ การอิ่มตัวของสัญญาณแปลงแสงความร้อน (Saturation of the TL growth) ซึ่งเป็นลักษณะของการเพิ่มปริมาณการอาบแกมมันตภาพรังสีมากขึ้นแต่สัญญาณการแปลงแสงยังคงอยู่ ณ ที่ตำแหน่งเดิม ไม่ได้เพิ่มขึ้นตาม และความไร้เสถียรภาพของสัญญาณ (Instability of the signal) ที่เกิดจากการค่อย ๆ เพิ่มความร้อนให้กับตัวอย่าง แต่กราฟแสดงสัญญาณการเรืองแสงความร้อนไม่ได้เพิ่มขึ้นตาม ณ ตำแหน่งอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะความเข้มของสัญญาณในตัวอย่างไม่สูญหายไปตั้งแต่ต้น ซึ่งมักเกิดกับชั้นตะกอนดินที่มีอายุตั้งแต่ 100,000 ปีขึ้นไป

นอกจากนี้ Colman et al. (1987) และ Colman and Pierce (2000) ได้ระบุถึงข้อจำกัดทางด้านอายุของตัวอย่างที่เหมาะสมในการหาอายุด้วยวิธีแปลงแสงว่าอายุของตัวอย่างนั้นควรมี ขอบเขตอยู่ในช่วงประมาณอายุ 1 ปี ถึง 100,000 ปี จากสาเหตุข้างต้นนั้น ทำให้การใช้วิธีแปลงแสงจากการกระตุ้นด้วยแสงหรือ OSL นั้นมีความเป็นไปได้ของข้อมูลที่จะถูกต้องมากกว่าวิธีการแปลงแสงความร้อน งานวิจัยชิ้นนี้จึงเลือกใช้วิธีดังกล่าวแทน

ความถูกต้องแม่นยำของการหาอายุด้วยวิธีแปลงแสง

Takashima (1989) ได้ประเมินค่าความผิดพลาดในการหาอายุด้วยวิธีแปลงแสง พบว่าการหาอายุด้วยวิธีนี้จะมี ความถูกต้องแม่นยำมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดจากการทดลองเพื่อหาค่า Annual dose และ Equivalence dose โดยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการหาค่า Annual dose นั้นจะเกิดจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของตะกอนรวมไปถึงปริมาณน้ำในตัวอย่างที่ไม่คงที่ แปรเปลี่ยนไปตามสภาวะแวดล้อมประจำวัน ซึ่งประเมินค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการหาค่า Annual dose ประมาณ 10% ส่วนค่าความผิดพลาดในการหา

ค่า Equivalence dose นั้นจะอยู่ในขั้นตอนของการใช้เครื่องมือ TL/OSL Reader ซึ่งโดยปกติค่าที่ได้จากการหา
ค่า Equivalence dose มักมีความผิดพลาดอยู่ระหว่าง 5-10% ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของแร่ควอตซ์ชนิดนั้น
โดยรวมแล้วค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ในการวัดหาอายุด้วยวิธีนี้ต้องไม่เกิน 15%

บทที่ 2

วิธีการทดลอง

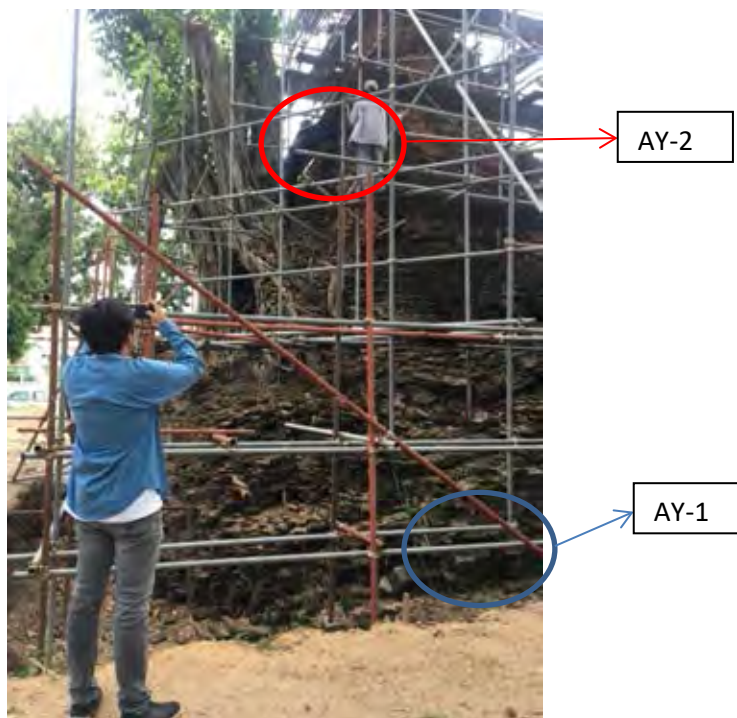
2.1 การเก็บตัวอย่าง

ในส่วนของการออกภาคสนามนั้นจะไปเก็บแค่เพียงจากที่อุทยานประวัติศาสตร์ พระนครศรีอยุธยา เท่านั้น ในส่วนของก้อนดินเผาจากบ้านท่าโป๊ะ[PK-5]นั้น ทางนักเรียนสาขาโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากรเป็นผู้เก็บมาให้ โดยที่เหล่าผู้เชี่ยวชาญยังไม่มีความคิดเห็นว่าก้อนดินเผาที่ถูกใช้งานโดยมนุษย์โบราณอย่างไร



รูป 2.1 บริเวณพื้นที่ขุดค้น TP.5 – 7[หลุมขุดที่พบก้อนดินเผา] (ถ่ายโดย : นางสาวสุกัญญา เรือนแก้ว)

การเก็บตัวอย่างที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยานั้น ได้ทำการเก็บมา3ที่ โดยในส่วนของพื้นที่วัดกระเจี และพระราชวังโบราณฝ่ายในนั้นทางผู้จัดทำได้เข้าร่วมเก็บตัวอย่างด้วย ส่วนพระที่นั่งสุริยาสนมรินทรนั้น ทางนักโบราณคดี จากกรมศิลปากรที่ 3 เป็นผู้เก็บตัวอย่างมาให้ รวมตัวอย่างที่เก็บที่นี้้นมี 6 ตัวแบ่งเป็นสถานที่ละ 2 ตัวอย่าง เริ่มจากที่แรก วัดกระเจี



