



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การหาอายุอิฐจากกำแพงเมืองสงขลาด้วยวิธีเปล่งแสง

โดย

นาย ธนิสร์น พุทธกาล

เลขประจำตัวนิต 5732730823

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

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.

การหาอายุอิฐจากกำแพงเมืองสงขลาด้วยวิธีเปล่งแสง

นาย ธนิสรณ์ พุทธกาล

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

DATING OF BRICKS FROM SONGKHLA CITY WALL
USING LUMINESCENCE METHOD

Mr. Thanisorn Puttagan

A Project Submitted in Partial Fulfillment of
the Requirements for the Degree of Bachelor of Science

Department of Geology Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

หัวข้อโครงการ	การหาอายุอิฐจากกำแพงเมืองสงขลาด้วยวิธีเปล่งแสง
โดย	นายธนีสรณ์ พุทธกาล
สาขาวิชา	ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ ดร.สกลวรรณ ชาวไชย
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม	รศ.ดร.สันติ ภัยหลบลี้

วันที่ส่ง _____

วันที่อนุมัติ _____

(อาจารย์ ดร.สกลวรรณ ชาวไชย)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

5732730823 : ภาควิชาธรณีวิทยา

ธนีสรณ์ พุทธกาล : การหาอายุอิฐจากกำแพงเมืองสงขลาด้วยวิธีเปล่งแสง (DATING OF BRICKS FROM SONGKHLA CITY WALL USING LUMINESCENCE METHOD)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : อาจารย์ ดร. สกลวรรณ ชาวไชย

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม : รศ. ดร. สันติ ภัยหลบลี้, 59 หน้า

จากการขุดค้นพบแนวกำแพงเมืองสงขลาทางด้านทิศตะวันตกของเมืองโดยกรมศิลปากร เมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 ในบริเวณริมถนนนครนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ได้มีรายงานพบแนวกำแพงหินก่อด้วยปูนอันมีลักษณะตรงกันกับข้อมูลทางประวัติศาสตร์ของเมืองสงขลา ซึ่งได้ระบุว่าสร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2379 และแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2385 โดยในการขุดค้นนี้ยังพบกำแพงอิฐที่วางตัวอยู่บนกำแพงหินและกำแพงอิฐที่วางตัวแนบอยู่กับกำแพงหินทางด้านในของตัวเมือง จึงเป็นประเด็นปัญหาทางด้านโบราณคดีที่ต้องการพิสูจน์ทราบถึงอายุของกำแพงอิฐเพื่อนำข้อมูลมาอธิบายถึงลำดับการสร้างกำแพงเมืองสงขลา จากหลักการการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงซึ่งใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมตัวในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนของโครงสร้างผลึกของแร่ ซึ่งเรียกว่า Equivalence dose (ED) กับอัตราการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ ซึ่งเรียกว่า Annual dose (AD) ประกอบกับการที่อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างทางธรณีวิทยาชนิดหนึ่งที่สามารถพบแร่ควอตซ์ซึ่งเป็นแร่ที่มีคุณสมบัติในการเปล่งแสงเป็นองค์ประกอบการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาอายุอิฐได้ ผู้จัดทำโครงการจึงทำการศึกษาตัวอย่างอิฐของกำแพงเมืองสงขลาทั้งสิ้น 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างอิฐที่วางตัวบนของกำแพงหิน ตัวอย่างที่ 1 (SK1-1) และตัวอย่างอิฐที่วางตัวแนบผนังด้านในของกำแพงหิน ตัวอย่างที่ 1 (SK2-1) โดยทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบหาค่า ED และ AD ด้วยเครื่อง TL/OSL reader และ Gamma-ray spectrometer ตามลำดับ ทั้งนี้ได้ทำการทดสอบหาค่า ED จาก 2 แหล่ง ได้แก่ ห้องปฏิบัติการของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และห้องปฏิบัติการของภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี แล้วนำผลการทดลองที่ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าตัวอย่างอิฐ SK1-1 มีอายุ 120-141 ปีก่อนปัจจุบัน และตัวอย่างอิฐ SK2-1 มีอายุ 151-173 ปีก่อนปัจจุบัน จึงสามารถสรุปผลได้ว่าหลังจากการก่อกำแพงหินเพื่อวางรากฐานกำแพงเมืองสงขลาในปี พ.ศ. 2379 ถึงปี พ.ศ. 2385 เสร็จสิ้น ได้มีการก่อกำแพงอิฐแนบกับแนวกำแพงหินทางด้านในของตัวเมืองเพิ่มเติมในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2387 ถึงปี พ.ศ. 2409 และต่อมาได้มีการก่อสร้างกำแพงอิฐซึ่งวางทับอยู่บนกำแพงเมืองที่เป็นกำแพงหินเพิ่มเติมในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2419 ถึงปี พ.ศ. 2440 ซึ่งสามารถคงอยู่และปรากฏให้เห็นเป็นโบราณสถานกำแพงเมืองสงขลาทางด้านทิศตะวันตกของเมืองจนถึงปัจจุบัน

คำสำคัญ : การหาอายุ เปล่งแสง อิฐ กำแพงเมืองสงขลา

5732730823 : MAJOR GEOLOGY

Thanisorn Puttagan : DATING OF BRICKS FROM SONGKHLA CITY WALL USING LUMINESCENCE METHOD. Advisor : Dr. Sakonvan Chawchai.

Co-Advisor : Assoc. Prof. Dr. Santi Pailoplee, 59 pp.

On February 27, 2017, Fine Art Department of Thailand found the Songkhla City Wall, the western of the city, which is located at Nakhon Nok Road, Tambon Boryang, Mueang Songkhla District, Songkhla Province, Thailand. According to Fine Art Department of Thailand's report, there is also a rock wall which has been historically recorded that it was built in 1836 and finished in 1842. The discovery also found a brick wall covering the rock wall on top and attached to a side as well. This discovery causes an archaeological problem which is proofing the ages of the brick wall in order to precisely explain the sequence of the Songkhla City Wall. 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. Two brick samples are used in dating process: Brick from the wall which is on the rock wall (SK1-1) and brick from the wall which is attached to the rock wall (SK2-1). The gamma-ray spectrometer at the department of Geology, faculty of science, Chulalongkorn University was used to analyze the AD. And the ED was analyzed by using the TL/OSL at the Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT) and the laboratory of the department of geoscience, faculty of science, University of Freiburg, Germany. The results are analyzed by statistical analysis, sample SK1-1 is approximately 120-141 years old and sample SK2-1 is approximately 151-173 years old. These results can be concluded that after building the rock wall in order to base Songkhla City Wall in 1836 to 1842, the brick wall was built attaching to the rock wall on the city side in 1844 to 1866. In 1876 to 1897, on the top of Songkhla City Wall, which originally was the rock wall, was added by the brick wall. At the present, the brick wall in the west still remains as ancient antiques.

Keywords : Dating / Luminescence / Brick / Songkhla City Wall

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การหาอายุอัฐจากกำแพงเมืองสงขลาด้วยวิธีเปล่งแสงสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลากหลายท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุมัติการจัดทำโครงการและอนุมัติงบประมาณที่ใช้ในการจัดทำโครงการในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สกลวรรณ ชาวไชย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และ รศ. ดร. สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม ที่ได้มอบโอกาสดี ๆ ในการทำโครงการที่มีความท้าทายฉบับนี้ อีกทั้งยังคอยให้คำปรึกษาและแนะนำทั้งด้านวิชาการและการวางแผนในการทำงาน รวมถึงคอยให้กำลังใจ ดูแลและเอาใจใส่ลูกศิษย์คนนี้เสมอมา

ขอขอบพระคุณ นายสารัท ชลอสันตสิกุล นักโบราณคดีชำนาญการ สังกัดกรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม ที่ได้ให้โอกาสในการทำโครงการในครั้งนี้ ได้เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการเก็บตัวอย่าง ได้ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างอัฐจากกำแพงเมืองสงขลาสำหรับใช้ในการทดลอง รวมไปถึงได้ให้ข้อมูลทางประวัติศาสตร์ของเมืองสงขลาสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. พิรสิทธิ์ สุระเกียรติชัย ที่ได้ให้ความรู้ทั้งทฤษฎีและเทคนิควิธีการทดลอง คอยช่วยเหลือและดูแลในขั้นตอนของการทำการทดลองและในขั้นตอนของการใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมถึงคอยเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ Prof. Dr. Frank Preusser อาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการทดลองเพื่อหาค่า ED สำหรับขั้นตอนการทดลอง

ขอขอบพระคุณ ดร. เฉลิมพงษ์ โพธิ์ลี นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ กลุ่มวิจัยและพัฒนา นิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง TL/OSL Reader สำหรับขั้นตอนการทดลอง

ขอขอบพระคุณ บุคลากรทุกท่านในภาควิชาธรณีวิทยา ที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ คอยเป็นที่ปรึกษาและคอยดูแลเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาในการทำทดลอง

ขอขอบพระคุณ รุ่นพี่ภาควิชาธรณีวิทยาทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ธรณีวิทยา รุ่นที่ 58 ทุกคน ที่ช่วยให้คำแนะนำในด้านต่าง ๆ คอยช่วยเหลือและช่วยเป็นกำลังใจที่ดีซึ่งกันและกันเสมอมา

ขอขอบใจ รุ่นน้องภาควิชาธรณีวิทยาทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณครอบครัวที่คอยสนับสนุนอยู่เบื้องหลัง คอยเป็นกำลังใจและคอยเป็นแรงผลักดันให้ผู้จัดทำโครงการมีความมุ่งมั่น ทุ่มเท ทั้งร่างกายและแรงใจในการทำโครงการในครั้งนี้ จนประสบผลสำเร็จและบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	จ
สารบัญตาราง	ช
นิยามศัพท์เฉพาะ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.4 พื้นที่ศึกษา	5
1.5 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 2 วิธีการทดลอง	25
2.1 การเก็บตัวอย่างอิฐ	25
2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง	30
บทที่ 3 ผลการทดลอง	37
3.1 ผลการหาร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง (Water content (W))	37
3.2 ผลการหาอัตราการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ (Annual dose (AD))	38
3.3 ผลการหาปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมตัวในตัวอย่าง (Equivalence dose (ED))	39
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง	44
4.1 การคำนวณอายุจากผลการทดลอง	44
4.2 การวิเคราะห์ผลอายุทางสถิติ	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	59
5.1 สรุปผลอายุที่ได้จากการทดลอง	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	60
บรรณานุกรม	๗

สารบัญรูปร่างภาพ

รูปที่		หน้า
1	รูปแสดงโบราณสถานกำแพงเมืองสงขลาบริเวณริมถนนจะนะ ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ซึ่งมีลักษณะเป็นกำแพงเมืองที่สร้างขึ้นด้วยหิน (http://songkhlatoday.com)	1
2	รูปแสดงข้อมูลการสร้างกำแพงเมืองสงขลาที่ปรากฏในหลักฐานประชุมพงศาวดาร ภาคที่ 53 พงศาวดารเมืองสงขลา พงศาวดารเมืองนครศรีธรรมราช พงศาวดารเมืองพัทลุง ในพงศาวดารเมืองสงขลาของเจ้าพระยาวิเชียรคีรี บุญสังข์	2
3	รูปแสดงข้อมูลการประกอบพิธีตั้งเสาหลักเมืองที่ปรากฏในหลักฐานประชุมพงศาวดาร ภาคที่ 53 พงศาวดารเมืองสงขลา พงศาวดารเมืองนครศรีธรรมราช พงศาวดารเมืองพัทลุง ในพงศาวดารเมืองสงขลาของเจ้าพระยาวิเชียรคีรี บุญสังข์	3
4	รูปแสดงลักษณะที่แตกต่างกันของวัสดุที่ใช้ในการก่อกำแพงเมืองระหว่างส่วนฐานของกำแพงเมืองและส่วนบนของกำแพงเมือง ถ่ายโดยนายสารัท ชลอสันติสกุล นักโบราณคดีชำนาญการ สำนักศิลปากรที่ 11 สงขลา กรมศิลปากร	4
5	รูปเปรียบเทียบตำแหน่งพื้นที่ศึกษาและตำแหน่งแนวกำแพงเมืองสงขลาที่ปรากฏในหลักฐานสมุดไทยเลขที่ 96 แผนที่เมืองสงขลาและระยะทาง ของกรมศิลปากร (บน) กับลักษณะเมืองสงขลาในปัจจุบันที่ปรากฏในแผนที่จาก Google Earth Pro (ล่าง)	4
6	รูปแสดงที่ตั้งของพื้นที่ศึกษาบนแผนที่จาก Google Earth Pro	6
7	รูปแสดงลักษณะความผิดปกติแบบต่าง ๆ ที่สามารถเกิดขึ้นในโครงผลึกของแร่	12
8	รูปแสดงลักษณะการสะสมตัวและการถูกปลดปล่อยของอิเล็กตรอนในเหตุการณ์ต่าง ๆ (ปรับปรุงจาก Feather, 2003)	13
9	รูปอย่างง่ายแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องวัดปริมาณแสง (Aitken, 1985)	24
10	รูปแสดงบรรยากาศโดยรอบของพื้นที่ศึกษา ถ่ายภาพโดยนายสารัท ชลอสันติสกุล นักโบราณคดีชำนาญการ สำนักศิลปากรที่ 11 สงขลา กรมศิลปากร ถ่ายเมื่อ มิถุนายน 2560	25

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
11 รูปจำลองอย่างง่ายในมุมมองจากด้านบนแสดงโครงสร้างของกำแพงเมืองสงขลา ณ พื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่าง	26
12 รูปจำลองอย่างง่ายในรูปแบบสามมิติแสดงโครงสร้างของกำแพงเมืองสงขลา ตามข้อมูลที่ได้จากการขุดค้นประกอบกับข้อมูลทางประวัติศาสตร์ตามรายงาน ผลการขุดค้นของนายสารัท ชะลอสันติสกุล นักโบราณคดีชำนาญการ สำนักศิลปากรที่ 11 สงขลา กรมศิลปากร	27
13 รูปแสดงลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ของอิฐชุด SK1 ที่สังเกตได้จาก การตัดทดสอบ	30
14 รูปแสดงลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ของตัวอย่างอิฐ SK2-1 ที่สังเกตได้จาก การตัดทดสอบ	31
15 รูปแสดงกระปุกพลาสติกที่บรรจุตัวอย่าง SK1-1 สำหรับการทดลองหาค่า AD	33
16 รูปแสดงแผนภาพการทดลองสำหรับการหาค่า Annual Dose	33
17 รูปแสดงบรรยากาศและอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ทดลองหาค่า ED	34
18 รูปแสดงแผนภาพการทดลองสำหรับการหาค่า Equivalent Dose	35
19 รูปแสดงเครื่อง Lexsysmart-Automated TL/OSL Reader ของสถาบัน เทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)	35
20 รูปแสดงผลที่ได้จากการทดลองหาค่า AD จากเครื่อง Gamma-ray Spectrometer ของตัวอย่าง SK1-1	37
21 รูปแสดงผลที่ได้จากการทดลองหาค่า AD จากเครื่อง Gamma-ray Spectrometer ของตัวอย่าง SK2-1	37
22 รูปแสดงตัวอย่างของผลที่ได้จากการทดลองหาค่า ED จากเครื่อง TL/OSL Reader ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ของตัวอย่าง SK1-1 ในการทดลองครั้งที่ 1 (SK1-1_1_01)	38

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
23	40
รูปแสดงตัวอย่างของผลที่ได้จากการทดลองหาค่า ED จากเครื่อง TL/OSL Reader ของภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ของตัวอย่าง SK1-1 ในการทดลองครั้งที่ 1 (SK1-1_2_01)	
24	41
รูปแสดงตัวอย่างของผลที่ได้จากการทดลองหาค่า ED จากเครื่อง TL/OSL Reader ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ของตัวอย่าง SK2-1 ในการทดลองครั้งที่ 1 (SK2-1_1_01)	
25	42
รูปแสดงตัวอย่างของผลที่ได้จากการทดลองหาค่า ED จากเครื่อง TL/OSL Reader ของภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ของตัวอย่าง SK2-1 ในการทดลองครั้งที่ 1 (SK2-1_2_01)	
26	57
รูปแสดงตำแหน่งและผลอายุของตัวอย่างอิฐที่ใช้ในการทดลอง	
27	58
รูปอย่างง่ายในรูปแบบสามมิติแสดงลำดับเหตุการณ์ในการก่อสร้างกำแพงเมืองสงขลาที่ได้จากการทดลองประกอบกับข้อมูลทางประวัติศาสตร์และข้อมูลที่ได้จากการขุดค้นตามรายงานผลการขุดค้นของนายสารัท ชะลอสันติสกุล นักโบราณคดีชำนาญการ สำนักศิลปากรที่ 11 สงขลา กรมศิลปากร	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ตารางแสดงประสิทธิภาพในการประยุกต์วิธีการหาอายุของตัวอย่างทางธรณีวิทยา และโบราณคดีชนิดต่าง ๆ โดยปริมาณของสัญญาณ * จะแปรผันตามประสิทธิภาพ (Aitken, 1990)	14
2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีกับปริมาณรังสีชนิดต่าง ๆ ที่ธาตุกัมมันตรังสีแต่ละชนิดปลดปล่อยออกมา (Bell, 1979)	15
3 ตารางแสดงข้อมูลชนิดแสงที่ใช้กระตุ้นตัวอย่างของเครื่อง Lexsysmart-Automated TL/OSL Reader	23
4 ตารางแสดงข้อมูลและภาพของตัวอย่างชุดที่ 1 (SK1)	28
5 ตารางแสดงข้อมูลและภาพของตัวอย่างชุดที่ 2 (SK2)	29
6 ตารางแสดงภาพลักษณะกายภาพภายใน (สี) ของตัวอย่างที่ได้รับการคัดเลือก	31
7 ตารางแสดงภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองหาค่าร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง	32
8 ตารางแสดงผลการหาค่าร้อยละของปริมาณน้ำหรือ water content (W) ในตัวอย่าง	36
9 ตารางแสดงผลการหาค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปีหรือ Annual Dose (AD)	38
10 ตารางแสดงผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK1-1 จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK1-1_1)	39
11 ตารางแสดงผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK1-1 จากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK1-1_2)	40
12 ตารางแสดงผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK2-1 จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK2-1_1)	41

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	ตารางแสดงผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอัฐ SK2-1 จากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK2-1_2)	42
14	ตารางแสดงผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอัฐ SK1-1 โดยใช้ผลจากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK1-1_1)	43
15	ตารางแสดงผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอัฐ SK1-1 โดยใช้ผลจากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK1-1_2)	44
16	ตารางแสดงผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอัฐ SK2-1 โดยใช้ผลจากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK2-1_1)	45
17	ตารางแสดงผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอัฐ SK2-1 โดยใช้ผลจากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK2-1_2)	46
18	ตารางแสดงผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลอายุของตัวอย่างอัฐด้วย Shapiro-Wilk test (W test)	48
19	ตารางแสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างอัฐทั้ง 2 ตัวอย่าง ที่ได้ผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ	49
20	ตารางแสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างอัฐ SK1-1 ที่ได้ผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ	50
21	ตารางแสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างอัฐ SK2-1 ที่ได้ผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ	52
22	ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ผลอายุทางสถิติของตัวอย่าง SK 1-1 จากผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ	55
23	ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ผลอายุทางสถิติของตัวอย่าง SK 2-1 จากผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
24	ตารางแสดงสรุปผลอายุทางสถิติของตัวอย่าง SK 1-1 และ SK2-1 จากผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ	56

นิยามศัพท์เฉพาะ

การเปล่งแสง

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พุทธศักราช 2554 ได้ระบุว่า การเปล่งแสง (Luminescence) หมายถึง การปลดปล่อยแสงออกจากสารหนึ่งโดยการกระตุ้น มี 2 ชนิด คือ การเรืองแสงและการพรายแสง โดยที่การเรืองแสง (Fluorescence) เป็นการเปล่งแสงที่เกิดขึ้นทันทีทันใดภายในเวลา 10^{-8} วินาที และหยุดทันทีเมื่อเลิกการกระตุ้น ส่วนการพรายแสง (Phosphorescence) เป็นการเปล่งแสงที่ปลดปล่อยแสงออกมาหลังจากได้รับการกระตุ้นแล้วนานกว่า 10^{-8} วินาที และจะเปล่งแสงต่อไปอีกนานแม้ว่าจะหยุดการกระตุ้นแล้ว

การหาอายุสัมพัทธ์ (Relative-age Dating)

การหาอายุสัมพัทธ์ เป็นการสังเกตรูปแบบและความสัมพันธ์ของหลักฐานที่ปรากฏ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาถึงลำดับการเกิดของหลักฐานแต่ละชั้น โดยใช้ทฤษฎีประกอบการพิจารณาและทำการเทียบเคียงลำดับการเกิดจากหลักฐานแวดล้อมเพื่อบ่งบอกถึงอายุของหลักฐานนั้น ๆ ทั้งนี้ทฤษฎีในทางธรณีวิทยาที่ใช้ประกอบการพิจารณาลำดับการเกิดมีหลากหลายทฤษฎี เช่น การลำดับชั้นของหินตะกอน การตัดแทรกของผนังหิน ลักษณะการวางตัวและโครงสร้าง และการตัดผ่านของรอยเลื่อน เป็นต้น จากวิธีการหาอายุสัมพัทธ์ดังกล่าวจะสามารถบ่งบอกอายุได้โดยคร่าว่ว่าหลักฐานที่สนใจดังกล่าวเกิดขึ้นก่อนหรือหลังเมื่อเทียบกับหลักฐานแวดล้อมเพื่อใช้อธิบายถึงลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต ส่วนในทางโบราณคดีจะนิยมใช้การหาอายุสัมพัทธ์จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ประเภทหลักฐานที่ไม่เป็นลายลักษณ์อักษรเป็นหลัก เพราะเนื่องจากไม่มีการจดบันทึกเป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงอายุของโบราณสถาน หรือโบราณวัตถุ นั้น ๆ ทั้งนี้ใช้การสังเกตจากหลักฐานที่ปรากฏและพิจารณาด้วยทฤษฎีทางโบราณคดีซึ่งมีหลากหลายทฤษฎี เช่น วิธีการพิจารณารูปแบบ (Typology) โดยสังเกตจากรูปร่าง รูปทรง ลักษณะและปริมาณของหลักฐานเพื่อวิเคราะห์ถึงวิวัฒนาการการจัดสร้างและความนิยมในการใช้เครื่องมือเครื่องใช้ในแต่ละยุคสมัย หรือการวิเคราะห์ชั้นดิน (Strati-graphical analysis) โดยสังเกตจาลำดับการก่อสร้าง การก่อรากฐาน การขุดและการทับถม เพื่อวิเคราะห์ลำดับในการก่อสร้างของสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่ออธิบายลักษณะและความเป็นไปของการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ในอดีตที่ปรากฏให้เห็นเป็นหลักฐานและร่องรอยมาจนถึงปัจจุบัน

การหาอายุสัมบูรณ์ (Absolute-age Dating)