รูป 2.2 เจดีย์วัดกระเจี๊ว ตัวอย่าง AY-1,2

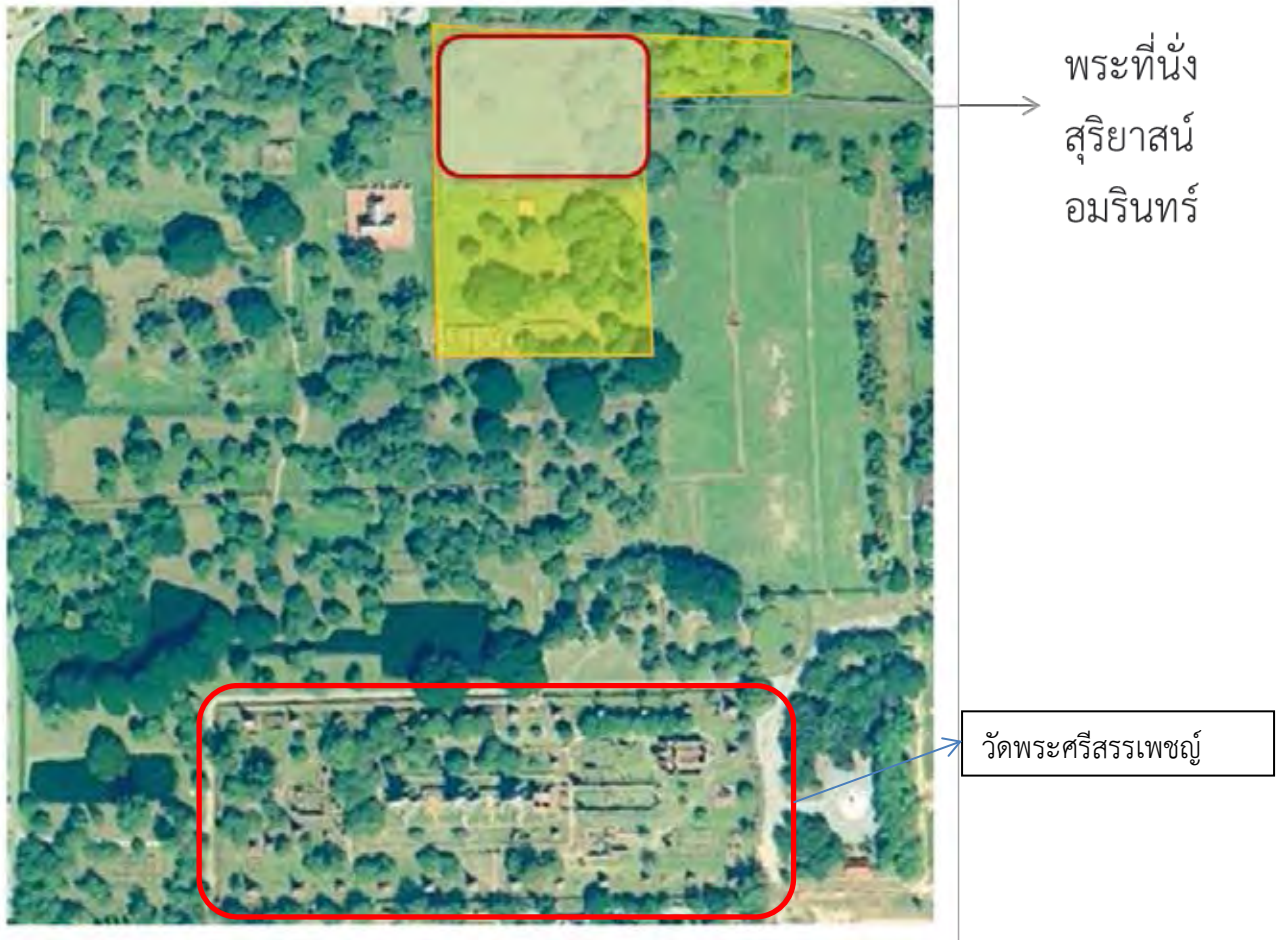
โดยตำแหน่งที่เลือกทั้ง 2 ตัวอย่างของวัดกระเจี๊ว นั้นจะเลือกขึ้นที่เป็นอิฐความหนา 3 cm. เนื่องจากคาดว่าจะมีค่าอายุที่เก่าที่สุดตามสมมติฐานการใช้อิฐหนา 3 cm. จะพบในศิลปะยุคเก่าของอยุธยา มากกว่า โดยที่ตัวอย่าง AY-1 เป็นอิฐบริเวณฐานของเจดีย์ สาเหตุที่เลือกบริเวณเพราะคาดว่าจะเป็นอิฐเก่าจริงๆ ไม่ใช่อิฐที่ถูกนำมาบูรณะที่หลัง เนื่องจากบริเวณฐานเจดีย์นั้นเพิ่งถูกนักโบราณคดีขุดขึ้นมารอการบูรณะ ส่วนตัวอย่าง AY-2 เลือกบริเวณยอดของเจดีย์ที่คาดว่าเป็นอิฐเก่าตั้งแต่สมัยที่สร้างเจดีย์เหมือนกัน เพราะซากบันทึทที่มีอยู่ไม่เคยมีการพูดถึงการต่อเติมวัดกระเจี๊วมาก่อน

พื้นที่เก็บตัวอย่างต่อมาเป็นพระราชวังโบราณฝ่ายใน อิฐที่เก็บบริเวณนี้จะเป็นอิฐหนา 6 cm. คาดว่าถูกสร้างขึ้นในสมัยของพระบรมไตรโลกนาถ อยู่ในช่วงอยุธยาตอนกลาง โดยแบ่งเป็นตัวอย่าง AY-3 ที่เป็นกำแพงระหว่างฝายกลางและฝายใน AY-4 เป็นกำแพงภายในของฝายใน















รูป 2.3 พระราชวังโบราณฝ้ายใน กำแพงแบ่งฝ้ายใน-กลางและกำแพงในฝ้ายใน

พื้นที่สุดท้ายคือพระที่นั่งสุริยาสน์อมรินทร์ เป็นอิฐหนา 6 cm. คาดว่าถูกสร้างสมัยพระเจ้าปราสาททอง-พระนารายณ์ ในสมัยอยุธยาตอนปลายโดยทั้ง AY-6,7 เป็นส่วนผนังมูมห้องที่เหลื่ออยู่ของพระที่นั่ง โดยจะมีข้อสังเกตคือ ตัวอย่างทั้ง 2 ก็ก่อนมีความแตกต่างกัน คาดว่าอยู่คนละอายุด้วย โดยก่อน AY-6 คล้ายอิฐยุคอยุธยาสมัยก่อน แต่ AY-7 คล้ายอิฐสมัยใหม่ นักโบราณคดีในพื้นที่สันนิษฐานว่าเป็นอิฐใหม่ที่ถูกนำมาบูรณะ



รูป 2.4 พื้นที่พระราชวังโบราณ พระที่นั่งสุริยาสน์อมรินทร์ สร้างอยู่ด้านหลังวัดพระศรีสรรเพชญ์

ตัวอย่าง	ตำแหน่งที่เก็บ ตัวอย่าง	ขนาด (เซนติเมตร)			ภาพตัวอย่าง	
		กว้าง	ยาว	หนา	สภาพพื้นที่เก็บ	ตัวอย่าง
AY-1	บริเวณตอนล่าง ฐานเจดีย์	28.7	14.6	4		
AY -2	ด้านบนยอด เจดีย์	27	14	2.9		
AY-3	กำแพงแบ่งฝาย กลาง-ใน	30	14.6	5.4		
AY-4	กำแพงในฝาย ใน	29	14.5	5.1		
AY -6	ผนังพระที่นั่ง	33	16.2	6.6	-	