การหาอายุสัมบูรณ์ เป็นการหาอายุที่สามารถบ่งบอกค่าอายุเป็นตัวเลขระบุจำนวนปีได้ชัดเจนซึ่งส่วนใหญ่อาศัยทฤษฎีและหลักการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้อง ในทางธรณีวิทยามีการทดลองหลากหลายการทดลองที่สามารถหาอายุสัมบูรณ์ได้ เช่น การหาอายุจากตัวอย่างซากดึกดำบรรพ์ดัชนีที่ถูกเก็บรักษาไว้ในเนื้อหิน การหาอายุจากปีต้นไม้ การหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง และการหาอายุจากธาตุกัมมันตรังสี เป็นต้น ซึ่งการหาอายุในแต่ละวิธีนั้นมีข้อจำกัด ข้อดี และข้อเสียแตกต่างกันออกไป และแต่ละวิธีจะเหมาะสมกับตัวอย่างเฉพาะกลุ่มเท่านั้น ทั้งนี้การหาอายุจากธาตุกัมมันตรังสีนั้นได้รับความนิยมมาก เพราะเป็นการหาอายุจากตัวอย่างหินที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นธาตุกัมมันตรังสีซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ โดยใช้การวัดปริมาณธาตุกัมมันตรังสีที่มีในตัวอย่งและนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณอายุด้วยค่าครึ่งชีวิต 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 ค่าปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมในตัวอย่ง เนื่องจากกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) เป็นคุณสมบัติของธาตุบางชนิด ที่สามารถเปลี่ยนแปลงตัวเองเป็นธาตุชนิดอื่นที่มีความเสถียรมากกว่า ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะมีการปลดปล่อยรังสีออกมาด้วย โดยที่ปริมาณรังสีที่ปลดปล่อยมาจากธาตุกัมมันตรังสีซึ่งเป็นต้นกำเนิดของรังสี จะวัดออกมาในหน่วยเบคเคอเรล (Becquerel (Bq)) เมื่อรังสีที่ปลดปล่อยออกมามีค่าดังกล่าว เช่น การอาบรังสีให้กับตัวอย่างพลังงานที่ตัวอย่งได้รับจากการอาบรังสี เรียกว่า ปริมาณรังสีที่ได้รับ (radiation dose) มีหน่วยเป็น เกรย์ (Gray (Gy)) ซึ่งสำหรับการทดลองการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงนั้นจะสนใจปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมในตัวในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นหลุมที่เกิดจากการจัดเรียงของโครงสร้างผลึกที่ไม่สมบูรณ์ของแร่ในธรรมชาติ โดยการสะสมตัวของอิเล็กตรอนดังกล่าวเกิดขึ้นจากการผลึกอิเล็กตรอนลงไปหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน 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 รังสีเบตาและรังสีแกมมา กับระยะเวลาในการปลดปล่อย 1 ปี ซึ่งเรียกว่า Annual dose มีหน่วยเป็น เกรย์ต่อปี (Gray/Year (Gy/Y))

อายุ (Age)

อายุที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์ในโครงการฉบับนี้มีหน่วยเป็น ปีก่อนปัจจุบัน ซึ่งเป็นอายุที่เทียบกับปีพุทธศักราช 2560

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยปรากฏหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่เป็นโบราณสถานมากมายหลายแห่งซึ่งกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ จากข้อมูลของกลุ่มเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ กรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม ได้ระบุว่าโบราณสถานในประเทศไทยทั้งที่ขึ้นทะเบียนและยังไม่ได้ขึ้นทะเบียนนั้นมีปริมาณรวมทั้งสิ้น 9,154 แห่ง ซึ่งหนึ่งในโบราณสถานของประเทศไทยที่มีความน่าสนใจคือโบราณสถานกำแพงเมืองสงขลา เนื่องจากมีลักษณะของกำแพงเมืองที่ใช้หินเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างกำแพงเมือง ซึ่งเป็นการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่โดดเด่นและแตกต่างจากเมืองอื่น ๆ อันเป็นเอกลักษณ์ของรูปแบบทางด้านสถาปัตยกรรมของกำแพงเมืองสงขลา ปัจจุบันคงเหลือไว้ให้เห็นเฉพาะส่วนของกำแพงเมืองทางด้านทิศเหนือของตัวเมือง ตั้งอยู่ในบริเวณริมถนนจะนะ ตำบลบ่อยาง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา โดยกรมศิลปากรได้ประกาศขึ้นทะเบียนกำแพงเมืองสงขลาบริเวณดังกล่าวเป็นโบราณสถานแห่งชาติในหนังสือราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 93 ตอนที่ 112 เมื่อวันที่ 21 กันยายน พุทธศักราช 2519 ครอบคลุมเนื้อที่ 2 ไร่ 17 ตารางวา (รูปที่ 1)

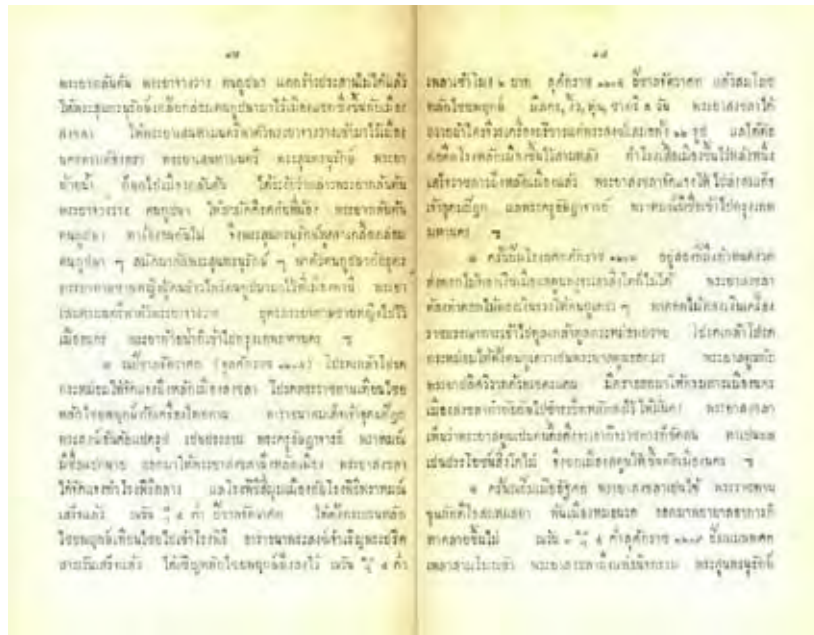


รูปที่ 1 รูปแสดงโบราณสถานกำแพงเมืองสงขลาบริเวณริมถนนจะนะ ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ซึ่งมีลักษณะเป็นกำแพงเมืองที่สร้างขึ้นด้วยหิน (<http://songkhlatoday.com>)

ข้อมูลประวัติการก่อสร้างกำแพงเมืองสงขลาตามที่ปรากฏในประชุมพงศาวดารภาคที่ 53 พงศาวดารเมืองสงขลา พงศาวดารเมืองนครศรีธรรมราช พงศาวดารเมืองพัทลุง ฉบับเจ้าพระยาวิเชียรคีรี (บุญสังข์) ตอนที่ 1 หน้า 28 ถึง หน้า 29 ได้ระบุว่า “ครั้น ณ ปีวอก อัฐศกจุลศักราช 1198 มีตราโปรดเกล้าโปรดกระหม่อมออกมาให้ต่อก่อกำแพงเมืองสงขลา พระราชทานช่วยอาคารเมืองสงขลาให้พระยาสงขลาใช้จ่ายในการก่อกำแพงสองร้อยชั่ง พระยาสงขลาเกาะเกณฑ์ไพร่เมืองสงขลาก่อกำแพงด้วยศิลายังไม่เสร็จ” (รูปที่ 2) หลักฐานชั้นต้นประเภทหลักฐานที่เป็นลายลักษณ์อักษรดังกล่าวจึงมีความน่าเชื่อถือในด้านประวัติศาสตร์ของจังหวัดสงขลา ซึ่งบ่งบอกว่ากำแพงเมืองสงขลาที่ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของเมืองซึ่งมีลักษณะเป็นกำแพงหินก่อด้วยปูนนั้นสร้างขึ้นเมื่อปีพุทธศักราช 2379 ในรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 3) และสร้างแล้วเสร็จในปีพุทธศักราช 2385 พร้อมประกอบพิธีวางเสาหลักเมือง ตามที่ปรากฏต่อมาในหลักฐานดังกล่าว หน้า 36 ซึ่งระบุว่า “ณ ปีชลา จัตวาศกจุลศักราช 1204 โปรดเกล้าโปรดกระหม่อมให้จัดแจงฝังหลักเมืองสงขลา โปรดพระราชทานเทียนไชยหลักไชยพฤกษ์กับเครื่องไทยทาน อารารนาสมเด็จพระเจ้าอุดมปิฎก พระสงฆ์อันดับแปดรูป เป็นประธาน พระครูอัชฎาจารย์ พราหมณ์มีชื่อแปดนาย ออกมาให้พระยาสงขลาฝังหลักเมือง” (รูปที่ 3) ฉะนั้นแล้วกำแพงเมืองสงขลาจึงมีอายุราว 175 ถึง 181 ปี ก่อนปัจจุบัน



รูปที่ 2 รูปแสดงข้อมูลการสร้างกำแพงเมืองสงขลาที่ปรากฏในหลักฐานประชุมพงศาวดารภาคที่ 53 พงศาวดารเมืองสงขลา พงศาวดารเมืองนครศรีธรรมราช พงศาวดารเมืองพัทลุง ในพงศาวดารเมืองสงขลาของเจ้าพระยาวิเชียรคีรี บุญสังข์



รูปที่ 3 รูปแสดงข้อมูลการประกอบพิธีตั้งเสาหลักเมืองที่ปรากฏในหลักฐานประชุมพงศาวดารภาคที่ 53 พงศาวดารเมืองสงขลา พงศาวดารเมืองนครศรีธรรมราช พงศาวดารเมืองพัทลุง ในพงศาวดารเมืองสงขลา ของเจ้าพระยาวิเชียรคีรี บุญสังข์

ต่อมาในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2560 สำนักศิลปากรที่ 11 สงขลา กรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม ได้มีโครงการขุดแต่งเพื่อออกแบบบูรณะกำแพงเมืองสงขลา ถนนนครนอก โดยมี นายสารัท ชลอสันติกุล นักโบราณคดีชำนาญการ และนางสาวชนาธิป ไชยนุกิจ นักโบราณคดีชำนาญการ เป็นผู้ควบคุมงาน ซึ่งระหว่างการดำเนินงานของโครงการผู้ควบคุมงานได้ทำการขุดค้นพบแนวกำแพงเมืองสงขลาด้านทิศตะวันตกของเมืองเพิ่มเติม โดยในการขุดค้นพบในครั้งนี้พบลักษณะของรากฐานของกำแพงเมืองสงขลาที่มีลักษณะเป็นกำแพงที่สร้างขึ้นด้วยหินและก่อด้วยปูน ซึ่งเป็นลักษณะที่ตรงตามข้อมูลที่ปรากฏในหลักฐานทางประวัติศาสตร์ตั้งที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่บริเวณส่วนบนของกำแพงและผนังของกำแพงทางด้านในของตัวเมืองพบเป็นลักษณะของกำแพงที่สร้างขึ้นด้วยอิฐและก่อด้วยปูนซึ่งเป็นการใช้วัสดุในการก่อสร้างที่แตกต่างไปจากกำแพงเมืองสงขลา ด้านทิศเหนือที่ก่อสร้างด้วยหินเป็นหลัก (รูปที่ 4) และจากการตรวจสอบตำแหน่งหลุมขุดค้นกับแผนที่เก่าเมืองสงขลาจากหลักฐานสมุดไทยเลขที่ 96 แผนที่เมืองสงขลาและระยะทาง โดยการนำตำแหน่งที่พบโครงสร้างอิฐดังกล่าวมาเทียบกับแผนที่เมืองสงขลาเก่าพบว่ามีความตรงกัน (รูปที่ 5) จึงตั้งสมมติฐานเบื้องต้นว่าบริเวณกำแพงเมืองสงขลาฝั่งตะวันตกซึ่งเป็นกำแพงที่มีรากฐานเป็นกำแพงหินและมีบางส่วนเป็นกำแพงอิฐนี้ถูกสร้างขึ้นพร้อมกันกับแนวกำแพงเมืองสงขลาด้านทิศเหนือ ด้วยสมมติฐานดังกล่าวเป็นประเด็นปัญหาด้านประวัติศาสตร์การก่อสร้างกำแพงเมืองสงขลาที่ต้องการพิสูจน์ทราบอายุของกำแพงที่ก่อสร้างด้วยอิฐซึ่งตั้งอยู่บนกำแพงหินและตั้งอยู่แนบกับ

กำแพงหินทางด้านในของตัวเมืองนี้ เพื่อนำข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้มาวิเคราะห์และอธิบายถึงประวัติศาสตร์การสร้างกำแพงเมืองในรายละเอียดต่อไป



รูปที่ 4 รูปแสดงลักษณะที่ต่างกันของวัสดุที่ใช้ในการก่อกำแพงเมืองระหว่างส่วนฐานของกำแพงเมืองและส่วนบนของกำแพงเมือง ถ่ายโดยนายสารัท ชลอสันติสกุล นักโบราณคดีชำนาญการ สำนักศิลปากรที่ 11 สงขลา กรมศิลปากร



รูปที่ 5 รูปเปรียบเทียบตำแหน่งพื้นที่ศึกษาและตำแหน่งแนวกำแพงเมืองสงขลาที่ปรากฏในหลักฐาน สมุดไทย เลขที่ 96 แผนที่เมืองสงขลาและระยะทาง ของกรมศิลปากร (บน) กับลักษณะเมืองสงขลาในปัจจุบันที่ปรากฏในแผนที่จาก Google Earth Pro (ล่าง)

โดยการหาอายุอัฐในทางโบราณคดีแต่เดิมนั้นใช้การหาอายุสัมพัทธ์ (Relative-age Dating) ซึ่งไม่สามารถระบุอายุเป็นตัวเลขที่แน่นอนและไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบช่วงเวลาอย่างเป็นสากลได้เหมือนกับการหาอายุสัมบูรณ์ (Absolute-age Dating) จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าในช่วงประมาณ 20 ปี ที่ผ่านมานักวิทยาศาสตร์ได้คิดค้นและพัฒนาวิธีการหาอายุของอัฐจากโบราณสถานที่สำคัญต่าง ๆ โดยใช้การหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง (ยกตัวอย่างเช่น Bailiff and Holland, 2000; Bailiff, 2007 และ Pailoplee et al., 2016) ซึ่งเป็นวิธีหาอายุแบบหนึ่งที่สามารถให้ค่าอายุที่เป็นตัวเลขที่แน่นอนได้ จากประเด็นปัญหาดังกล่าวนี้ผู้จัดทำโครงการจึงมีความสนใจที่จะทำการทดลองเพื่อหาอายุของอัฐเมืองสงขลาด้วยวิธีเปล่งแสงและนำผลการทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลเทียบกับข้อมูลทางประวัติศาสตร์เพื่อการสรุปผลและอธิบายถึงการสร้างกำแพงเมืองสงขลาในรายละเอียดต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อหาอายุอัฐจากกำแพงเมืองสงขลาด้วยวิธีเปล่งแสง

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

มีความรู้ความเข้าใจในหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับการหาอายุโดยวิธีเปล่งแสง รวมไปถึงสามารถเตรียมตัวอย่างแร่สำหรับการหาอายุวัสดุประเภทอัฐ สามารถใช้เครื่องมือทำการทดลองและสามารถวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองการหาอายุโดยวิธีเปล่งแสงได้ นอกจากนี้ผลที่ได้จากการทดลองดังกล่าวเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถนำไปใช้ประกอบกับข้อมูลทางประวัติศาสตร์เพื่อการอธิบายการถึงสร้างกำแพงเมืองสงขลาในรายละเอียดต่อไปได้

1.4 พื้นที่ศึกษา

1.4.1 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาในการทำโครงการครั้งนี้ คือ กำแพงเมืองสงขลาในโครงการขุดแต่งเพื่อออกแบบบูรณะกำแพงเมืองสงขลา ถนนนครนอก ของสำนักศิลปากรที่ 11 สงขลา กรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม ตั้งอยู่บนพิกัดทางภูมิศาสตร์ ละติจูดที่ $N 7^{\circ} 11' 56.20''$ และลองจิจูดที่ $E 100^{\circ} 35' 18.65''$ (พิกัดกริด UTM WGS 84 Zone 47N ลำดับชุด L7018S ระวัง 5123 III ชื่อแผนที่จังหวัดสงขลา พิกัด 675398 E 1796081 W) พื้นที่ศึกษาทางด้านทิศเหนือติดกับศูนย์จรรยาจรตำรวจภูธรอำเภอเมืองสงขลา ด้านทิศตะวันออกติดกับที่ทำการของธนาคารกสิกรไทยและบ้านพักตำรวจ ด้านทิศตะวันตกติดต่อกับที่ดินของเอกชนซึ่งห่างจากชายฝั่งทะเลสาบสงขลาเป็นระยะ 37 เมตรและด้านทิศใต้ติดกับแนวถนนนครนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา



รูปที่ 6 รูปแสดงที่ตั้งของพื้นที่ศึกษานบนแผนที่จาก Google Earth Pro

1.4.2 ข้อมูลลักษณะทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศของจังหวัดสงขลา

ข้อมูลจากกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปีพุทธศักราช 2557 ระบุว่า จังหวัดสงขลา ตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันออกของภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย มีเนื้อที่ประมาณ 7,394 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 4,621,250 ไร่ มีพื้นที่ขนาดใหญ่เป็นอันดับที่ 27 ของประเทศไทยและมีพื้นที่ขนาดใหญ่เป็นอันดับที่ 3 ของภาคใต้ รองจากจังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดนครศรีธรรมราช มีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ใกล้เคียงดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	จังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดพัทลุง
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	อ่าวไทย
ทิศใต้	ติดต่อกับ	จังหวัดยะลา จังหวัดปัตตานี และรัฐเปอร์ลิส ของประเทศมาเลเซีย
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดพัทลุงและจังหวัดสตูล

ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดสงขลามีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยพื้นที่ทางด้านทิศเหนือของจังหวัดส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม มีลักษณะเป็นคาบสมุทรแคบ ๆ ทอดยาวยื่นลงไปทางทิศใต้ เรียกว่า คาบสมุทรสทิงพระ พื้นที่ทางด้านทิศตะวันออกของจังหวัดเป็นที่ราบริมชายฝั่งทะเลอ่าวไทย และพื้นที่ทางด้านทิศใต้และทิศตะวันตกเป็นที่ราบสูงและภูเขาที่มีมุลาดเทไปทางทิศเหนือลงสู่ทะเลสาบสงขลา มีป่าไม้อุดมสมบูรณ์อันเป็นแหล่งกำเนิดต้นน้ำสายสำคัญมากมาย

ลักษณะทางภูมิอากาศของจังหวัดสงขลามีฤดูกาลเพียง 2 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อนและฤดูฝน ซึ่งฤดูร้อนจะเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงเดือนเมษายน และฤดูฝนจะเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมไปจนถึงเดือนมกราคม ซึ่งทั้ง 2 ฤดูกาลจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด คือลมมรสุม

ตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดผ่านในช่วงเดือนพฤศจิกายนไปจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ โดยพัดผ่านทะเลอ่าวไทยซึ่งนำความชื้นเข้ามาสู่แผ่นดินภาคใต้ ทำให้จังหวัดสงขลานั้นมีฝนตกชุก ส่วนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะพัดผ่านในช่วงเดือนพฤษภาคมไปจนถึงเดือนตุลาคม โดยจะพัดผ่านมหาสมุทรอินเดีย นำไอน้ำและความชุ่มชื้นมาสู่แผ่นดินภาคใต้ แต่เนื่องจากสภาพทางภูมิศาสตร์ของภาคใต้ที่มีแนวเทือกเขาตะนาวศรีวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งขวางกั้นทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จึงทำให้จังหวัดสงขลาซึ่งตั้งอยู่ทางภาคใต้ฝั่งตะวันออกนั้นมีปริมาณฝนน้อยกว่าจังหวัดทางด้านภาคใต้ฝั่งตะวันตก ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาสงขลา รวบรวมโดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ และข้อมูลจากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก สงขลา สังกัดกรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ระบุว่า จากข้อมูลในช่วงปีพุทธศักราช 2546 – 2558 จังหวัดสงขลา มีปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 2,323 มิลลิเมตร และข้อมูลจากศูนย์พยากรณ์อากาศภาคใต้สงขลา ใต้ระบุว่า จังหวัดสงขลา มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 27.6 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สูงมาก กล่าวคือสภาพอากาศในจังหวัดสงขลาไม่ร้อนจัดในช่วงฤดูร้อนและมีความอบอุ่นในช่วงฤดูฝน

1.4.3 ข้อมูลทางประวัติศาสตร์ของพื้นที่ศึกษา

ประวัติศาสตร์เมืองสงขลาตามข้อมูลในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ สงขลา นั้น ระบุว่า เมืองสงขลานั้นเป็นเมืองโบราณแห่งหนึ่งในประเทศไทย ตั้งอยู่ริมชายฝั่งทะเลอ่าวไทยซึ่งถือได้ว่าเป็นชัยภูมิในการตั้งเมืองที่ดีที่ส่งผลให้มีการคมนาคมที่สะดวกอันนำไปสู่การขนส่งและค้าขายที่เจริญรุ่งเรืองมาก จนทำให้เมืองสงขลาเป็นเมืองท่าและเป็นศูนย์กลางทางการค้าที่สำคัญของภาคใต้ รวมถึงเป็นแหล่งท่องเที่ยวทางด้านประวัติศาสตร์และโบราณคดีที่สำคัญที่ยังคงรักษาความเก่าแก่ของโบราณสถานอันเป็นเอกลักษณ์ของเมืองไว้อย่างสมบูรณ์

ที่มาของชื่อเมือง “สงขลา” นั้นมีข้อสันนิษฐาน 2 ลักษณะ คือ

1) สันนิษฐานว่า คำว่า “สงขลา” มาจากคำว่า “สิงหนครา” โดยให้เหตุผลว่า ในสมัยโบราณนั้นมีพ่อค้าชาวอินเดียเดินทางเข้ามาค้าขายทางเรือ ซึ่งการเดินทางนั้นจะต้องผ่านเกาะหนูและเกาะแมวในทะเลเพื่อเข้ามาเทียบท่าเรือที่ชายฝั่ง ทำให้มีทิศทางการมองจากทะเลเข้าสู่ชายฝั่งซึ่งกลับกันกับทิศทางการมองของชาวเมืองสงขลาจึงเห็นรูปร่างของเกาะหนูและเกาะแมวเหมือนสิงห์หมอบอยู่บนพื้นน้ำ จึงเรียกว่า “สิงหลา” แปลว่า “เกาะรูปสิงห์” และเรียกเมืองที่ตั้งอยู่ว่า “สิงหนครา” อันหมายถึง เมืองที่มีเกาะรูปสิงห์ตั้งอยู่ในด้านหน้าของเมือง

2) สันนิษฐานว่า คำว่า “สงขลา” มาจากคำว่า “สิงขรนครา” โดยให้เหตุผลว่า ในสมัยโบราณนั้นมีพ่อค้าชาวอินเดียเดินทางเข้ามาค้าขายทางเรือกับชาวเมืองสงขลา ซึ่งตั้งชุมชนอยู่ที่เชิงภูเขาแดง จึงเรียกชาวเมืองตามภาษาจากอินเดียว่า ชาว “สิงขรนครา” แปลว่า “ชาวเมืองภูเขา” อันหมายถึง ชาวเมืองที่ตั้งบ้านเรือนอยู่ใกล้ภูเขา

จากข้อสันนิษฐานดังกล่าวประกอบกับกาลเวลาที่ผ่านมานั้นและการสื่อสารมากมายหลายภาษาในรูปแบบของพหุวัฒนธรรมที่เกิดจากการที่มีคนหลากหลายเชื้อชาติเข้ามาติดต่อกันในเมืองสงขลาโดยเฉพาะชาติตะวันตก จึงทำให้ทั้ง 2 คำ คือ “สิงหนครา” และ “สิงขรนครา” ถูกเรียกเพี้ยนไปตามชาวตะวันตกว่า “ซิงกอรา (Sangora)” และเพี้ยนเป็น “สงขลา” ตามที่เรียกกันในปัจจุบัน

การตั้งถิ่นฐานของชาวสงขลาตามประวัติศาสตร์เมืองสงขลาที่มีประวัติความเป็นมายาวนานตั้งแต่เริ่มมีชุมชนโบราณขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง เช่น บริเวณตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมืองสงขลา และบริเวณตำบลกำแพงเพชร อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา ซึ่งจากการค้นพบหลักฐานจำพวก กระดุกมนุษย์ กระดุกสัตว์และเครื่องมือหินขัดในบริเวณดังกล่าว นักโบราณคดีจึงได้กำหนดอายุจากหลักฐานดังกล่าวว่ามีอายุราว 3,500 ปี ก่อนพุทธศักราช ซึ่งตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาชุมชนเหล่านี้ได้เผชิญกับศึกสงคราม เกิดการย้ายถิ่นฐานและการรวมตัวกันใหม่เรื่อยมา จนกระทั่งถึงเมืองสงขลาสมัยสุดท้ายคือ “เมืองสงขลาตำบลบ่อยาง” ซึ่งตั้งขึ้นเมื่อปีพุทธศักราช 2385 โดยพระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 3 ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้พระยาวิเชียรคีรี ย้ายเมืองสงขลาเก่าที่ตั้งอยู่ฝั่งแหลมสน ไปตั้งที่ตำบลบ่อยาง ซึ่งเป็นฝั่งตรงข้ามกันของทะเลสาบสงขลา กับเมืองสงขลาเก่าฝั่งแหลมสนเดิม เพราะเมืองสงขลาเก่าฝั่งแหลมสนนั้นถูกห้อมล้อมด้วยทะเลสาบสงขลาและภูเขาจึงไม่สามารถขยายตัวเมืองออกไปได้ พระยาวิเชียรคีรี (เถี้ยนเส้ง) จึงเกณฑ์ไพร่พลให้ดำเนินการสร้างกำแพงเมืองขึ้นใหม่ในปีพุทธศักราช 2379 โดยใช้หินก่อด้วยปูนเป็นผังเมืองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีความยาวจากทิศเหนือถึงทิศใต้ 1,200 เมตร ความกว้างด้านทิศเหนือกว้างประมาณ 400 เมตร ส่วนความกว้างทางทิศใต้กว้างประมาณ 470 เมตร ตลอดแนวกำแพงมีความสูง 5 เมตร และหนา 2 เมตร มีป้อมปราการ 8 ป้อม มีประตูเมืองเป็นซุ้มใหญ่ทั้งสิ้น 10 ประตู และมีประตูช่องกุดซึ่งเป็นประตูเล็กอีก 10 ประตู กระจายโดยรอบ ปัจจุบันกำแพงเมืองสงขลาคงเหลือแต่กำแพงทางด้านทิศเหนือของเมืองเลียบบถนนจะนะ ตำบลบ่อยาง อำเภอเมืองสงขลา ตรงข้ามพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติสงขลา กำแพงเมืองสงขลา ดังกล่าวใช้เวลาสร้างกำแพงเมืองรวมทั้งสิ้น 6 ปี หลังจากสร้างเมืองเสร็จสิ้นในปีพุทธศักราช 2385 พระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 3) ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานไม้ชัยพฤกษ์สำหรับเป็นไม้หลักเมืองและพระราชทานเทียนชัยสำหรับประกอบพิธีแก่พระยาวิเชียรคีรี (เถี้ยนเส้ง) อันเป็นการสร้างเมืองสงขลาเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งเมืองสงขลาตำบลบ่อยางมีเจ้าเมืองสงขลาเป็นผู้ปกครองทั้งสิ้น 5 คน คือ

พระยาวิเชียรคีรี	(เถี้ยนเส้ง ณ สงขลา)	พ.ศ. 2381 - 2390
เจ้าพระยาวิเชียรคีรี	(บุญสังข์ ณ สงขลา)	พ.ศ. 2390 - 2408
เจ้าพระยาวิเชียรคีรี	(เม่น ณ สงขลา)	พ.ศ. 2408 - 2427

พระยาวิเชียรคีรี (ชุ่ม ณ สงขลา) พ.ศ. 2427 - 2431

พระยาวิเชียรคีรี (ชม ณ สงขลา) พ.ศ. 2431 - 2447

ในสมัยของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 5) ได้มีการปฏิรูปการเมืองการปกครองของประเทศ ทำให้ในปีพุทธศักราช 2449 ได้รวมหัวเมืองต่าง ๆ ได้แก่ เมืองสงขลา เมืองพัทลุงและเมืองนครศรีธรรมราชเข้าด้วยกันและตั้งขึ้นเป็นมณฑลนครศรีธรรมราช โดยมีตำแหน่งสมุหเทศาภิบาลมณฑลเป็นผู้ดูแล ซึ่งมีรายนามสมุหเทศาภิบาล มณฑลนครศรีธรรมราช ได้แก่

พระยาสุขุมนัยวินิต (ปั้น สุขุม) พ.ศ. 2439 - 2448

พระยาชลอรานุรักษ์ (เจริญ จารุจินดา) พ.ศ. 2449 - 2458

กรมหลวงลพบุรีราเมศวร์ พ.ศ. 2458 - 2468

จนกระทั่งในปีพุทธศักราช 2475 รัฐบาลได้เปลี่ยนแปลงการปกครองโดยยกเลิกระบบเดิมทั้งหมด และประกาศให้สงขลาขึ้นเป็นจังหวัดหนึ่งของประเทศไทยจนถึงปัจจุบัน

1.4.4 ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาจากกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปีพุทธศักราช 2557 ได้ระบุว่า พื้นที่จังหวัดสงขลาประกอบด้วยหินหลายชนิดทั้งหินตะกอนและหินอัคนีแทรกซอน จึงทำให้มีลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการทางธรณีวิทยาหลายกระบวนการ จากหลักฐานทางธรณีวิทยาที่พบในพื้นที่จังหวัดสงขลาจะพบหินที่มีอายุตั้งแต่ยุคแคมเบรียน (ประมาณ 540 ล้านปี) จนถึงตะกอนร่วนยุคปัจจุบัน

สำหรับพื้นที่ศึกษาของโครงการนี้นั้นตั้งอยู่ในตำแหน่งของตะกอนร่วนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) ที่เป็นตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal flat deposits) ซึ่งตะกอนเหล่านี้เกิดจากการสะสมตัวด้วยอิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นลงของน้ำทะเลในบริเวณที่น้ำทะเลขึ้นถึง ในที่นี้ได้รวมเอาตะกอนป่าชายเลน ตะกอนหลังป่าชายเลน ตะกอนเลนไถ่น้ำ ตะกอนทรายไถ่น้ำ ตะกอนสันดอนทราย ทรายในร่องน้ำบริเวณที่ลุ่มราบน้ำขึ้นถึง และสันทรายนอกฝั่งเอาไว้ด้วยกัน ส่วนใหญ่ประกอบด้วย ทราย ทรายแป้ง ทรายเลน ดินเคลย์เศษไม้รากไม้และสารอินทรีย์ต่าง ๆ นอกจากนี้ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษานั้นตั้งอยู่ใกล้กับหมวดหินยะหา (Yaha Formation) อันประกอบด้วยหินทรายสีเทาจาง เนื้อปานกลางถึงหยาบ มีการคัดขนาดที่ดีและมีการเชื่อมประสานปานกลางถึงดีมาก พบเป็นชั้นหนาปานกลางถึงหนามาก นอกจากนี้พบเป็นหินดินดานและหินโคลนสีเทาแกมเขียวถึงเทา บางบริเวณพบเป็นหินทรายสลับกับหินดินดานเป็นชั้น ๆ มีซากดึกดำบรรพ์ชนิด *Posidonomya* sp. แอมโมไนต์หอยสองฝา และไทรโลไบต์และพบเป็นหินทรายแป้งสีน้ำตาลแกมแดง หินเชิร์ต สีม่วงแกมแดงสีเทาถึงเทาดำชั้นบาง (หินเชิร์ตแบบบริบบัน) หินทรายแป้งสีเทา

อ่อนและหินกรวดมนเม็ดกรวด ขนาด 1-10 เซนติเมตร ประกอบด้วยหินทราย แร่ควอตซ์หินเชิร์ต และหินควอตซ์ไซต์

จากการตรวจสอบวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างกำแพงเมืองสงขลาโดยกรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรมซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากสำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เขต 1 พบว่ากำแพงเมืองสงขลาก่อสร้างโดยใช้หินเป็นวัสดุหลักซึ่งมีหลากหลายชนิด ได้แก่ หินทราย เนื้อละเอียด (fine grained sandstone) หินทรายแป้ง (siltstone) หินดินดาน (shale) หินทราย เนื้อละเอียดสลับกับหินทรายแป้ง และหินทรายเนื้อละเอียดสลับกับหินดินดาน จึงสันนิษฐานว่าหินที่ใช้ในการสร้างกำแพงเมืองสงขลานั้นเป็นหินในหมวดหินยะหาดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยมีแหล่งที่มา 2 แห่ง คือเขาตังกวนซึ่งเป็นภูเขาที่ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของกำแพงเมืองสงขลาในบริเวณแหลมสมิหลา ห่างจากโบราณสถานกำแพงเมืองสงขลาเพียง 700 เมตร และเขาแดงซึ่งเป็นภูเขาที่ตั้งอยู่ในอำเภอลิงหนคร ฝั่งตรงข้ามกับอำเภอสงขลาโดยมีทะเลสาบสงขลาคั่นกลาง ห่างจากโบราณสถานกำแพงเมืองสงขลาเป็นระยะทางเพียง 1.5 กิโลเมตร

1.4.5 ข้อมูลชุมชนโบราณและการผลิตอิฐในพื้นที่ใกล้เคียง

การก่อสร้างกำแพงเมืองสงขลานั้นนอกจากการใช้หินเป็นวัสดุหลักแล้วยังพบการใช้อิฐเป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่ง จากข้อมูลทางประวัติศาสตร์ของชุมชนโบราณตามแนวริมคลองสำโรง อันเป็นคลองที่ตัดผ่านอำเภอสงขลาเพื่อเชื่อมต่อระหว่างทะเลสาบสงขลากับอ่าวไทยนั้น พบว่ามีชุมชนโบราณเป็นจำนวนมากที่ตั้งถิ่นฐานอยู่ริมคลองสำโรงนี้ โดยเฉพาะชุมชนเตาอิฐและชุมชนท่าสะพาน ซึ่งตั้งอยู่ในตำบลบ่ออิฐ อำเภอสงขลา จังหวัดสงขลา ห่างจากโบราณสถานกำแพงเมืองสงขลาเป็นระยะทางเพียง 1.6 กิโลเมตร โดยพบหลักฐานร่องรอยเตาเผาอิฐ เตาเผากระเบื้อง รวมถึงเศษภาชนะเครื่องปั้นดินเผาเป็นจำนวนมากปะปนอยู่กับเศษกระเบื้อง ภาชนะ ศิลปะสมัยจีนโบราณ จึงสันนิษฐานว่าชุมชนแห่งนี้เป็นผู้ผลิตอิฐที่ใช้ในการสร้างกำแพงเมืองสงขลา โดยได้รับวิทยาการการเผาอิฐมาจากชาวจีนที่มีการติดต่อค้าขายกับเมืองสงขลามาตั้งแต่โบราณ และอีกหนึ่งหลักฐานที่แสดงถึงความรู้ความสามารถด้านการผลิตเครื่องปั้นดินเผาของชาวสงขลา คือ กระเบื้องเกายอ ซึ่งมีการผลิตในบริเวณเกายอ ซึ่งตั้งอยู่ในทะเลสาบสงขลา ห่างจากโบราณสถานกำแพงเมืองสงขลาเป็นระยะทางประมาณ 6 กิโลเมตร จากหลักฐานใบบอกเมืองสงขลาพบว่าในช่วงรัชกาลที่ 3 ถึงรัชกาลที่ 5 มีการสั่งผลิตกระเบื้องเกายอเพื่อใช้ในการก่อสร้างและซ่อมแซมกิจการต่าง ๆ ของประเทศ จึงนับว่ากระเบื้องเกายอเป็นกระเบื้องที่มีคุณภาพดีและมีชื่อเสียงโด่งดังมาก ซึ่งในปัจจุบันพบเตาเผาที่ใช้ผลิตอิฐและกระเบื้องโบราณในจังหวัดสงขลา รวมกว่า 200 แห่งและยังคงเหลือเพียง 1 แห่งที่มีการผลิตอิฐและกระเบื้องแบบโบราณคือบ้านท่านางหอม

วิธีการทำอิฐและกระเบื้องแบบโบราณตามสูตรการทำกระเบื้องเกายอนั้น เริ่มจากการหาแหล่งดินเหนียวที่มีในพื้นที่ โดยทำการเปิดหน้าดินทิ้งประมาณ 15 เซนติเมตร และสามารถใช้ดินได้

ถึงความลึกที่ 15 เมตร ซึ่งภายหลังจากขุดขึ้นมาจะต้องมีการพรมน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันการแข็งตัวของดิน จากนั้นทำการนวดดินเพื่อเตรียมสำหรับการขึ้นรูปต่อไป การทำก้อนอิฐหรือกระเบื้องนั้นจะต้องมีแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปเพื่อให้ดินมีรูปร่างต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งาน ซึ่งก่อนการอัดดินลงแม่พิมพ์จะต้องโรยด้วยเกลือเพื่อให้สามารถนำดินออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย จากนั้นทำการอัดดินและตัดดินส่วนเกินออกโดยการใช้สายคันธนูปาดผิวหน้าให้เรียบแล้วถอดออกจากแม่พิมพ์ จากนั้นนำไปตากแดดเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง หลังดินแห้งจึงทำการตีผิวให้เรียบอีกครั้งแล้วนำเข้าสูเตาเผา ซึ่งจะต้องเผาต่อเนื่องเป็นเวลา 22-23 วัน จึงเสร็จสิ้นพร้อมนำไปใช้งาน

1.5 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.1 ทฤษฎีการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง

Aitken (1985) ได้เสนอหลักการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงขึ้นโดยอาศัยหลักการของผลึกแร่ที่เกิดจากการทำพันธะไอออนิกของธาตุองค์ประกอบซึ่งเป็นพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างธาตุที่มีประจุบวกและธาตุที่มีประจุลบ โดยในเชิงทฤษฎีการทำพันธะไอออนิกจะประกอบด้วยธาตุที่มีประจุบวกและธาตุที่มีประจุลบในปริมาณที่เท่ากันเพื่อความสมดุลและควมมีเสถียรภาพ แต่การจัดเรียงของอะตอมของธาตุในธรรมชาติสามารถเกิดข้อบกพร่องขึ้นได้ กล่าวคือการจัดเรียงอะตอมของธาตุในธรรมชาติอาจเกิดความไม่เท่ากันของปริมาณธาตุที่มีประจุบวกและธาตุที่มีประจุลบ ซึ่งความบกพร่องของผลึกของแร่ในธรรมชาตินี้มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย อาทิ ความเร็วในการเย็นตัวของแร่ซึ่งส่งผลให้การจัดเรียงอะตอมเกิดความไม่ระเบียบเรียบร้อย การแทนที่ในโครงสร้างแร่โดยไอออนของธาตุมลทินจากสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติที่มีธาตุหลากหลายชนิด และการได้รับอิทธิพลจากธาตุกัมมันตรังสีซึ่งปลดปล่อยพลังงานอันมีผลกระทบต่อการจัดเรียงอะตอม เป็นต้น ส่งผลให้ธาตุที่เป็นประจุบวกและธาตุที่เป็นประจุลบในผลึกแร่ไม่สามารถที่จะจัดเรียงได้อย่างปกติหรือสามารถหลุดออกไปได้จากผลึกแร่ 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)

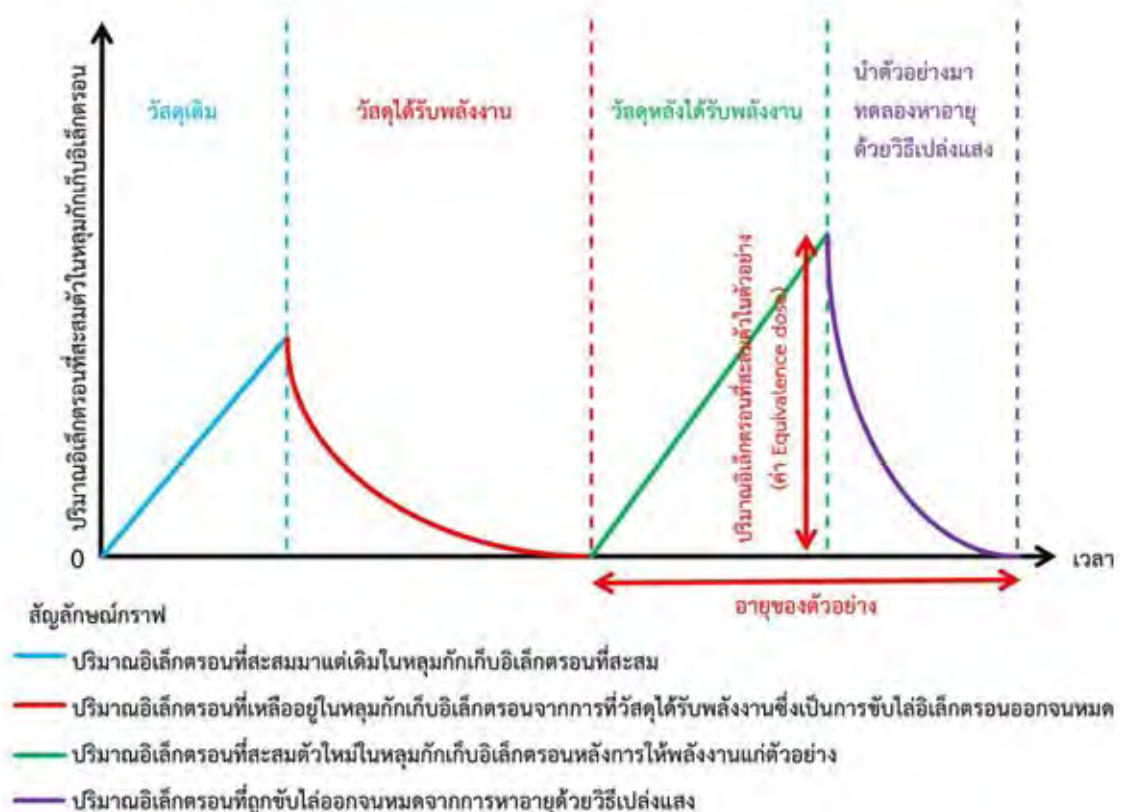


รูปที่ 7 แสดงลักษณะความผิดปกติแบบต่าง ๆ ที่สามารถเกิดขึ้นในโครงผลึกของแร่

ในสภาวะปกติผลึกแร่นั้น ๆ จะได้รับพลังงานจากการสลายตัวของธาตุยูเรเนียม ทอเรียมและโพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ พลังงานที่ปลดปล่อยจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีเหล่านี้จะผลึกให้อิเล็กตรอนในวัสดุเข้าไปสะสมตัวอยู่ในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนดังกล่าว ในอัตราการสะสมตัวที่คงที่ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีที่มีค่าคงที่ตามแต่ชนิดของธาตุกัมมันตรังสีนั้น ๆ จึงทำให้เกิดการสะสมตัวของอิเล็กตรอนในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนเรื่อยมา จนกระทั่งเมื่อให้พลังงานแก่วัสดุ เช่น การโดนแสงของตะกอนก่อนการทับถมและการเผาวัสดุจำพวกอิฐหรือเซรามิก เป็นต้น ซึ่งเป็นการให้พลังงานค่าหนึ่งที่ทำให้ให้อิเล็กตรอนในหลุมกักเก็บขึ้นไปอยู่ในสภาวะกระตุ้น (Excited state) และในทางทฤษฎีได้ตั้งสมมติฐานว่าพลังงานดังกล่าวมากพอจะทำให้ให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนจนหมด โดยภายหลังการให้พลังงานหรือสิ้นสุดการเผาให้อิเล็กตรอนจะกลับมาสะสมตัวใหม่อีกครั้งในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การรวมกันอีกครั้ง (recombination) พร้อมทั้งให้อิเล็กตรอนดังกล่าวก็จะกลับมาอยู่ในสภาวะปกติ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาจนกว่าจะมีการให้พลังงานเพื่อการขับไล่ให้อิเล็กตรอนให้ออกจากหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน (Preusser et al, 2008)

จากหลักการนี้ทางวิทยาศาสตร์จึงนำมาประยุกต์ใช้ในด้านการศึกษาอายุ โดยทำการทดลองให้พลังงานแก่อิเล็กตรอน ซึ่งการให้พลังงานแก่อิเล็กตรอนนั้นมี 2 รูปแบบ คือกระตุ้นด้วยความร้อน ซึ่งเรียกว่า วิธีเปล่งแสงความร้อน (Thermoluminescence (TL)) ซึ่งคิดค้นครั้งแรกโดย Aitken (1985) และกระตุ้นด้วยแสง ซึ่งเรียกว่า วิธีเปล่งแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง (Optically stimulated luminescence (OSL)) ซึ่งคิดค้นครั้งแรกโดย Huntley et al. (1985) จากการให้พลังงานดังกล่าวทำให้อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ในสภาวะกระตุ้นและหลุดออกจากหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานอื่นที่สูงกว่า ทั้งนี้เพื่อจะกลับไปอยู่ในสภาวะเสถียร (Ground State) อิเล็กตรอนที่หลุดออกดังกล่าวจึงต้องคายพลังงานออกมา จึงเกิดปรากฏการเปล่งแสง (Luminesces) ขึ้น โดยจะเรียกค่าที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 รูปแบบนี้ว่า Equivalence dose (ED)

นอกจากนี้ Aitken (1985) ยังทำการทดลองหาความสามารถของพลังงานที่ปลดปล่อยโดยธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติที่สามารถผลักให้อิเล็กตรอนเข้าไปสะสมตัวในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนเป็นเวลา 1 ปี เรียกค่าที่ได้จากการทดลองนี้ว่า Annual dose (AD) จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ทั้ง ED และ AD มาหาความสัมพันธ์ระหว่างกันและเกิดเป็นการคำนวณเพื่อหาอายุโดยวิธีเปล่งแสงขึ้น โดยอายุที่ได้จากการทดลองโดยวิธีนี้จะเป็นอายุที่นับตั้งแต่วัตถุนั้นได้รับพลังงานเป็นครั้งสุดท้าย ซึ่งเป็นเวลาเดียวกันกับที่ตะกอนได้รับแสงเป็นครั้งสุดท้ายก่อนที่จะสะสมตัวโดยมีตะกอนอื่นมาปิดทับ และเป็นเวลาเดียวกันกับที่เครื่องปั้นดินเผาผ่านกระบวนการเผาขณะผลิต (Martini and Sibilia, 2001)