AY -7	ผนังพระที่นั่ง	32	16	6.5	-	
PK-5	หลุมขุดค้น บ้านท่าโป๊ะ	17	14.5	11		

ตาราง 2.1 ตารางแสดงข้อมูลและภาพของตัวอย่าง

2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง

จากงานวิจัยของ Pailoplee et al. (2016) ได้ระบุว่าความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ของอิฐนั้นเป็นผลมาจากสภาวะแวดล้อมของการเผาอิฐที่แตกต่างกัน อันส่งผลให้อิฐแต่ละก้อนได้รับความร้อนและสุกถึงเนื้ออิฐด้านในแตกต่างกัน ซึ่งลักษณะทางกายภาพ (สี) ของเนื้ออิฐด้านในและเนื้ออิฐด้านนอกที่แตกต่างกันนี้จะส่งผลต่อการทดลองหาค่า ED โดยที่ค่าอายุที่ได้จากเนื้ออิฐด้านในซึ่งมีสีดำมีค่าความแปรปรวนที่มากกว่าและค่าอายุที่ได้มีค่าสูงผิดปกติ

ขั้นแรกจึงเริ่มจากการตรวจสอบสีของตัวอย่างก่อน และเนื่องจากตัวอย่างทั้ง 7 ตัว มีลักษณะภายในที่ไม่แตกต่างกัน [ไม่สีก้อนที่เป็นสีดำแบบดินเหนียวข้างใน] (เผาสุกทั่วกัน) ยกเว้น PK-5 ที่ไม่ได้ถูกตรวจสอบเพราะข้อจำกัดในการตัดตัวอย่างไม่ให้โดนแสง



รูป 2.4 แสดงลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ของอิฐที่สังเกตได้จากการตัดทดสอบ

ในการทำการทดลองจะต้องแบ่งขั้นตอนเป็น 3 ส่วน 1. การเตรียมตัวอย่างและการทดลองสำหรับการหา ร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง (Water content (W)) 2. การเตรียมตัวอย่างและการทดลองสำหรับการหา อัตราการแผ่รังสีต่อปี (AnnualDose (AD)) 3. การเตรียมตัวอย่างและการทดลองสำหรับการหาปริมาณของ อิเล็กตรอนที่สะสมตัวในตัวอย่าง (Equivalence dose (ED))

เริ่มจากนำตัวอย่างอิฐมาตัดแบ่งเป็น 2 ส่วนไว้ทำ ED และ AD ในส่วนของ AD นั้นจะนำมาใช้หา water content ด้วย หลังจากนั้นนำตัวอย่างฝั่ง AD มาขัดเอาปูน-ซีเมนต์ออก นามาทุบด้วยค้อนและลิ้มเพื่อให้ตัวอย่างมี ขนาดที่เล็กลง ทาการชั่งน้ำหนักตัวอย่างเปียกโดยใช้ตัวอย่างอิฐประมาณ 20-50 กรัม นำตัวอย่างไปอบแห้งด้วย ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ น้ำในตัวอย่างระเหยไป

จนหมด ทำการชั่งน้ำหนักหลังการอบแห้งเพื่อทราบค่าน้ำหนักตัวอย่างแห้ง นำค่าน้ำหนักตัวอย่างเปียกและค่าน้ำหนักตัวอย่างแห้งมาแทนสูตรคำนวณ

$$\text{ร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง (W)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก}}$$

ซึ่งค่า W นี้จะใช้ประกอบในการคำนวณหาอัตราการแผ่รังสีต่อปี (Annual dose, AD) ในขั้นตอนต่อไป



รูป 2.5 ตารางแสดงภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองหาค่าร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง จากซัყมาขวา ตัวอย่างที่ 1-7

ต่อไปเป็นการเตรียมตัวอย่าง AD นำตัวอย่างส่วนที่เหลือมาบดในเครื่อง Disc Mill แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาบรรจุในกระปุกพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร หลังจากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 1-2 อาทิตย์ แล้วนำกระปุกตัวอย่างไปทำการทดลองเพื่อวัดปริมาณธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติที่มีอยู่ใน ตัวอย่าง ได้แก่ โพแทสเซียม (K) ยูเรเนียม (U) และทอเรียม (Th) โดยใช้เครื่อง Gamma-ray Spectrometer ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมนิวเคลียร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จากนั้นวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีดังกล่าวจากกราฟที่ได้จากการทดลอง และนำค่าความเข้มข้นที่ได้จากการวิเคราะห์มาประกอบกับค่าร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่างจากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 เพื่อทำการคำนวณค่า AD โดยใช้สมการ 1.5.2



รูป 2.6 แสดงกระปุกพลาสติกที่บรรจุตัวอย่าง สำหรับการทดลองหาค่า AD

ขั้นตอนต่อไป การเตรียมตัวอย่างและการทดลองสำหรับการหาปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมในตัวอย่าง (Equivalence dose (ED)) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมตัวอยู่ในตัวอย่างโดยใช้การวิเคราะห์ผลจากเม็ดแร่ควอตซ์ (Quartz grains) ซึ่งทำการทดลองในห้องมืด (Red Subdue Room) โดยใช้แสงสีแดงซึ่งเป็นแสงที่มีพลังงานต่ำ โดยนำชิ้นส่วนอิฐประมาณ 1 กิโลกรัมทำการขัดผิวอิฐออกประมาณ 1-2 มิลลิเมตร (Feathers, 2003) สกัดด้วยลิมและค้อนให้มีขนาดเล็กลง



รูป 2.7 แสดงบรรยากาศและอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ทดลองหาค่า ED

จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดระหว่าง ตะแกรงเบอร์ 60-200 (ผ่านตะแกรงเบอร์ 60 และ ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 200) นำตัวอย่างไปใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 10% และ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ความเข้มข้น 10% ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้น ล้างตัวอย่าง 3-5 ครั้งด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปใส่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ที่ความเข้มข้น 37% เป็น เวลา 40 นาที จากนั้นล้างตัวอย่าง 3-5 ครั้งด้วยน้ำกลั่น และใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) อีกครั้งที่ความ เข้มข้น 37% เป็นเวลา 40 นาที ทาการล้างกรดออกจากตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น 3-5 ครั้ง และนำตัวอย่างไปอบให้ แห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างแห้งที่ได้ไปผ่านเครื่อง Magnetic Separator โดยตั้งค่าให้มีค่า vibrator สูงสุด และใช้กระแสไฟฟ้าในการแยกแร่โลหะ 1.8 A จนได้แร่ควอตซ์บริสุทธิ์ จากนั้นนำแร่ควอตซ์ที่ได้ไปทำการทดลองหาปริมาณ Equivalent dose และสัญญาณเปรียบเทียบกับการอาบ รังสีที่ทราบค่า ด้วยเครื่อง TL/OSL Reader เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ค่าปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมตัวใน ตัวอย่างในหน่วย เกรย์ (Gy) โดยทำการทดที่ ห้อง TL/OSL ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดย วิเคราะห์ตัวอย่างละ 6 ซ้ำ บันทึกผลการทดลองทั้งในรูปแบบ Glow curve และ Growth curve และนำผลการ ทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาค่า ED ต่อไป (วิธีการทดลองดัดแปลงจาก Pailoplee, (2016) และ ธนีสรณ์ พุทธกาล, (2561))