รูปที่ 8 รูปแสดงลักษณะการสะสมตัวและการถูกปลดปล่อยของอิเล็กตรอนในเหตุการณ์ต่าง ๆ (ปรับปรุงจาก Feathers, 2003)

1.5.2 ตัวอย่างที่เหมาะสมกับการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง

จากทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของตัวอย่างที่ใช้ในการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสง คือ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนั้นจะต้องมีองค์ประกอบเป็นแร่ที่มีคุณสมบัติในการเปล่งแสง (Aitken, 1985) ซึ่งแร่ที่มีความเหมาะสมและใช้กันอย่างแพร่หลายในการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงคือ แร่ควอตซ์ (Quartz) และแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) (Feathers, 2003) รวมไปถึง

สำหรับโครงการฉบับนี้จะศึกษาเฉพาะแร่ควอตซ์ เนื่องจากแร่ควอตซ์เป็นแร่ที่มีความเสถียรที่สภาวะแวดล้อมบนพื้นผิวโลก จึงทำให้พบแร่ควอตซ์ในตัวอย่างได้ง่าย ประกอบกับวิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อสกัดแร่ควอตซ์นั้นสามารถทำได้ง่าย นอกจากนี้ด้วยข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองของทางภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเหมาะสมสำหรับการทดลองเพื่อสกัดแร่ควอตซ์เท่านั้น จากเหตุผลดังกล่าวผู้จัดทำโครงการจึงเลือกใช้แร่ควอตซ์เพื่อทำการการศึกษาในครั้งนี้

1.5.3 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 %) และอัตราการแผ่รังสีต่อปีในหน่วยเกรย์ต่อปี (Gy/Y) ของ Bell (1979) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีกับปริมาณรังสีชนิดต่าง ๆ ที่ธาตุกัมมันตรังสีแต่ละชนิดปลดปล่อยออกมา (Bell, 1979)

ธาตุกัมมันตรังสี	ความเข้มข้น	ปริมาณ Radionuclide ($\mu\text{Gy}/\text{Y}$)		
		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 ₂ O)	1%	-	689.3	206.9
รูบิเดียม (Rb)	100 ppm	-	46.4	-

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

จากปัจจัยทั้งหมดข้างต้นจึงใช้สูตรในการคำนวณหาค่า AD ของ Aitken (1985) ที่ว่า

$$AD = D\alpha + D\beta + DY + DC$$

โดยที่

AD คือ ค่า Annual Dose ทั้งหมด มีหน่วยเป็นเกรย์ (Gy)

$D\alpha$ คือ ค่า Annual Dose จากรังสีแอลฟา

มีค่าเท่ากับ
$$\frac{a(2783U+783Th)}{1+1.50W}$$

$D\beta$ คือ ค่า Annual Dose จากรังสีเบตา

มีค่าเท่ากับ
$$\frac{b(146.2U+28.6Th+689.3K)}{1+1.25W}$$

DY คือ ค่า Annual Dose จากรังสีแกมมา

มีค่าเท่ากับ
$$\frac{114.18U+51.4Th+206.9K}{1+1.14W}$$

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

1.5.4 การคำนวณค่าปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมตัวในตัวอย่าง Equivalence dose (ED)

ภายหลังจากการทดลองหาปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมตัวในตัวอย่างด้วยเครื่อง TL/OSL Reader ค่าที่ได้จากเครื่องมือจะแสดงอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของอิเล็กตรอนที่ตรวจวัดได้จากตัวอย่างในหน่วย count/sec กับอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นตัวอย่างในหน่วยองศาเซลเซียส ซึ่งเรียกรูปนี้ว่า Glow curve โดยจะต้องนำกราฟดังกล่าวไปทำการแปลผลการทดลองให้อยู่ในรูป Growth curve เพื่อแปลผลปริมาณของอิเล็กตรอนที่ตรวจวัดได้ให้มีหน่วยเป็นเกรย์ (Gy) ด้วยการใช้วิธี additive (Aitken, 1985) โดยการนำแรควอตซ์หลังการตรวจวัดปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมในตัวอย่างตามธรรมชาติไปทำการอาบรังสีที่ทราบค่าในช่วงค่าต่าง ๆ ในหน่วยเกรย์ แล้วทำการวัดปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมตัวในตัวอย่างหลังการอาบรังสีค่าต่าง ๆ ในหน่วยเกรย์ ซึ่งจะต้องทำอย่างน้อย 3 ค่า เพื่อสร้างกราฟเส้นตรงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอิเล็กตรอนที่วัดได้จากตัวอย่างหลังอาบรังสีแต่ละค่าในหน่วย count/sec กับปริมาณอิเล็กตรอนที่ใช้ในการอาบรังสีแต่ละครั้งในหน่วยเกรย์ และนำกราฟเส้นตรงนี้ไปเทียบกับปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมในตัวอย่างตามธรรมชาติที่วัดได้เพื่อวิเคราะห์ค่า ED ในหน่วยเกรย์ต่อไป

1.5.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาอายุอัฐด้วยวิธีเปล่งแสง

1.5.5.1 การหาอายุอัฐด้วยวิธีเปล่งแสงในต่างประเทศ

Bailiff and Holland (2000) ได้ทำการเก็บตัวอย่างอัฐจากอาคารในยุคกลางของรัฐนิวคาสเซิล สหราชอาณาจักร มาทำการศึกษาในขั้นต้นเพื่อหาอายุอัฐ โดยใช้การหาอายุทั้ง 2 วิธี คือ วิธีเปล่งแสงความร้อนและวิธีเปล่งแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือและสอดคล้องกับข้อมูลทางประวัติศาสตร์ จึงสรุปว่าการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงความร้อนและวิธีเปล่งแสงจากการกระตุ้นด้วยแสงนั้นสามารถประยุกต์ใช้ในการหาอายุอัฐได้ ทั้งนี้ในการศึกษาขั้นต้นนี้ยังต้องมีการปรับปรุงโดยการตรวจสอบและประเมินความถูกต้องของค่า ED ซึ่งมีความซับซ้อนอันเนื่องมาจากปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัย และทั้งนี้ยังมีบางตัวอย่างที่ได้ค่าอายุที่มากผิดปกติ จึงแนะนำว่าควรมีการศึกษาต่อไปถึงสาเหตุของผลการทดลองดังกล่าว

Leung et al. (2004) ได้ทำการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงทั้ง 2 วิธีคือวิธีเปล่งแสงความร้อนและวิธีเปล่งแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง จากอัฐของสถานที่ต่าง ๆ ในประเทศจีนที่รวบรวมไว้ ณ พิพิธภัณฑ์เซียงไฮ้ ทั้งนี้ได้สืบค้นข้อมูลทางประวัติศาสตร์ของอัฐดังกล่าวเพื่อประกอบการวิเคราะห์ผล ซึ่งพบว่าตัวอย่างอัฐดังกล่าวในแต่ละตัวอย่างมีอายุแตกต่างกันซึ่งอยู่ในช่วง 180-1,600 ปี จากการทดลองพบว่าผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 วิธีมีค่าที่สอดคล้องกันโดยสัดส่วนของค่า

Equivalence dose ของทั้ง 2 วิธี (EDOSL/EDTL) มีค่า 0.96 จึงสรุปว่าวิธีการหาอายุด้วยวิธีแปลงแสงทั้ง 2 วิธีนั้นเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการหาอายุอิฐในประเทศจีน

Bailiff (2007) ได้ทำการทดลองหาอายุอิฐด้วยวิธีแปลงแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง โดยเก็บตัวอย่างอิฐจากอาคารโบราณในสหราชอาณาจักรที่สร้างขึ้นในตอนปลายของยุคกลางทั้งสิ้น 7 แห่ง ซึ่งตั้งอยู่ในเมืองลิงคอร์น 6 แห่ง และตั้งอยู่ในเมืองวิลต์เชียร์อีก 1 แห่ง โดย Bailiff ได้ทำการศึกษาข้อมูลทางประวัติศาสตร์ของอาคารโบราณในพื้นที่ศึกษาแต่ละแห่งเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการวิเคราะห์ผลทางวิทยาศาสตร์ จากการศึกษาพบว่าอาคารโบราณเหล่านี้มีอายุอยู่ในช่วง ค.ศ. 1390 ถึง ค.ศ. 1740 จากนั้น Bailiff (2007) จึงทำการทดลองซึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ การทดลองหาค่า Annual Dose และการทดลองหาค่า Equivalence Dose ซึ่งเป็นวิธีที่นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่เชื่อถือและทำการทดลองอ้างอิงจากวิธีการนี้ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

ในขั้นตอนการทดลองหาค่า Annual Dose จะทำการเตรียมตัวอย่างโดยใช้ส่วนหัวเพชรที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทำการเจาะแห้งลงไป 10 เซนติเมตร ทั้งนี้ได้ทำการควบคุมความเร็วในการเจาะและแรงกดระหว่างการตัดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนที่มากเกินไป จากนั้นทำการการติดตั้งแคปซูลวัดปริมาณรังสีในอิฐที่ถูกเจาะดังกล่าวและบันทึกปริมาณรังสีรวมที่เกิดขึ้น

ส่วนในขั้นตอนการทดลองหาค่า Equivalence Dose นั้น Bailiff ได้ศึกษางานวิจัยก่อนหน้า ที่ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปริมาณธาตุโพแทสเซียมในแร่เฟลด์สปาร์ที่ส่งผลต่อค่า Equivalence Dose ที่ใช้ในการวิเคราะห์และกำหนดอายุโดยวิธีแปลงแสงของแร่วอตซ์ (Meisl and Huntley, 2005) และงานวิจัยที่ศึกษาถึงสภาวะแวดล้อมขณะเผาอิฐจากตัวอย่างอิฐทางตอนเหนือของประเทศอิตาลี (Goedicke et al., 1981) แต่ข้อมูลดังกล่าวก็ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอิฐในสหราชอาณาจักรได้เพราะชนิดดินที่ใช้ทำอิฐ สัดส่วนของแร่ที่เป็นองค์ประกอบในอิฐรวมถึงสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติในแต่ละสถานที่นั้นมีความแตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องทำการจัดแร่เฟลด์สปาร์ออกให้หมดโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมี โดยเตรียมตัวอย่างด้วยการตัดอิฐโดยใช้เครื่องตัดใบมีดเพชรที่หล่อลื่นด้วยน้ำให้เป็นแผ่นหนาประมาณ 1 เซนติเมตร โดยตัด ณ ตำแหน่งระหว่าง 8-10 เซนติเมตรจากผิวหน้าของอิฐซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับกับบริเวณที่ใช้วัดค่า Annual Dose ดังที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นขัดผิวด้านนอกออก 3 มิลลิเมตร (Bailiff and Holland, 2000) ทำการบด อบแห้งและร่อนตัวอย่างให้ได้ขนาด 90-150 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปใส่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) 40% เป็นเวลา 45 นาที และแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เป็นเวลา 60 นาที เพื่อกำจัดแร่เฟลด์สปาร์และแร่จำพวกคาร์บอเนตตามลำดับ แล้วนำตัวอย่างควอตซ์ที่สกัดได้ไปวัดค่า Equivalence Dose โดยใช้เครื่อง TL-DA-12 (Risø National Laboratory, Denmark) โดยใช้ตัวอย่าง 1-2 มิลลิกรัม และเตรียมตัวอย่างให้มีความเป็นชั้นเดียวกัน (Mono layer) ด้วยสเปร์ย

น้ำมันซิลิโคน ตั้งค่าอัตราการให้ความร้อนที่ 5 องศาเซลเซียสต่อวินาที และใช้อุณหภูมิระหว่าง 200 และ 260 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองหาอายุนั้นมีค่าที่แตกต่างจากค่าอายุที่ได้จากการศึกษาข้อมูลทางประวัติศาสตร์ 5 ± 10 ปี (SD, n = 6) ฉะนั้นจากการทดลองของ Bailiff (2007) จึงสรุปได้ว่าการหาอายุด้วยวิธีแปลงแสงจากการกระตุ้นด้วยแสงนั้น สามารถนำไปใช้หาอายุอิฐได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือสูง รวมทั้งการวัดการแปลงแสงในช่วงแรก ๆ ของการทดลองด้วยวิธีแปลงแสงจากการกระตุ้นด้วยแสงนั้นให้สัญญาณของการวัด Equivalence Dose ที่ดีกว่าการหาอายุด้วยวิธีแปลงแสงความร้อน (Bailiff and Holland, 2000)

Fu et al. (2009) ได้ทำการทดลองหาอายุตัวอย่างอิฐในแหล่งโบราณคดีคูเจียเหลียง ตอนกลางของแม่น้ำแยงซีในประเทศจีน โดยใช้การหาอายุด้วยวิธีแปลงแสงทั้ง 2 วิธี คือวิธีแปลงแสงความร้อนและวิธีแปลงแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง ด้วยการทดลองแบบ single-aliquot regenerative-dose (SAR) พบว่าค่าอายุที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีแปลงแสงจากการกระตุ้นด้วยแสงจากตัวอย่างอิฐ มีค่า $5,400 \pm 300$ ปี และ $5,100 \pm 300$ ปี ส่วนค่าอายุที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีแปลงแสงความร้อนนั้น มีค่า $5,600 \pm 500$ ปี ซึ่งพบว่ามีความใกล้เคียงและสอดคล้องกัน จึงสรุปผลได้ว่าการหาอายุด้วยวิธีแปลงแสงทั้ง 2 วิธีสามารถหาอายุอิฐได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Blain et al. (2010) ได้ทำการเก็บตัวอย่างอิฐจำนวน 5 ก้อนจากคริสตจักรในแคว้นนอร์ม็องดี ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศฝรั่งเศส ซึ่งมีข้อมูลทางประวัติศาสตร์ระบุว่าคริสตจักรดังกล่าวสร้างขึ้นในช่วงยุคกลาง ราวคริสต์ศตวรรษที่ 10-11 แล้วนำตัวอย่างอิฐดังกล่าวมาทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ 2 แห่ง คือ มหาวิทยาลัยเดอแรม ในประเทศสหราชอาณาจักร และมหาวิทยาลัยบอร์โด 3 ในประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาจากแร่ควอตซ์เป็นหลัก รวมถึงศึกษาปริมาณของแร่เฟลด์สปาร์ที่มีผลต่อสัญญาณการแปลงแสงและการปรับแก้ค่า พบว่าผลการทดลองโดยส่วนใหญ่ให้อายุที่สอดคล้องกับอายุทางประวัติศาสตร์ และในอิฐบางตัวอย่างที่มีลวดลายศิลปะที่ได้รับการประเมินทางประวัติศาสตร์ว่ามีศิลปะแบบแบบโรมัน ซึ่งในอิฐเหล่านี้จะมีองค์ประกอบเป็นแร่ควอตซ์ที่มีขนาดค่อนข้างหยาบ โดยอิฐจำพวกนี้จะให้ค่าอายุที่ต่ำกว่า จึงสรุปว่าอิฐที่มีศิลปะแบบโรมันนี้เป็นอิฐเดิมที่ถูกนำมาใช้ซ้ำอีกครั้งในการก่อสร้างคริสตจักรดังกล่าว

Alicja Chruscinska et al. (2014) ได้ทำการเก็บตัวอย่างอิฐจำนวน 5 ก้อนในระหว่างการขุดค้นทางโบราณคดีในปี ค.ศ. 2010 และ ค.ศ. 2011 จากโบสถ์เซนต์เจมส์ ในเมืองทอรุน ประเทศโปแลนด์ โดยมีหลักฐานทางประวัติศาสตร์ระบุว่าสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1309 ทั้งนี้ได้ใช้การหาอายุด้วยวิธีแปลงแสงทั้ง 2 วิธี คือวิธีแปลงแสงความร้อนและวิธีแปลงแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง ซึ่งผลที่ได้

จากการทดลองทั้ง 2 วิธีนั้นให้ผลที่แตกต่างกัน จึงใช้ข้อมูลทางประวัติศาสตร์และการหาอายุด้วยธาตุกัมมันตรังสีคาร์บอนมาประกอบในการสรุปผล จึงสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าการก่อสร้างแท่นบูชาของโบสถ์เซนต์เจมส์มีการวางรากฐานด้วยอิฐก่อนที่จะมีการก่อสร้างในส่วนอื่นปิดทับในภายหลัง

1.5.5.2 การหาอายุอิฐด้วยวิธีเปล่งแสงในประเทศไทย

Won-in et al. (2008) ได้ทำการเก็บตัวอย่างอิฐจำนวน 5 ตัวอย่าง จากหลุมขุดค้นทางโบราณคดีในอำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย ซึ่งตั้งอยู่ในภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งในอดีตนั้นตั้งอยู่ในอาณาจักรล้านนา ซึ่งเป็นอาณาจักรที่ตั้งอยู่ในช่วงประมาณปี ค.ศ. 1296-1558 จากนั้นจึงนำตัวอย่างอิฐดังกล่าวมาทำการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการสกัดแร่ควอตซ์เพื่อนำแร่ควอตซ์ที่ได้ไปใช้ในการหาอายุด้วยวิธีเปล่งแสงความร้อน ผลการทดลองพบว่าอายุของตัวอย่างนั้นอยู่ในช่วงเวลา 2 ช่วง คือ ค.ศ. 1127 ถึง ค.ศ. 1295 และ ค.ศ. 1312 ถึง ค.ศ. 1416 เมื่อนำช่วงอายุที่ได้จากการทดลองไปเทียบกับตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง จึงสามารถบ่งบอกได้ว่าโบราณสถานเมืองเวียงแก่นมีการก่อสร้างทางด้านทิศตะวันตกของเมืองขึ้นก่อน ซึ่งเป็นช่วงเวลาก่อนที่จะมีการสถาปนาอาณาจักรล้านนาขึ้น จากนั้นจึงมีการสร้างเมืองทางด้านทิศตะวันออกของเมืองเพิ่มเติมในช่วงเวลาของอาณาจักรล้านนา

Pailoplee et al. (2016) ได้ทำการศึกษาจากตัวอย่างอิฐที่พบในโบราณสถานทุ่งตึกซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณตอนล่างของเกาะคอเขา อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา ซึ่งเคยมีงานวิจัยของ Chaisuwan และ Naiyawatt (2002) ที่ได้มีการหาอายุจากวัสดุอินทรีย์ที่พบในพื้นที่โดยใช้วิธีหาอายุจากธาตุกัมมันตรังสีคาร์บอน-14 ซึ่งระบุว่าโบราณสถานทุ่งตึกนี้มีอายุ 1,070-1,310 ปีก่อนปัจจุบัน และ Pailoplee et al. (2010) ได้ทำการหาอายุโบราณสถานทุ่งตึกจากอิฐโดยใช้วิธีการหาอายุทั้งวิธีเปล่งแสงความร้อนและวิธีเปล่งแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง ซึ่งสามารถสรุปผลการหาอายุทั้ง 2 วิธีจากตัวอย่างอิฐในโบราณสถานทุ่งตึกนี้ได้ว่า อิฐดังกล่าวมีอายุ 840-1,500 ปี แต่จากการสังเกตในรายละเอียดพบว่าตัวอย่างอิฐบางตัวอย่างให้ค่าอายุที่แกว่งตัวไปซึ่งมีผลมาจากการเผาอิฐไม่สุกหรือไม่สุกทั่วทั้งก้อน ทั้งนี้จากงานวิจัยของ Gredmaier et al. (2011) ซึ่งได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของอิฐที่เผาไม่สุกทั่วทั้งก้อน โดยศึกษาถึงชนิดของแร่องค์ประกอบภายในก้อนอิฐซึ่งเป็นบริเวณที่มีสีดำและแร่องค์ประกอบของขอบนอกของก้อนอิฐซึ่งเป็นบริเวณมีสีส้ม พบว่าทั้งภายในและภายนอกมีองค์ประกอบเป็นชนิดของแร่ที่ต่างกัน โดยเฉพาะการตรวจพบแร่ควอตซ์ในเนื้ออิฐสีส้มและแร่คริสโตแบไลต์ (Cristobalite) ในเนื้ออิฐสีดำ ซึ่งแร่ทั้ง 2 ชนิดนี้มีสูตรทางเคมีเหมือนกันแต่มีโครงสร้างผลึกที่ต่างกันอันเกิดจากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของแร่ในระหว่างการเผา ซึ่งมีผลต่อปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมในหลุมกักเก็บอิเล็กตรอน ฉะนั้นการหาอายุโดยใช้ตัวอย่างอิฐด้าน

ในของก้อนอิฐและขอบนอกของก้อนอิฐจึงให้อายุที่แตกต่างกัน จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้ Pailoplee et al. (2016) ได้ออกแบบการทดลองหาอายุจากตัวอย่างในบริเวณดังกล่าวอีกครั้งโดยใช้วิธีแปลงแสงทั้ง 2 วิธีคือวิธีแปลงแสงความร้อนและวิธีแปลงแสงจากการกระตุ้นด้วยแสง โดยทำการทดลอง 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการทดลองหาค่า Equivalence Dose ทำการแยกตัวอย่างระหว่างเนื้อด้านในของอิฐและขอบนอกของอิฐ 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 จากนั้นจึงทำการรันทัวอย่างด้วยเครื่อง Risø TL/OSL-DA-15 โดยใช้วิธีแปลงแสงทั้ง 2 วิธีดังที่กล่าวมาข้างต้น

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

ผลที่ได้จากการทดลองของ Pailoplee et al. (2016) พบว่าค่าต่ำสุดของค่า ED ที่วัดด้วยวิธีแปลงแสงจากการกระตุ้นด้วยแสงมีค่าใกล้เคียงกันกับค่า ED ที่วัดด้วยวิธีวิธีแปลงแสงความร้อน และเมื่อเปรียบเทียบค่า ED และค่าอายุระหว่างตัวอย่างขอบนอกของอิฐกับตัวอย่างจากเนื้อด้านในของอิฐ พบว่าค่า ED ที่ได้จากตัวอย่างเนื้อด้านในของอิฐมีค่าความแปรปรวนที่มากกว่า และค่าอายุที่ได้จากการทดลองโดยใช้ส่วนเนื้อด้านในของอิฐมีค่าสูงผิดปกติ ผลการทดลองที่ได้ดังกล่าวจึงแสดงให้เห็น

เห็นถึงการเผาอิฐไม่สุกถึงเนื้ออิฐด้านใน นอกจากนี้บางตัวอย่างพบว่ามีค่าอายุที่น้อยผิดปกติ จึงสรุปว่ามีอิฐสมัยใหม่เข้ามาปะปนในพื้นที่

1.5.5.3 ข้อจำกัดการหาอายุด้วยวิธีแปลงแสงความร้อน

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

นอกจากนี้ Colman et al. (1987) และ Colman and Pierce (2000) ได้ระบุถึงข้อจำกัดทางด้านอายุของตัวอย่างที่เหมาะสมในการหาอายุด้วยวิธีแปลงแสงว่าอายุของตัวอย่างนั้นควรมีขอบเขตอยู่ในช่วงประมาณอายุ 1 ปี ถึง 100,000 ปี