รูป 2.8 แสดงเครื่อง TL/OSL Reader ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ผลการทดลอง

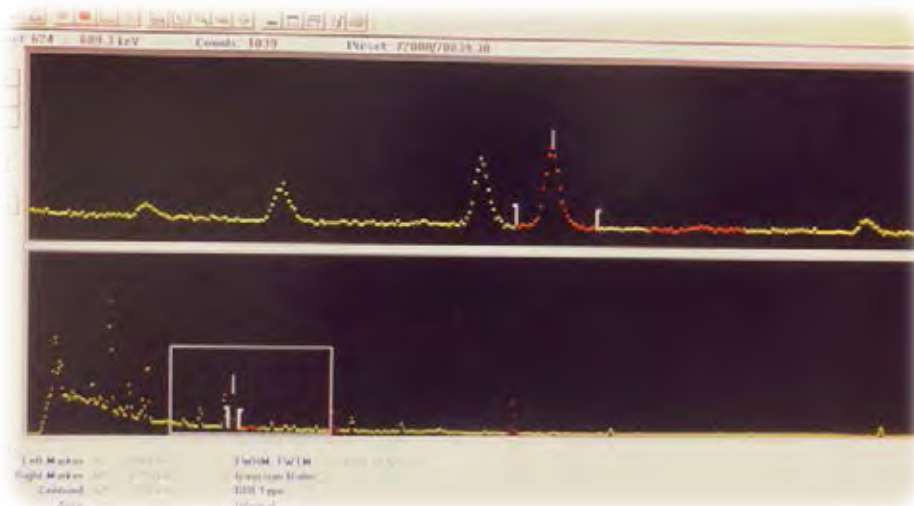
3.1 ผลการหาร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง (Water content (W))

Sample	นน.เปียก	นน.แห้ง	W (%)
AY-1	39.797	35.783	10.09
AY-2	42.506	41.323	2.78
AY-3	44.828	40.951	8.65
AY-4	45.916	40.849	11.04
PK-5	33.804	33.317	1.44
AY-6	88.994	85.303	4.15
AY-7	43.289	43.245	0.10

ตาราง 3.1 แสดงผลการหาค่าร้อยละของปริมาณน้ำหรือ water content (W) ในแต่ละตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1,3,4,5 นั้น ล้วนถูกฝังอยู่ที่ดินมาเป็นเวลานาน ซึ่งแวดล้อมไปด้วยตะกอนที่มีความสามารถในการเก็บกักน้ำ รวมถึงตะกอนที่ปิดทับเป็นตัวปิดกั้นให้ตัวอย่างอิฐ ได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์น้อยกว่า ตัวอย่างอิฐอื่นๆจึงทำให้ตัวอย่างอิฐ SK2-1 มีปริมาณน้ำในตัวอย่างที่สูงกว่าส่วนตัวอย่างอิฐ 2,6,7 นั้น ตั้งอยู่บนเจดีย์, กำแพงที่ไม่มีตะกอนปิดทับทำให้ได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง จึงทำให้น้ำในตัวอย่างระเหยออกไปได้มากกว่า ส่วนในตัวอย่างที่ PK-5 นั้นเนื่องจากถูกนำมาตั้งทิ้งไว้ภายนอกเป็นเวลานานเกือบ 1 ปี ก่อนที่จะได้รับการวัดค่าทำให้มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่ถูกฝังดินอื่นๆ

3.2 ผลการหาค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ (Annual Dose (AD))



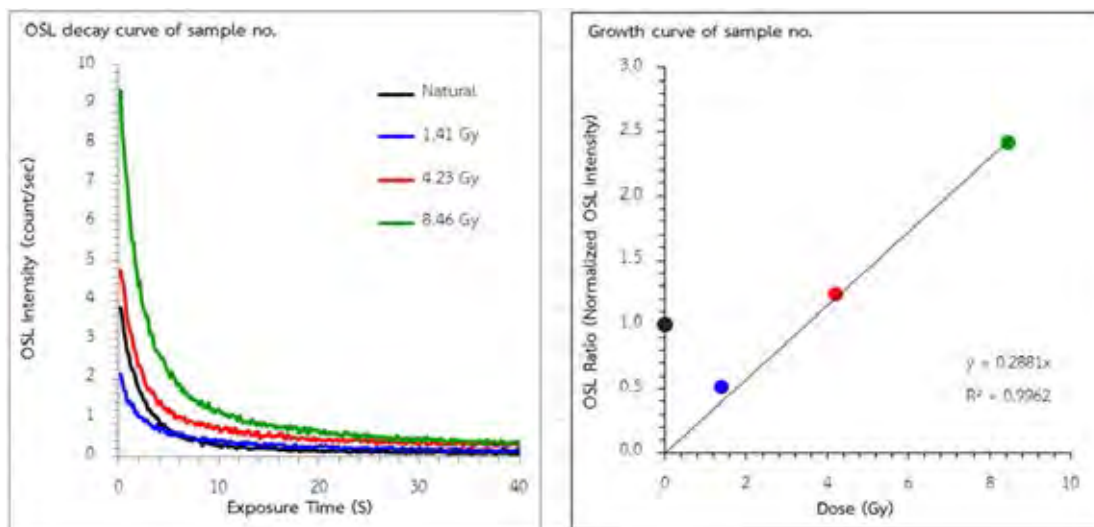
รูป 3.1 แสดงผลที่ได้จากการทดลองหาค่า AD จากเครื่อง Gamma-ray Spectrometer

เมื่อนำตัวอย่างอิฐ ไปทำการทดลองโดยใช้เครื่อง Gamma-ray Spectrometer จึงได้ผลการทดลองเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่นับได้กับพลังงานของรังสีแกมมา (ดังแสดงในรูป 3.1) จากนั้นจึงนำกราฟที่ได้จากการทดลองมา ทำการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ อันได้แก่ ยูเรเนียม (U) ทอเรียม (Th) และโพแทสเซียม (K) ที่มีอยู่ในตัวอย่าง จึงได้ค่าความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ แล้วนำค่าที่ได้ดังกล่าวไปประกอบกับผลการทดลองหาร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง (ตารางที่ 3.1) เพื่อคำนวณหาค่า AD โดยใช้สูตรการคำนวณของ Aitken (1985) (ดังแสดงใน 1.5.2) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองดังกล่าวจึงได้ผลการคำนวณค่า AD ของตัวอย่างอิฐ [มีการคำนวณ error จาก error องค์กรประกอบแต่ละตัว]