1.5.5.4 ความถูกต้องแม่นยำของการหาอายุด้วยวิธีแปลงแสง

Takashima (1989) ได้ประเมินค่าความผิดพลาดในการหาอายุด้วยวิธีแปลงแสง พบว่าการหาอายุด้วยวิธีนี้จะมีความถูกต้องแม่นยำมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดจากการทดลองเพื่อหาค่า Annual dose และ Equivalence dose โดยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการหาค่า Annual dose นั้นจะเกิดจากความไม่แน่นอนเดียวกันของตะกอนรวมไปถึงปริมาณน้ำในตัวอย่างที่ไม่คงที่ แปรเปลี่ยนไปตามสภาวะแวดล้อมประจำวัน ซึ่งประเมินค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการหาค่า Annual dose ประมาณ 10% ส่วนค่าความผิดพลาดในการหาค่า Equivalence dose นั้นจะอยู่ในขั้นตอนของการใช้เครื่องมือ TL/OSL Reader ซึ่งโดยปกติค่าที่ได้จากการหาค่า Equivalence dose มักมีความผิดพลาดอยู่ระหว่าง 5-10% ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของแร่ควอตซ์ ฉะนั้นโดยรวมแล้วค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ในการวัดหาอายุด้วยวิธีนี้ต้องไม่เกิน 15%

1.5.5.5 การวิเคราะห์อายุของอิฐ

Jorge Sanjurjo-Sánchez (2016) ได้เสนอการวิเคราะห์ผลภายหลังการทดลองหาอายุอิฐด้วยวิธีแปลงแสง ซึ่งจากการทดลองจะได้ค่าอายุเป็นตัวเลขที่แน่นอนออกมาหลังการทดลอง แต่ทั้งนี้จะต้องนำค่าที่ได้จากการทดลองดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ผลถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจเกี่ยวข้องและส่งผลกระทบต่ออายุของอิฐ เช่น ความคลาดเคลื่อนจากตัวบุคคลในการเตรียมตัวอย่างและความ

คลาดเคลื่อนจากเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น รวมถึงวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้อื่น ๆ ทางด้านประวัติศาสตร์ เช่น

1) การเกิดไฟไหม้ของอิฐในบริเวณนั้นหลังการก่อสร้างจะเป็นการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกจากหลุมกักเก็บอิเล็กตรอนทำให้ไม่สามารถตรวจวัดอายุจากการก่อสร้างแรกเริ่มได้

2) การซ่อมแซมเพิ่มเติมหลังการก่อสร้างเริ่มต้นซึ่งสามารถให้อายุที่บิดเบือนอันเนื่องมาจากอิฐที่ใช้ต่อเติมนั้นเป็นอิฐที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ภายหลัง

3) การนำอิฐกลับมาใช้ใหม่จากแหล่งอื่นหรือจากการอพยพย้ายเมือง เพราะอายุที่ได้จากการทดลองนั้นเป็นอายุนับตั้งแต่การจัดสร้างอิฐเริ่มต้น

ทั้งนี้ผู้ทำการทดลองจึงจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลทางประวัติศาสตร์ประกอบผลการทดลองทางด้านวิทยาศาสตร์เพื่อการสรุปผลที่ถูกต้องและแม่นยำต่อไป

1.5.6 หลักการทำงานของเครื่อง Lexsygsmart-Automated TL/OSL Reader

ข้อมูลจากคู่มือการใช้เครื่อง Lexsygsmart-Automated TL/OSL Reader ระบุว่า การทำงานของเครื่องดังกล่าวประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนควบคุมความร้อน ส่วนกระตุ้นด้วยแสง ส่วนวัดปริมาณแสง ส่วนกรองแสงและส่วนอาบรังสีเบตา

1) ส่วนควบคุมความร้อน (Heating unit) ใช้หลักการของการให้พลังงานกระแสไฟฟ้าไปยังตัวทำความร้อน (heater) เพื่อให้ความร้อนแก่แผ่นโลหะที่ใส่ตัวอย่าง (sample holder) ซึ่งแผ่นโลหะที่ใส่ตัวอย่างนั้นส่วนใหญ่จะใช้เป็นโลหะจำพวกแผ่นโมลิบดีนัม (molybdenum) หรือแผ่นนิเกิลโครเมียม (Ni-chrome) ความร้อนของแผ่นโลหะที่ใส่ตัวอย่างมีอัตราความร้อน 200 องศาเซลเซียสต่อนาที และสามารถทำความร้อนได้สูงสุด 500 องศาเซลเซียส

2) ส่วนกระตุ้นด้วยแสง (Light stimulation) เป็นการสร้างแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ในช่วง Infrared Visible light และ Ultraviolet จากพลังงานไฟฟ้าด้วย Laser diode หรือ หลอด LED และฉายไปยังตัวอย่างเพื่อทำการกระตุ้น โดยมีส่วนขยายความเข้มของแสงที่วัดได้ เรียกว่า Photomultiplier

ตารางที่ 3 ตารางแสดงข้อมูลชนิดแสงที่ใช้กระตุ้นตัวอย่างของเครื่อง Lexsygsmart-Automated TL/OSL Reader

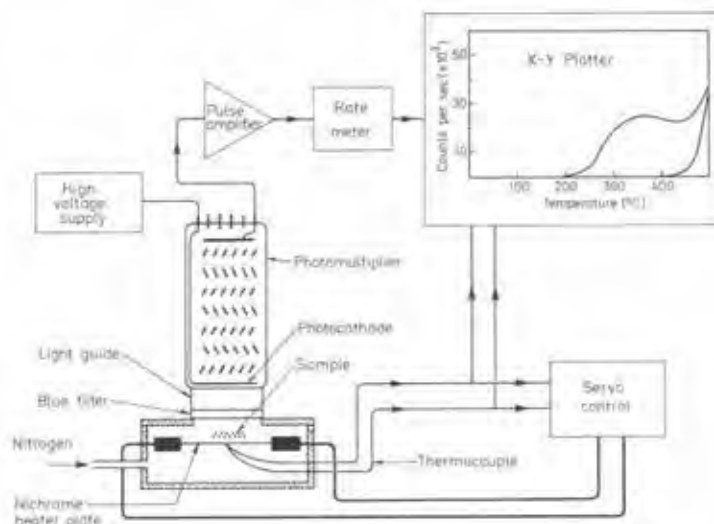
ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ช่วงสี	พลังงาน ณ ตำแหน่ง วางตัวอย่าง (มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร)	ชนิดการกระตุ้น
405	ม่วง	ประมาณ 100	Laser diode
445 และ 458	น้ำเงิน	ประมาณ 100	Laser diode หรือ หลอด LED

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ช่วงสี	พลังงาน ณ ตำแหน่ง วางตัวอย่าง (มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร)	ชนิดการกระตุ้น
525	เขียว	ประมาณ 40	หลอด LED
590	เหลือง	ประมาณ 20	หลอด LED
850	อินฟราเรด	ประมาณ 300	Laser diode หรือ หลอด LED

3) ส่วนวัดปริมาณแสง (Detection unit) เป็นส่วนที่ใช้วัดปริมาณของแสงที่เปล่งออกมาจากตัวอย่างหลังได้รับการกระตุ้น โดยสามารถวัดแสงในช่วงความยาวคลื่น 280-650 นาโนเมตร และสามารถบันทึกข้อมูล แสดงผลข้อมูลที่วัดได้ในแนวแกน Y ส่วนแกน X แสดงค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้นตัวอย่าง ซึ่งถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์และผลที่ได้คือกราฟเส้นที่เรียกว่า Glow curve

4) ส่วนกรองแสง (Filter wheel) โดยชุดเครื่องมือสามารถรวบรวมค่าแสงทั้งหมดที่เปล่งออกมาจากตัวอย่างได้ดี สามารถปรับให้มีการกรองแสงให้มีค่าความยาวคลื่นที่สนใจได้โดยอัตโนมัติ และสามารถตรวจจับการแทรกของแสงแปลกปลอมภายนอกที่เข้ามาปะปนในการทดลอง

5) ส่วนอาบรังสีเบตา (Beta Irradiation unit) เป็นส่วนที่ใช้ในการอาบรังสีที่ทราบค่าให้กับตัวอย่างเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการเทียบปริมาณย้อนกลับไปยังค่าที่วัดได้เริ่มต้น



รูปที่ 9 รูปร่างง่ายแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง TL/OSL Reader (Aitken, 1985)

บทที่ 2

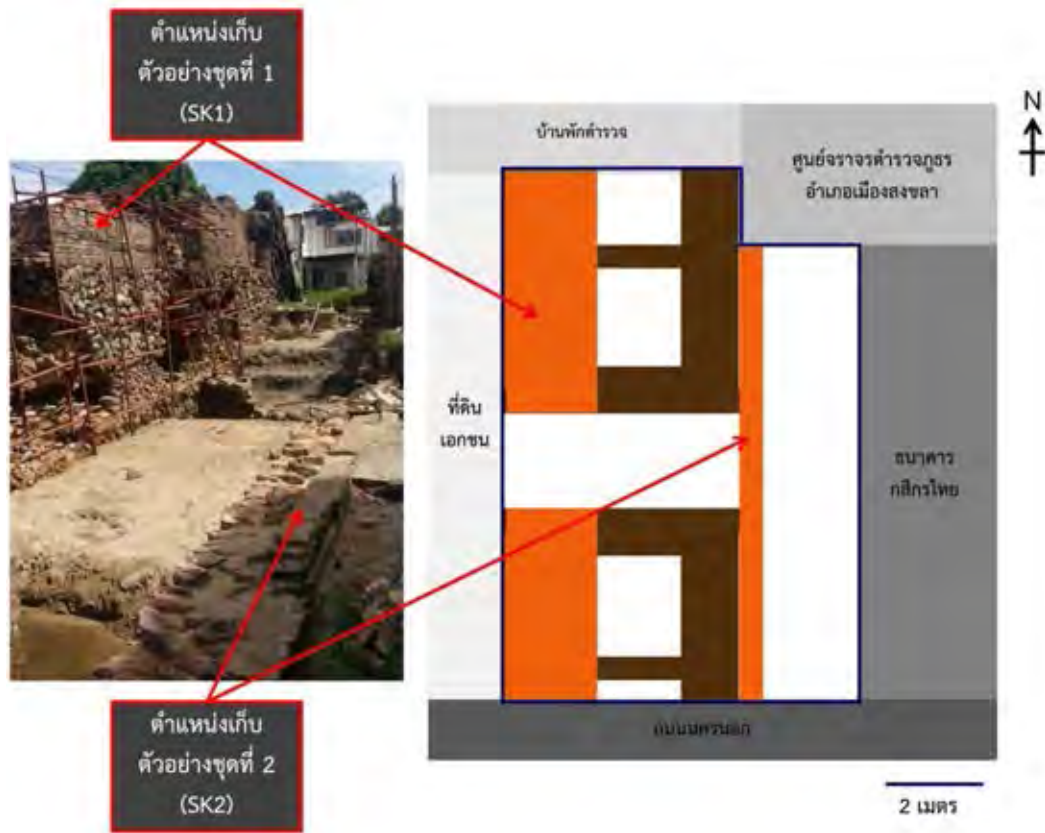
วิธีการทดลอง

2.1 การเก็บตัวอย่างอิฐ

ผู้ทำโครงการติดต่อประสานงานและส่งเอกสารราชการไปยังนายสารัท ชลอสันติสกุล นักโบราณคดีชำนาญการ สำนักศิลปากรที่ 11 สงขลา กรมศิลปากร เพื่อขออนุญาตเข้าถึงพื้นที่ศึกษาและทำการเก็บตัวอย่างอิฐ โดยทำการเก็บตัวอย่างอิฐมาทั้งสิ้น 2 ชุด คือ ชุด SK1 ซึ่งเป็นอิฐที่มีลักษณะทางกายภาพภายนอกมีสีส้ม ผิวค่อนข้างขรุขระ มีการเจาะรูเข้าไปในเนื้ออิฐ 3-5 รู วางตัวอยู่บนรากฐานของกำแพงเมืองที่ก่อด้วยหิน ทั้งสิ้น 6 ตัวอย่าง แสดงข้อมูลในตารางที่ 3 และ ชุด SK2 ซึ่งเป็นอิฐที่มีลักษณะทางกายภาพภายนอกมีสีน้ำตาลเหลือง ผิวเรียบ ไม่มีการเจาะรูเข้าไปในเนื้ออิฐ มีขนาดเล็กกว่าและมีความแข็งแรงน้อยกว่าชุด SK1 วางตัวเป็นแนวแนบกับรากฐานของกำแพงเมืองที่ก่อด้วยหิน ทั้งสิ้น 7 ตัวอย่าง แสดงข้อมูลในตารางที่ 4 รวมทั้งสิ้น 13 ตัวอย่าง



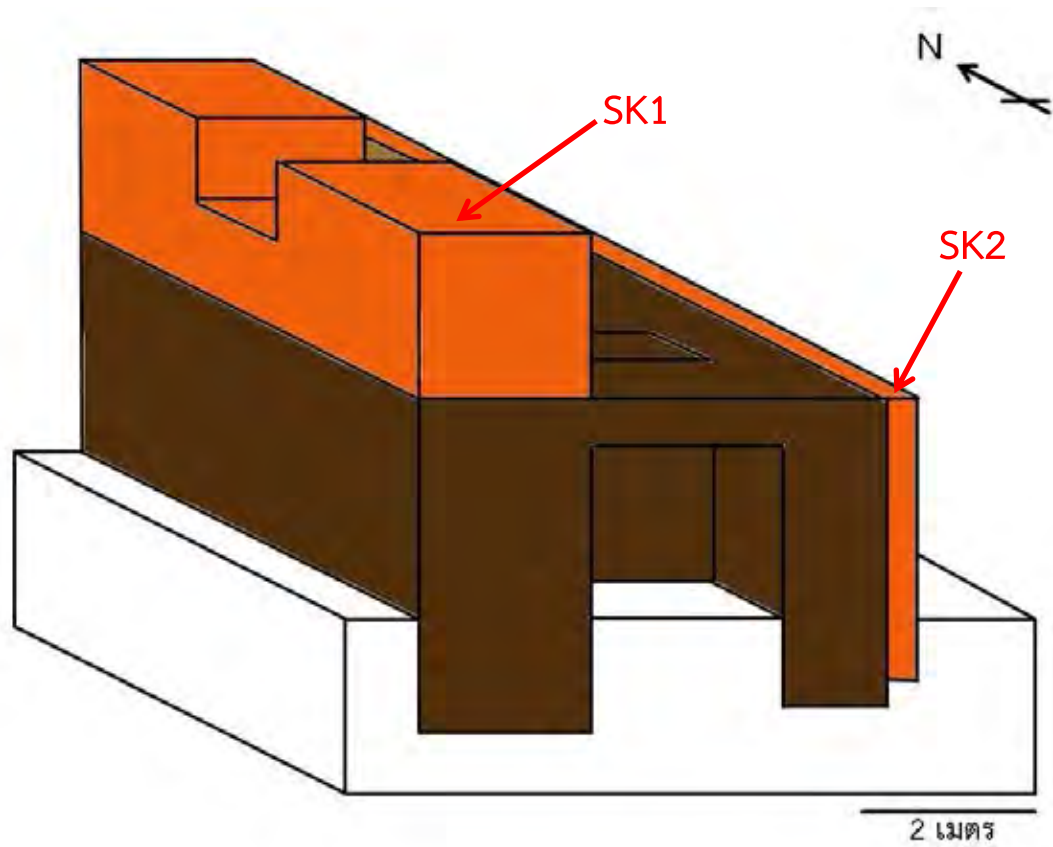
รูปที่ 10 รูปแสดงบรรยากาศโดยรอบของพื้นที่ศึกษา ถ่ายภาพโดยนายสารัท ชลอสันติสกุล นักโบราณคดีชำนาญการ สำนักศิลปากรที่ 11 สงขลา กรมศิลปากร ถ่ายเมื่อ มิถุนายน 2560



สัญลักษณ์

- ขอบเขตพื้นที่ศึกษา
- กำแพงเมืองที่สร้างขึ้นด้วยหินก่อปูน
- กำแพงเมืองที่สร้างขึ้นด้วยอิฐก่อปูน

รูปที่ 11 รูปจำลองอย่างง่ายในมุมมองจากด้านบนแสดงโครงสร้างของกำแพงเมืองสงขลา ณ พื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่าง














สัญลักษณ์

- กำแพงเมืองที่สร้างขึ้นด้วยหินก่อปูน
- กำแพงเมืองที่สร้างขึ้นด้วยอิฐก่อปูน

รูปที่ 12 รูปจำลองอย่างง่ายในรูปแบบสามมิติแสดงโครงสร้างของกำแพงเมืองสงขลาตามข้อมูลที่ได้จากการขุดค้น ประกอบกับข้อมูลทางประวัติศาสตร์ตามรายงานผลการขุดค้นของนายสารัท ซะลอสันติสกุล นักโบราณคดีชำนาญการ สำนักศิลปากรที่ 11 สงขลา กรมศิลปากร

ตารางที่ 4 ตารางแสดงข้อมูลและภาพของตัวอย่างชุดที่ 1 (SK1)

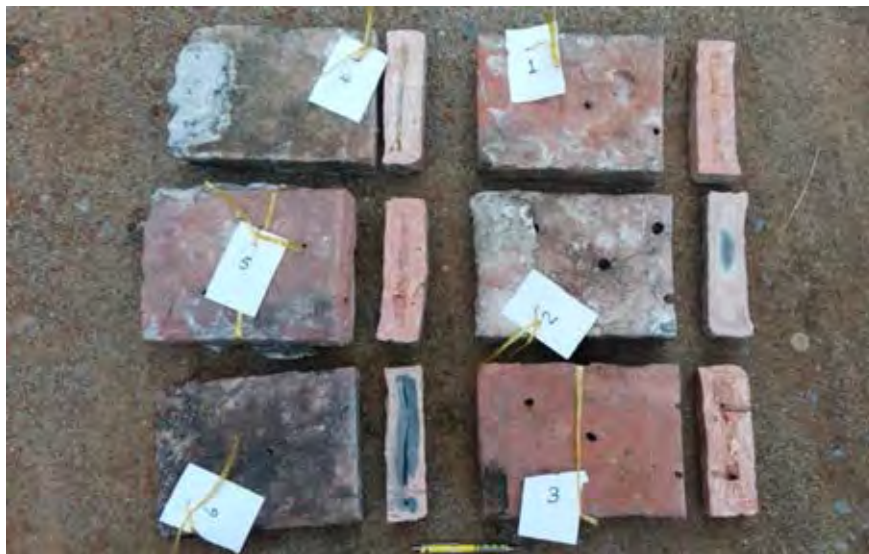
ตัวอย่าง	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง	ขนาด (เซนติเมตร)			ภาพตัวอย่าง	
		กว้าง	ยาว	หนา	สภาพพื้นที่เก็บ	ตัวอย่าง
SK1-1	บนใบบังที่ 2 นับจาก ด้านทิศเหนือ	20	31	6		
SK1-2	บนใบบังที่ 2 นับจาก ด้านทิศเหนือ	19.5	31.5	5		
SK1-3	ระหว่าง ใบ บังที่ 1 และ 2 นับจาก ด้านทิศเหนือ	18.5	31.5	5.5		
SK1-4	บนใบบังที่ 2 นับจาก ด้านทิศเหนือ	19	30	5.5		
SK1-5	บนใบบังที่ 2 นับจาก ด้านทิศเหนือ	19	32	5		
SK1-6	ระหว่าง ใบ บังที่ 2 และ 3 นับจาก ด้านทิศเหนือ	19.5	30	4.5		

ตารางที่ 5 ตารางแสดงข้อมูลและภาพของตัวอย่างชุดที่ 2 (SK2)

ตัวอย่าง	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง	ขนาด (เซนติเมตร)			ภาพตัวอย่าง	
		กว้าง	ยาว	หนา	สภาพพื้นที่เก็บ	ตัวอย่าง
SK2-1	Pit 17 E	19.5	26	5		
SK2-2	Pit 17 E	19.2	26	5		
SK2-3	Pit 31 W	19	25.8	5		
SK2-4	Pit 17 E	18.5	25	5		
SK2-5	Pit 17 E	19.5	26.3	5.2		
SK2-6	Pit 20 E	18.5	24.7	4.5		
SK2-7	Pit 20 E	18.3	25.2	4.5		

2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง

นำอิฐทั้งหมดมาทำการตัดทดสอบอิฐโดยตัดตามแนวด้านกว้างของอิฐด้วยเครื่องตัดหินเจียร โดยตัดให้ตัวอย่างที่ถูกตัดออกมีความหนาประมาณ 5 เซนติเมตร สังเกตลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ที่แตกต่างกันของอิฐแต่ละก้อน พบว่าอิฐชุด SK1 มีลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ในแต่ละก้อนแตกต่างกัน (รูปที่ 13)



รูปที่ 13 รูปแสดงลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ของอิฐชุด SK1 ที่สังเกตได้จากการตัดทดสอบ

จากการตัดทดสอบตัวอย่างอิฐชุด SK1 สามารถสังเกตความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ของอิฐอย่างเห็นได้ชัดในตัวอย่างอิฐ SK1-1 ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) เป็นสีส้มเนื้อเดียวกันทั่วทั้งก้อน และตัวอย่างอิฐ SK1-6 มีลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) เป็นสีดำบริเวณตรงกลางของก้อนอิฐและสีส้มในบริเวณผิวด้านนอกของอิฐ จากงานวิจัยของ Pailoplee et al. (2016) ได้ระบุว่าความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ของอิฐนั้นเป็นผลมาจากสภาวะแวดล้อมของการเผาอิฐที่แตกต่างกัน อันส่งผลให้อิฐแต่ละก้อนได้รับความร้อนและสุกถึงเนื้ออิฐด้านในแตกต่างกัน ซึ่งลักษณะทางกายภาพ (สี) ของเนื้ออิฐด้านในและเนื้ออิฐด้านนอกที่แตกต่างกันนี้จะส่งผลต่อการทดลองหาค่า ED โดยที่ค่าอายุที่ได้จากเนื้ออิฐด้านในซึ่งมีสีดำมีค่าความแปรปรวนที่มากกว่าและค่าอายุที่ได้มีค่าสูงผิดปกติ จึงทำให้ผู้ทำโครงการเลือกใช้เฉพาะตัวอย่าง SK1-1 จากชุด SK1 ในการศึกษา





ส่วนการตัดทดสอบตัวอย่างอิฐชุด SK2 พบว่าตัวอย่างอิฐชุด SK2 มีลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ของอิฐในแต่ละก้อนเป็นสีขาวเนื้อเดียวกันทั่วทั้งก้อนทุกก้อน (รูปที่ 14) จึงทำให้ผู้ทำโครงการสุ่มเลือกใช้ตัวอย่าง SK2-1 จากชุด SK2 ในการศึกษา



รูปที่ 14 รูปแสดงลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ของตัวอย่างอิฐ SK2-1 ที่สังเกตได้จากการตัดทดสอบ

ฉะนั้นจากการตัดทดสอบอิฐเพื่อสังเกตลักษณะทางกายภาพภายใน (สี) ของอิฐของตัวอย่างอิฐทั้ง 2 ชุดคือ SK1 และ SK2 จึงทำให้ผู้จัดทำโครงการตัดสินใจเลือกศึกษาตัวอย่างอิฐ ทั้งสิ้น 2 ตัวอย่าง คือ SK1-1 และ SK2-1

ตารางที่ 6 ตารางแสดงภาพลักษณะกายภาพภายใน (สี) ของตัวอย่างที่ได้รับการคัดเลือก

ตัวอย่าง	ภาพตัวอย่าง	
	ตัวอย่างก่อนตัดทดสอบ	ตัวอย่างหลังตัดทดสอบ
SK1-1		
SK2-1		

นำตัวอย่างอิฐ SK1-1 และ SK2-1 มาทำการขีดทำความสะอาดผิวของอิฐเพื่อกำจัดตัวเชื่อมประสานจากการก่อกำแพงออก แล้วนำไปทำการทดลองต่อไป 3 ขั้นตอน ดังนี้



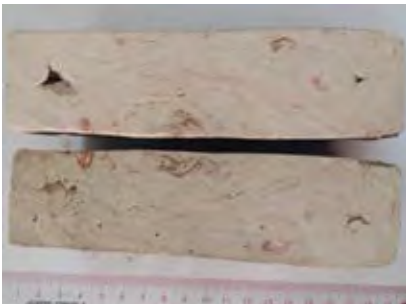

2.2.1 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองสำหรับการหาร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง (Water content (W))

ทำการตัดแบ่งตัวอย่างอิฐทั้ง 2 ตัวอย่าง ประมาณตัวอย่างละ 400 กรัม นำมาทุบด้วยค้อนและลิ้มเพื่อให้ตัวอย่างมีขนาดที่เล็กลง ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างเปียกโดยใช้ตัวอย่างอิฐประมาณ 20-50 กรัม นำตัวอย่างไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำในตัวอย่างระเหยไปจนหมด ทำการชั่งน้ำหนักหลังการอบแห้งเพื่อทราบค่าน้ำหนักตัวอย่างแห้ง นำค่าน้ำหนักตัวอย่างเปียกและค่าน้ำหนักตัวอย่างแห้งมาแทนสูตรคำนวณ

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

ซึ่งค่า W นี้จะใช้ประกอบในการคำนวณหาอัตราการแผ่รังสีต่อปี (Annual dose, AD) ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 7 ตารางแสดงภาพตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองหาค่าร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ภาพตัวอย่าง	
	ตัวอย่างหลังตัดทดสอบ	ตัวอย่างที่ใช้ทดลองหาปริมาณน้ำ
SK1-1		
SK2-1		

2.2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองสำหรับการหาอัตราการแผ่รังสีต่อปี (Annual Dose (AD))

นำตัวอย่างที่เหลือจากการทดลองที่ 2.2.1 มาบดด้วยเครื่อง Vibratory Disc Mill ให้ละเอียด ซึ่งน้ำหนักตัวอย่าง 290 กรัม นำมาบรรจุในกระปุกพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร



รูปที่ 15 รูปแสดงกระปุกพลาสติกที่บรรจุตัวอย่าง SK1-1 สำหรับการทดลองหาค่า AD

นำกระปุกตัวอย่างไปทำการทดลองเพื่อวัดปริมาณธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติที่มีอยู่ในตัวอย่าง ได้แก่ โพแทสเซียม (K) ยูเรเนียม (U) และทอเรียม (Th) โดยใช้เครื่อง Gamma-ray Spectrometer จากนั้นวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีดังกล่าวจากกราฟที่ได้จากการทดลอง และนำค่าความเข้มข้นที่ได้จากการวิเคราะห์มาประกอบกับค่าร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่างจากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 เพื่อทำการคำนวณค่า AD โดยใช้สมการดังแสดงใน 1.5.3



รูปที่ 16 รูปแสดงแผนภาพการทดลองสำหรับการหาค่า Annual Dose

2.2.3 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองสำหรับการหาปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมในตัว ตัวอย่าง (Equivalence dose (ED))

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมตัวอยู่ในตัวอย่างโดยใช้การวิเคราะห์ผลจากเม็ดแร่ควอตซ์ (Quartz grains) ซึ่งทำการทดลองในห้องมืด (Red Subdue Room) โดยใช้แสงสีแดงซึ่งเป็นแสงที่มีพลังงานต่ำ โดยนำชิ้นส่วนอิฐประมาณ 1 กิโลกรัมทำการขีดผิวอิฐออกประมาณ 1-2 มิลลิเมตร (Feathers, 2003) สกัดด้วยลิ่มและค้อนให้มีขนาดเล็กลง แล้วนำไปบดมือด้วยครกเหล็กให้ละเอียด



รูปที่ 17 รูปแสดงบรรยากาศและอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ทดลองหาค่า ED

จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดระหว่าง 74-250 ไมโครเมตร (ตัวอย่างที่ใช้จะร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 และค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 200) นำตัวอย่างไปใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 10% และสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ความเข้มข้น 10% ทั้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างตัวอย่าง 3-5 ครั้งด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปใส่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ที่ความเข้มข้น 37% เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นล้างตัวอย่าง 3-5 ครั้งด้วยน้ำกลั่น และใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) อีกครั้งที่ความเข้มข้น 37% เป็นเวลา 40 นาที ทำการล้างกรดออกจากตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น 3-5 ครั้ง และนำตัวอย่างไปอบให้แห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างแห้งที่ได้ไปผ่านเครื่อง Magnetic Separator โดยตั้งค่าให้มีค่า vibrator สูงสุด และใช้กระแสไฟฟ้าในการแยกแร่โลหะ 1.8 A จนได้แร่ควอตซ์บริสุทธิ์ จากนั้นนำแร่ควอตซ์ที่ได้ไปทำการทดลองหาปริมาณ Equivalent dose และหาสัญญาณเปรียบเทียบกับการอาบรังสีที่ทราบค่า ด้วยเครื่อง TL/OSL Reader เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ค่าปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมตัวในตัวอย่างในหน่วย เกรย์ (Gy) โดยทำ

การทดลองในห้องปฏิบัติการทั้งสิ้น 2 แห่ง คือ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) โดยวิเคราะห์ตัวอย่างละ 20 ซ้ำ และภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไพร่บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี โดยวิเคราะห์ตัวอย่างละ 7 ซ้ำ บันทึกผลการทดลองทั้งในรูปแบบ Glow curve และ Growth curve และนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาค่า ED ต่อไป (วิธีการทดลองดัดแปลงจาก Takashima (1994), Bailiff (2007) และ Frankel et al. (2015))



รูปที่ 18 รูปแสดงแผนภาพการทดลองสำหรับการหาค่า Equivalent Dose



รูปที่ 19 รูปแสดงเครื่อง Lexysmart-Automated TL/OSL Reader ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

บทที่ 3

ผลการทดลอง

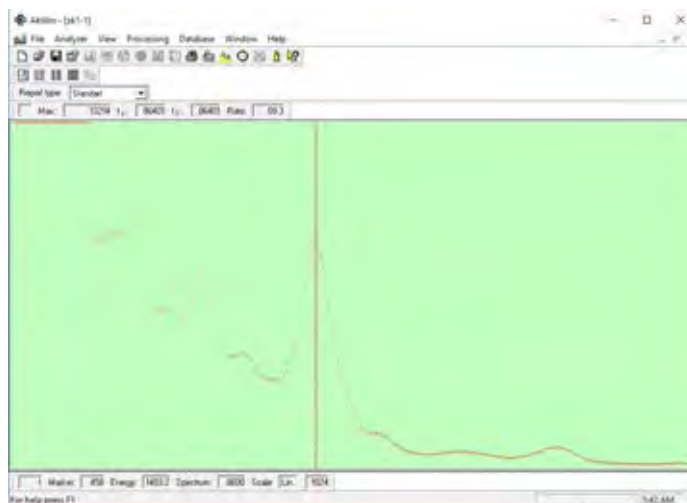
3.1 ผลการหาร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง (Water content (W))

ตารางที่ 8 ตารางแสดงผลการหาร้อยละของปริมาณน้ำหรือ water content (W) ในตัวอย่าง

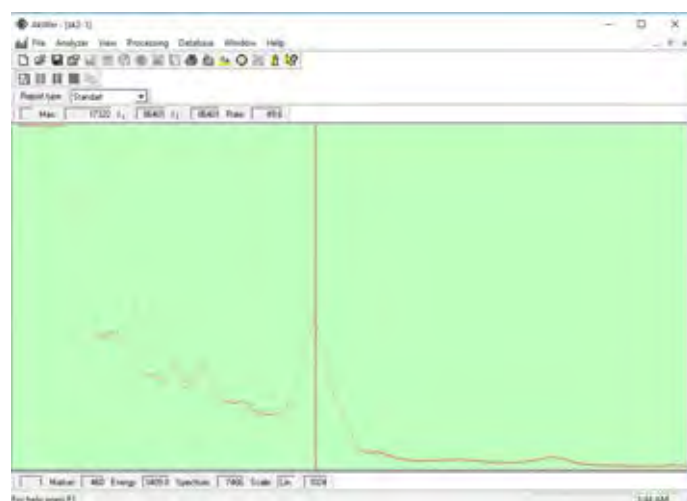
ชื่อตัวอย่าง	SK1-1	SK2-1
น้ำหนักภาชนะ (กรัม)	53.120	49.299
น้ำหนักภาชนะ + น้ำหนักตัวอย่างเปียก (กรัม)	77.104	91.879
น้ำหนักภาชนะ + น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)	76.883	91.072
น้ำหนักตัวอย่างเปียก (กรัม)	23.984	42.580
น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)	23.763	41.773
ร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง (%)	0.921	1.895

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง (Water content (W)) ของตัวอย่างอิฐ SK2-1 มีค่ามากกว่าตัวอย่างอิฐ SK1-1 เนื่องจากบริเวณที่ตั้งของตัวอย่างอิฐ SK2-1 นั้นอยู่ลึกลงไปจากผิวดินประมาณ 60 เซนติเมตร ซึ่งแวดล้อมไปด้วยตะกอนที่มีความสามารถในการเก็บกักน้ำ รวมถึงตะกอนที่ปิดทับเป็นตัวปิดกั้นให้ตัวอย่างอิฐ SK2-1 ได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์น้อยกว่าตัวอย่างอิฐ SK1-1 จึงทำให้ตัวอย่างอิฐ SK2-1 มีปริมาณน้ำในตัวอย่างที่สูงกว่าส่วนตัวอย่างอิฐ SK1-1 ซึ่งตั้งอยู่บนกำแพงหินที่ไม่มีตะกอนปิดทับทำให้ได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง จึงทำให้น้ำในตัวอย่างระเหยออกไปได้มากกว่า รวมถึงที่ตั้งของตัวอย่างอิฐ SK1-1 นั้นแวดล้อมไปด้วยอากาศจึงพัดพาเอาความชื้นออกไปได้ง่าย จึงทำให้ตัวอย่าง SK1-1 มีปริมาณน้ำในตัวอย่างที่น้อยกว่า ฉะนั้นด้วยลักษณะที่ตั้งของตัวอย่างอิฐทั้ง 2 ตัวอย่างสอดคล้องกับผลการทดลองการหาร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่างดังแสดงในตารางข้างต้น

3.2 ผลการหาค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ (Annual Dose (AD))



รูปที่ 20 รูปแสดงผลที่ได้จากการทดลองหาค่า AD จากเครื่อง Gamma-ray Spectrometer ของตัวอย่าง SK1-1



รูปที่ 21 รูปแสดงผลที่ได้จากการทดลองหาค่า AD จากเครื่อง Gamma-ray Spectrometer ของตัวอย่าง SK2-1

เมื่อนำตัวอย่างอิฐ SK1-1 และ SK2-1 ไปทำการทดลองโดยใช้เครื่อง Gamma-ray Spectrometer จึงได้ผลการทดลองเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่นับได้กับพลังงานของรังสีแกมมา (ดังแสดงในรูปที่ 20 และรูปที่ 21 ตามลำดับ) จากนั้นจึงนำกราฟที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ อันได้แก่ ยูเรเนียม (U) ทอเรียม (Th) และโพแทสเซียม (K) ที่มีอยู่ในตัวอย่าง SK1-1 และ SK2-1 จึงได้ค่าความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติ แล้วนำค่าที่ได้ดังกล่าวไปประกอบกับผลการทดลองหาร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง (ตารางที่ 8) เพื่อคำนวณหาค่า AD โดยใช้สูตรการคำนวณของ Aitken (1985) (ดังแสดงใน 1.5.3) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองดังกล่าวจึงได้ผลการคำนวณค่า AD ของตัวอย่างอิฐ SK1-1 และ SK2-1 ทั้งนี้ได้ทำการคำนวณค่าความผิดพลาดของข้อมูล ซึ่งเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน

JG-2 โดยที่มีค่าความผิดพลาดสูงสุดที่เกิดจากความเข้มข้นของทอเรียม ซึ่งมีค่า 14.27% โดยแสดงผลการทดลองทั้งหมดในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ตารางแสดงผลการหาค่าอัตราการแผ่รังสีต่อปีหรือ Annual Dose (AD)

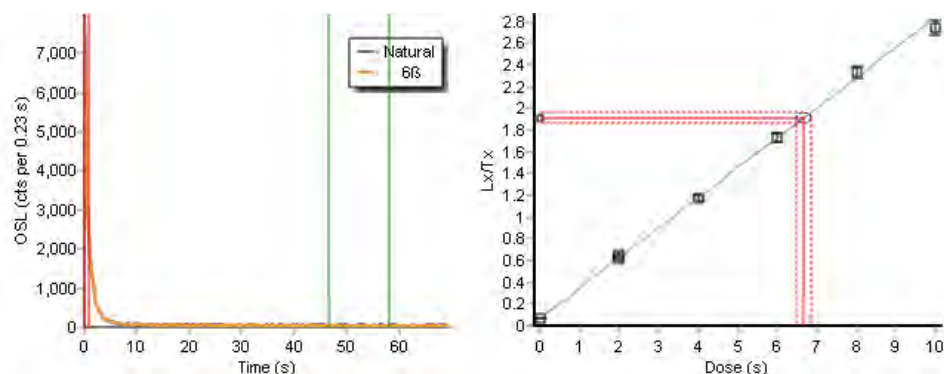
ชื่อตัวอย่าง	ค่าความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสี			ร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่าง	Annual Dose (mGy/Y)	Max Error (%)
	U (ppm)	Th (ppm)	K ₂ O (%)			
SK1-1	9.139	23.122	2.240	0.921	5.963	14.27
SK2-1	4.382	13.123	1.275	1.895	3.200	14.27

3.3 ผลการหาปริมาณของอิเล็กตรอนที่สะสมในตัวอย่าง (Equivalent dose (ED))

จากการทดลองนำตัวอย่างแร่ควอตซ์ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างทั้งสิ้น 2 ตัวอย่าง คือ SK1-1 และ SK2-1 ไปทำการทดลองเพื่อหาค่า Equivalent dose (ED) ด้วยเครื่อง TL/OSL Reader ที่ห้องปฏิบัติการทั้งสิ้น 2 แห่ง คือ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี จึงทำให้ได้ผลของค่า Equivalent dose (ED) ทั้งสิ้น 4 ชุด ดังนี้

3.3.1 ผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK1-1

1) ผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK1-1 จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK1-1_1)

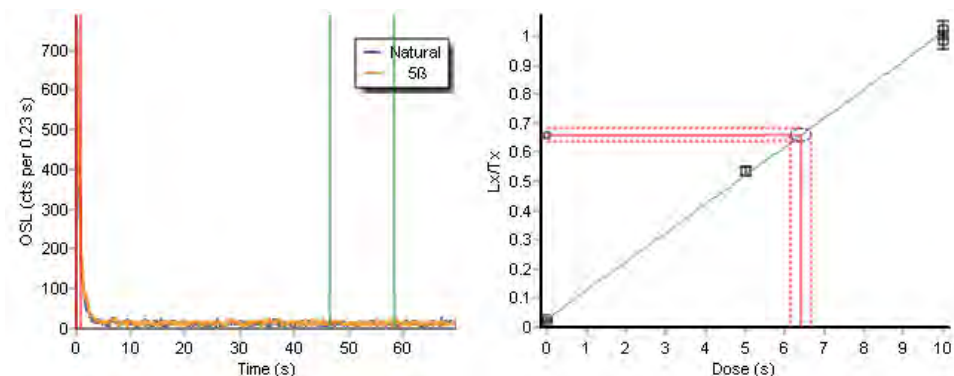


รูปที่ 22 รูปแสดงตัวอย่างของผลที่ได้จากการทดลองหาค่า ED จากเครื่อง TL/OSL Reader ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ของตัวอย่าง SK1-1 ในการทดลองครั้งที่ 1 (SK1-1_1_01)

ตารางที่ 10 ตารางแสดงผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK1-1 จากสถาบันเทคโนโลยี
นิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK1-1_1)

ชื่อตัวอย่าง	ED (s)	ED Error (s)	ED (Gy)	ED Error (Gy)	ED Error (%)
SK1-1_1_01	6.72	0.08	0.773	0.009	1.19
SK1-1_1_02	6.60	0.09	0.759	0.010	1.36
SK1-1_1_03	6.13	0.07	0.705	0.008	1.14
SK1-1_1_04	6.52	0.08	0.750	0.009	1.23
SK1-1_1_05	6.85	0.09	0.788	0.010	1.31
SK1-1_1_06	6.81	0.14	0.783	0.016	2.06
SK1-1_1_07	6.60	0.08	0.759	0.009	1.21
SK1-1_1_08	6.24	0.10	0.718	0.012	1.60
SK1-1_1_09	6.07	0.10	0.698	0.012	1.65
SK1-1_1_10	6.36	0.09	0.731	0.010	1.42
SK1-1_1_11	5.94	0.09	0.683	0.010	1.52
SK1-1_1_12	6.40	0.08	0.736	0.009	1.25
SK1-1_1_13	6.40	0.09	0.736	0.010	1.41
SK1-1_1_14	6.06	0.11	0.697	0.013	1.82
SK1-1_1_15	6.44	0.07	0.741	0.008	1.09
SK1-1_1_16	6.04	0.09	0.695	0.010	1.49
SK1-1_1_17	6.21	0.07	0.714	0.008	1.13
SK1-1_1_18	6.55	0.11	0.753	0.013	1.68
SK1-1_1_19	7.20	0.24	0.828	0.028	3.33
SK1-1_1_20	6.10	0.13	0.702	0.015	2.13

2) ผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK1-1 จากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK1-1_2)



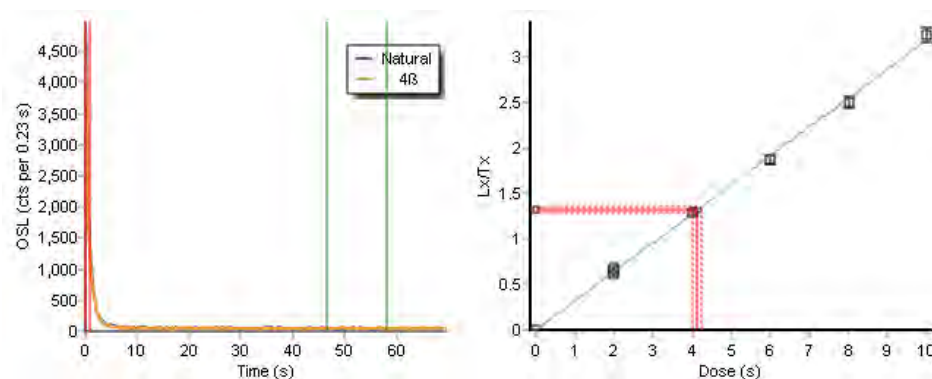
รูปที่ 23 รูปแสดงตัวอย่างของผลที่ได้จากการทดลองหาค่า ED จากเครื่อง TL/OSL Reader ของภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ของตัวอย่าง SK1-1 ในการทดลองครั้งที่ 1 (SK1-1_2_01)

ตารางที่ 11 ตารางแสดงผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK1-1 จากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK1-1_2)

ชื่อตัวอย่าง	ED (s)	ED Error (s)	ED (Gy)	ED Error (Gy)	ED Error (%)
SK1-1_2_01	6.57	0.27	0.834	0.031	3.72
SK1-1_2_02	6.88	0.24	0.874	0.028	3.16
SK1-1_2_03	6.47	0.27	0.822	0.031	3.78
SK1-1_2_04	6.33	0.28	0.804	0.032	4.01
SK1-1_2_05	6.13	0.38	0.779	0.044	5.61
SK1-1_2_06	5.85	0.26	0.743	0.030	4.02
SK1-1_2_07	6.55	0.37	0.832	0.043	5.12

3.3.1 ผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK2-1

1) ผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK2-1 จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK2-1_1)



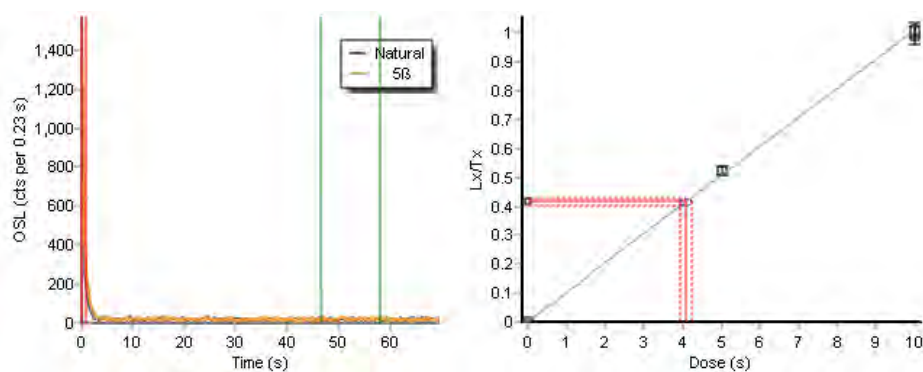
รูปที่ 24 รูปแสดงตัวอย่างของผลที่ได้จากการทดลองหาค่า ED จากเครื่อง TL/OSL Reader ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ของตัวอย่าง SK2-1 ในการทดลองครั้งที่ 1 (SK2-1_1_01)

ตารางที่ 12 ตารางแสดงผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK2-1 จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK2-1_1)

ชื่อตัวอย่าง	ED (s)	ED Error (s)	ED (Gy)	ED Error (Gy)	ED Error (%)
SK2-1_1_01	4.25	0.04	0.489	0.005	0.94
SK2-1_1_02	4.17	0.07	0.480	0.008	1.68
SK2-1_1_03	4.37	0.10	0.503	0.012	2.29
SK2-1_1_04	5.25	0.08	0.604	0.009	1.52
SK2-1_1_05	4.21	0.08	0.484	0.009	1.90
SK2-1_1_06	4.22	0.08	0.485	0.009	1.90
SK2-1_1_07	4.49	0.08	0.516	0.009	1.78
SK2-1_1_08	4.01	0.10	0.461	0.012	2.49
SK2-1_1_09	4.27	0.07	0.491	0.008	1.64
SK2-1_1_10	4.36	0.07	0.501	0.008	1.61
SK2-1_1_11	4.77	0.16	0.549	0.018	3.35
SK2-1_1_12	4.24	0.13	0.488	0.015	3.07
SK2-1_1_13	4.31	0.09	0.496	0.010	2.09
SK2-1_1_14	4.09	0.07	0.470	0.008	1.71
SK2-1_1_15	4.25	0.07	0.489	0.008	1.65
SK2-1_1_16	4.40	0.14	0.506	0.016	3.18
SK2-1_1_17	4.15	0.13	0.477	0.015	3.13
SK2-1_1_18	4.49	0.08	0.516	0.009	1.78