U (ppm)	U er (value)	Th (ppm)	Th er (value)	K (%)	K er (value)	W (%)	AD (Gy/ka)	AD er (Gy/Ka)	AD er (%)
4.79	0.11	16.86	0.55	1.51	0.04	10.09	5.97	0.10	1.60
5.55	0.16	19.81	0.73	1.83	0.06	2.78	7.63	0.14	1.80
4.54	0.12	18.07	0.58	1.69	0.06	8.65	6.28	0.11	1.73
5.16	0.16	19.54	0.75	1.89	0.07	11.04	6.77	0.14	2.00
4.2	0.15	23.76	0.8	2.34	0.07	1.44	8.15	0.15	1.79
3.7	0.12	19.12	0.61	1.66	0.06	4.15	6.33	0.11	1.81
6.27	0.015	21.07	0.69	2.04	0.07	0.10	8.67	0.10	1.14

ตาราง 3.2 แสดงผลการหาค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปีหรือ Annual Dose (AD)

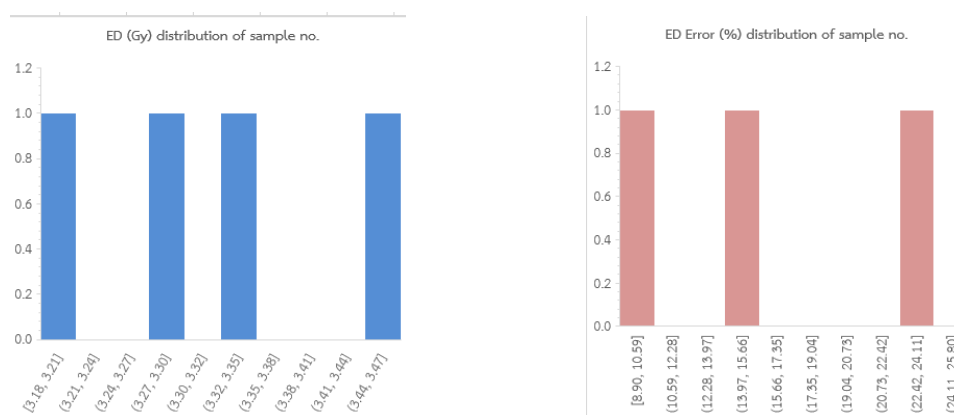
3.3 ผลการหาปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมตัวในตัวอย่าง (Equivalent dose (ED))



รูป 3.2 แสดงตัวอย่างของผลที่ได้จากการทดลองหาค่า ED จากเครื่อง TL/OSL Reader ของตัวอย่าง AY-7 aliquot ที่ 1 (ตัวอย่างย่อย)

sample	N	lo	Error	a	b	c	Natural (Gy)	Error (%)
5	1	0	0.241	0	0.328	0	3.046923	24.1
4	1	0	0.204	0	0.326	0	3.067485	20.4
2	1	0	0.258	0	0.3146	0	3.17864	25.8
1	1	0	0.234	0	0.3055	0	3.273322	23.4
3	1	0	0.089	0	0.2985	0	3.350084	8.9
6	1	0	0.154	0	0.2881	0	3.471017	15.4

ตาราง 3.3 แสดงผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ AY-7



รูป 3.3 แสดง Histogram การกระจายตัวของค่า ED ซึ่งจะนำมาทำกระบวนการทางสถิติ Normal distribution หรือ Minimum age ตามสมควร [ค่า error ไม่ควรเกิน 15%]

sample	N	lo	Error	a	b	c	Natural (Gy)	Error (%)
1	1	0	0.07	0	0.2391	0	4.18235	7
3	1	0	0.005	0	0.2409	0	4.1511	0.5
5	1	0	0.028	0	0.192	0	5.205622	2.8
2	1	0	0.068	0	0.1895	0	5.277045	6.8
6	1	0	0.092	0	0.1798	0	5.561735	9.2
4	1	0	0.040	0	0.171	0	5.844535	4

sample	N	lo	Error	a	b	c	Natural (Gy)	Error (%)
2	1	0	0.212	0	0.1575	0	6.349206	21.2
3	1	0	0.243	0	0.1148	0	8.710801	24.3
1	1	0	0.134	0	0.0737	0	13.568521	13.4

sample	N	lo	Error	a	b	c	Natural (Gy)	Error (%)
2	1	0	0.058	0	0.3598	0	2.779322	5.8
4	1	0	0.066	0	0.252	0	3.968254	6.6
1	1	0	0.060	0	0.2493	0	4.011231	6
6	1	0	0.216	0	0.2362	0	4.2337	21.6
5	1	0	0.016	0	0.2119	0	4.719207	1.6
3	1	0	0.057	0	0.2023	0	4.943154	5.7

sample	N	lo	Error	a	b	c	Natural (Gy)	Error (%)
2	1	0	0.141	0	0.0158	0	63.291139	14.1
5	1	0	0.143	0	0.0151	0	66.225166	14.3
1	1	0	0.147	0	0.0146	0	68.493151	14.7
3	1	0	0.162	0	0.0146	0	68.493151	16.2
4	1	0	0.154	0	0.0141	0	70.921986	15.4
6	1	0	0.143	0	0.0136	0	73.529412	14.3

sample	N	lo	Error	a	b	c	Natural (Gy)	Error (%)
1	1	0	0.114	0	0.2581	0	3.874467	11.4
4	1	0	0.072	0	0.2334	0	4.28449	7.2
3	1	0	0.076	0	0.2317	0	4.315926	7.6
5	1	0	0.061	0	0.1914	0	5.22466	6.1
2	1	0	0.069	0	0.168	0	5.952381	6.9
6	1	0	0.096	0	0.1116	0	8.960573	9.6

ตาราง 3.4 แสดงผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ AY, PK 1-6 [7 แสดงแยกไปแล้ว]

บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การคำนวณอายุจากผลการทดลอง

นำข้อมูลผลการคำนวณค่า AD และ ED ข้างต้นมาทำการคำนวณอายุของอิฐ โดยใช้สูตร

$$\text{Luminescence date} = \text{Equivalent dose} / \text{Annual dose}$$
 ของ Aitken (1985) จากตัวอย่างอิฐ ทั้งสิ้น 7 ตัวอย่าง

Sample No.	Age (Yr)	Age Error (Yr)
AY-1	840	±40
AY-2	520	±40
AY-3	1010	±210
AY-4	640	±50
PK-5	7760	± 1100
AY-6	650	±50
AY-7	380	±60

ตาราง 4.1 ตารางแสดงผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอิฐทั้ง 7 ตัวอย่าง

4.2 การวิเคราะห์ผลอายุทางสถิติ

ค่าอายุที่ได้มานั้นมาจากการคำนวณผ่านวิธีทางสถิติเรียบร้อยแล้ว

4.2.1 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลอายุของตัวอย่างอิฐด้วย Shapiro-Wilk test (W test)