ชื่อตัวอย่าง	ED (s)	ED Error (s)	ED (Gy)	ED Error (Gy)	ED Error (%)
SK2-1_1_19	4.49	0.13	0.516	0.015	2.90
SK2-1_1_20	4.40	0.07	0.506	0.008	1.59

2) ผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK2-1 จากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK2-1_2)



รูปที่ 25 รูปแสดงตัวอย่างของผลที่ได้จากการทดลองหาค่า ED จากเครื่อง TL/OSL Reader ของภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ของตัวอย่าง SK2-1 ในการทดลองครั้งที่ 1 (SK2-1_2_01)

ตารางที่ 13 ตารางแสดงผลการหาค่า Equivalent dose (ED) ของตัวอย่างอิฐ SK2-1 จากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK2-1_2)

ชื่อตัวอย่าง	ED (s)	ED Error (s)	ED (Gy)	ED Error (Gy)	ED Error (%)
SK2-1_2_01	4.10	0.15	0.521	0.017	3.31
SK2-1_2_02	4.08	0.14	0.518	0.016	3.11
SK2-1_2_03	4.02	0.15	0.511	0.017	3.38
SK2-1_2_04	3.84	0.14	0.488	0.016	3.30
SK2-1_2_05	4.27	0.17	0.542	0.020	3.61
SK2-1_2_06	4.71	0.17	0.598	0.020	3.27
SK2-1_2_07	4.08	0.16	0.518	0.018	3.55

บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การคำนวณอายุจากผลการทดลอง

นำข้อมูลผลการคำนวณค่า AD และ ED ข้างต้นมาทำการคำนวณอายุของอิฐ โดยใช้สูตร $Luminescence\ date = Equivalent\ dose / Annual\ dose$ ของ Aitken (1985) จากตัวอย่างอิฐ ทั้งสิ้น 2 ตัวอย่าง คือ SK1-1 และ SK2-1 โดยแต่ละตัวอย่างมีค่า Annual Dose (AD) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gamma Spectrometer ในห้องปฏิบัติการ 1 แห่ง คือ ห้องปฏิบัติการของภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และค่า Equivalence Dose (ED) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TL/OSL Reader ในห้องปฏิบัติการทั้งสิ้น 2 แห่ง คือ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี จึงทำให้ได้ผลการคำนวณอายุ 4 ชุด ดังนี้

4.1.1 ผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1

1) ผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1 โดยใช้ผลจากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK1-1_1)

ตารางที่ 14 ตารางแสดงผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1 โดยใช้ผลจากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK1-1_1)

ชื่อตัวอย่าง	AD (mGy/Y)	Max AD Error (%)	ED (Gy)	ED Error (%)	Age (y)	Max Age Error (%)
SK1-1_1_01	5.963	14.27	0.773	1.19	129	14.32
SK1-1_1_02	5.963	14.27	0.759	1.36	127	14.33
SK1-1_1_03	5.963	14.27	0.705	1.14	118	14.31
SK1-1_1_04	5.963	14.27	0.750	1.23	125	14.32
SK1-1_1_05	5.963	14.27	0.788	1.31	132	14.33
SK1-1_1_06	5.963	14.27	0.783	2.06	131	14.41
SK1-1_1_07	5.963	14.27	0.759	1.21	127	14.32
SK1-1_1_08	5.963	14.27	0.718	1.60	120	14.36
SK1-1_1_09	5.963	14.27	0.698	1.65	117	14.36
SK1-1_1_10	5.963	14.27	0.731	1.42	122	14.34

ชื่อตัวอย่าง	AD (mGy/Y)	Max AD Error (%)	ED (Gy)	ED Error (%)	Age (y)	Max Age Error (%)
SK1-1_1_11	5.963	14.27	0.683	1.52	114	14.35
SK1-1_1_12	5.963	14.27	0.736	1.25	123	14.32
SK1-1_1_13	5.963	14.27	0.736	1.41	123	14.34
SK1-1_1_14	5.963	14.27	0.697	1.82	116	14.38
SK1-1_1_15	5.963	14.27	0.741	1.09	124	14.31
SK1-1_1_16	5.963	14.27	0.695	1.49	116	14.34
SK1-1_1_17	5.963	14.27	0.714	1.13	119	14.31
SK1-1_1_18	5.963	14.27	0.753	1.68	126	14.37
SK1-1_1_19	5.963	14.27	0.828	3.33	138	14.65
SK1-1_1_20	5.963	14.27	0.702	2.13	117	14.43

2) ผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1 โดยใช้ผลจากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK1-1_2)

ตารางที่ 15 ตารางแสดงผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1 โดยใช้ผลจากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK1-1_2)

ชื่อตัวอย่าง	AD (mGy/Y)	Max AD Error (%)	ED (Gy)	ED Error (%)	Age (y)	Max Age Error (%)
SK1-1_2_01	5.963	14.27	0.834	3.72	139	14.74
SK1-1_2_02	5.963	14.27	0.874	3.16	146	14.61
SK1-1_2_03	5.963	14.27	0.822	3.78	137	14.76
SK1-1_2_04	5.963	14.27	0.804	4.01	134	14.82
SK1-1_2_05	5.963	14.27	0.779	5.61	130	15.33
SK1-1_2_06	5.963	14.27	0.743	4.02	124	14.82
SK1-1_2_07	5.963	14.27	0.832	5.12	139	15.16

4.1.2 ผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอิฐ SK2-1

1) ผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอิฐ SK2-1 โดยใช้ผลจากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK2-1_1)

ตารางที่ 16 ตารางแสดงผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอิฐ SK2-1 โดยใช้ผลจากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK2-1_1)

ชื่อตัวอย่าง	AD (mGy/Y)	Max AD Error (%)	ED (Gy)	ED Error (%)	Age (y)	Max Age Error (%)
SK2-1_1_01	3.200	14.27	0.489	0.94	152	14.30
SK2-1_1_02	3.200	14.27	0.480	1.68	149	14.37
SK2-1_1_03	3.200	14.27	0.503	2.29	157	14.45
SK2-1_1_04	3.200	14.27	0.604	1.52	188	14.35
SK2-1_1_05	3.200	14.27	0.484	1.90	151	14.39
SK2-1_1_06	3.200	14.27	0.485	1.90	151	14.39
SK2-1_1_07	3.200	14.27	0.516	1.78	161	14.38
SK2-1_1_08	3.200	14.27	0.461	2.49	144	14.48
SK2-1_1_09	3.200	14.27	0.491	1.64	153	14.36
SK2-1_1_10	3.200	14.27	0.501	1.61	156	14.36
SK2-1_1_11	3.200	14.27	0.549	3.35	171	14.66
SK2-1_1_12	3.200	14.27	0.488	3.07	152	14.59
SK2-1_1_13	3.200	14.27	0.496	2.09	154	14.42
SK2-1_1_14	3.200	14.27	0.470	1.71	146	14.37
SK2-1_1_15	3.200	14.27	0.489	1.65	152	14.36
SK2-1_1_16	3.200	14.27	0.506	3.18	158	14.62
SK2-1_1_17	3.200	14.27	0.477	3.13	149	14.61
SK2-1_1_18	3.200	14.27	0.516	1.78	161	14.38
SK2-1_1_19	3.200	14.27	0.516	2.90	161	14.56
SK2-1_1_20	3.200	14.27	0.506	1.59	158	14.36

2) ผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอิฐ SK2-1 โดยใช้ผลจากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK2-1_2)

ตารางที่ 17 ตารางแสดงผลการคำนวณอายุของตัวอย่างอิฐ SK2-1 โดยใช้ผลจากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK2-1_2)

ชื่อตัวอย่าง	AD (mGy/Y)	Max AD Error (%)	ED (Gy)	ED Error (%)	Age (y)	Max Age Error (%)
SK2-1_2_01	3.200	14.27	0.521	3.31	162	14.65
SK2-1_2_02	3.200	14.27	0.518	3.11	161	14.60
SK2-1_2_03	3.200	14.27	0.511	3.38	159	14.66
SK2-1_2_04	3.200	14.27	0.488	3.30	152	14.64
SK2-1_2_05	3.200	14.27	0.542	3.61	169	14.72
SK2-1_2_06	3.200	14.27	0.598	3.27	186	14.64
SK2-1_2_07	3.200	14.27	0.518	3.55	161	14.70

4.2 การวิเคราะห์ผลอายุทางสถิติ

4.2.1 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลอายุของตัวอย่างอิฐด้วย Shapiro-Wilk test (W test)

จากการทดลองการหาอายุอิฐข้างต้นเป็นการสุ่มเอาเม็ดแร่ควอตซ์จำนวนหนึ่งออกมาจากตัวอย่างอิฐทั้งก้อน เสมือนการสุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดลองจากประชากรทั้งหมดซึ่งถือว่าเป็นการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) โดยปกติกลุ่มตัวอย่างที่สุ่มมาดังกล่าวจะมีการแจกแจงแบบปกติตามการแจกแจงปกติของประชากร แต่ก็มีความเป็นไปได้ที่ตัวอย่างที่สุ่มออกมาทำการทดลองจะมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ (Non-normal distribution) ซึ่งถ้าหากตัวอย่างดังกล่าวมีการแจกแจงแบบไม่ปกติจะทำให้การวิเคราะห์ผลทางสถิติอื่นๆ ให้ผลการวิเคราะห์ที่คลาดเคลื่อนไป ฉะนั้นจึงต้องทำการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลอายุของตัวอย่างอิฐด้วย 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

ใช้การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลอายุของตัวอย่างอิสระด้วย

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 $k = \frac{n}{2}$ เมื่อ n เป็นเลขคู่

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

4) เปรียบเทียบค่า W ที่ได้จากการคำนวณ และวิเคราะห์ผล

ซึ่งค่า W ที่ได้นั้นจะต้องนำไปเทียบกับตารางมาตรฐาน Percentage points of the W test ว่าค่า W ที่ได้นั้นอยู่ในช่วงใดเพื่อบ่งบอกระดับความเชื่อมั่นในการแจกแจงปกติของข้อมูล

ซึ่งในการทดลองในครั้งนี้จะใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งเป็นระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ในการวิเคราะห์ผล ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ผลข้อมูลอายุของตัวอย่าง SK2-1_1 พบว่าข้อมูลอายุของ SK2-1_1_04 มีค่าที่สูงเกินผิดปกติ โดยข้อมูลดังกล่าวทำให้ข้อมูลอายุของ SK2-1_1 มีการแจกแจงที่ไม่ปกติ ซึ่งเป็นค่าที่อาจเกิดจากความผิดพลาดของเครื่องมือ จึงทำการตัดข้อมูลอายุของ SK2-1_1_04 ออกไปสำหรับการวิเคราะห์ผลทางสถิติ จึงได้ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลอายุของตัวอย่างอิสระดังนี้

ตารางที่ 18 ตารางแสดงผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลอายุของตัวอย่างอิฐด้วย Shapiro-Wilk test (W test)

ข้อมูลที่ใช้ทดสอบ	สมมติฐานของการทดสอบ	ค่า W ที่ได้จากการทดสอบ	สรุปผลการทดสอบ
SK1-1_1	H_0 : อายุของตัวอย่างอิฐ SK 1 ที่ได้จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีการแจกแจงปกติ	ได้ค่า $W = 0.960$ เมื่อ $n = 20$ จะได้ว่า $0.05 < p\text{-value}$	ยอมรับสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
	H_1 : อายุของตัวอย่างอิฐ SK 1 ที่ได้จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ไม่มีการแจกแจงปกติ		ปฏิเสธสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
SK1-1_2	H_0 : อายุของตัวอย่างอิฐ SK 1 ที่ได้จากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี มีการแจกแจงปกติ	ได้ค่า $W = 0.974$ เมื่อ $n = 7$ จะได้ว่า $0.05 < p\text{-value}$	ยอมรับสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
	H_1 : อายุของตัวอย่างอิฐ SK 1 ที่ได้จากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ไม่มีการแจกแจงปกติ		ปฏิเสธสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
SK2-1_1	H_0 : อายุของตัวอย่างอิฐ SK 2 ที่ได้จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีการแจกแจงปกติ	ได้ค่า $W = 0.951$ เมื่อ $n = 19$ จะได้ว่า $0.05 < p\text{-value}$	ยอมรับสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
	H_1 : อายุของตัวอย่างอิฐ SK 2 ที่ได้จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ไม่มีการแจกแจงปกติ		ปฏิเสธสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ข้อมูลที่ใช้ทดสอบ	สมมติฐานของการทดสอบ	ค่า W ที่ได้จากการทดสอบ	สรุปผลการทดสอบ
SK2-1_2	H ₀ : อายุของตัวอย่างอิฐ SK 2 ที่ได้จากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี มีการแจกแจงปกติ	ได้ค่า W = 0.849	ยอมรับสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %
	H ₁ : อายุของตัวอย่างอิฐ SK 2 ที่ได้จากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ไม่มีการแจกแจงปกติ	เมื่อ n = 7 จะได้ว่า 0.05 < p-value	ปฏิเสธสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.2.2 การวิเคราะห์ค่ากลางทางสถิติของข้อมูลอายุของตัวอย่างอิฐ

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) ของตัวอย่างอิฐทั้ง 2 ตัวอย่าง ที่ได้ผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ ดังนี้

ตารางที่ 19 ตารางแสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างอิฐทั้ง 2 ตัวอย่าง ที่ได้ผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่าง	จำนวนข้อมูล (n)	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (\bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)
SK1-1_1	20	123	6.30
SK1-1_2	7	136	7.09
SK2-1_1	19	155	6.33
SK2-1_2	7	164	10.80

4.2.3 การทดสอบสมมติฐานของอายุของตัวอย่างอิฐ SK 1-1 กับกำแพงหินทางสถิติ

จากการสังเกตในระหว่างการเก็บตัวอย่างชุด SK1 ณ พื้นที่ศึกษา พบว่า ตำแหน่งของตัวอย่างอิฐชุด SK1 ตั้งอยู่บนกำแพงเมืองในด้านที่หันออกนอกตัวเมือง ซึ่งเป็นกำแพงที่ก่อด้วยหิน (รูปที่ 11 และรูปที่ 12) อันมีหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่ระบุไว้อย่างชัดเจนว่ามีอายุประมาณ 175-181 ปีก่อนปัจจุบันดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้ผู้ทำโครงการได้ทำการตั้งสมมติฐานในการทดลองครั้งนี้ว่าตัวอย่างอิฐชุด SK1 ตัวอย่างที่ 1 (SK1-1) นี้ มีอายุน้อยกว่า 175 ปี

จากการตั้งสมมติฐานดังกล่าวจึงนำมาสู่การทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยประชากรจากสมมติฐานที่ว่า ตัวอย่างอิฐ SK1-1 มีอายุน้อยกว่า 175 ปี ทั้งนี้ทำการทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ โดยใช้ข้อมูลอายุจากการทดลองทั้ง 2 แห่ง คือ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไพร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ซึ่งมีระดับความเสรี $v = n - 1 = 19$ และ 6 ตามลำดับ แล้วดำเนินการทดสอบสมมติฐานตามวิธีการทางสถิติดังนี้

กำหนดให้ μ แทนอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1

1) ตั้งสมมติฐาน ในที่นี้ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ย ดังนั้นสมมติฐานการทดสอบมีดังนี้

$$H_0: \mu = 175$$

$$H_1: \mu < 175$$

2) กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\alpha = 0.05$$

3) กำหนดตัวสถิติทดสอบและคำนวณค่า

ตัวอย่างสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ ไม่ทราบค่าความแปรปรวนและตัวอย่างมีขนาดเล็ก ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ t จากสูตร

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

จากข้อมูลค่ากลางทางสถิติจึงสามารถคำนวณค่า t ของได้ดังนี้

ตารางที่ 20 ตารางแสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างอิฐ SK1-1

ที่ได้ผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ

ชื่อตัวอย่าง	\bar{X}	μ	N	S	ค่า t ที่คำนวณได้	ค่า t บริเวณวิกฤต
SK1-1_1	123	175	20	6.30	$t_{SK1-1_1} = -36.91$	$t_{0.05,19} = 1.7291$
SK1-1_2	136	175	7	7.09	$t_{SK1-1_2} = -14.55$	$t_{0.05,6} = 1.9432$

4) การตัดสินใจ

เมื่อนำค่า t ที่ได้จากการคำนวณทั้ง 2 ค่าจาก 2 ชุดข้อมูลข้างต้น คือ t_{SK1-1_1} และ t_{SK1-1_2} เทียบกับค่า t บริเวณวิกฤตที่ $t_{0.05,19}$ และ $t_{0.05,6}$ ตามลำดับพบว่าค่า t ทั้งสองค่ามีค่าไม่เท่ากัน จึงตัดสินใจปฏิเสธ H_0 ที่ว่า ตัวอย่างอิฐ SK1-1 มีอายุเท่ากับ 175 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าค่า t ที่ได้จากการคำนวณทั้ง 2 ค่ามีค่าน้อยกว่าค่า t บริเวณวิกฤตจึงตัดสินใจยอมรับ H_1 ที่ว่า ตัวอย่างอิฐ SK1-1 มีอายุน้อยกว่า 175 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5) สรุปผล

เมื่อนำข้อมูลอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1 ที่ได้จากการทดลองโดยสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และจากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี มาทำการวิเคราะห์ทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยประชากรทางสถิติ โดยทั้ง 2 ชุดข้อมูลให้ผลการวิเคราะห์ที่เหมือนกันซึ่งสามารถสรุปผลได้ว่ากำแพงเมืองสงขลาในส่วนที่เป็นกำแพงอิฐที่ตั้งอยู่บนกำแพงหินนั้นถูกสร้างขึ้นหลังจากการก่อสร้างกำแพงหินที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.4 การทดสอบสมมติฐานของอายุของตัวอย่างอิฐ SK 2-1 กับกำแพงหินทางสถิติ

จากการสังเกตในระหว่างการเก็บตัวอย่างชุด SK2 ณ พื้นที่ศึกษา พบว่า ตำแหน่งของตัวอย่างอิฐชุด SK2 ตั้งแนบอยู่กับกำแพงเมืองทางด้านในของตัวเมือง ซึ่งเป็นกำแพงที่ก่อด้วยหิน (รูปที่ 11 และรูปที่ 12) อันมีหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่ระบุไว้อย่างชัดเจนว่ามีอายุประมาณ 175-181 ปีก่อนปัจจุบันดังที่ได้กล่าวไว้ในบทนำ แต่ทั้งนี้จากการขุดค้นของนักโบราณคดีชำนาญการกรมศิลปากร พบว่ากำแพงอิฐที่เป็นที่ตั้งของตัวอย่าง SK2-1 มีระดับความลึกของฐานราก 1 เมตรจากพื้นดินปัจจุบัน ซึ่งน้อยกว่าฐานรากของกำแพงเมืองที่ก่อด้วยหินที่มีระดับความลึกของฐานราก 1.3 เมตรจากพื้นดินปัจจุบัน ทำให้ผู้ทำโครงการได้ทำการตั้งสมมติฐานในการทดลองครั้งนี้ว่า ตัวอย่างอิฐชุด SK2 ตัวอย่างที่ 1 (SK2-1) นี้ มีอายุน้อยกว่า 175 ปี

จากการตั้งสมมติฐานดังกล่าวจึงนำมาสู่การทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยประชากรจากสมมติฐานที่ว่า ตัวอย่างอิฐ SK2-1 มีอายุน้อยกว่า 175 ปี ทั้งนี้ทำการทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ โดยใช้ข้อมูลอายุจากการทดลองทั้ง 2 แห่ง คือ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ซึ่งมีระดับความเสรี $v = n - 1 = 18$ และ 6 ตามลำดับ แล้วดำเนินการทดสอบสมมติฐานตามวิธีการทางสถิติดังนี้

กำหนดให้ μ แทนอายุของตัวอย่างอิฐ SK2-1

1) ตั้งสมมติฐาน ในที่นี้ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ย ดังนั้นสมมติฐานการทดสอบมีดังนี้

$$H_0: \mu = 175$$

$$H_1: \mu < 175$$

2) กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\alpha = 0.05$$

3) กำหนดตัวสถิติทดสอบและคำนวณค่า

ตัวอย่างสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ ไม่ทราบค่าความแปรปรวนและตัวอย่างมีขนาดเล็ก ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ t จากสูตร

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

จากข้อมูลค่ากลางทางสถิติจึงสามารถคำนวณค่า t ของได้ดังนี้

ตารางที่ 21 ตารางแสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างอิสระ SK2-1 ที่ได้ผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ

ชื่อตัวอย่าง	\bar{X}	μ	N	S	ค่า t ที่คำนวณได้	ค่า t บริเวณวิกฤต
SK2-1_1	155	175	19	6.33	$t_{SK2-1_1} = -13.77$	$t_{0.05,18} = 1.7341$
SK2-1_2	164	175	7	10.8	$t_{SK2-1_2} = -2.695$	$t_{0.05,6} = 1.9432$

4) การตัดสินใจ

เมื่อนำค่า t ที่ได้จากการคำนวณทั้ง 2 ค่าจาก 2 ชุดข้อมูลข้างต้น คือ t_{SK2-1_1} และ t_{SK2-1_2} เทียบกับค่า t บริเวณวิกฤตที่ $t_{0.05,18}$ และ $t_{0.05,6}$ ตามลำดับพบว่าค่า t ทั้งสองค่ามีค่าไม่เท่ากัน จึงตัดสินใจปฏิเสธ H_0 ที่ว่า ตัวอย่างอิสระ SK2-1 มีอายุเท่ากับ 175 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าค่า t ที่ได้จากการคำนวณทั้ง 2 ค่ามีค่าน้อยกว่าค่า t บริเวณวิกฤตจึงตัดสินใจยอมรับ H_1 ที่ว่า ตัวอย่างอิสระ SK2-1 มีอายุน้อยกว่า 175 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5) สรุปผล

เมื่อนำข้อมูลอายุของตัวอย่างอิสระ SK2-1 ที่ได้จากการทดลองโดยสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และจากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี มาทำการวิเคราะห์ทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยประชากรทางสถิติ โดยทั้ง 2 ชุดข้อมูลให้ผลการวิเคราะห์ที่เหมือนกันซึ่งสามารถสรุปผลได้ว่ากำแพงเมือง

สงขลาในส่วนที่เป็นกำแพงอิฐที่ตั้งแนบอยู่กับกำแพงเมืองทางด้านในของตัวเมืองนั้นถูกสร้างขึ้นภายหลังจากการก่อสร้างกำแพงหินที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.5 การทดสอบเปรียบเทียบอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1 และ SK2-1 ทางสถิติ

จากผลการทดลองการหาอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1 และ SK2-1 พบว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิตของอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1 มีค่าน้อยกว่า เพื่อการวิเคราะห์ผลถึงลำดับการก่อสร้างกำแพงอิฐและนำไปสู่การสรุปผลของข้อมูลดังกล่าว ผู้จัดทำโครงการจึงทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ว่าตัวอย่างอิฐ SK1-1 มีอายุที่อ่อนกว่าตัวอย่างอิฐ SK2-1