จากการทดลองการหาอายุอิฐข้างต้นเป็นการสุ่มเอาเม็ดแร่ควอตซ์จำนวนหนึ่งออกมาจากตัวอย่างอิฐทั้งก้อน เหมือนการสุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดลองจากประชากรทั้งหมดซึ่งถือว่ามีกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) โดยปกติกลุ่มตัวอย่างที่สุ่มมาดังกล่าวจะมีการแจกแจง แบบปกติตามการแจกแจงปกติของประชากร แต่ก็มีความเป็นไปได้ที่ตัวอย่างที่สุ่มออกมาทำการทดลองจะมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ (Non-normal distribution) ซึ่งถ้าหากตัวอย่างดังกล่าวมีการแจกแจงแบบไม่ปกติจะทำให้การวิเคราะห์ผลทางสถิติอื่นๆ ให้ผลการวิเคราะห์ที่คลาดเคลื่อนไปฉะนั้นจึงต้องทำการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลอายุของตัวอย่างอิฐด้วย Shapiro-Wilk test (W test) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่เหมาะสมกับการสุ่มตัวอย่างที่น้อยกว่า 30 ตัวอย่าง ก่อนการวิเคราะห์ผลในขั้นตอนอื่น ๆ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1) ตั้งสมมติฐานของการทดสอบ

H_0 : อายุของตัวอย่างอิฐที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงปกติ

H_1 : อายุของตัวอย่างอิฐที่ได้จากการทดลองไม่มีการแจกแจงปกติ

2) เรียงลำดับค่าสังเกต n จากน้อยไปหามาก

$$X_1 < X_2 < X_3 \dots < X_n$$

3) กำหนดตัวสถิติทดสอบและคำนวณค่า

ใช้การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลอายุของตัวอย่างอิฐด้วย Shapiro-Wilk test (W test) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

เมื่อ

$$b = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1} (X_{n-i+1} - X_i)$$

โดย

a_{n-i+1} คือ สัมประสิทธิ์ของ W-test ในการทดสอบ
การแจกแจงปกติ

และ

$$k = \frac{n}{2} \quad \text{เมื่อ } n \text{ เป็นเลขคู่}$$

$$= \frac{n-1}{2} \quad \text{เมื่อ } n \text{ เป็นเลขคี่}$$

4) เปรียบเทียบค่า W ที่ได้จากการคำนวณ และวิเคราะห์ผล

ซึ่งค่า W ที่ได้นั้นจะต้องนำไปเทียบกับตารางมาตรฐาน Percentage points of the W test ว่าค่า W ที่ได้นั้นอยู่ในช่วงใดเพื่อบ่งบอกระดับความเชื่อมั่นในการแจกแจงปกติ ของข้อมูลซึ่งในการทดลองในครั้งนี้จะใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งเป็นระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ในการวิเคราะห์ผล

4.2.2 การวิเคราะห์ค่ากลางทางสถิติของข้อมูลอายุของตัวอย่างอีฐู

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยทั่วไปจะใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (\bar{X}) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

จากสูตรในการคำนวณข้างต้นสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)

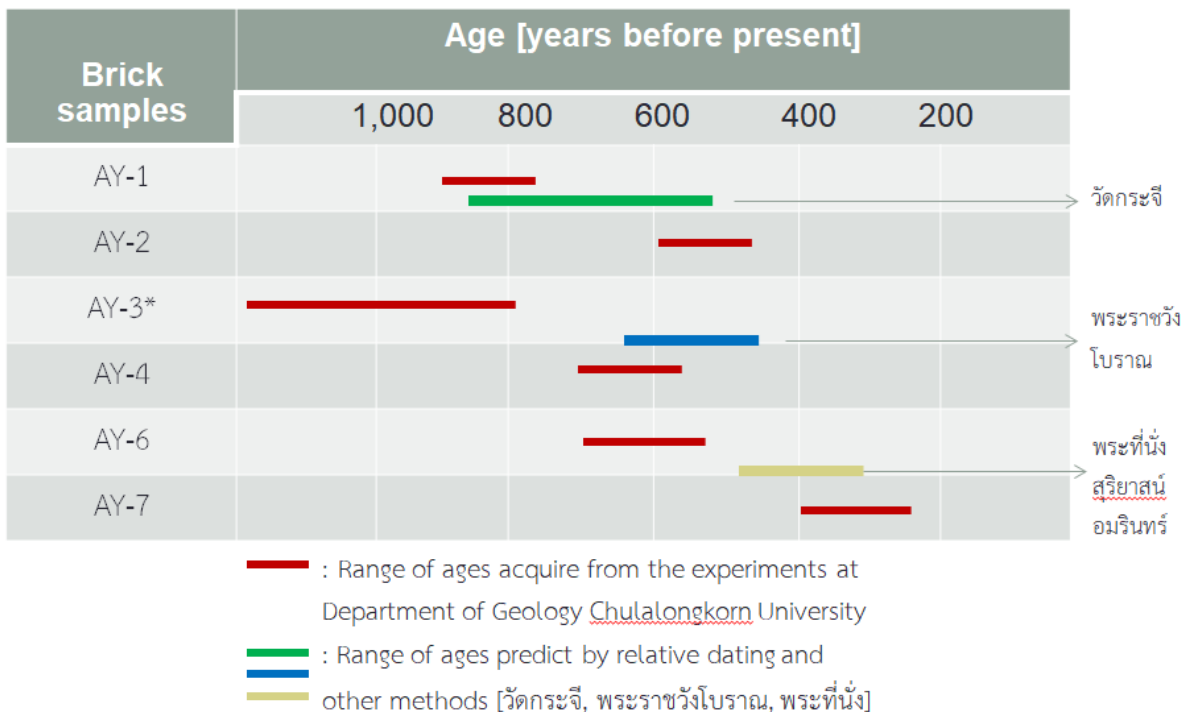
No.	Sample No	rain size (µm)	U (ppm)	U er (value)	Th (ppm)	Th er (value)	K (%)	K er (value)	W (%)	W er (value)	AD (Gy)	AD er (Gy)	KaAD er (%)	ED (Gy)	ED er (Gy)	ED er (%)	Age (Yr)	Age Error (Yr)	Age Error (%)
1	1	120.00	4.79	0.11	16.86	0.55	1.51	0.04	10.09	5.97	0.10	1.60	5.0	0.3	5.05	840	40	5	
7	2	120.00	5.55	0.16	19.81	0.73	1.83	0.06	2.78	7.63	0.14	1.80	4.0	0.3	7.95	520	40	8	
14	3	120.00	4.54	0.12	18.07	0.58	1.69	0.06	8.65	6.28	0.11	1.73	6.3	1.3	21.20	1010	210	21	
19	4	120.00	5.16	0.16	19.54	0.75	1.89	0.07	11.04	6.77	0.14	2.00	4.4	0.4	8.30	640	50	8	
25	5	120.00	4.2	0.15	23.76	0.8	2.34	0.07	1.44	8.15	0.15	1.79	63.3	8.9	14.10	7760	1100	14	
31	6	120.00	3.7	0.12	19.12	0.61	1.66	0.06	4.15	6.33	0.11	1.81	4.2	0.4	8.73	650	50	8	
42	7	120.00	6.27	0.015	21.07	0.69	2.04	0.07	0.10	8.67	0.10	1.14	3.3	0.6	18.38	380	60	16	

รูป 4.1 ตาราง Excel คำนวณทางสถิติ (สันติ ภัยหลบลี้, 2552)

4.3 การวิเคราะห์สรุพอายุที่ได้จากการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติทั้งหมดจึงสามารถสรุปผลในรูปแบบของช่วงอายุของแต่ละตัวอย่าง

*error in sample treating process



รูป 4.2 แสดงสรุพอายุทางสถิติของตัวอย่าง 6 ตัวอย่างจากอุทยานประวัติศาสตร์ พระนครศรีอยุธยา

ตารางแสดงการแบ่งยุคสมัยก่อนประวัติศาสตร์ในระบบสากล			
ชื่อยุค	ชื่อยุคแบ่งตามเครื่องมือเครื่องใช้	ช่วงระยะเวลาโดยประมาณ	ลักษณะการดำรงชีวิต
ยุคหิน	ยุคหินเก่า	1,700,000-10,000ปี ก่อนปัจจุบัน	มีการล่าสัตว์เป็นอาหาร อาศัยอยู่ในถ้ำ ใช้เครื่องมือหินแบบ หยาบๆ รู้จักเขียนภาพตามผนังถ้ำ
	ยุคหินกลาง	10,000-5,000 ปีก่อน ปัจจุบัน	มีการดำรงชีวิตเหมือนยุคหินเก่า รู้จักทำเครื่องมือหินให้ม ีความปราณีตยิ่งขึ้น รู้จักทำเครื่องปั้นดินเผาให้มีผิวเรียบ
	ยุคหินใหม่	5,000-2,000 ปีก่อน ปัจจุบัน	เริ่มรู้จักการเพาะปลูก เลี้ยงสัตว์ ตั้งหลักแหล่งที่ถาวร รู้จักทำ เครื่องมือหินขัด เครื่องปั้นดินเผาและเครื่องประดับ
ยุคโลหะ	ยุคสำริด(ทองแดง ผสมดีบุก)	3,500-2,500 ปีก่อน ปัจจุบัน	อาศัยอยู่เป็นชุมชน ดำรงชีวิตด้วยการเพาะปลูกเช่น ปลูกข้าว เลี้ยงสัตว์ เป็นต้น รู้จักทำเครื่องมือเครื่องใช้ เครื่องประดับด้วย สำริด
		ยุคเหล็ก	2,500-1,500 ปีก่อน ปัจจุบัน

รูป 4.3 แสดงยุคสมัยการวิวัฒนาการของมนุษย์ ████ แทนช่วงอายุที่หาได้จาก [PK-5]

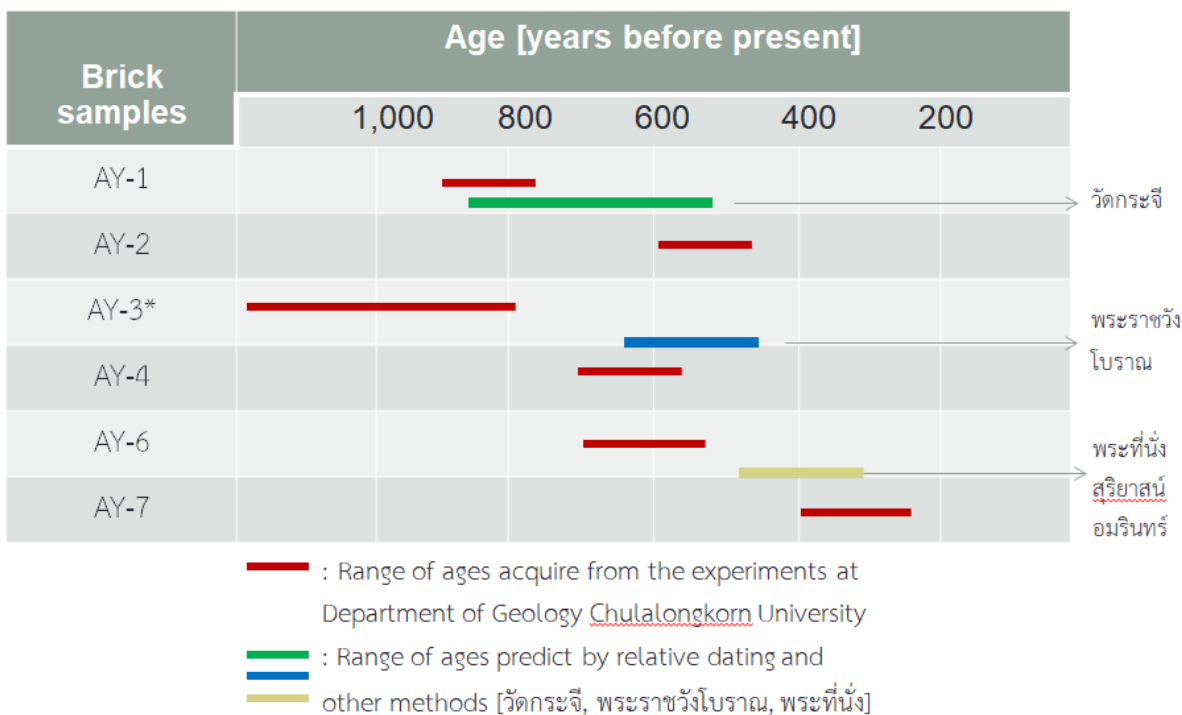
(www.sites.google.com)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลอายุที่ได้จากการทดลอง

*error in sample treating process



จากรูปจะเห็นได้ว่า อิฐหนา 3 cm กับ 6 cm มักจะพบการใช้งานคนละช่วงเวลา และ การหาอายุ 6 ตัวอย่าง จาก 3 สถานที่ก็สนับสนุนสมมติฐานว่า พบการใช้อิฐหนา 3 cm มากให้ช่วง ยุครยาตอนต้น-ต้นตอนกลาง และพบการใช้อิฐหนา 6 cm ช่วงยุครยาตอนกลาง-ตอนปลาย

นอกจากข้อสรุปของสมมติฐานแล้วในแต่ละตัวอย่าง ที่มีค่าอายุที่แตกต่างกันหลังจากได้ลองปรึกษากับนักโบราณคดี ทำให้ได้ข้อสันนิษฐานเชื่อมโยงมากขึ้น [เป็นประเด็นที่น่าสนใจทางโบราณคดี]



รูป 5.1 รายงานความคืบหน้า งานโบราณคดีวัดกระเจี สำนักศิลปากรที่ 3 พระนครศรีอยุธยา

พบโครงกระดูกมนุษย์ถูกฝัง [ไม่มีร่องรอยการทำร้าย – คาดว่าเป็นการฝังศพ] แสดงให้เห็นถึงช่วงเวลา ก่อนที่ศาสนาพุทธที่มีพิธีกรรม การเผาศพเข้ามามีอิทธิพล ซึ่งสอดคล้องกับช่วงอายุที่หาได้ 840 ปีก่อนเป็นช่วง ก่อนที่จะมีการก่อตั้งอาณาจักรอยุธยา และจากตำแหน่งที่พบตัวอย่างนี้ บริเวณฐานเจดีย์ จึงเกิดประเด็นสงสัยถึง ช่วงเวลาที่มีการสร้างฐานเจดีย์ขึ้นมา และอาจสรุปได้ว่า เจดีย์และฐานนั้นถูกสร้างต่อกันมาเป็นเวลาหลายร้อยปี