จากการตั้งสมมติฐานดังกล่าวจึงนำมาสู่การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของอายุสองค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างแบบ Pooled variance t-test โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยของอายุของตัวอย่างอิฐทั้ง 2 ตัวอย่างจากการทดลองในแต่ละแห่ง ทั้ง 2 แห่ง ซึ่งในการเปรียบเทียบผลอายุที่ได้จากการทดลองในแต่ละแห่งจาก 2 ตัวอย่างนี้ ผู้ทำโครงการได้ตั้งสมมติฐานว่า อายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1 มีอายุที่อ่อนกว่าอายุของตัวอย่างอิฐ SK2-1 ทั้งนี้ทำการทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

กำหนดให้ μ_1 แทนอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1

μ_2 แทนอายุของตัวอย่างอิฐ SK2-1

1) ตั้งสมมติฐาน

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

2) กำหนดระดับนัยสำคัญ

$$\alpha = 0.05$$

3) กำหนดตัวสถิติทดสอบและคำนวณค่า

ใช้การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างแบบ Pooled variance t-test จากสูตร

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

เมื่อ \bar{X}_1 และ \bar{X}_2 แทนค่าเฉลี่ยเลขคณิตของกลุ่มตัวอย่าง 1 และ 2 ตามลำดับ

S_p^2 แทนความแปรปรวนร่วม (Pooled variance) คำนวณได้จากสูตร

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

n_1 และ n_2 แทนขนาดของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

และ **df** แทนองศาอิสระ (Degree of freedom) ซึ่งมีค่า $n_1 + n_2 - 2$

3.1) การทดสอบเปรียบเทียบอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1 และ SK2-1 ทางสถิติ ของผลอายุที่ได้จากการทดลองจากห้องปฏิบัติการของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เมื่อแทนค่า $\bar{X}_1 = 123$, $\bar{X}_2 = 155$, $n_1 = 20$, $n_2 = 19$, $S_1 = 6.30$, $S_2 = 6.33$ และ $df = 20 + 19 - 2 = 37$ โดยพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะได้ $t_{SK_1} = -15.818$ นำค่าที่ได้เทียบกับ $t_{0.05,37} = 1.6871$

3.2) การทดสอบเปรียบเทียบอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1 และ SK2-1 ทางสถิติ ของผลอายุที่ได้จากการทดลองจากห้องปฏิบัติการของภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี เมื่อแทนค่า $\bar{X}_1 = 136$, $\bar{X}_2 = 164$, $n_1 = 7$, $n_2 = 7$, $S_1 = 7.09$, $S_2 = 10.8$ และ $df = 7 + 7 - 2 = 12$ โดยพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะได้ $t_{SK_2} = -5.7341$ นำค่าที่ได้เทียบกับ $t_{0.05,12} = 1.7823$

4) การตัดสินใจ

เมื่อนำค่า t ที่ได้จากการคำนวณทั้ง 2 ค่าจาก 2 ชุดข้อมูลของอายุที่ได้จากการทดลองในแต่ละสถานที่ข้างต้น คือ t_{SK_1} และ t_{SK_2} เทียบกับค่า t บริเวณวิกฤตที่ $t_{0.05,37}$ และ $t_{0.05,12}$ ตามลำดับพบว่าค่า t ทั้งสองค่ามีค่าไม่เท่ากัน จึงตัดสินใจปฏิเสธ H_0 ที่ว่า ตัวอย่างอิฐ SK1-1 มีอายุเท่ากับตัวอย่างอิฐ SK2-1 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าค่า t ที่ได้จากการคำนวณทั้ง 2 ค่ามีค่าน้อยกว่าค่า t บริเวณวิกฤตจึงตัดสินใจยอมรับ H_1 ที่ว่า ตัวอย่างอิฐ SK1-1 มีอายุน้อยกว่าตัวอย่างอิฐ SK2-1 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่าง SK1-1 และ SK2-1 เมื่อนำไปทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเดียวกัน ผลการทดลองการหาอายุของทั้ง 2 ตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5) สรุปผล

เมื่อนำข้อมูลอายุของตัวอย่างอิฐ SK1-1 และตัวอย่างอิฐ SK2-1 ที่ได้จากการทดลองโดยสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และจากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี มาทำการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยประชากรทางสถิติ ทำให้สามารถสรุปผลได้ว่ากำแพงเมืองสงขลาในส่วนที่เป็นกำแพงอิฐที่ตั้งอยู่บนกำแพงหินก่อสร้างขึ้นภายหลังจากการก่อสร้างกำแพงอิฐที่ตั้งแนบอยู่กับแนวกำแพงหินทางด้านในของตัวเมืองที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.6 การวิเคราะห์ผลอายุของทางสถิติของตัวอย่างอิสระแต่ละตัวอย่าง

จากข้อมูลในตารางที่ 19 ซึ่งเป็นตารางแสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิต (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ของตัวอย่างอิสระทั้ง 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างอิสระ SK1-1 และตัวอย่างอิสระ SK2-1 ซึ่งเป็นการคำนวณจากข้อมูลอายุของ 2 ห้องปฏิบัติการ คือ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) และจากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ซึ่งสามารถนำค่าเฉลี่ยเลขคณิต (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ดังกล่าวมาทำการประมาณค่าเฉลี่ยของประชากร (μ) ในกรณี $n < 30$ ได้จากสูตร

$$\bar{X} - t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

ทั้งนี้ทำการวิเคราะห์ผลที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ซึ่งมีค่า $t_{0.05} = 2.0860$ เมื่อนำไปแทนค่าในสูตรข้างต้นจะได้ช่วงอายุของตัวอย่างอิสระแต่ละตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณทางสถิติจากการสุ่มตัวอย่างจากกลุ่มประชากร จากการวิเคราะห์ผลดังกล่าวจึงได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

1) ผลการวิเคราะห์ผลอายุทางสถิติของตัวอย่าง SK 1-1 จากผลการทดลองที่ได้จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK1-1_1) และจากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK1-1_2)

ตารางที่ 22 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ผลอายุทางสถิติของตัวอย่าง SK 1-1 จากผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (\bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)	ช่วงของค่า μ ที่คำนวณได้	ช่วงอายุที่สรุปผล (ปีก่อนปัจจุบัน)	อายุที่สรุปผลเทียบกับช่วงปีพุทธศักราช
SK1-1_1	123	6.30	$120 < \mu < 126$	120-126	2434-2440
SK1-1_2	136	7.09	$130 < \mu < 141$	130-141	2419-2430

2) ผลการวิเคราะห์ผลอายุทางสถิติของตัวอย่าง SK 2-1 จากผลการทดลองที่ได้จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SK2-1_1) และจากภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (SK2-1_2)

ตารางที่ 23 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ผลอายุทางสถิติของตัวอย่าง SK 2-1 จากผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (\bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)	ช่วงของค่า μ ที่คำนวณได้	ช่วงอายุที่สรุปผล (ปีก่อนปัจจุบัน)	อายุที่สรุปผลเทียบกับช่วงปีพุทธศักราช
SK2-1_1	155	6.33	$151 < \mu < 158$	151-158	2402-2409
SK2-1_2	164	10.80	$156 < \mu < 173$	156-173	2387-2404

4.3 การวิเคราะห์สรุปอายุที่ได้จากการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติทั้งหมดจึงสามารถสรุปผลในรูปแบบของช่วงอายุของแต่ละตัวอย่าง ซึ่งเป็นช่วงอายุที่ครอบคลุมผลการทดลองทั้งหมดจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ ดังนี้

ตารางที่ 24 ตารางแสดงสรุปผลอายุทางสถิติของตัวอย่าง SK 1-1 และ SK2-1 จากผลการทดลองจากทั้ง 2 ห้องปฏิบัติการ

ส่วนของกำแพงเมือง	อายุ (ปีก่อนปัจจุบัน)							
	120	130	140	150	160	170	180	
กำแพงอิฐที่ตั้งอยู่บนกำแพงหิน (รูปที่ 24 หมายเลข 2)		—	—					
กำแพงอิฐที่ตั้งแนบกับกำแพงหินทางด้านในของตัวเมือง (รูปที่ 24 หมายเลข 3)					—	—		
กำแพงหิน (รูปที่ 24 หมายเลข 1)							—	

โดยที่ — คือ ช่วงอายุที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

— คือ ช่วงอายุที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลจากห้องปฏิบัติการของภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยไฟร์บวร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

— คือ ช่วงอายุที่สรุปผล ซึ่งเป็นช่วงอายุที่ครอบคลุมผลการทดลองทั้ง 2 แห่ง

— คือ ช่วงอายุที่ได้จากข้อมูลทางประวัติศาสตร์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

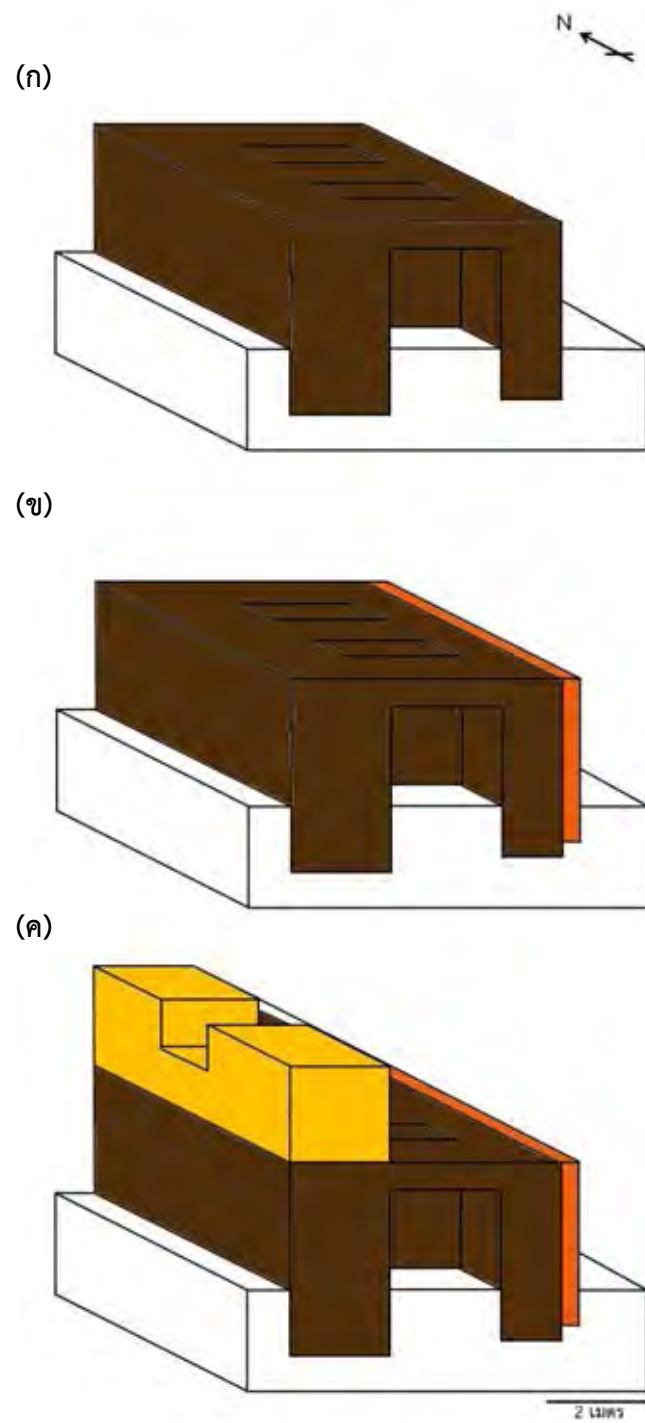
5.1 สรุปผลอายุที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 26 รูปแสดงตำแหน่งและผลอายุของตัวอย่างอิฐที่ใช้ในการทดลอง

จากการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองการหาอายุอิฐจากกำแพงเมืองสงขลาด้วยวิธีเปล่งแสงจากตัวอย่างอิฐทั้งสิ้น 2 ตัวอย่าง สามารถสรุปผลได้ว่า ตัวอย่างอิฐจากกำแพงอิฐที่ตั้งอยู่บนกำแพงหิน ตัวอย่างที่ 1 (SK1-1) มีอายุ 120-141 ปีก่อนปัจจุบัน และตัวอย่างอิฐจากกำแพงอิฐที่ตั้งแนบกับกำแพงหินทางด้านในของตัวเมือง ตัวอย่างที่ 1 (SK2-1) 151-173 ปีก่อนปัจจุบัน

ผลการทดลองการหาอายุจากตัวอย่างอิฐจากกำแพงเมืองสงขลาเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถนำไปใช้ประกอบกับข้อมูลทางประวัติศาสตร์เพื่ออธิบายถึงลำดับเหตุการณ์ในการก่อสร้างกำแพงเมืองสงขลาได้ โดยสามารถอธิบายลำดับเหตุการณ์ได้ ดังนี้



รูปที่ 27 รูปอย่างง่ายในรูปแบบสามมิติแสดงลำดับเหตุการณ์ในการก่อสร้างกำแพงเมืองสงขลาที่ได้จากการทดลอง ประกอบกับข้อมูลทางประวัติศาสตร์และข้อมูลที่ได้จากการขุดค้นตามรายงานผลการขุดค้นของ นายสารัท ซะลอสันติสกุล นักโบราณคดีชำนาญการ สำนักศิลปากรที่ 11 สงขลา กรมศิลปากร

ในปีพุทธศักราช 2379 ในรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 3) ได้มีการก่อสร้างกำแพงเมืองสงขลาทางด้านทิศตะวันตกของเมืองขึ้นโดยใช้หินก่อด้วยปูน (รูปที่ 27 (ก)) จนแล้วเสร็จในปีพุทธศักราช 2385 ต่อมาในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2387 ถึงปี พ.ศ. 2409 ซึ่งเป็นช่วงที่เริ่มเข้าสู่รัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 4) ได้มีการก่อสร้างกำแพงอิฐแนวกั้นกับแนวกำแพงหินทางด้านในของตัวเมืองเพิ่มเติม (รูปที่ 27 (ข)) และท้ายที่สุดในรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 5) ในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2419 ถึงปี พ.ศ. 2440 ได้มีการต่อเติมกำแพงเมืองสงขลาโดยก่อเป็นกำแพงอิฐวางทับอยู่บนกำแพงหินเดิม (รูปที่ 27 (ค)) ปรากฏเป็นหลักฐานกำแพงเมืองสงขลาที่สามารถคงอยู่และปรากฏให้เห็นเป็นโบราณสถานกำแพงเมืองสงขลาทางด้านทิศตะวันตกของเมืองมาจนถึงปัจจุบัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาหาอายุเพิ่มเติมในตัวอย่างอิฐก้อนอื่น ๆ จากตัวอย่างอิฐชุดเดียวกัน และควรมีการทดลองหาค่า ED อย่างน้อยตัวอย่างละ 30 ซ้ำ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลทางสถิติ และนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง ทั้งนี้เพื่อการสรุปผลช่วงอายุของตัวอย่างที่มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

2) การเก็บตัวอย่างเพื่อมาศึกษาในครั้งนี้ใช้ถุงซิปล็อกในการบรรจุตัวอย่างอิฐเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำในตัวอย่างเกิดการระเหยออกจากตัวอย่าง แต่ด้วยระยะทางในการขนส่งและระยะเวลาก่อนการทดลองที่ยาวนานจึงทำให้มีปริมาณน้ำบางส่วนเกิดการระเหยและเกาะบนผิวด้านในของถุงซิปล็อก ฉะนั้นในการศึกษาร้อยละของปริมาณน้ำในตัวอย่างควรทำการศึกษาทันทีหลังการเก็บตัวอย่าง และควรมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บที่มีมิดชิดกว่านี้ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำในตัวอย่างเกิดการระเหยออกจากตัวอย่าง

3) เนื่องจากในโครงการฉบับนี้ได้คำนวณค่าความผิดพลาดของค่า AD ไว้เพียงโดยคร่าว ซึ่งใช้ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการวัดความเข้มข้นของธาตุกำมะถันตรังสีในธรรมชาติ ฉะนั้นจึงควรมีการคำนวณค่าความผิดพลาดของข้อมูลในเชิงลึกเพิ่มเติม โดยเฉพาะการคำนวณค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่มีการถ่ายทอดค่าความผิดพลาดจากค่าความเข้มข้นของธาตุกำมะถันตรังสีในธรรมชาติไปยังค่า AD ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตรของ Aitken (1985) รวมถึงการวิเคราะห์ผลค่าความผิดพลาดของข้อมูลในเชิงสถิติ เพื่อความถูกต้องของข้อมูลและความน่าเชื่อถือที่มากขึ้น

บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี. 2557. *การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดสงขลา*. กรุงเทพฯ : 144 หน้า
- กรมศิลปากร. มปป. *กรมศิลปากรให้บริการสืบค้นข้อมูลโบราณสถานออนไลน์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2561, จากชื่อเว็บไซต์ : <http://www.finearts.go.th>
- กรมศิลปากร. 2560. “วิจัย วิจัยขณ” *การนำเสนอผลงานวิชาการ กรมศิลปากร ประจำปี พ.ศ. 2560 เล่ม 2*. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2561, จากชื่อเว็บไซต์ : <http://www.finearts.go.th>
- พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ สงขลา. 2558. *ประวัติความเป็นมา*. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2561, จากชื่อเว็บไซต์ : <http://www.virtualmuseum.finearts.go.th>
- ราชกิจจานุเบกษา. 2519. *ประกาศกรมศิลปากร เรื่อง ขึ้นทะเบียนโบราณสถาน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2561, จากชื่อเว็บไซต์ : <http://www.ratchakitcha.soc.go.th>
- ราชบัณฑิตยสภา. 2476. *ประชุมพงศาวดารภาคที่ 53 พงศาวดารเมืองสงขลา พงศาวดารเมืองนครศรีธรรมราช พงศาวดารเมืองพัทลุง พระโสมนอักษรกิจ พิมพ์แจกในงานพระราชทานเพลิงศพ พระพิทักษ์สาครเกษตร (หยวก ลีละบุตร) วันที่ 18 พฤษภาคม 2476 (28-29 และ 36)*. มปป : โรงพิมพ์โสภณพิพรรฒธนากร
- รอสนา เจ๊ะเล็ม. 2558. *กระบืออิงดินเผาเกาะยอ มรดกทางหัตถกรรมที่เลือนหาย*. สืบค้นเมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2561, จากชื่อเว็บไซต์ : <https://www.issue.com>
- ศูนย์พยากรณ์อากาศภาคใต้ฝั่งตะวันออก สงขลา. มปป. *ภูมิอากาศจังหวัดสงขลา*. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์, 2561, จากชื่อเว็บไซต์ : <http://www.marine.tmd.go.th>
- ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก. มปป. *ข้อมูลสถิติอุตุนิยมวิทยา สงขลา*. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2561, จากชื่อเว็บไซต์ : <http://www.songkhla.tmd.go.th>
- สัญญา วัชรพันธุ์. 2557. *คลองสำโรงกับเมืองสงขลา*. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2561, จากชื่อเว็บไซต์ : <http://bankaonews.com>
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. มปป. *สถิติปริมาณฝน ณ สถานีอุตุนิยมวิทยา พ.ศ. 2546 – 2558*. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2561, จากชื่อเว็บไซต์ : <http://www.nso.go.th>
- Aitken, M. J. 1985. *Thermoluminescence dating*. Academic press, London, U.K..
- Aitken, M. J. 1990. *Science-based dating in archaeology*. Routledge.

- Bailiff, I. K. 2007. Methodological Developments in the Luminescence Dating of Brick from English Late-Medieval and Post-Medieval Building. *Archaeometry*, 49(4), 827–851.
- Bailiff, I. K., and Holland, N. 2000. Dating bricks of the last two millennia from Newcastle upon Tyne: a preliminary study. *Radiation Measurements*, 32(5), 615–619.
- 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*.
- Chruscinska, A., Cicha, A., Kijek, N., Palczewski, P., Przegietka, K., and Sulkowska-Tuszynska, K. 2014. Luminescence dating of bricks from the gothic Saint James Church in Torun. *Geochronometria*, 41(4), 352–360.
- Colman, S. M., and Pierce, K. L. 2000. Classification of Quaternary geochronologic methods. *Quaternary Geochronology. Methods and Applications. Washington: American Geophysical Union*, 2(5).
- Colman, Steven M., Pierce, K. L., and Birkeland, P. W. 1987. Suggested terminology for Quaternary dating methods. *Quaternary research*, 28(2), 314–319.
- 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.
- Fu, X., Zhang, J.-F., Mo, D.-W., Shi, C.-X., Liu, H., Li, Y.-Y., and Zhou, L.-P. 2010. Luminescence dating of baked earth and sediments from the Qujialing archaeological site, China. *Quaternary Geochronology*, 5(2–3), 353–359.

- Goedicke, C., Slusallek, K., and Kubelik, M. 1981. Thermoluminescence dating in architectural history: Venetian villas. *Journal of the Society of Architectural Historians*, 40(3), 203–217.
- Gredmaier, L., Banks, C. J., and Pearce, R. B. 2011. Calcium and sulphur distribution in fired clay brick in the presence of a black reduction core using micro X-ray fluorescence mapping. *Construction and Building Materials*, 25(12), 4477–4486.
- Huntley, D. J., Godfrey-Smith, D. I., and Thewalt, M. L. W. 1985. Optical dating of sediments. *Nature*, 313(5998), 105–107.
- Leung, P. L., Tang, Q., Li, M., and Zhang, C.-X. 2005. The preliminary application of OSL in comparison with TL for authentication of ancient Chinese bricks. *Radiation measurements*, 40(1), 1–4.
- Martini, M., and Sibilila, E. 2001. Radiation in archaeometry: archaeological dating. *Radiation Physics and Chemistry*, 61(3), 241–246.
- Meisl, N. K., and Huntley, D. J. 2005. Anomalous fading parameters and activation energies of feldspars. *Ancient TL*, 23(1), 1.
- Pailoplee, S., Chaisuwan, B., Takashima, I., Won-In, K., and Charusiri, P. 2010. Dating ancient remains by thermoluminescence: Implications of incompletely burnt bricks. *Bulletin of Earth Sciences of Thailand*, 3.
- 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).
- Preusser, F., Degering, D., Fuchs, M., Hilgers, A., Kadereit, A., Klasen, N., Spencer, J. Q. 2008. Luminescence dating: basics, methods and applications. *Eiszeitalter & Gegenwart Quaternary Science Journal*, 57(1/2), 95–149.
- Sanjurjo-Sánchez, J. 2016. An overview of the use of absolute dating techniques in ancient construction materials. *Geosciences*, 6(2), 22.
- TAKASHIMA, I. 1994. Thermoluminescence age determination of lava flows/domes and collapsed materials at Unzen Volcano, SW Japan. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, 39, 1–12.

Takashima, I., and Honda, S. 1989. Comparison between K-Ar and TL dating results of pyroclastic flow deposits in the Aizutajima area, Northeast Japan.

Chishitsugaku Zasshi, 95(11), 807–816.

Won-in, K., Wattanadol, P., Dararutana, P., Pongkrapan, S., Takashima, I., Ruangrunsi, N., Vichapan, K. 2008. Preliminary study of the age of the Lanna period by

Thermoluminescence dating: A case study from the Wiang Kaen Ancient Site,

Chiang Rai, Northern Thailand. *Geoarchaeology and Archaeomineralogy*,

Proceedings of the International Conference. Sofia: St. Ivan Rilski (130–133).