รูป 5.2 (ซ้าย)สภาพเจดีย์ปัจจุบัน (ขวา)สภาพตอนสมบูรณ์

ตัวอย่าง AY-2 นั้นถูกเก็บมาจากบริเวณยอดของเจดีย์ และจากค่าอายุที่หาได้ แสดงให้เห็นถึง การเป็นส่วนประกอบโครงสร้างของเจดีย์ เมื่อชั้นปูนด้านนอกหลุดไป จึงเห็นอิฐเหล่านี้ อายุ 520ปีนั้น ตรงกับช่วงปลาย อยุธยาตอนต้น-ต้นอยุธยาตอนกลาง ซึ่งเป็นช่วงที่นิยมสร้างเจดีย์ทรงลังกา หรือเรียกว่าทรงระฆังคว่ำ มากขึ้นจากที่ ช่วงก่อนหน้าจะนิยมทรงปราสาทมากกว่า

AY-3*	1010	±210
AY-4	640	±50



รูป 5.3 พื้นที่ พระราชวังโบราณ ฝายใน

พื้นที่บริเวณนี้ถูกก่อสร้างเป็นพระราชวังในสมัยพระบรมไตรโลกนาถ (พ.ศ. 1974-2031) ซึ่งค่าอายุของ AY-4 ที่ได้มานั้นใกล้เคียงมาก จึงกล่าวได้ว่าอิฐก้อนนี้ถูกก่อสร้างมาตั้งแต่สมัยนั้น ในขณะที่ AY-3 ได้ค่าที่แปลก ประกอบกับการที่มีจำนวน aliquot น้อยเนื่องจากเกิดการผิดพลาดตอนเตรียมตัวอย่าง และค่า error ที่ได้ยิ่งสูงมากกว่า 20 % อีกด้วย จึงบอกได้ว่าข้อมูลนี้ไม่น่าเชื่อถือจึงไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยได้

AY-6	650	± 70
AY-7	380	± 60



รูป 5.4 พื้นที่บริเวณพระที่นั่งสุริยาสน์อมรินทร์

พระที่นั่งแห่งนี้ถูกสร้างในสมัย สมเด็จพระเจ้าปราสาททอง-สมเด็จพระนารายณ์มหาราช (พ.ศ. 2175-2231) จากสมมติฐานจากนักโบราณคดีในตอนแรกว่า AY-6 เป็นอิฐเก่า และ AY-7 เป็นอิฐใหม่ที่เพิ่งถูกสร้างมาใช้บูรณะนั้น จากค่าอายุที่หาได้ จะกลายเป็น AY-7 นั้นเป็นอิฐที่ถูกสร้างขึ้นในสมัยพระเจ้าปราสาททอง และ อิฐ AY-6 เป็นอิฐเก่าที่สร้างตั้งแต่สมัยพระบรมไตรโลกนาถ แล้วถูกนำกลับมาใช้ใหม่ในการสร้างพระที่นั่งสุริยาสนมรินทร์นี้ใหม่

5 7760 ± 1100**



รูป 5.5 (ซ้าย) สภาพแวดล้อมการตั้งถิ่นฐานยุคหินใหม่ (ขวา) ที่ตั้งบ้านท่าโปะห่างจากแม่น้ำแคว 2 km.

ชุมชนสมัยยุคหินใหม่จะนิยมตั้งถิ่นฐานริมแม่น้ำปลุกข้าว-เลี้ยงสัตว์ ซึ่งการพบแหล่งโบราณคดีบริเวณ Scar จะเป็นการบ่งบอกว่าในช่วงที่คนกลุ่มนี้อาศัยอยู่ Scar นี้ยังมีน้ำอยู่ (ไม่อาจบอกได้ว่ายังไม่ cut-off หรือเป็น lake) จึงมีผู้คนมาอาศัย ค่าอายุที่ได้จากการ dating ก่อนดินเผา จึงสามารถนำมาใช้บอกเวลานั้นได้ [ค่าอายุที่ได้มากกว่าช่วงยุคหินใหม่เล็กน้อย อาจเกิดจากการเตรียมตัวอย่าง-แร่ควอตซ์ไม่รีเซ็ต]



รูป 5.6 Meander-Scar โบราณ มีแหล่งโบราณคดีบ้านเก่าและบ้านท่าโปะอยู่

บรรณานุกรม

- กรมศิลปากรที่ 3, 2561, รายงานความก้าวหน้าวัดกระเจี๊, กรมศิลปากรที่ 3 อุทยานประวัติศาสตร์ พระนครศรีอยุธยา
- ธนสรณ์ พุทธกาล, 2560, การหาอายุอัฐจากกำแพงเมืองสงขลาด้วยวิธีเปล่งแสง, โครงการการเรียนการสอนเพื่อ เสริมประสบการณ์, ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นักศึกษา มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2561, รายงานการขุดค้นแหล่งโบราณคดีบ้านท่าไต้, โครงการศึกษา คณะ โบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร
- สันติ ภัยหลบลี้, 2552, การกำหนดอายุด้วยวิธีเรืองแสงความร้อน บทที่1และ2, ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Aitken, M. J. 1985. Thermoluminescence dating. Academic press, London, U.K..
- Aitken, M. J. 1990. Science-based dating in archaeology. Routledge.
- Bell, W. T. 1979. Attenuation factors for the absorbed radiation dose in quartz inclusions for thermoluminescence dating. *Ancient TL*, 8(2), 12.
- Blain, S., Bailiff, I. K., Guibert, P., Bouvier, A., and Baylé, M. 2010. An intercomparison study of luminescence dating protocols and techniques applied to medieval brick samples from Normandy (France). *Quaternary Geochronology*, 5(2), 311–316.
- Chaisuwan, B., and Naiyawatt, R. 2002. Thung Tuk ancient seaport. Phuket. Phuket: 15th Regional Office of Fine Arts.
- Feathers, J. K. 2002. Luminescence Dating in Less Than Ideal Conditions: Case Studies from Klasies River Main Site and Duinefontein, South Africa. *Journal of Archaeological Science*, 29(2), 177–194.

Feathers, J. K. 2003. Use of luminescence dating in archaeology. *Measurement Science and Technology*, 14(9), 1493.

G.T.H.Jenkins et al, 2018, A new approach for luminescence dating glaciofluvial deposits - High precision optical dating of cobbles, *Quaternary Science Reviews*, P. 263-273.

Martini, M., and Sibilis, E. 2001. Radiation in archaeometry: archaeological dating. *Radiation Physics and Chemistry*, 61(3), 241–246.

Pailoplee, S., Won-In, K., Chaisuwan, B., and Charusiri, P. 2016, Thermoluminescence and optically stimulated luminescence dating of bricks from the Thung Tuk archaeological site, Southern Thailand, *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 38(6).